

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

Éderson Diniz Ebling

**DINÂMICA HIDROSEDIMENTOLÓGICA DE DUAS BACIAS  
HIDROGRÁFICAS COM PRODUÇÃO LEITEIRA E GRÃOS**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2018**

**Éderson Diniz Ebling**

**DINÂMICA HIDROSSEDIMENTOLÓGICA DE DUAS BACIAS HIDROGRÁFICAS  
COM PRODUÇÃO LEITEIRA E GRÃOS**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Professor José Miguel Reichert, PhD

Santa Maria, RS, Brasil  
2018

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com todos os dados fornecidos pelo autor.

Ebling, Éderson  
Dinâmica hidrossedimentológica de duas bacias  
hidrográficas com produção leiteira e grãos / Éderson  
Ebling.- 2018.  
207 p. ; 30 cm

Orientador: José Miguel Reichert  
Coorientador: Jean Minella  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós  
Graduação em Ciência do Solo, RS, 2018

1. Monitoramento hidrossedimentológico 2. Modelagem  
hidrológica I. Reichert, José Miguel II. Minella, Jean  
III. Título.

Todos os direitos autorais reservados a Éderson Diniz Ebling. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

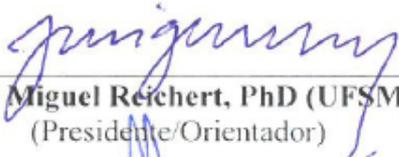
E-mail: ederdinize@gmail.com

**Éderson Diniz Ebling**

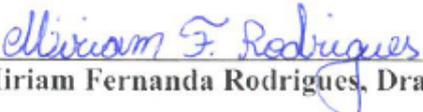
**DINÂMICA HIDROSSEDIMENTOLÓGICA DE DUAS BACIAS HIDROGRÁFICAS  
COM PRODUÇÃO LEITEIRA E GRÃOS**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo.

Aprovado em 23 de fevereiro de 2018:

  
\_\_\_\_\_  
**José Miguel Reichert, PhD (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
**Alexandre Swarovsky, Dr. (UNIFRA)**

  
\_\_\_\_\_  
**Miriam Fernanda Rodrigues, Dra. (UFSM)**

Santa Maria, RS, Brasil  
2018

*“O pessimista vê dificuldade em cada oportunidade.  
O otimista vê oportunidade em cada dificuldade.”*

Autor Desconhecido.

## AGRADECIMENTOS

*Agradeço à família pelo apoio e incentivo em todos os momentos.*

*Ao professor orientador PhD José Miguel Reichert, pelos ensinamentos, confiança e amizade.*

*À Miriam Fernanda Rodrigues, pelo apoio, auxílio e amizade.*

*À Universidade Federal de Santa Maria, pela grande contribuição ao meu crescimento durante a realização desse trabalho.*

*À equipe do Instituto Federal do Rio Grande do Sul – IFRS, Campus de Ibirubá, pela parceria e incentivo.*

*À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por financiar e incentivar a realização desse estudo.*

*À Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – Campus de Santiago, RS, por incentivar meu ingresso na pós-graduação.*

*Aos proprietários das áreas onde o estudo foi realizado, Sr. Hegen e Sr. Leandro, por permitirem a realização desse estudo em suas propriedades.*

*À Prefeitura Municipal de Quinze de Novembro, pela contribuição logística prestada na fase inicial do estudo.*

*Especialmente, agradeço às equipes do Laboratório de Física do Solo da UFSM, professores e estudantes, pelo grande apoio prestado.*

## RESUMO

### MONITORAMENTO E MODELAGEM HIDROLÓGICA EM PEQUENAS BACIAS HIDROGRÁFICAS RURAIS PAREADAS COM PRODUÇÃO DE GRÃOS E PECUÁRIA LEITEIRA

AUTOR: EDERSON DINIZ EBLING  
ORIENTADOR: JOSÉ MIGUEL REICHERT

A produção de sedimentos acelerada representa um dos maiores problemas, em escala mundial, no âmbito da degradação das águas e do solo. Estudos dos processos hidrológicos e sedimentológicos em escala de bacia hidrográfica representam um recurso para identificar, compreender e propor estratégias de amenização dos efeitos das ações antrópicas sobre a produção de sedimentos. Tais estudos podem ser conduzidos por meio de monitoramento automático contínuo. A produção de sedimentos em escala de bacia hidrográfica contempla as fases da desagregação, transporte e deposição. Nesse sentido, ferramentas de modelagem são cada vez mais utilizadas em estudos ambientais porque auxiliam no entendimento dos impactos das mudanças no uso e cobertura do solo e para a predição de alterações futuras no ambiente. Objetivou-se, com a realização deste trabalho, entender, descrever e representar o comportamento dos processos hidrológicos e sedimentológicos por meio do monitoramento e da modelagem com o Limburg Soil Erosion Model (LISEM) em duas pequenas bacias hidrográficas rurais pareadas. As bacias hidrográficas pareadas, denominadas de bacia sul (0,94 km<sup>2</sup>) e bacia norte (0,66 km<sup>2</sup>), estão localizadas no município de Quinze de Novembro, na região fisiográfica do Planalto Meridional do estado do Rio Grande do Sul. O monitoramento hidrossedimentométrico foi realizado entre abril de 2016 e outubro de 2017, em seções de monitoramento fluviométrico compostas de vertedores triangulares equipadas com sensores de precipitação, de nível e de turbidez, para quantificar a chuva, vazão e concentração de sedimentos em suspensão, respectivamente; e com datalogger e painéis solares. Amostras de suspensão (água + sedimentos) foram coletadas, manualmente, durante eventos de chuva-vazão-sedimentos para gerar uma curva para a estimativa da concentração de sedimentos em suspensão. Eventos de maior magnitude, acima de 50 mm, além de apresentarem rápida resposta a eventos pluviais, foram responsáveis pelo maior volume de vazão e concentração de sedimentos. A histerese predominou em sentido horário, com a ocorrência dos picos de sedimentos antes dos picos dos hidrogramas, o que evidencia que as fontes de produção e mobilização de sedimentos ocorrem, predominantemente, nas redes de drenagens, sulcos próximos aos canais principais ou convergência de estradas. O LISEM representou satisfatoriamente o escoamento superficial em eventos pluviais de diferentes intensidades, ocorridos durante os anos de 2016 e 2017, nas duas bacias hidrográficas, admitidos pelo coeficiente Nash e Sutcliffe (>0,75) e percentagem de bias (≤25%). Alguns parâmetros calibrados foram muito diferentes dos valores medidos. A bacia sul teve menor produção total de sedimentos. A presença da vegetação ciliar ao longo da rede de drenagem principal na bacia sul pode ter influenciado o efeito de amortecimento do escoamento superficial, disciplinando o movimento de água superficial das áreas vertentes para o canal principal durante eventos pluviais, promovendo menor mobilização e transporte de sedimentos em suspensão.

Palavras-chave: Produção de sedimentos, hidrologia, LISEM.

## ABSTRACT

### MONITORING AND HYDROLOGICAL MODELING IN SMALL RURAL HYDROGRAPHIC BASES DERIVED WITH GRAIN PRODUCTION AND DAIRY CATTLE

AUTHOR: EDERSON DINIZ EBLING  
ADVISOR: JOSÉ MIGUEL REICHERT

Accelerated sediment production represents one of the biggest problems in the world in terms of water and soil degradation. Studies of hydrological and sedimentological processes in watershed scale represent a resource to identify, understand and propose mitigation strategies of the effects of anthropic actions on the production of sediments. Such studies can be conducted by means of continuous automatic monitoring. Sediment production at the river basin scale includes the stages of disaggregation, transport and deposition. In this sense, modeling tools are increasingly used in environmental studies because they help in understanding the impacts of changes in land use and coverage and in predicting future changes in the environment. The objective of this work was to understand, describe and represent the behavior of the hydrological and sedimentological processes by means of monitoring and modeling with the Limburg Soil Erosion Model (LISEM) in two small paired river basins. The semi-arid basins, called the south basin (0.94 km<sup>2</sup>) and the north basin (0.66 km<sup>2</sup>), are located in the municipality of Quinze de Novembro, in the physiographic region of the Southern Plateau of the state of Rio Grande do Sul. Hydrosedimentometric measurements were performed between April 2016 and October 2017 in sections of fluviometric monitoring composed of triangular spillways equipped with rainfall, flow stage and turbidity sensors to quantify the rainfall, flow and concentration of suspended sediments, respectively; and with datalogger and solar panels. Suspension samples (water + sediments) were collected manually during rainfall-sediment events to generate a curve for the estimation of suspended sediment concentration. Events of greater magnitude, above 50 mm, besides presenting a rapid response to rainfall events, were responsible for higher flow volume and sediment concentration. The hysteresis predominated in a clockwise direction, with the occurrence of sediment peaks before hydrograph peak, meaning sediment production and sediment mobilization occur predominantly in drainage networks, furrows close to the main channels or convergence of roads. LISEM satisfactory represented surface runoff in rainfall events of different intensities, occurring during the years 2016 and 2017, in the two hydrographic basins, as analyzed by the Nash and Sutcliffe coefficient ( $>0.75$ ) and bias percentage ( $\leq 25\%$ ). Some calibrated parameters were very different from the measured values. The southern basin had lower total sediment yield. The presence of ciliary vegetation along the main drainage network in the southern basin may have influenced the damping effect of the surface runoff, converging the movement of surface water from the sloping areas to the main channel during rainfall events, promoting less sediment transport and mobilization in suspension.

Keywords: Monitoring, hydrology, LISEM.

## LISTA DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| Figura 1: Localização do município de Quinze de Novembro, Reservatório Passo Real e as duas bacias hidrográficas rurais pareadas, com suas redes de drenagem. ....                    | 31  |
| Figura 2: Curvas de nível (2a) e redes de drenagem das duas bacias hidrográficas rurais em estudo (2b).....   | 34  |
| Figura 3: Mapa de solos das duas bacias hidrográficas com atualização em 2016 (3a) e levantamento realizado pela EMBRAPA, em 1980 (3b).....   | 35  |
| Figura 4: Mapa de uso dos solos das bacias hidrográficas pareadas durante os anos de 2016 (4a) e 2017 (4b).....   | 38  |
| Figura 5: Representação transversal de um dos vertedores triangulares com as dimensões, em metros.....  | 39  |
| Figura 6: Vertedor triangular da bacia hidrográfica norte assoreado e com o curso d'água em desvio (6a) e em operação, desassoreado, e com taludes estabilizados por pedras (6b)..... | 40  |
| Figura 7 : Amostradores integradores de sedimentos no tempo (torpedos).....   | 44  |
| Figura 8: Curvas para estimativa da produção de sedimentos em suspensão para as bacias hidrográficas norte (a) e bacia sul (b). ....  | 46  |
| Figura 9: Exemplo de hidrograma com a separação dos escoamentos. ....   | 49  |
| Figura 10: Exemplo de arquivo no formato “txt” contendo a informação de intensidade e volume de chuva para a simulação com eventos pluviais.....                                      | 51  |
| Figura 11: Figuras de saída do PCraster para a bacia hidrográfica sul. ....   | 56  |
| Figura 12: Figuras de saída do PCraster para a bacia hidrográfica norte. ....   | 57  |
| Figura 13: Pontos de amostragem para a caracterização físico-hídrica dos solos das duas bacias hidrográficas.....   | 59  |
| Figura 14: Determinação da rugosidade aleatória no microrelevo com uso do perfilômetro..  | 64  |
| Figura 15: Curvas de retenção de água dos solos da bacia hidrográfica norte. ....   | 68  |
| Figura 16: Curvas de retenção de água dos solos da bacia hidrográfica sul. ....   | 69  |
| Figura 17: Hietograma, hidrograma e sedimentograma da bacia hidrográfica norte.....   | 75  |
| Figura 18: Hietograma, hidrograma e sedimentograma da bacia hidrográfica sul. ....  | 75  |
| Figura 19: Relação entre a concentração de sedimentos em suspensão máxima e a vazão máxima das bacias hidrográficas norte (a) e sul (b).....  | 77  |
| Figura 20: Hidrogramas, hietogramas, sedimentogramas e laços de histereses de eventos observados na bacia hidrográfica norte.....   | 91  |
| Figura 21: Hidrogramas, hietogramas, sedimentogramas e laços de histereses de eventos observados na bacia hidrográfica sul. ....  | 101 |
| Figura 22: Hidrogramas, hietogramas, sedimentogramas e laços de histereses do evento 19 observado na bacia hidrográfica norte (23A e 23B) e bacia sul (23C e 23D). ....               | 105 |
| Figura 23: Hietograma, hidrogramas e gráfico 1:1 da vazão observada e simulada do evento 06, bacia hidrográfica norte. ....   | 110 |
| Figura 24: Hietograma, hidrogramas e gráfico 1:1 da vazão observada e simulada do evento 07, bacia hidrográfica norte. ....   | 112 |
| Figura 25: Hietograma, hidrogramas e gráfico 1:1 da vazão observada e simulada do evento 17, bacia hidrográfica norte. ....   | 115 |
| Figura 26: Hietograma, hidrogramas e gráfico 1:1 da vazão observada e simulada do evento 19, bacia hidrográfica norte. ....   | 117 |
| Figura 27: Hietograma, hidrogramas e gráfico 1:1 da vazão observada e simulada do evento 26, bacia hidrográfica norte. ....   | 120 |
| Figura 28: Hietograma, hidrogramas e gráfico 1:1 da vazão observada e simulada do evento 05, bacia hidrográfica sul. ....   | 124 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 29: Hietograma, hidrogramas e gráfico 1:1 da vazão observada e simulada do evento 17, bacia hidrográfica sul..... | 125 |
| Figura 30: Hietograma, hidrogramas e gráfico 1:1 da vazão observada e simulada do evento 24, bacia hidrográfica sul..... | 127 |
| Figura 31: Hietograma, hidrogramas e gráfico 1:1 da vazão observada e simulada do evento 32, bacia hidrográfica sul..... | 131 |
| Figura 32: Hietograma, hidrogramas e gráfico 1:1 da vazão observada e simulada do evento 38, bacia hidrográfica sul..... | 133 |

## LISTA DE TABELAS

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 1: Usos do solo considerando a cultura atual e a cultura anterior, em relação à área total das duas bacias hidrográficas.....   | 37  |
| Tabela 2: Espessura, densidade, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e conteúdo de água disponível nos horizontes dos solos das duas bacias hidrográficas. ....  | 67  |
| Tabela 3: Valores de retenção de água no solo nas bacias hidrográficas Norte e Sul. ....   | 70  |
| Tabela 4: Valores de pH dos solos das duas bacias hidrográficas. ....  | 71  |
| Tabela 5: Distribuição do tamanho de partículas para as classes de solos das Bacias Norte e Sul. ....  | 73  |
| Tabela 6: Médias diárias de precipitação, descargas líquidas e sólidas de todo o período de monitoramento, nas bacias hidrográficas norte e sul. ....  | 77  |
| Tabela 7: Discretização da precipitação, vazão mínima, média e máxima, concentração de sedimentos em suspensão mínima, média e máxima e produção total de sedimentos para a bacia hidrográfica norte, em escala mensal. .... | 79  |
| Tabela 8: Discretização da precipitação, vazão mínima, média e máxima, concentração de sedimentos em suspensão mínima, média e máxima e produção total de sedimentos para a bacia hidrográfica sul, em escala mensal. ....   | 80  |
| Tabela 9: Variáveis hidrossedimentológicas dos eventos observados no período de 01/06/2016 a 31/10/2017 na bacia hidrográfica norte.....   | 84  |
| Tabela 10: Variáveis hidrossedimentológicas e histerese dos eventos pluviais observados na bacia hidrográfica norte.....   | 86  |
| Tabela 11: Variáveis hidrossedimentológicas dos eventos observados no período de 01/06/2016 e 31/10/2017 na bacia hidrográfica sul. ....   | 94  |
| Tabela 12: Variáveis hidrossedimentológicas e histerese dos eventos pluviais observados na bacia hidrográfica sul. ....  | 97  |
| Tabela 13: Características hidrossedimentológicas dos eventos selecionados para a modelagem hidrológica.....   | 106 |
| Tabela 14: Parâmetros de entrada: Uso do solo associados à primeira camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica norte. ....  | 108 |
| Tabela 15: Parâmetros de entrada: Características físico-hídricas dos solos associados à segunda camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica norte. ....                                       | 108 |
| Tabela 16: Parâmetros de saída calibrados para o evento ocorrido em 05/07/16: Uso do solo associados à primeira camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica norte. ....                        | 111 |
| Tabela 17: Parâmetros de saída calibrados: Características físico-hídricas dos solos associados à segunda camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica norte. ....                              | 111 |
| Tabela 18: Parâmetros de saída calibrados do evento 09/07/16: Uso do solo associados à primeira camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica norte. ....  | 113 |
| Tabela 19: Parâmetros de saída calibrados do evento 09/17/16: Características físico-hídricas dos solos associados à segunda camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica norte.....            | 114 |
| Tabela 20: Parâmetros de saída calibrados do evento 05/09/16: Uso do solo associados à primeira camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica norte. ....  | 116 |
| Tabela 21: Parâmetros de saída calibrados do evento 05/09/16: Características físico-hídricas  |     |

|            |  |     |
|------------|--|-----|
|            | dos solos associados à segunda camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica norte. ....   | 116 |
| Tabela 22: | Parâmetros de saída calibrados do evento 19/10/16: Uso do solo associados à primeira camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica norte. ....                               | 118 |
| Tabela 23: | Parâmetros de saída calibrados do evento 19/10/16: Características físico-hídricas dos solos associados à segunda camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica norte. ....  | 118 |
| Tabela 24: | Parâmetros de entrada: Uso do solo associados à primeira camada de infiltração, para o ano agrícola de 2017, na bacia hidrográfica norte. ....   | 119 |
| Tabela 25: | Parâmetros de entrada: Características físico-hídricas dos solos associados à segunda camada de infiltração, para o ano agrícola de 2017, na bacia hidrográfica norte. ....                              | 119 |
| Tabela 26: | Parâmetros de saída calibrados do evento 15/09/17: Uso do solo associados à primeira camada de infiltração, para o ano agrícola de 2017, na bacia hidrográfica norte. ....                               | 121 |
| Tabela 27: | Parâmetros de saída calibrados do evento 15/09/167: Características físico-hídricas dos solos associados à segunda camada de infiltração, para o ano agrícola de 2017, na bacia hidrográfica norte. .... | 121 |
| Tabela 28: | Parâmetros de entrada: Uso do solo associados à primeira camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica sul. ....   | 122 |
| Tabela 29: | Parâmetros de entrada: Características físico-hídricas dos solos associados à segunda camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica sul. ....                                | 122 |
| Tabela 30: | Parâmetros de saída calibrados do evento 14/07/16: Uso do solo associados à primeira camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica sul. ....                                 | 124 |
| Tabela 31: | Parâmetros de saída calibrados do evento 14/07/16: Características físico-hídricas dos solos associados à segunda camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica sul. ....    | 125 |
| Tabela 32: | Parâmetros de saída calibrados do evento 17/10/16: Uso do solo associados à primeira camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica sul. ....                                 | 126 |
| Tabela 33: | Parâmetros de saída calibrados do evento 17/10/16: Características físico-hídricas dos solos associados à segunda camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica sul. ....    | 127 |
| Tabela 34: | Parâmetros de saída calibrados do evento 31/12/16: Uso do solo associados à primeira camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica sul. ....                                 | 128 |
| Tabela 35: | Parâmetros de saída calibrados do evento 31/12/16: Características físico-hídricas dos solos associados à segunda camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica sul. ....    | 129 |
| Tabela 36: | Parâmetros de entrada: Uso do solo associados à primeira camada de infiltração, para o ano agrícola de 2017, na bacia hidrográfica sul. ....   | 129 |
| Tabela 37: | Parâmetros de entrada: Características físico-hídricas dos solos associados à segunda camada de infiltração, para o ano agrícola de 2017, na bacia hidrográfica sul. ....                                | 130 |
| Tabela 38: | Parâmetros de saída calibrados do evento 14/02/17: Uso do solo associados à primeira camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica sul. ....                                 | 132 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 39: Parâmetros de saída calibrados do evento 14/02/17: Características físico-hídricas dos solos associados à segunda camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica sul. .... | 132 |
| Tabela 40: Parâmetros de saída calibrados do evento 12/05/17: Uso do solo associados à primeira camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica sul. ....                              | 134 |
| Tabela 41: Parâmetros de saída calibrados do evento 12/05/17: Características físico-hídricas dos solos associados à segunda camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica sul. .... | 134 |
| Tabela 42: Resultados finais dos parâmetros hidrológicos dos eventos calibrados para as bacias hidrográficas norte e sul. ....   | 136 |

## LISTA DE ANEXOS

|   |     |
|---|-----|
| Anexo 1: Precipitação diária e vazão ( $L s^{-1}$ ) diária nas bacias hidrográficas Norte e Sul<br>.....                                      | 147 |
| Anexo 2: Precipitação diária e vazão ( $L s^{-1} km^2$ ) diária nas bacias hidrográficas Norte e Sul.<br>.....                                | 162 |
| Anexo 3: Precipitação diária e concentração de sedimentos em suspensão (C <sub>ss</sub> ) diária nas<br>bacias hidrográficas Norte e Sul..... | 177 |
| Anexo 4: Precipitação diária e produção de sedimentos (PS) diária nas bacias<br>hidrográficas Norte e Sul.....                                | 192 |

## SUMÁRIO

|              |  |           |
|--------------|--|-----------|
| <b>1</b>     | <b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....  | <b>16</b> |
| <b>2</b>     | <b>HIPÓTESE E OBJETIVOS</b> .....  | <b>18</b> |
| 2.1          | HIPÓTESE.....  | 18        |
| 2.2          | OBJETIVO GERAL .....   | 18        |
| <b>2.2.1</b> | <b>Objetivos específicos</b> .....   | <b>18</b> |
| <b>3</b>     | <b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....   | <b>19</b> |
| 3.1          | Erosão hídrica e degradação do solo.....   | 19        |
| 3.2          | Estudos em escala de bacias hidrográficas .....  | 21        |
| 3.3          | Monitoramento hidrossedimentométrico .....   | 23        |
| 3.4          | Modelagem hidrológica .....  | 26        |
| <b>4</b>     | <b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....   | <b>31</b> |
| 4.1          | ÁREA DE ESTUDO.....  | 31        |
| <b>4.1.1</b> | <b>Localização e clima</b> .....   | <b>31</b> |
| <b>4.1.2</b> | <b>Geologia e geomorfologia</b> .....  | <b>32</b> |
| 4.1.2.1      | <i>Modelo digital de elevação</i> .....  | 33        |
| <b>4.1.3</b> | <b>Rede de drenagem das bacias hidrográficas</b> .....   | <b>33</b> |
| <b>4.1.4</b> | <b>Solos</b> .....   | <b>34</b> |
| <b>4.1.5</b> | <b>Uso do solo</b> .....   | <b>36</b> |
| 4.2          | INSTRUMENTALIZAÇÕES DAS DUAS BACIAS HIDROGRÁFICAS.....   | 38        |
| <b>4.2.1</b> | <b>Histórico da estrutura na área de estudo</b> .....  | <b>38</b> |
| <b>4.2.2</b> | <b>Instrumentalização para o monitoramento hidrossedimentométrico</b> .....                                    | <b>39</b> |
| 4.3          | MONITORAMENTO .....  | 41        |
| <b>4.3.1</b> | <b>Precipitação</b> .....  | <b>41</b> |
| <b>4.3.2</b> | <b>Vazão</b> .....   | <b>41</b> |
| <b>4.3.3</b> | <b>Sedimentos</b> .....  | <b>42</b> |
| 4.3.2.1      | <i>Coleta de sedimentos durante eventos pluviais</i> .....   | 43        |
| 4.3.2.2      | <i>Coleta de sedimentos por meio de amostradores integradores e armazenadores de sedimentos no tempo</i> ..... | 44        |
| 4.3.2.3      | <i>Determinação da curva para a estimativa da concentração de sedimentos em suspensão</i> .....                | 44        |
| 4.3.2.4      | <i>Verificações periódicas dos sensores de turbidez</i> .....  | 46        |
| 4.4          | COMPORTAMENTO HIDROSSEDIMENTOLÓGICO .....  | 46        |
| <b>4.4.1</b> | <b>Histerese</b> .....   | <b>47</b> |
| 4.4.1.2      | <i>Análise quantitativa da histerese</i> .....   | 47        |
| 4.4.1.3      | <i>Separação dos escoamentos de base e superficial</i> .....   | 48        |
| 4.5          | MODELAGEM HIDROLÓGICA .....  | 49        |
| <b>4.5.1</b> | <b>Processos incorporados ao modelo LISEM</b> .....  | <b>50</b> |
| 4.5.1.1      | <i>Precipitação</i> .....  | 50        |
| 4.5.1.2      | <i>Interceptação</i> .....   | 51        |
| 4.5.1.3      | <i>Infiltração</i> .....   | 52        |
| 4.5.1.4      | <i>Processos de superfície: Armazenamento em micro depressões</i> .....  | 52        |
| 4.5.1.5      | <i>Escoamento superficial</i> .....  | 54        |
| <b>4.5.2</b> | <b>Mapas básicos de entrada no software PCraster</b> .....   | <b>55</b> |
| <b>4.5.3</b> | <b>Propriedades físicas para entrada no software PCraster</b> .....  | <b>58</b> |
| 4.5.3.1      | <i>Caracterização físico-hídrica dos solos</i> .....   | 58        |
| <b>4.5.4</b> | <b>Análise estatística</b> .....   | <b>64</b> |
| <b>5</b>     | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....  | <b>65</b> |
| 5.1          | CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA.....   | 65        |

|              |   |            |
|--------------|---|------------|
| 5.2          | COMPORTAMENTO HIDROSEDIMENTOLÓGICO.....   | 74         |
| <b>5.2.1</b> | <b>Precipitação pluvial, vazão e concentração de sedimentos em suspensão .....</b>  | <b>74</b>  |
| 5.2.1.1      | <i>Escala diária .....</i>  | 74         |
| 5.2.1.2      | <i>Escala mensal .....</i>  | 78         |
| 5.2.1.3      | <i>Escala de eventos pluviais .....</i>   | 82         |
| 5.2.1.3.4    | <i>Comparação do comportamento por eventos entre as duas bacias .....</i>           | 103        |
| 5.3          | MODELAGEM HIDROLÓGICA .....   | 105        |
| <b>5.3.1</b> | <b>Parâmetros de entrada do modelo LISEM .....</b>                                  | <b>105</b> |
| <b>5.3.2</b> | <b>Parâmetros de entrada para o ano de 2016 - bacia hidrográfica norte.....</b>     | <b>107</b> |
| 5.3.2.1      | <i>Eventos calibrados para o ano de 2016 - bacia hidrográfica norte .....</i>       | 108        |
| <b>5.3.3</b> | <b>Parâmetros de entrada para o ano de 2017 - bacia hidrográfica norte.....</b>     | <b>118</b> |
| 5.3.3.1      | <i>Evento calibrado para o ano de 2017 - bacia hidrográfica norte .....</i>         | 120        |
| <b>5.3.4</b> | <b>Parâmetros de entrada para ao ano de 2016 – Bacia hidrográfica sul.....</b>      | <b>122</b> |
| 5.3.4.1      | <i>Eventos calibrados para o ano de 2016 - bacia hidrográfica sul .....</i>         | 123        |
| <b>5.3.5</b> | <b>Parâmetros de entrada para ao ano de 2017 – Bacia hidrográfica sul.....</b>      | <b>129</b> |
| 5.3.5.1      | <i>Eventos calibrados para o ano de 2017 - bacia hidrográfica sul .....</i>         | 130        |
| <b>5.3.6</b> | <b>Integração dos resultados da modelagem hidrológica para as duas bacias .....</b> | <b>134</b> |
| <b>6</b>     | <b>CONCLUSÕES.....</b>  | <b>137</b> |
| <b>7</b>     | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>   | <b>139</b> |

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A erosão hídrica é um processo natural, em que uma de suas características expressa-se pela desagregação de partículas de solo pela energia cinética da chuva onde, posteriormente, ocorre o arraste dessas partículas pelo escoamento superficial. No entanto, quando esse processo é intensificado pelas atividades antrópicas, a erosão natural tende a evoluir para erosão acelerada, resultando em altas taxas de desagregação de partículas de solo e, por consequência, resulta em níveis acelerados de produção de sedimentos.

A produção de sedimentos acelerada pode ser considerada como um dos maiores problemas, em escala mundial, no âmbito do efeito de uso das águas e do solo. O carreamento e a deposição de sedimentos, tanto de partículas maiores como menores, promovido pelas ações antrópicas pode afetar diretamente diversas áreas da atividade humana, como a diminuição da vida útil de reservatórios, interferindo na disponibilidade de água para irrigação, abastecimento humano, dessedentação animal e prejuízos à navegação. Adicionalmente, os sedimentos podem transportar nutrientes do solo para os corpos d' água, podendo provocar o efeito de eutrofização e outras formas contaminantes.

Uma das estratégias cabíveis para identificar, compreender e propor estratégias de amenização das ações antrópicas sobre a produção de sedimentos pode ser representada pelo estudo do comportamento dos processos hidrológico e sedimentológicos em escala de bacia hidrográfica, uma vez que os processos afetam o nível de ocorrência da produção de sedimentos. Tais estudos podem ser conduzidos por meio de monitoramento automático contínuo.

Em escala de bacia hidrográfica, a produção de sedimentos contempla as fases da desagregação, transporte de sedimentos das áreas vertentes para as redes de drenagens e a deposição. Uma bacia hidrográfica é formada por divisores de água, caracterizados pelas bordas com relevo mais alto que condiciona a direção dos fluxos de água; as áreas vertentes, responsável pela maior parte da captação da água; e as redes de drenagem, cuja função é conduzir os fluxos de água ao exutório da bacia.

O monitoramento contínuo de bacia hidrográfica é baseado na observação ininterrupta de variáveis explicativas como precipitação, vazão e turbidez da água, por meio de equipamentos automáticos e coletas manuais de sedimentos durante eventos pluviais. No passado, o estudo relacionado aos processos hidrológicos em escala de bacia hidrográfica era desenvolvido pelo conhecimento empírico por alguns estudiosos. Aproximadamente no fim

do século XVIII e início do século XIX teriam surgido as primeiras bacias experimentais com o propósito de estudar o impacto sobre os recursos hídricos.

Nesse contexto, no final da década de 1970, a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação – FAO, juntamente com a EMBRAPA Trigo, iniciaram no município de Quinze de Novembro, RS - à época município de Ibirubá, um projeto piloto de conservação do solo denominado Operação Guarda-Chuva.

Para desenvolver o estudo foram escolhidas duas pequenas bacias hidrográficas pareadas representativas das condições geomorfológicas da região, onde um dos objetivos principais do projeto era estudar a consequência do arraste de sedimentos dessas bacias para o reservatório Passo Real, cuja capacidade de armazenamento é de aproximadamente 225 km<sup>2</sup>, e promover uma cultura conservacionista naquela região.

A instrumentalização para a condução dos estudos contou com a construção de dois vertedores triangulares nos exutórios de duas pequenas bacias hidrográficas pareadas. No entanto, posteriormente, foi verificada a existência de formações de depósitos de sedimentos a montante de um dos vertedores, o que subestimaria a produção de sedimentos de uma das bacias. Frente a essa problemática, as pesquisas não avançaram.

Diante do exposto, quatro décadas depois, buscaram-se esforços conjuntos para a condução de um novo estudo de erosão do solo naquelas bacias hidrográficas, haja vista a existência dos vertedores triangulares outrora construídos, mas com instrumental de medição diferenciado.

O presente estudo propõe a descrição dos processos hidrológicos e sedimentológicos e a aplicação de uma ferramenta de modelagem matemática para a predição de cenários hidrológicos ocorrentes em duas bacias hidrográficas pareadas. O uso de técnicas de modelagem hidrológica em escala de bacia hidrográfica possibilita observar as influências das práticas agrícolas sobre o regime hídrico em determinada área de interesse, por meio de simulações computacionais que permitem traçar cenários presentes e futuros.

## **2 HIPÓTESE E OBJETIVOS**

### **2.1 HIPÓTESE**

O uso do solo com produção de grãos e pecuária leiteira proporciona rápida resposta na vazão e geração de sedimentos frente a eventos de chuva de diferentes magnitudes e intensidades, e essa dinâmica é satisfatoriamente predita pelo LISEM.

### **2.2 OBJETIVO GERAL**

Descrição dos processos hidrológicos e sedimentológicos e aplicação da ferramenta de modelagem Limburg Soil Erosion Model (LISEM) por meio de um banco de dados observados em duas pequenas bacias hidrográficas rurais pareadas com produção de grãos e pecuária leiteira.

#### **2.2.1 Objetivos específicos**

- Quantificação das variáveis hidrológicas e sedimentológicas por meio de monitoramento automático e coletas manuais durante eventos pluviais;
- Simulação das descargas líquidas com emprego do Limburg Soil Erosion Model (Lisem).

### 3 REVISÃO DA LITERATURA

#### 3.1 Erosão hídrica e degradação do solo

A crescente demanda pela produção de alimentos e energia no mundo contribui para o uso intensivo do solo e, em alguns casos, ao uso inadequado e não conservacionista dos recursos naturais, o que favorece a ocorrência acelerada dos processos erosivos nos solos agricultáveis.

A erosão do solo envolve os processos de desagregação, transporte e deposição de partículas de solo, sendo que a deposição ocorre quando não há mais energia para o transporte das partículas (Morgan, 2005). Em todo o mundo, o tema da erosão hídrica do solo recebe muita preocupação devido ao aumento dos problemas causados ao meio ambiente e às suas consequências econômicas (Prosdocimi et al., 2015).

A compreensão das propriedades relacionadas ao solo é importante para o entendimento dos processos erosivos (Bryan, 1999). A energia proporcionada pelo escoamento superficial, que é um dos principais agentes ativos da erosão, envolve também a complexidade geomorfológica. O salpico de partículas do solo causado pelo impacto da gota de chuva na superfície do solo depende das condições do solo.

Uma parte da energia de impacto da gota é responsável pelo umedecimento e ruptura de partículas do solo, enquanto o restante é convertido para uma força reativa, agindo para cima e ao redor do ponto de impacto. A força reativa arrasta e transporta as partículas do solo. Essa força depende das características da chuva, do vento, do dossel e das condições do conteúdo de água do solo. O vento pode aumentar a velocidade e alterar o ângulo de impacto, enquanto que o distúrbio do dossel altera o tamanho e velocidades de impacto (Bryan, 1999).

Ainda sobre a contribuição do efeito do salpicamento no processo de desagregação de partículas, Bryan (1999) considera que, quando esse ocorre sobre solo solto e seco, mais energia é necessária na ruptura de partículas ou deformação; contudo, à medida que o conteúdo de água do solo aumenta, o solo se torna fluidizado, tornando-se vulnerável ao arrastamento. O ponto crítico do desprendimento ocorre quando o salpico começa a interagir com o escoamento superficial. O efeito do salpico é, também, influenciado pela rugosidade da superfície do solo.

A desagregação das partículas inicia com o impacto da gota de água da chuva natural ou artificial, sendo que as partículas de argila apresentam maior resistência à desagregação porque possuem cargas elétricas em sua superfície (Bryan, 1999; Kochem, 2014). Nas

partículas de areia a resistência é conferida ao seu peso. Materiais mais finos como a matéria orgânica e a argila são transportados com mais facilidade devido ao menor peso. As frações mais grossas, como a areia, apresentam maior resistência ao transporte. Quanto à deposição, a fração argila é transportada por uma distância mais longa e é depositada apenas quando a água se torna estática, depositando as partículas que estavam sendo carreadas.

Os processos de ocorrência da erosão podem ser considerados como um fenômeno natural, podendo ser agravado pelas ações antrópicas (Londeiro, 2015), principalmente quando essas ações são conduzidas de forma não conservacionista. Nesse sentido, a desagregação acelerada e transporte de partículas de solo pode ser considerada como uma das principais causas da degradação dos solos agricultáveis, ocasionando a diminuição da fertilidade natural, gerando uma agricultura insustentável (Colazo e Buschiazzo, 2015).

A preocupação com a degradação do solo é de grande importância porque envolve a perda da qualidade dos recursos naturais como solos, água e biodiversidade, refletindo no aumento dos problemas socioeconômicos como pobreza, perda de moradias por deslizamentos e por enxurradas e perda de áreas produtivas pela erosão, estando associada a um grande número de outros processos de degradação (Barros, 2012).

Nesse contexto, a produção de sedimentos é uma das principais consequências da erosão hídrica e sua quantificação é importante porque podemos correlacionar práticas de conservação do solo e da água com o comportamento das descargas sólidas (Minella et al., 2009) em bacias hidrográficas.

Corroborando com essa afirmativa, Bispo et al. (2016) consideram que o uso inadequado dos solos favorece o transporte de sedimentos em áreas vertentes de bacias hidrográficas para cursos de água. Essa dinâmica de mobilização, transporte e deposição de sedimentos pode acarretar em uma série de problemas econômicos e ambientais relacionado ao uso da água, afetando a produtividade das terras agrícolas e a qualidade do abastecimento humano.

Os principais condicionantes que afetam as taxas de erosão do solo pela água são a precipitação, tipo de solo, topografia, uso do solo e manejo de terras (Panagos et al., 2015). O processo de degradação e as taxas de perda de solo excedem as estimativas de formação do solo (Alewell et al., 2015). Nesse sentido, para Boardman e Poesen, (2006), a erosão do solo está entre os oito ameaças listadas na *Soil Thematic Strategy of the European Commission* (2006), tornando-se parte da agenda ambiental da União Europeia devido aos seus impactos na produção de alimentos e ao equilíbrio dos ecossistemas.

### 3.2 Estudos em escala de bacias hidrográficas

Existem crescentes discussões e preocupações em equilibrar a crescimento econômico com a conservação dos recursos naturais. Há desafios em tornar sustentável o processo produtivo para atender o aumento da demanda da população e evitar problemas como escassez de água, redução da biodiversidade e a perda da base ecossistêmica (Klipel, 2016).

Uma das primeiras iniciativas para tentar tornar os processos produtivos sustentáveis é buscar a compreensão de como e onde os processos ocorrem. As interações dos processos produtivos ocorrem no ambiente de bacias hidrográficas, e esses têm influência quantitativa e qualitativa direta sobre os processos hidrológicos (Andrade et al., 2013).

Nesse contexto, as bacias hidrográficas são unidades atualmente adotadas e consideradas essenciais para a análise e planejamento ambiental dentro de um contexto sistêmico, em diferentes áreas do conhecimento, servindo para estudos integrados.

O entendimento do conceito de bacia hidrográfica pode ser descrito como uma determinada área de captação da água de precipitação que faz convergir o escoamento superficial e subsuperficial. A bacia hidrográfica compõe um conjunto de superfícies vertentes e de ramificações de redes de drenagens, formada por cursos de água que se unem até resultar em um canal principal com seu exutório (Tucci, 1997).

A bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema representativo das condições geomorfológicas. Nelas ocorrem os balanços de entrada e saída da água através do exutório, permitindo que sejam delineadas sub-bacias, cuja interconexão se dá pelos sistemas hídricos (Porto e Porto, 2008).

As atividades humanas se desenvolvem sobre os territórios das bacias hidrográficas. Todas as áreas urbanas, industriais, agrícolas ou de preservação fazem parte de alguma bacia hidrográfica. No exutório das bacias ocorrem as descargas líquidas. Por meio do estudo dessas descargas é possível traçar as características dos comportamentos hidrológicos e erosivos que ocorrem à jusante, bem como as formas de ocupação das áreas do território (Porto e Porto, 2008).

Os principais componentes da paisagem formadores de uma bacia hidrográfica são os divisores de água, que são as áreas na borda da bacia cujo relevo é mais elevado, o qual condiciona os fluxos de água para o talvegue. As vertentes, maior área de captação da água da chuva, que condiciona os fluxos superficiais e subsuperficiais. As redes de drenagens, responsáveis por conduzir os fluxos superficiais em direção ao exutório, e as áreas úmidas, importantes por controlar muitos processos (Barros, 2012).

Nesse sentido, o conhecimento das características morfológicas de uma bacia hidrográfica é um dos primeiros e mais importantes métodos para conduzir estudos hidrológicos e sedimentológicos em escala de bacias. O objetivo dessa estratégia é buscar entendimento das várias questões relacionadas com a dinâmica ambiental local e regional (Teodoro et al., 2007).

De acordo com esse entendimento, a Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecida pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, define normas regimentais considerando o âmbito de bacias hidrográficas como unidade de gestão de recursos hídricos. Esse reconhecimento tornou indispensável o comprometimento dos pesquisadores em compreender os processos acorrentes em bacias hidrográficas para a condução de estudos hidrológicos e ou sedimentológicos (Teodoro et al., 2007).

A Conferência Internacional Sobre Água e Meio Ambiente, realizada em 1992, na Irlanda, considerou a premissa de gestão dos recursos hídricos baseado no âmbito territorial das bacias hidrográficas. Os princípios dessa conferência foram acordados na reunião preparatória à Rio 92. Um desses princípios considerou que a gestão dos recursos hídricos, para ser efetiva, deve ser integrada e considerar todos os aspectos, morfológicos, físicos e sociais. Ainda nesse viés, para que essa integração tenha o foco adequado, sugere-se que a gestão esteja baseada representativamente pelas bacias hidrográficas (WMO, 1992).

A Conferência de Mar del Plata, realizada em 1977, na Argentina, foi um dos primeiros eventos globais organizado pelas Nações Unidas relacionado à problemática global da água. Uma das decisões resultantes dessa reunião baseou-se na recomendação aos Estados participantes que fossem criadas entidades internas para gerenciamento das bacias hidrográficas, possibilitando o melhor direcionamento e integração dos recursos hídricos (Dourojeanni, 1997).

Em 1976, esforços conjuntos culminaram na criação do Comitê Especial de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas (CEEIBH). A criação desse comitê proporcionou experiências importantes para a gestão em bacias hidrográfica (Porto e Porto, 2008). Posteriormente a efetivação da Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, constituiu o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, cujo objetivo é gerir e arbitrar conflitos relacionados aos recursos hídricos.

No Rio Grande do Sul, a Lei Estadual nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994 estabeleceu as diretrizes da política estadual de recursos hídricos e os instrumentos de planejamento e de gestão.

### 3.3 Monitoramento hidrossedimentométrico

O estudo do comportamento hidrossedimentológico no âmbito de bacias hidrográficas é crucial para diagnósticos de problemas e gerenciamento inerentes aos recursos hídricos, principalmente no âmbito da agricultura e abastecimento público. O emprego de redes de monitoramento hidrossedimentométrico mostra-se como uma importante ferramenta para compreensão da dinâmica dos fenômenos envolvidos, tais como chuva, vazão, formação de escoamento superficial e produção de sedimentos (Bartels, 2015).

Os processos hidrossedimentológicos que ocorrem em bacias hidrográficas compreendem a vazão, o escoamento superficial, a desagregação, o transporte e a consolidação de sedimentos, sendo que o monitoramento das variáveis envolvidas é fundamental para a compreensão de tais processos (Minella, 2007).

O monitoramento dos processos hidrológicos e sedimentológicos são complexos e dispendiosos. Mas é por meio dessa técnica que se possibilita registrar dados de precipitação pluvial, escoamento superficial, escoamento de base e estimativa de produção de sedimentos em uma determinada bacia hidrográfica. O conhecimento dessas informações é de grande importância para o planejamento das áreas de produção, com a perspectiva da redução dos processos de erosão e para a contribuição com o maior armazenamento de água no solo. Krolow (2017).

Dessa forma, as constantes alterações de uso do solo, se conduzidas sem conhecimentos técnicos, podem tornar-se degradantes no âmbito do uso dos recursos hídricos. Os recursos hídricos devem ser conhecidos e mensurados para que se possa planejar a gestão dos ambientes de forma coerente e eficiente (Silva, 2017).

Nas bacias hidrográficas ocorrem os mais dinâmicos processos hídricos, tais como o deslocamento das águas, desagregação e transporte de partículas do solo. Uma importante ferramenta para análise e compreensão da dinâmica da concentração de sedimentos em suspensão é a histerese. A análise se inicia com a graficação dos valores de vazão e concentração de sedimentos em suspensão em função do tempo, obtendo-se a relação entre as variáveis, representando a curva da histerese (Minella et al., 2011).

Esses processos ocorrem de forma interativa com as atividades agropecuárias e florestais. Dessa forma, é de grande importância à condução de estudos em bacias hidrográficas considerando-as como unidade geográfica e ideal para se caracterizar, diagnosticar, avaliar e planejar o uso dos recursos. Tal argumento corrobora com Santos, et al. (2009), o qual sugere que o conhecimento sobre o regime hídrico em uma bacia hidrográfica é

essencial nos estudos hidrológicos e servem como base para projetos de diferentes usos de água, tornando-se uma ferramenta imprescindível para um gerenciamento conservacionista e sustentável (Holanda et al. 2015).

Diante do exposto, um estudo hidrossedimentométrico foi conduzido por (Ares et al., 2016), durante os anos de 2011 e 2013, em uma bacia hidrográfica de 5,6 km<sup>2</sup>, com drenagem direcionada para o rio Del Azul, localizada no centro da província de Buenos Aires, na região dos pampas argentinos, sob clima temperado úmido e precipitação média anual de 914 mm. Os autores avaliaram fatores influenciáveis na produção de sedimentos e a relação entre os comportamentos hidrológicos e sedimentológicos. Um dos resultados evidenciou que a maior produção de sedimentos ocorreu durante o período de chuvas acima da média no ano de 2012. Esse fator estaria relacionado com a menor vegetação de cobertura no período, consistindo predominantemente de resíduos de soja ou culturas nos estágios iniciais do crescimento, que podem ter reduzido seu efeito como barreira para controle da produção de sedimentos.

O impacto dos eventos extremos de El Niño no transporte de sedimentos nos Andes peruanos ocidentais foi estudado por Morera et al. (2017). Nesse estudo, 20 estações hidrológicas equipadas com linígrafos monitoraram 20 bacias hidrográficas, com uma área de superfície variando de 638 a 16.949 km<sup>2</sup>, ao longo da costa peruana ocidental. O estudo compilou dados de sedimentos suspensos diários de 1968 a 2012, para as 20 bacias hidrográficas montanhosas. Os resultados demonstraram que a distribuição espacial de sedimentos em suspensão anual médio está correlacionada com a distribuição espacial da precipitação e do escoamento de água. Adicionalmente, as variações da concentração de sedimentos são mais fortemente influenciadas pelos eventos extremos de El Niño do que eventos moderados. Os autores destacam que naquela região não ocorrem eventos extremos de El Niño desde agosto de 1998. Assim, durante as quase duas décadas posteriores (1998-2015), o material erodido de porções superiores das bacias hidrográficas foi depositado nas margens dos rios ao longo dos montes. Futuros eventos extremos de El Niño podem transportar mais sedimentos em relação aos eventos extremos ocorridos antes de 1998.

Um estudo hidrossedimentológico em uma bacia hidrográfica rural e pouco povoada na Argélia foi conduzido por Megnounif e Ghenim (2016). O uso do solo na bacia estudada era predominantemente agricultura tradicional onde a agricultura moderna era praticada em pequenas áreas. O objetivo do estudo foi esclarecer o desconhecimento das respostas às mudanças na precipitação em ecossistemas semiáridos e enfatizar as principais mudanças no funcionamento de uma pequena bacia hidrográfica do Mediterrâneo em termos de produção de sedimentos. Os resultados principais indicaram que foram detectadas alterações

significativas na quantificação dos sedimentos. Adicionalmente, a inclinação da curva de classificação de sedimentos forneceu informações sobre seu regime de transporte. Além disso, evidenciou-se a influência da irregularidade da chuva no processo de escoamento em ambientes semiáridos e seus impactos no rendimento dos sedimentos.

Um estudo para identificar, a médio e curto prazo, mudanças nos padrões de transporte de sedimentos em suspensão em uma bacia hidrográfica no território colombiano foi gerido por Higgins et al. (2015). A bacia hidrográfica estudada ocupa uma área de 24% do território colombiano, onde suas águas drenam para o rio Magdalena. Para auxiliar no estudo, foram utilizados dados de descarga diária e fluxo de transporte de sedimentos coletados entre os anos de 1990-2010. Os resultados do monitoramento revelaram taxas anuais de transporte de sedimentos estimadas em 169 a 106 Mg entre os anos de 1990 a 1999 e 145 a 106 Mg para os anos de 2000 a 2010. Também se observou uma diminuição na taxa de transporte de sedimentos em suspensão de 14% entre esses dois períodos.

No Brasil, um estudo hidrossedimentológico foi conduzido por Filho et al. (2016) para estudar as características das chuvas e sua relação com a produção de sedimentos em três micro bacias hidrográficas com áreas superficiais de 2,06, 1,15 e 1,19 hectares, localizada na região central do estado do Ceará, manejadas com caatinga em regeneração, caatinga raleada e desmatamento/queima/plantio de pastagem. Para a condução do estudo foram monitorados 200 eventos pluviais, escoamento superficial e produção de sedimentos entre os anos de 2010 a 2015. Os resultados evidenciaram que a adoção do manejo caatinga raleada reduziu a produção de sedimentos em 53,5 %, enquanto que desmatamento/queima/plantio de pastagem promoveu um aumento das perdas de solo de 14 % em relação à caatinga em regeneração.

As relações entre processos hidrossedimentológicos numa bacia hidrográfica rural denominada Arroio do Ouro, com área de 17,17 km<sup>2</sup>, localizada entre os municípios de Pelotas e Morro Redondo, no estado do Rio Grande do Sul foi estudada por Bartels (2015). O estudo ocorreu durante os meses de abril a outubro de 2014, onde foram monitorados 13 eventos de precipitação, com diferentes características e em diferentes condições de uso e manejo do solo. A produção de sedimentos mostrou-se diretamente relacionada com a magnitude dos eventos de precipitação. Apenas um evento extremo foi responsável por 59,4% da produção total de sedimentos de todos os eventos monitorados. O comportamento do laço de histerese não apresentou predominância em um único sentido. No entanto, os eventos de pequena magnitude apresentaram padrão de histerese em sentido anti-horário.

No sul do Brasil, um estudo hidrossedimentológico em duas bacias hidrográficas florestais, com áreas superficiais de 94,46 e 38,86 hectares, situadas em Eldorado do Sul, no

estado do Rio Grande do Sul, durante o período de fevereiro a agosto de 2011, foi realizado por Rodrigues (2011). O objetivo central do monitoramento foi avaliar os efeitos dos cultivos de eucalipto nos processos hidrossedimentológicos. Os resultados demonstraram que eventos pluviais com maior intensidade máxima de precipitação evidenciaram que a pequena área de drenagem e o relevo mais acentuado da sub-bacia geraram respostas rápidas na vazão e concentração de sedimentos. A produção de sedimentos foi de 38,41 e 33,65 Mg km<sup>-2</sup>, durante os seis meses de monitoramento para a bacia e para a sub-bacia, respectivamente.

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica com intensa atividade agrícola a partir do monitoramento da precipitação, da vazão e da concentração de sedimentos em suspensão foi observado por Barros (2012). A bacia localiza-se no município de Arvorezinha, região centro-norte do estado do RS, com área de drenagem de 1,19 km<sup>2</sup>, com predomínio de solos rasos, encostas declivosas, intensa atividade agrícola e elevada produção de sedimentos. Foram monitorados 77 eventos de chuva-vazão-sedimentos ocorridos entre setembro de 2009 e agosto de 2011. Os resultados demonstraram que eventos de elevada magnitude o efeito climático é superior aos efeitos do uso e manejo do solo. Adicionalmente, a ausência da mata ciliar, faixa de retenção e outras práticas conservacionistas poderiam atenuar a elevada produção e mobilização dos sedimentos e de poluentes que chegam até os rios. Ainda segundo a autora, a análise em escala de eventos pluviais possibilitou a verificação da produção total de sedimentos de forma mais adequada.

### 3.4 Modelagem hidrológica

Bacias hidrográficas consistem em superfícies de captação e liberação de água sobre um ou mais canais de escoamento. Os canais desagüam em canais superiores e assim sucessivamente. Dessa forma, as bacias podem ser consideradas instrumentos de estudo para a maioria dos modelos hidrológicos porque constituem uma unidade espacial representativa dos processos hidrológicos e sedimentológicos de determinada região (Rennó e Soares, 2007).

A modelagem hidrológica pode ser compreendida como um sistema de equações e procedimentos compostos por variáveis e parâmetros relacionados ao fluxo de água e seus constituintes sobre alguma parte da superfície e/ou subsuperfície terrestre. As ferramentas de modelagem estão tornando-se cada vez mais utilizadas em estudos ambientais porque auxiliam no entendimento dos impactos das mudanças no uso e cobertura da terra e para a predição de alterações futuras no ambiente modelado (Rennó e Soares, 2007).

Com o aumento da eficiência da computação das últimas décadas, houve uma rápida ascensão na exploração de estudos relacionados à hidrologia e ao transporte de sedimentos em bacias hidrográficas por meio do uso de modelos de computador. A gama de usuários de ferramentas de modelagem é extremamente diversificada, diferindo em nível de detalhes e escalas em que essas questões são abordadas e manuseadas Merrit et al. (2003).

A estrutura dos modelos hidrológicos difere em complexidade, intenções de uso e quantidade de dados necessários para a calibração do modelo. A escolha do modelo mais apropriado está dependente do uso pretendido, escala de avaliação dos processos e as características da bacia hidrográfica. Os modelos podem ser enquadrados em empírico/estatístico, conceitual ou de base física (Merrit et al., 2003).

Os modelos empíricos são geralmente os mais simples. As demandas computacionais e complexidade de dados são geralmente menores. O recurso mais importante nesse tipo de modelo é o alto nível de espaço de armazenamento de informações. Eles são particularmente úteis como primeiro passo na identificação de fontes de sedimentos e análise de nutrientes. Os modelos empíricos são comumente criticados por ignorar a heterogeneidade de chuvas e tipos de solo sobre a física da bacia hidrográfica Merrit et al. (2003).

Os modelos conceituais desempenham um papel intermediário entre os modelos empíricos e os modelos de base física. Os modelos conceituais incorporam os mecanismos de geração de sedimentos e escoamentos em sua estrutura. Essas informações interagem com as informações dos caminhos dos fluxos na bacia hidrográfica para, a partir disso, descrever os processos de captação, sem incluir detalhes específicos das interações. Os valores dos parâmetros para modelos conceituais são obtidos por meio da calibração com dados observados, tais como medições de descargas líquidas e sólidas no exutório da bacia (Merrit et al., 2003).

Os modelos de base física utilizam solução de equações físicas para descrever o fluxo e descargas líquidas e de sedimentos em uma bacia hidrográfica. Os parâmetros utilizados nesses modelos são mensuráveis. O grande número de parâmetros envolvidos e a heterogeneidade de características das bacias hidrográficas demanda calibração dos dados modelados em relação aos observados. As equações que regem os processos são derivadas de pequena escala e sob muitas condições físicas específicas. No entanto, estas equações podem ser usadas em escalas maiores e sob condições físicas heterogêneas (Merrit et al., 2003).

### 3.4.1 Limburg Soil Erosion Model (LISEM)

O *Limburg Soil Erosion Model* - LISEM (Modelo de Erosão do Solo) foi desenvolvido pelo Departamento de Física e Geografia da Universidade de Utrecht e a Divisão de Física do Solo no Winard Staring Centre in Waneningen, na Holanda. Trata-se de um modelo hidrológico baseado em equações de base física que pode ser usado para fins de planejamento e conservação.

O modelo LISEM foi desenvolvido para simular o escoamento e o transporte de sedimentos promovido por eventos pluviais individuais nas bacias hidrográficas. Os principais processos incorporados no modelo são precipitação, interceptação, armazenamento em micro depressões, infiltração, movimento vertical da água no solo, fluxo de canais, desprendimento por precipitação e capacidade de transporte do fluxo. A influência das rodas de trator, selagem superficial e pequenas estradas pavimentadas são também levados em consideração (De Roo e Ritsema, 1996).

Para os cálculos de infiltração e transporte vertical de água no solo, um dos recursos mais empregados no modelo LISEM é a equação de Green-Ampt para uma ou duas camadas de solo, dependendo da amplitude da caracterização física disponível de determinada bacia a ser modelada (De Roo e Ritsema, 1996). O modelo LISEM elabora uma representação espacial da bacia hidrográfica no formato raster, especificado por um tamanho de pixel. Dessa forma, gera-se uma representação detalhada dos processos em cada pixel, em uma estrutura de comando SIG integrada a uma plataforma PCRaster (Van Deursen e Wesseling, 1992) gerenciada por linguagem de programação.

Para desencadear a simulação no modelo LISEM são necessários aproximadamente 25 mapas que representam a morfologia da bacia hidrográfica, tais como o índice da área foliar, rugosidade aleatória do solo e a fração do solo com cobertura vegetal. Juntamente com os mapas, devem ser inseridos um arquivo com a informação temporal e intensidade de eventos pluviais individuais (Merrit et al., 2003).

A desagregação e transporte de sedimentos é calculada pelo método da onda cinemática juntamente com a equação de Manning. Para cada célula da grade, a precipitação e a interceptação pelas plantas são calculadas, depois a infiltração e o armazenamento superficial são subtraídos para obter o escoamento superficial líquido, posteriormente, os cálculos propagam-se para a célula vizinha e assim sucessivamente (Moro et al., 2009). Como recursos de saída, dados em formato ASCII são fornecidos e podem ser usados para traçar

hidrogramas e sedimentogramas, além disso, mapas de erosão do solo podem ser produzidos (De Roo e Ritsema, 1996).

Algumas desvantagens podem ser observadas em relação ao emprego do modelo LISEM. Dentre elas, o extenso banco de dados de entrada e numerosos parâmetros de calibração tornando honeroso o processo de ajuste dos dados modelados em relação aos observados. Demanda elevado número de coletas em campo e posteriores análises laboratoriais. Ainda, o modelo não possui métodos de otimizações inseridos no software. No entanto, mesmo frente a essas desvantagens, o uso do LISEM permite simular o transporte de sedimentos e os aspectos hidrológicos durante e imediatamente após um único evento de chuva em pequenas bacias hidrográficas (Pereira, 2010).

Diante do exposto, Grum et al. (2017) avaliaram o desempenho do modelo LISEM na previsão de respostas hidrológicas na bacia hidrográfica de Gule, com área de 12 km<sup>2</sup>, localizada no norte das montanhas altas do semi-árido da Etiópia. O modelo teve desempenho suficiente para a maioria dos eventos calibrados, apresentando coeficiente Nash e Sutcliffe (COE) > 0,5, considerado satisfatório. O LISEM representou melhor o escoamento superficial para a sub-bacia do que toda a bacia hidrográfica devido ao aumento da complexidade espacial e tamanho da área de captação. Cada evento precisou ser calibrado separadamente devido às diferenças de escala temporal e as características variáveis das chuvas.

Um estudo de modelagem em uma bacia hidrográfica de 0,47 km<sup>2</sup> localizada a noroeste de Strasbourg, na França, foi conduzido por Lefrancq et al. (2016). O uso da bacia consistia predominantemente com culturas de milho, trigo de inverno, beterraba e estradas de terra e pavimentadas. O objetivo do estudo foi parametrizar o modelo LISEM para futuros modeladores decidirem quais parâmetros precisam ser calibrados para predições do escoamento superficial durante eventos de chuva. Os resultados demonstraram que o volume total de descarga líquida foi subestimado pelo modelo LISEM. Segundo os autores, esse comportamento pode ser explicado pela ausência de algum componente de descarga, como fluxo subterrâneo, no final do evento, durante a etapa de recessão. A alta de pico e o tempo de pico foram modelados corretamente. Os resultados da parametrização foram utilizados por consultores, técnicos e agricultores da *Chambre d'Agriculture d'Alsace*. Esse exemplo ilustra a viabilidade da abordagem de técnicas de modelagem ao fornecerem informações valiosas de respostas complexas difíceis de serem avaliadas por outros meios (Lefrancq et al., 2016).

O comportamento hidrológico em uma bacia experimental de 0,11 km<sup>2</sup>, localidade em um distrito centro-norte de Portugal foi observado por Van Eck et al. (2016). O objetivo do estudo foi avaliar o desempenho de um modelo de predição de chuva-escoamento (LISEM)

em um ambiente monitorado durante dois anos. O desempenho do modelo também foi avaliado de acordo com diferentes condições de repelência de água do solo, medido no campo. Os resultados demonstraram boa representação entre os dados simulados em relação aos observados, evidenciado pelo coeficiente Nash e Sutcliffe (COE), sendo capaz de simular o pico total do escoamento da maioria dos eventos monitorados.

No Brasil, um estudo utilizando o modelo LISEM para representar e prever os processos hidrológicos e a relação desses processos com o cultivo de eucalipto em duas bacias hidrográficas foi conduzido por Rodrigues et al. (2014). As bacias possuem áreas superficiais de 0,94 km<sup>2</sup> e 0,38 km<sup>2</sup>, localizadas no sul do Brasil. O modelo LISEM permitiu uma representação adequada da descarga de pico e do volume de escoamento total, embora a forma do hidrograma não tenha sido reproduzida de forma satisfatória. No entanto, os resultados evidenciaram a importância de técnicas de modelagem para o gerenciamento de recursos naturais.

Técnicas de modelagem hidrológica com emprego do modelo LISEM foram empregadas por Barros et al. (2014) na bacia hidrográfica do Lajeado Ferreira, com área de drenagem 1,19 km<sup>2</sup>, localizado na cidade de Arvorezinha, no sul do Brasil. O LISEM apresentou bom desempenho na representação dos processos hidrológicos, permitindo a identificação dos parâmetros físicos do solo que controlam a magnitude e a forma dos hidrogramas.

O LISEM foi empregado para um estudo de modelagem hidrológica por Mello e Beskow (2008) na bacia hidrográfica do Ribeirão Marcela, com área de drenagem de 0,47 km<sup>2</sup>, localizada no município de São João Del Rei, no estado de Minas Gerais. O objetivo foi estudar a influência de diferentes cenários sobre a formação do escoamento superficial direto, identificando possíveis usos do solo que mais predisponham à ação do escoamento superficial direto. Os resultados demonstraram que o cenário milho aos 15 dias após o plantio foi o uso que mais dispôs a bacia aos impactos ambientais. Os usos do solo representados por mata natural, eucalipto e café, aos 35 meses após o plantio, foram os mais eficientes para atenuar os efeitos das vazões máximas para precipitações de 48,0 mm h<sup>-1</sup>. Adicionalmente, o valor de umidade inicial do solo mais adequado foi aquele obtido em baixas tensões, com a umidade próxima à saturação do solo.

Diante do exposto, entende-se que o monitoramento e a compreensão dos processos hidrológicos, aliado às técnicas de modelagem hidrológica, representam uma poderosa ferramenta a ser utilizada na previsão dos principais processos físicos ocorrentes em bacias hidrográficas, representando um recurso para o gerenciamento do uso sustentável.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

#### 4.1.1 Localização e clima

A área de estudo compreende duas pequenas bacias hidrográficas rurais pareadas, denominadas de bacia norte e bacia sul, com áreas de drenagem de 1,08 km<sup>2</sup> e 0,66 km<sup>2</sup>, respectivamente. As bacias estão localizadas no município de Quinze de Novembro, na região fisiográfica do Planalto Meridional do estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). As coordenadas centrais das bacias norte e sul são 28°45'17.728"S; 53°6'11.121" W e 28°45'34.272" S; 53°6'28.829" W, Datum Sirgas 2000, respectivamente.

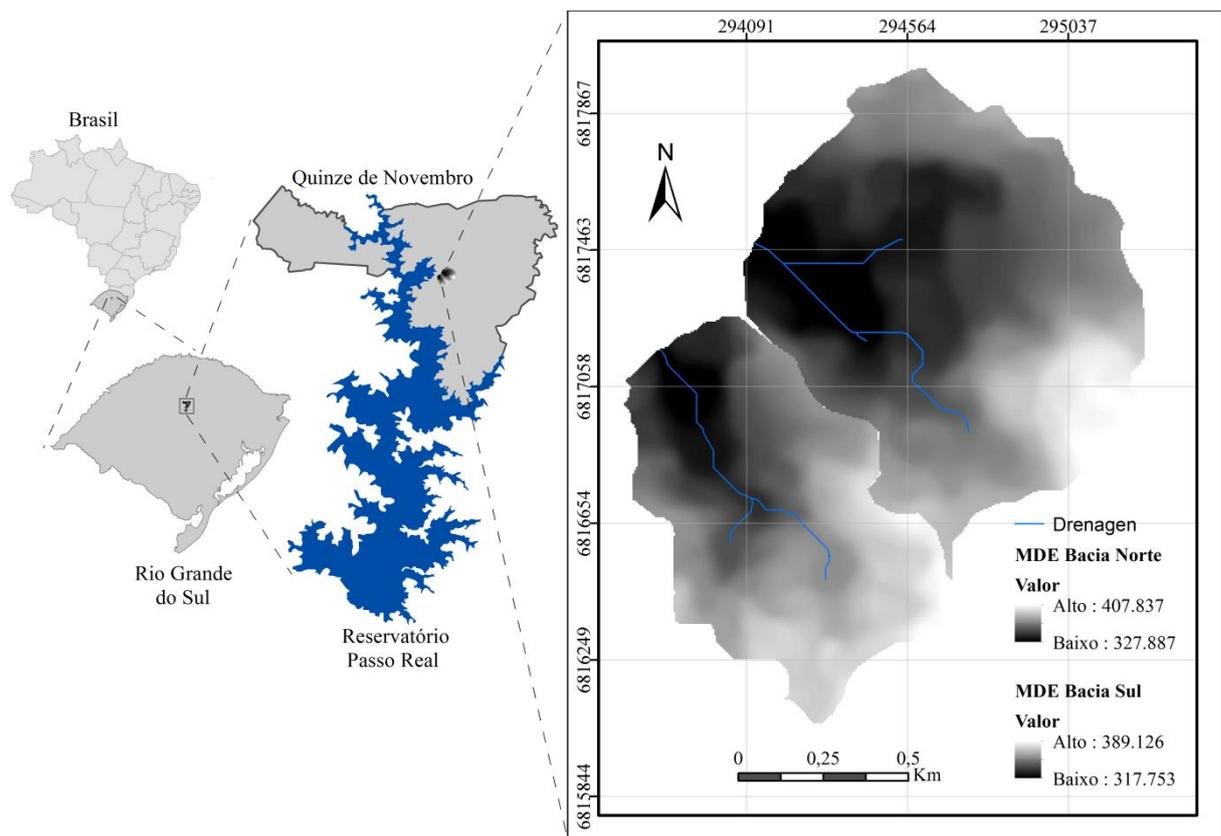


Figura 1: Localização do município de Quinze de Novembro, do Reservatório Passo Real e das duas bacias hidrográficas rurais pareadas em estudo.

Onde: MDE: Modelo digital de elevação.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Essas bacias são representativas da região fisiográfica do Planalto Meridional pela sua ocupação para a produção de grãos e pecuária leiteira. Suas águas drenam para a barragem do reservatório Passo Real, que está inserida na bacia hidrográfica do Alto Jacuí, onde suas águas drenam para a bacia hidrográfica do Baixo Jacuí.

O reservatório Passo Real (Figura 1) foi construído na década de 1970, sendo considerado o maior lago artificial do Rio Grande do Sul. A extensão do reservatório varia de acordo com o nível da água, aproximando-se de 222 km<sup>2</sup>, e possui a contribuição de três afluentes: os rios Jacuí, Jacuí-Mirim e Ingaí. A construção da usina hidroelétrica com seis comportas foi inaugurada em 1973 e compõe um sistema de geração de energia concedido pela Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE), cuja potência de geração de energia é de, aproximadamente, 158 MW, com vazão natural aproximada de 36 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> (Trentin, 2009). O reservatório contribui com a regulação da vazão para os aproveitamentos a jusante e suas águas atingem os territórios dos municípios de Fortaleza dos Valos, Salto do Jacuí, Campos Borges, Quinze de Novembro e Selbach.

A bacia hidrográfica do Alto Jacuí, onde a área de estudo está inserida, está localizada na porção centro-norte do Estado do Rio Grande do Sul, entre as coordenadas geográficas 28°08' a 29°55' de latitude sul e 52°15' a 53°50' de longitude oeste. Abrange as províncias geomorfológicas Planalto Meridional e Depressão Central. Possui área de 12.985,44 km<sup>2</sup>, envolvendo municípios como Carazinho, Cruz Alta, Passo Fundo, Sobradinho e Tupanciretã, com população estimada em 366.628 habitantes. Os principais cursos de água da bacia hidrográfica do Alto Jacuí são os rios Jacuí, Jacuí-Mirim, Jacuízinho, dos Caixões e Soturno. Os principais usos da água se destinam a irrigação, dessedentação animal e consumo humano (SEMA, 2012).

O clima da região é enquadrado na classificação climática de Köppen como subtropical úmido com verão quente (Cfa). A temperatura do mês mais quente é superior a 22 °C e a do mês mais frio é superior a 3 °C, com temperatura média anual de 18 °C e precipitação média anual de 1.750 mm (Álvares et al., 2013).

#### **4.1.2 Geologia e geomorfologia**

A geologia das duas bacias hidrográficas em estudo pertence à Província do Paraná, dominada pelo Grupo São Bento, da Formação Serra Geral, com derrames de basaltos (rochas ígneas eruptivas ricas em silicatos de magnésio e ferro), basaltos andesitos (rochas ígneas vulcânicas de composição intermediária), riocacitos (rochas ricas em sílica, de origem

vulcânica explosiva) e riolitos (rochas ígneas vulcânicas extrusivas, correspondente ao granito, com arranjo orientado pelo movimento da lava). Os derrames vulcânicos ocorreram durante o éon Farenozóico, era Mesozóica, período Cretácio. Há evidências da ocorrência da Formação Tupanciretã (sedimentos depositados no leito dos lagos e reservatórios pela ação das enxurradas) do período Paleógeno (há 65 milhões de anos) (CPRM, 2005).

A geomorfologia da região é caracterizada por coxilhas achatadas e arredondadas, relevo ondulado a suavemente ondulado, desenvolvido sobre os derrames vulcânicos de basalto da Formação Serra Geral. Em áreas de maior altitude, ocorre relevo forte ondulado com drenagem regular.

#### *4.1.2.1 Modelo digital de elevação*

O modelo digital de elevação (MDE) com pixel de 30 x 30 metros, foi obtido da base de dados disponibilizada pelo *United States Geological Survey* (USGS) - Pesquisa Geológica dos Estados Unidos.

Esse MDE com pixel de 30 x 30 metros (menor dimensão que forma um ponto, onde o conjunto desses pontos forma uma imagem digital) foi utilizado, primeiramente, para a geração das curvas de nível com distância vertical de cinco metros.

Posteriormente, com o auxílio de técnicas de geoprocessamento, as curvas de nível foram interpoladas com distância vertical de dois metros (Figura 2a) e, em seguida, foi gerado um novo MDE com pixel de 5 x 5 metros para uma melhor representação do relevo.

O novo MDE com pixel de 5 x 5 metros foi utilizado, por meio de técnicas de geoprocessamento, para a delimitação automática das áreas vertentes e das redes de drenagem das duas bacias hidrográficas pareadas.

#### **4.1.3 Rede de drenagem das bacias hidrográficas**

A rede de drenagem, nas duas bacias hidrográficas em estudo, é constituída por dois canais principais perenes. Os canais principais, com larguras e profundidades raramente maiores do que dois metros, formados por pequenos canais sem tributários que se juntam em pontos distintos ao longo das áreas vertentes, formando o canal principal de segunda ordem (Figura 2b).

Em alguns pontos ao longo da rede de drenagem é possível observar solapamento de solo devido à fragilidade das margens, em decorrência da ausência de vegetação ciliar ou devido à perturbação dos taludes promovida pelo tráfego de bovinos.

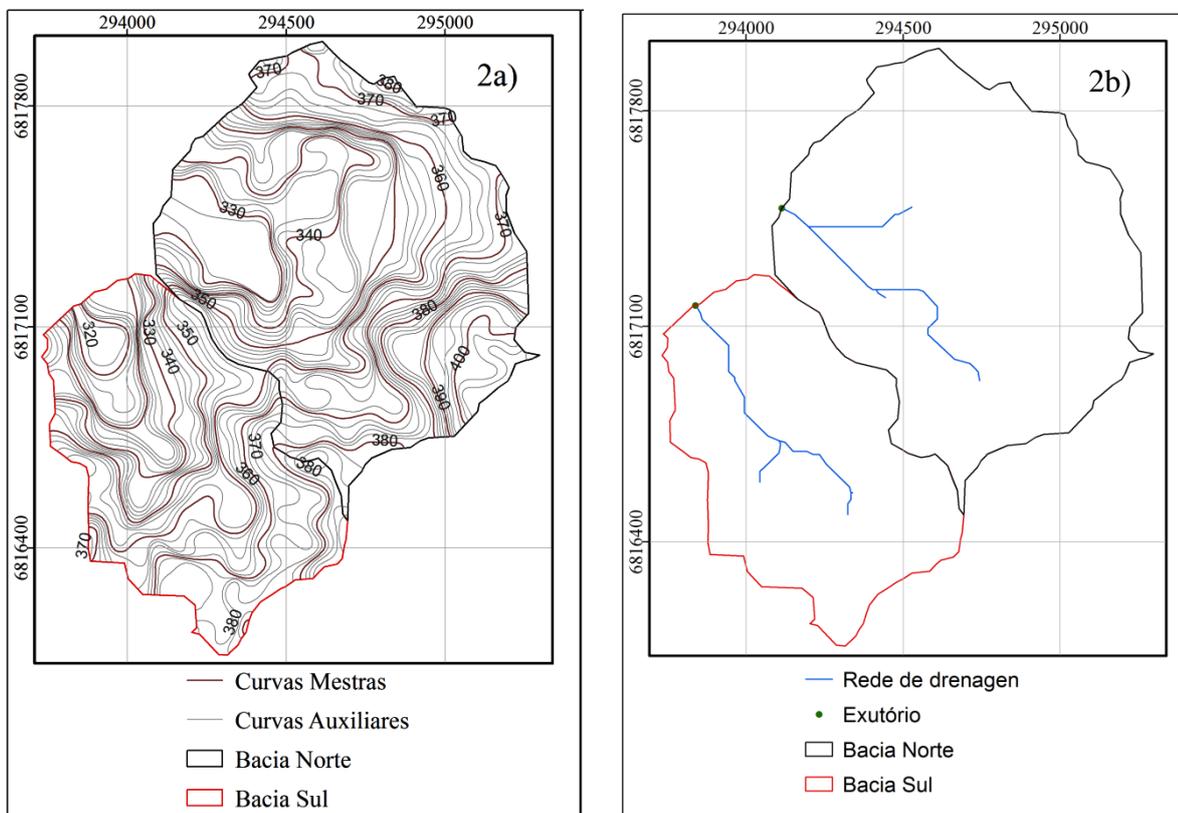


Figura 2: Curvas de nível (2a) e rede de drenagem das duas bacias hidrográficas rurais em estudo (2b).

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.1.4 Solos

O levantamento detalhado dos solos da área que abrange as duas bacias hidrográficas foi realizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA; Pötter e Hochmüller, 1980). Os solos dessas bacias são classificados, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2013), como Latossolo Vermelho Distroférico, Neossolo Regolítico e Litólico, Nitossolo Vermelho, Argissolo Vermelho, Gleissolo Háplico e Associação Neossolo/Gleissolo (Tornquist, 2007) (Figura 3b).

Em 2016, o mapa de solos da bacia norte foi atualizado por meio de levantamento de campo, para delimitar a ocorrência dos Gleissolos e dos Neossolos nas associações Gleissolos/Neossolos (Figura 3a).

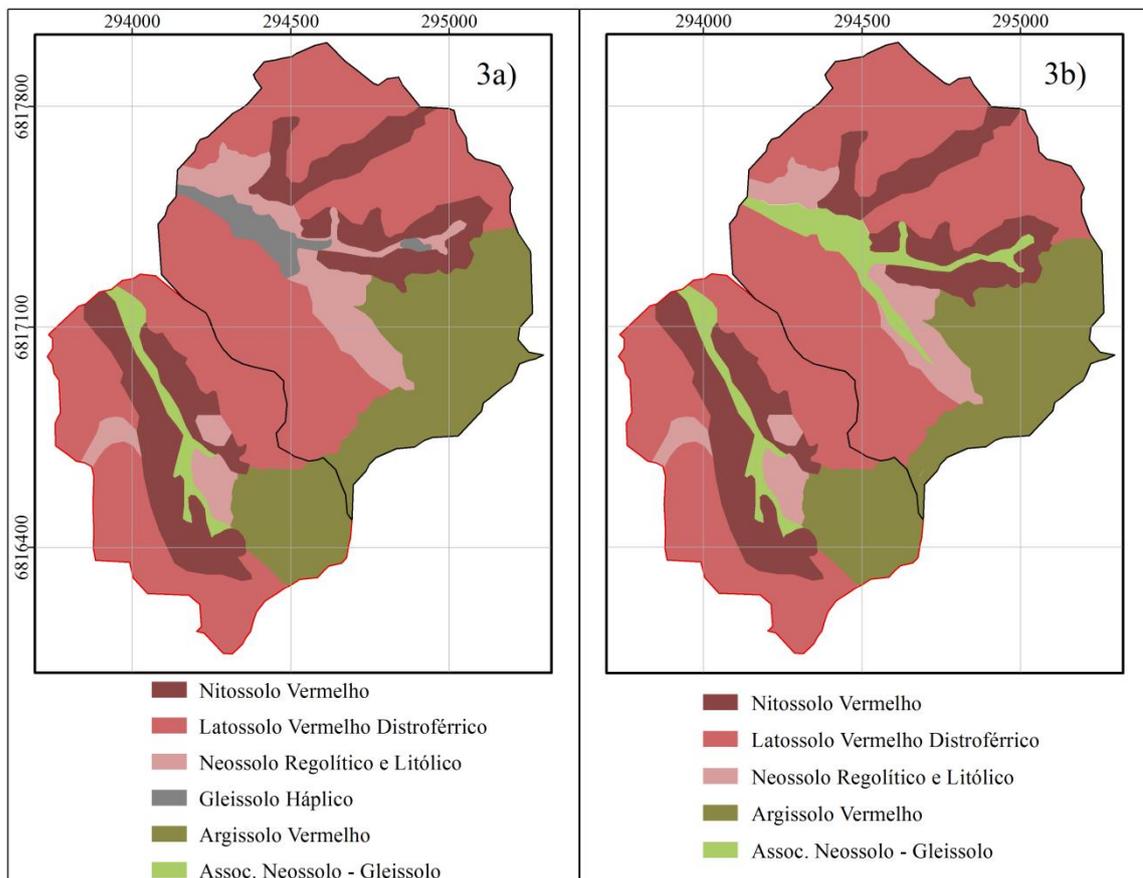


Figura 3: Mapa de solos das duas bacias hidrográficas atualizado em 2016 (3a) e levantamento realizado pela EMBRAPA, em 1980 (3b).

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os Latossolos Vermelhos Distroféricos são solos constituídos por material mineral em avançado estado de intemperização. Apresentam horizonte B latossólico precedido de qualquer tipo de horizonte A dentro de 200 cm de profundidade. A coloração predominante é o matiz 2,5YR ou mais vermelho na maior parte do horizonte B e BA. Possuem saturação de base baixa ( $V < 50\%$ ) na maior parte do perfil (EMBRAPA, 2013).

Os Neossolos são solos pouco evoluídos, formados por material mineral e orgânico com menos de 20 cm de profundidade, com ausência de horizonte B diagnóstico. Neossolos Regolíticos apresentam uma profundidade maior que 50 cm e horizonte A sobre horizonte C

ou Cr. Os Neossolos Litólicos possuem o horizonte A ascendente diretamente sobre a rocha ou sobre um horizonte C, sobre material com mais de 90% de massa constituída por fragmentos rochosos (Santos et al., 2013).

Os Nitossolos Vermelhos são caracterizados pela presença do horizonte B nítico, com textura argilosa ou muito argilosa desde a superfície do solo. São solos formados por material mineral. A estrutura é de grau moderado a forte com presença de serosidade expressiva, com coloração em matiz 2,5YR ou mais vermelho na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (Santos et al., 2013).

Os Argissolos Vermelhos apresentam horizonte B textural imediatamente abaixo do horizonte A ou E com argila de atividade alta ou baixa e saturação por bases baixa. A coloração é no matiz 2,5YR ou mais vermelho ou com matiz 5YR na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B (Santos et al., 2013).

Os Gleissolos são caracterizados pela presença do horizonte glei tanto nos primeiros 50 cm da superfície do perfil quanto entre 50 cm e 150 cm de profundidade, desde que imediatamente abaixo do horizonte A ou E. Não há qualquer outro tipo de horizonte B diagnóstico. Diferenciam-se dos Vertissolos pela ausência do horizonte vértico ou B plântico (Santos et al., 2013).

#### 4.1.5 Uso do solo

O uso do solo nas duas bacias hidrográficas pareadas consiste, majoritariamente, em produção de grãos, conduzidos sob plantio direto (PD), e bovinocultura leiteira, manejada em sistema semi-intensivo, com animais criados a pasto e recebendo suplementação. Nas margens dos canais principais predominam a floresta latifolia e a vegetação higrófila, com presença de arbustos e vegetação rasteira.

O reconhecimento e a elaboração do mapa de usos do solo nas duas bacias hidrográficas (Figura 4a) foram feitos em maio de 2016, por caminhamento a campo. Nesse período, o cultivo do azevém (*Lolium multiflorum*) após a cultura da soja (*Glycine max*) era predominante na bacia norte, ocupando 30,7% da área da bacia, seguido do cultivo da aveia (*Avena sativa*) após o cultivo da soja, com 14,8% (Tabela 1). Na bacia sul, o uso do solo predominante consistia na cultura da aveia, com 59,1% da área, seguido do cultivo de tifton (*Brachiaria brizantha*), em 9,5% da área (Tabela 1).

Em maio do ano de 2017 o mapa de uso foi atualizado (Figura 4b). Na bacia norte houve aumento da área cultivada com aveia após a cultura da soja, em 13,1% (Tabela 1). Na

bacia sul, o cultivo do tifton teve um aumento de 5,3% e o milheto (*Pennisetum glaucum*) deixou de ser cultivado (Tabela 1).

Tabela 1: Usos do solo considerando a cultura atual e a cultura anterior, em relação à área total das duas bacias hidrográficas.

| Usos (%)             | Bacia norte |      | Bacia sul |      |
|----------------------|-------------|------|-----------|------|
|                      | 2016        | 2017 | 2016      | 2017 |
| Lago                 | 0,2         | 0,2  | 0         | 0    |
| Aveia após milho     | 2,9         | 0,6  | 0         | 0    |
| Aveia após soja      | 14,8        | 27,9 | 59,1      | 52,5 |
| Azevém após soja     | 30,7        | 23,5 | 0         | 5,3  |
| Campo                | 2,7         | 2,6  | 0         | 0    |
| Sede                 | 0,5         | 0,5  | 0         | 0    |
| Estrada              | 1,4         | 1,4  | 1,3       | 1,4  |
| Feijão após milho    | 6,6         | 5,2  | 0         | 0    |
| Mata                 | 23,6        | 23,5 | 19,8      | 20,3 |
| Milho após milho     | 11,2        | 10,0 | 4,4       | 2,2  |
| Tifton               | 5,7         | 4,7  | 9,5       | 14,8 |
| Milheto após milheto | 0           | 0    | 2,3       | 0,0  |
| Sorgo após sorgo     | 0           | 0    | 3,6       | 3,6  |

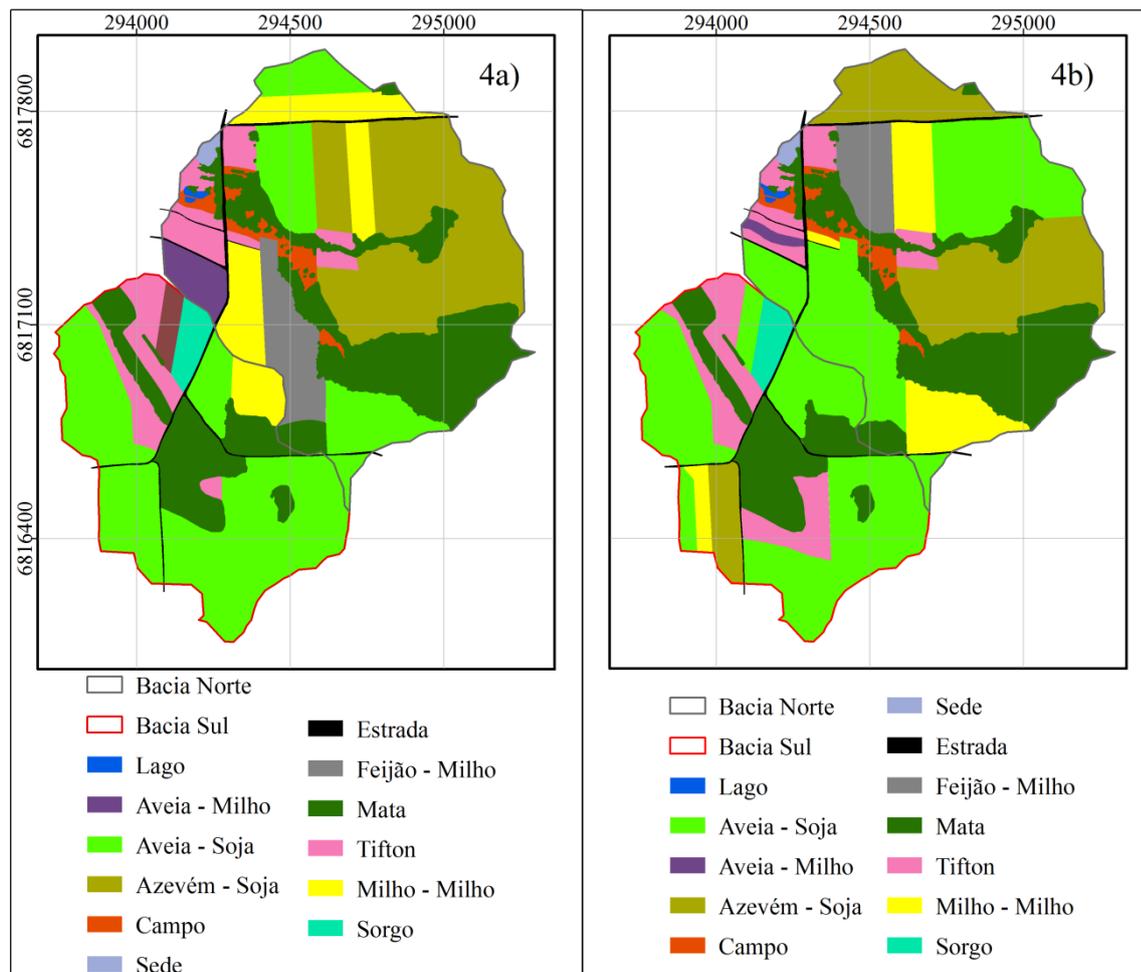


Figura 4: Uso do solo das bacias hidrográficas pareadas durante os anos de 2016 (4a) e 2017 (4b).

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 4.2 INSTRUMENTALIZAÇÕES DAS DUAS BACIAS HIDROGRÁFICAS

### 4.2.1 Histórico da estrutura na área de estudo

As duas bacias hidrográficas do presente estudo foram objeto de um estudo de monitoramento hidrossedimentométrico conduzido durante os anos de 1978 e 1980, pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação - FAO e pela EMBRAPA Trigo, sediada em Passo Fundo, RS. O estudo foi denominado Operação Guarda-Chuva.

A escolha das bacias foi motivada pela representatividade das condições dominantes da região, para possibilitar a avaliação das consequências do transporte de sedimentos no assoreamento do reservatório Passo Real. Um dos principais objetivos da Operação Guarda-Chuva era implantar, no município de Ibirubá (atual município de Quinze de Novembro), um

plano piloto de conservação dos recursos naturais e promover uma consciência pública conservacionista naquela região (arquivos EMBRAPA Trigo).

Para atingir os objetivos desse estudo, foram construídas duas seções de monitoramento compostas por vertedores triangulares, nos exutórios das duas bacias hidrográficas pareadas. Os vertedores possuem dimensões iguais (Figura 5).

No entanto, após o início do monitoramento hidrossedimentométrico, os técnicos observaram um alto volume de sedimentos depositado à montante de um dos vertedores, o que proporcionava uma subestimativa da perda de solo e da produção de sedimentos. Esse acúmulo foi atribuído ao local de instalação do vertedor, considerado inadequado após a sua construção, o que não atenderia os objetivos daquele estudo. Com isso, o projeto foi finalizado e os vertedores foram abandonados.

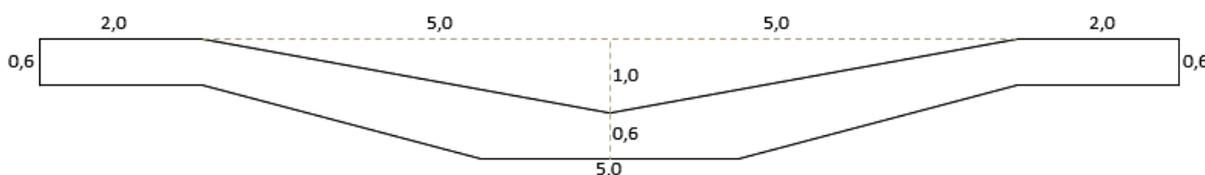


Figura 5: Representação transversal dos vertedores triangulares construídos nas seções de monitoramento das bacias hidrográficas pareadas, com as dimensões, em metros.

Fonte: Arquivos EMBRAPA, elaborado pelo autor.

No ano de 2016, trinta e oito anos depois, em um novo contexto de uso do solo, onde os cultivos nas duas bacias são conduzidos sem o revolvimento de solo, houve a alteração da dinâmica hidrossedimentológica das bacias hidrográficas. Tais fatores contribuíram para a cessação de depósitos de sedimentos à montante dos vertedores, que haviam limitado o avanço das pesquisas na década de 1970.

Com isso, aproveitando a presença dos vertedores triangulares, um novo estudo de avaliação da dinâmica hidrossedimentológica foi idealizado na área das bacias hidrográficas.

#### 4.2.2 Instrumentalização para o monitoramento hidrossedimentométrico

Uma das primeiras providências para a instrumentalização foi solicitar a permissão dos produtores rurais para conduzir os trabalhos nas suas áreas. Posteriormente, o reconhecimento da área de pesquisa foi realizado e, durante essa etapa, os dois vertedores das

duas bacias estavam assoreados e o curso d'água próximo a um deles havia sofrido desvio (Figura 6a).

A solicitação de uma licença ambiental para a realocação dos cursos d'água para o leito original, desassoreamento dos vertedores e estabilização dos taludes foi necessária. Para isso, contactou-se a Secretaria do Meio Ambiente da Prefeitura Municipal de Quinze de Novembro. Após licenciados, com uso de uma retroescavadeira, procedeu-se o desassoreamento dos vertedores e a proteção e estabilização dos taludes pedras (Figura 6b).

Posteriormente, junto aos vertedores das duas bacias foram instalados sensores automáticos de monitoramento contínuo para monitorar a vazão e, a montante dos vertedores foram instalados sensores para o monitoramento da turbidez da água e precipitação. Os dados observados durante o monitoramento automático são armazenados em um datalogger. Em intervalos quinzenais e mensais as informações foram processadas e recolhidas via download por meio de um computador portátil.



Figura 6: Vertedor triangular da bacia hidrográfica norte assoreado e com o curso d'água em desvio (6a) e em operação, desassoreado, e com taludes estabilizados por pedras (6b).

### 4.3 MONITORAMENTO

O monitoramento contínuo com emprego de sensores e monitoramento durante eventos de chuva-vazão-sedimentos das variáveis hidrológicas e sedimentológicas da bacia hidrográfica norte teve início em 30/04/2016 e o monitoramento da bacia hidrográfica sul teve início em 25/07/2016. Para a elaboração desse estudo foram utilizados dados observados até 30/10/17.

As seções de monitoramento fluviométrico (vertedores compostos) localizadas nos exutórios das bacias foram equipadas com sensores de nível (linígrafo), precipitação (pluviógrafo) de turbidez (turbidímetro), datalogger e painel solar, para monitorar a precipitação, a vazão e para estimar a concentração de sedimentos em suspensão.

#### 4.3.1 Precipitação

A coleta e o registro contínuo do volume e intensidade das chuvas foram determinados por meio de um pluviógrafo instalado em cada bacia, próximo às seções de monitoramento. Os pluviógrafos são coletores de água fixos que registram automaticamente o volume de chuva em um intervalo de tempo. Nesse estudo, os pluviógrafos foram programados para registrar dados de chuva em intervalos de 10 minutos.

O princípio de funcionamento do instrumento é por meio de uma gangorra, com extremidades e posições iguais que, quando cheia de água, descarrega e gera um sinal elétrico por meio de um sensor. Cada sinal elétrico corresponde a um volume conhecido de chuva, em milímetros, determinado por calibrações trimestrais. Os dados foram armazenados em um datalogger e transferidos para um computador em intervalos quinzenais e mensais.

Para a caracterização das chuvas nas duas bacias hidrográficas em estudo, foram instaladas duas estações meteorológicas equipadas com pluviógrafos automáticos para o monitoramento pluviométrico. O presente estudo aborda os dados pluviométricos observados no período de 01/06/16 a 31/10/17.

#### 4.3.2 Vazão

O monitoramento da vazão foi realizado na seção fluviométrica, equipada com sensor de nível (linígrafo) e datalogger para registro automático dos dados. O linígrafo mede a altura

da lâmina de água no exutório do vertedor por meio da sensibilidade da pressão exercida pela altura da lâmina d'água.

A seção de monitoramento é composta por um vertedor triangular com ângulo de 157° e equipada com sensor de nível (linígrafo) no centro da estrutura do vertedor, e de precipitação (pluviógrafo), painel solar e “datalogger” modelo Datalogger SL 2000 E8C - PNV instalados próximos ao vertedor.

O “datalogger” foi programado para registrar e armazenar os dados em intervalos de tempo fixos de 10 minutos. Para a conferência dos valores de nível registrados pelo sensor, foi instalada uma régua linimétrica junto à estrutura do vertedor. Quinzenalmente ou mensalmente, os dados foram baixados em um computador portátil. A estimativa da vazão nas duas bacias hidrográficas foi realizada com base nas equações dos vertedores (Equação 1 e 2) (EMBRAPA Trigo).

$$Q = 0,000000673 * H^{2,499} \quad \text{(Equação 1)}$$

$$Q = 0,0366 * H^{2,711} \quad \text{(Equação 2)}$$

Onde: Equação 1: para estimativa da vazão para lâminas de água de até 200 mm; Equação 2: para estimativa da vazão para lâmina de água superiores a 200 mm; Q: vazão ( $L s^{-1}$ ); H: altura da lâmina d' água (mm).

### 4.3.3 Sedimentos

A estimativa da concentração de sedimentos em suspensão foi conduzido por meio da observação da produção de sedimentos em suspensão (Css) e da produção de sedimentos realizada com base no monitoramento da turbidez das seções. Para a estimativa da concentração de sedimentos transportados em suspensão nas duas bacias, foram instalados sensores de turbidez (turbidímetro) que medem automaticamente a turbidez da água por meio da dispersão de luz (emitida por uma unidade ótica) entre as partículas de sedimentos em suspensão.

A produção de sedimentos incorpora tanto os sedimentos transportados em suspensão como os sedimentos transportados no fundo do canal, mas os efeitos do uso do solo sobre a erosão estão relacionados com os sedimentos de menor faixa granulométrica, como aqueles transportados em suspensão (Minella, 2007).

Nesse estudo, a produção de sedimentos foi determinada durante eventos pluviais e durante todo o período de monitoramento, por meio de sensores de turbidez. A produção de sedimentos foi calculada pela multiplicação entre a vazão ( $L s^{-1}$ ); volume por unidade de tempo, e a concentração de sedimentos em suspensão ( $mg L^{-1}$ ); massa por unidade de volume, integrados no tempo por meio da Equação 3 (Walling e Collins, 2000).

$$PS = \sum_{i=1}^n (C_{ss_i} * Q_i) \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:  $C_{ss}$ : concentração de sedimentos em suspensão ( $mg L^{-1}$ );  $Q$ : vazão ( $Ls^{-1}$ ) e  $K$ : fator de conversão de unidades e quantidades de tempo.

Os sedimentos transportados em suspensão representativos das duas bacias hidrográficas foram coletados por meio de duas formas distintas. A primeira consistiu na amostragem dos sedimentos durante eventos de chuva-vazão-sedimentos e a segunda, na utilização de amostradores integradores e armazenadores de sedimentos, coletados entre 15 dias a um mês, dependendo da quantidade de sedimento armazenado.

#### 4.3.2.1 Coleta de sedimentos durante eventos pluviais

Durante os eventos de chuva-vazão-sedimentos, as amostras foram coletadas manualmente a cada variação na altura da lâmina de água observados na régua linimétrica, sendo o número e a frequência de amostragem definidos de acordo com as condições de intensidade de cada evento. Quanto maior a intensidade de precipitação, mais rápida é a elevação do nível do curso de água e, por consequência, um maior número de amostras foi coletado em um intervalo menor de tempo.

As coletas foram efetuadas com o auxílio de frascos de vidro, com a cautela de evitar o refluxo da solução dentro do frasco, ou seja, se parte da solução que entrou no frasco saiu do mesmo durante a coleta, a amostra foi descartada e coletada novamente. O horário de coleta de cada amostra e a cota da régua foram registrados em planilhas para serem posteriormente comparados com os dados registrados pelo sensor de turbidez.

#### 4.3.2.2 Coleta de sedimentos por meio de amostradores integradores e armazenadores de sedimentos no tempo

Os amostradores integradores de sedimentos no tempo, também denominados torpedos (Rodrigues, 2011), foram confeccionados no Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal de Santa Maria (LAFIS). Cada torpedo é constituído por um cano de polietileno com 75 mm de diâmetro, 80 cm de comprimento e fechado nas duas extremidades por tampas com rosca. No centro das tampas é inserido um cano de 3 cm de comprimento e 5 mm de diâmetro.

No ano de 2016, foram instalados dois torpedos em cada bacia. No ano seguinte, em 2017, houve a necessidade de instalação do terceiro amostrador próximo às seções de monitoramento. Os amostradores foram fixados em duas hastes de madeira, permanecendo abaixo do nível da superfície e paralelo ao sentido do movimento da água (Figura 7). Tal posição de instalação permite a entrada de água e sedimentos no orifício superior. No orifício inferior ocorre à saída da água em velocidade menor, proporcionando a deposição de sedimentos no interior do amostrador. Os sedimentos depositados no interior dos amostradores integradores foram utilizados para a elaboração de uma equação de calibração provisória para a estimativa da produção de sedimentos das bacias.



Figura 7: Amostradores integradores de sedimentos no tempo (torpedos).

#### 4.3.2.3 Determinação da curva para a estimativa da concentração de sedimentos em suspensão

Os sedimentos em suspensão coletados por meio de frascos durante eventos pluviais foram processados, em laboratório, pelo método da evaporação (Shreve e Downs, 2005). A

principal finalidade dessa etapa foi combinar os resultados da concentração de sedimentos em suspensão contida em cada frasco e a turbidez observada no mesmo instante pelos sensores de turbidez da cada bacia hidrográfica, traçando uma curva de calibração ajustada (Figura 8) para os sensores de turbidez, para estimar a concentração de sedimentos em suspensão das bacias hidrográficas norte e sul.

Para tanto, as amostras de cada frasco foram processadas no Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal de Santa Maria. O primeiro procedimento foi limpeza a posterior pesagem de cada frasco contendo a solução de água mais sedimentos em balança analítica com precisão de duas casas para obtenção do peso bruto. Posteriormente, as amostras permaneceram em repouso durante duas semanas para a sedimentação das partículas de sedimento.

Passado o tempo de sedimentação, após retirar as alíquotas (sólidos solúveis dissolvidos) béqueres com capacidade para 20 mL foram lavados em água destilada, secos em estufa a 105 °C por 24 horas e, posteriormente, mantidos em dessecador por três horas para o resfriamento. Os béqueres foram pesados em balança com precisão de quatro casas. Uma alíquota de 20 mL foi retirada de cada amostra com uma pipeta e colocada nos béqueres. Os recipientes com essas alíquotas foram levados para estufa e mantidos a 105 °C por 24 horas, até atingirem peso constante. Posteriormente, os recipientes foram retirados e mantidos em dessecador por três horas para o resfriamento, sendo então pesados em balança com precisão de quatro casas.

Posteriormente, as amostras foram colocadas em berzelius e mantidas em estufa a 105 °C até atingirem peso constante. Quando secos, foram colocados em dessecador por três horas para posterior pesagem em balança com precisão, para determinação da concentração de sedimentos em suspensão de cada frasco, em  $\text{mg L}^{-1}$ .

Os recipientes foram lavados, mantidos em estufa a 105 °C por 24 h, até peso constante, levados ao dessecador e mantidos por duas horas, sendo posteriormente pesados em balança com duas casas de precisão, para a obtenção do peso do recipiente.

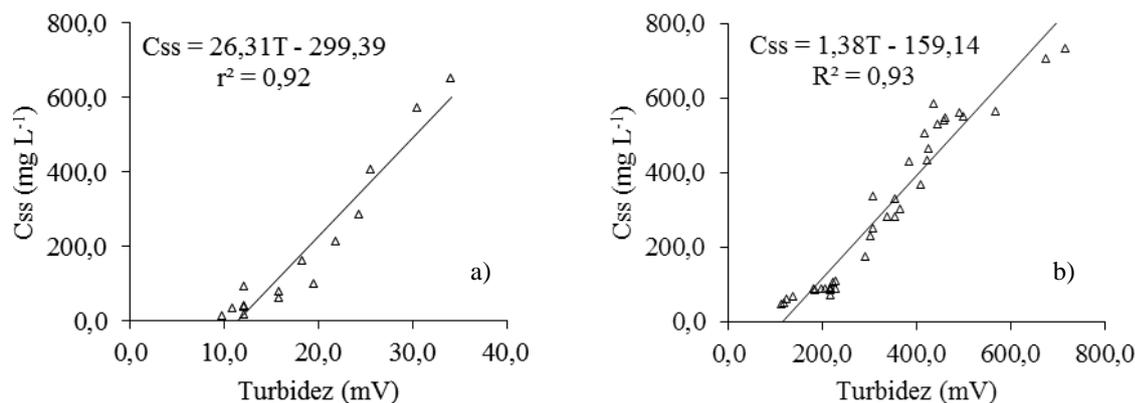


Figura 8: Curvas para estimativa da produção de sedimentos em suspensão para as bacias hidrográficas norte (a) e bacia sul (b).

Onde: C<sub>ss</sub>: concentração de sedimento em suspensão e mV: milivolt.

#### 4.3.2.4 Verificações periódicas dos sensores de turbidez

Os sensores de turbidez são equipamentos que fornecem os resultados observados em pulsos de energia, na unidade milivolt (mV). Para a validação dos dados registrados, amostras de água com sedimentos foram coletadas nas seções de monitoramento durante alguns eventos pluviais e por meio de amostradores integradores de sedimentos no tempo (torpedos) instalados próximos das seções de monitoramento das bacias.

A etapa operacional de verificação da sensibilidade dos sensores de turbidez (turbidímetros) corresponde a uma das fases mais importantes do monitoramento sedimentométrico, uma vez que assegura que os valores observados pelo sensor represente melhor a estimativa da produção de sedimentos da bacia hidrográfica (Carvalho, 2008).

Em intervalos trimestrais foram verificadas as sensibilidades dos sensores de turbidez das duas bacias com emprego de soluções de calibração padrão sintéticas, com concentrações de 0, 20, 50, 100, 400, 1.000 e 3.000 NTUs (*Nefelometric Turbidity Unit*).

## 4.4 COMPORTAMENTO HIDROSEDIMENTOLÓGICO

A análise do comportamento hidrossedimentológico nas duas bacias hidrográficas pereadas foi conduzido por meio da relação entre a vazão e a concentração de sedimentos em suspensão. Essas variáveis podem ser observadas nos comportamentos dos hietogramas, hidrogamas e sedimentogramas. O hietograma é a representação gráfica da distribuição da

precipitação no tempo. O hidrograma representa o comportamento gráfico da vazão em dado período de tempo e, o sedimentograma, representa graficamente a distribuição da concentração de sedimentos em determinado tempo.

#### **4.4.1 Histerese**

A histerese representa uma correlação entre o tempo de ascensão e recessão do hidrograma em relação ao sedimentograma durante um evento pluvial, sendo um fator importante para análise do tempo de ocorrência do pico de um fenômeno físico em relação a outro, no âmbito do comportamento dos processos hidrossedimentológicos em bacias hidrográficas. A análise qualitativa e quantitativa da histerese foi realizada para a caracterização dos processos nas duas bacias hidrográficas.

##### *4.4.1.1 Análise qualitativa da histerese*

A estratégia adotada para a análise qualitativa da histerese foi a discretização das séries temporais de vazão e concentração de sedimentos em suspensão de cada evento pluvial selecionado nas duas bacias hidrográficas. Graficando essas variáveis explicativas obtém-se as curvas de histerese, que podem apresentar sentido horário, sentido anti-horário e formato oito.

Em eventos pluviais que apresentam histerese no sentido horário, a concentração de sedimentos no ramo crescente (CS RC) é maior que a concentração de sedimentos no ramo decrescente (CS RD). Ou seja, o pico da concentração de sedimentos em suspensão ocorre antes do pico da vazão (Minella et al., 2011).

No entanto, a curva de histerese com sentido anti-horário, a CS RD é maior que a CS RC, o pico de concentração de sedimentos em suspensão ocorre antes do pico da vazão. A ocorrência do efeito de histerese em sentido horário e anti-horário está diretamente relacionada com a velocidade de mobilização, transporte e local de deposição de sedimentos na rede de drenagem (Minella et al., 2011).

##### *4.4.1.2 Análise quantitativa da histerese*

Além da análise qualitativa, o laço de histerese pode ser quantificado, gerando um índice que permite a comparação entre eventos e entre bacias hidrográficas. Nesse estudo, o

índice de histerese apresentou-se como uma alternativa de análise dos processos hidrossedimentológicos possibilitando comparar o comportamento de eventos para as duas bacias pareadas.

O índice de histerese (IH) é obtido a partir da discretização e análise dos dados de vazão e concentração de sedimentos. Com esses dados graficados, identifica-se a vazão máxima e a vazão mínima do evento e posteriormente calcula-se o valor central entre a vazão máxima e vazão mínima do ramo ascendente do hidrograma, por meio da Equação 4 (Lawler et al., 2006).

$$Q_{\text{cen}} = 0,5 * (Q_{\text{máx}} - Q_{\text{máx}}) + Q_{\text{mín}} \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:  $Q_{\text{cen}}$ : vazão central;  $Q_{\text{máx}}$ : vazão máxima e  $Q_{\text{mín}}$ : vazão mínima.

Os valores de CS RC e de CS RD foram calculados a partir da interpolação entre os pontos que possuem valores de concentração de sedimentos e vazão medidos. Para as curvas de histerese que apresentaram comportamento no sentido horário, o IH foi calculado pela Equação 5, resultando em valores de IH positivos. Para as curvas de histerese com comportamento no sentido anti-horário, o IH foi calculado pela Equação 6 e apresentaram valores de IH negativos.

$$IH = \left( \frac{CS \text{ RC}}{CS \text{ RD}} \right) - 1 \quad (\text{Equação 5})$$

$$IH = \left( \frac{-1}{\left( \frac{CS \text{ RC}}{CS \text{ RD}} \right)} \right) + 1 \quad (\text{Equação 6})$$

Onde: IH: índice de histerese; CS RC: concentração de sedimentos do ramo crescente; CS RD: concentração de sedimentos do ramo decrescente.

#### 4.4.1.3 Separação dos escoamentos de base e superficial

Para realizar a avaliação do efeito histerese é necessário, primeiramente, separar o escoamento de base do escoamento superficial de cada evento pluvial. Nesse estudo, a separação dos escoamentos foi determinada pelo método gráfico, plotando-se os dados de vazão de cada evento em função do tempo (Figura 9).

Analizando graficamente o comportamento do hidrograma, foi determinado o ponto do início da ascensão do mesmo. Esse ponto foi considerado como o início do escoamento

superficial. A determinação do ponto caracterizado pelo fim da recessão do hidrograma foi considerado como o fim do escoamento superficial. Posteriormente, os pontos definidos como início da ascensão e fim da recessão do hidrograma foram plotados em uma reta. O escoamento superficial foi definido como a soma dos valores da vazão acima da reta. Esse método gráfico de separação pode ser aplicado em eventos que apresentam hidrogramas com comportamentos de ascensão, pico e recessão bem definidos, característicos de bacias hidrográficas pequenas.

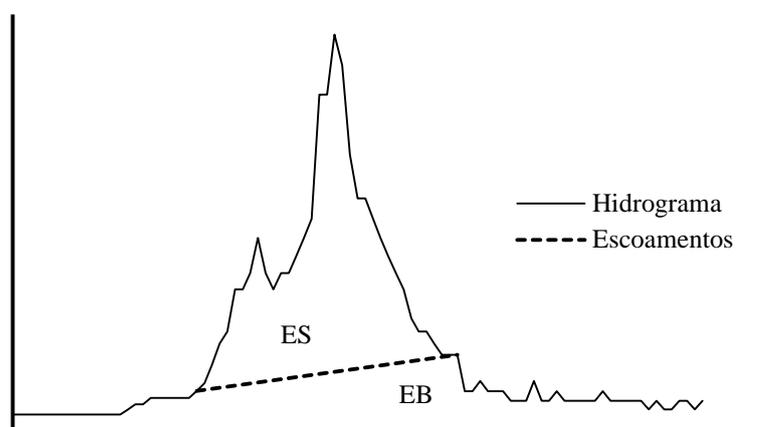


Figura 9: Exemplo de hidrograma com a separação dos escoamentos.

Onde ES: escoamento superficial; EB: escoamento de base.

#### 4.5 MODELAGEM HIDROLÓGICA

A modelagem dos processos hidrológicos foi conduzida por meio do software de código aberto LISEM (Limburg Soil Erosion Model), versão 3,96. O LISEM foi desenvolvido na província de Limburg, na Holanda, com o propósito de simular o transporte de sedimentos e os aspectos hidrológicos durante e após um único evento de chuva em pequenas bacias hidrográficas (0,1 a 3 km<sup>2</sup>). Mapas de erosão e de sedimentação de diversos cenários podem ser comparados por subtração. Seu desenvolvimento foi baseado no contexto da conservação da água e do solo em bacias hidrográficas agrícolas com problemas inerentes ao uso intensivo do solo.

O LISEM contempla as descrições dos processos do ciclo hidrológico e erosivo por meio de equações de base física, onde as simulações são realizadas para eventos pluviais individuais. De acordo com De Roo et al. (1999), os processos incorporados no modelo LISEM os quais possibilitam modelar a formação do escoamento superficial e erosivo são:

- Precipitação;
- Interceptação;
- Armazenamento de superfície em micro depressões;
- Infiltração;
- Movimento vertical da água no solo;
- Fluxo terrestre;
- Fluxo de canal;
- Desprendimento por precipitação por fluxo terrestre e fluxo de canal;
- Deposição terrestre e em canais;
- Influência de rodas de trator e pequenas estradas pavimentadas.

Para rodar o LISEM, as áreas das duas bacias hidrográficas pareadas foram divididas em células (pixels) de tamanhos iguais de 5 metros. Em cada pixel as equações de base física são aplicadas onde, posteriormente, os cálculos propagam-se para a célula vizinha até chegar ao exutório da bacia, conforme a direção de fluxo. A escolha do tamanho do pixel é dependente do tamanho da área vertente de uma bacia e do nível de detalhamento desejado nas simulações, além de características inerentes ao modelo numérico de elevação.

Em cada célula, a precipitação e a interceptação são calculados pelo modelo. Posteriormente, infiltração e armazenamento de superfície são subtraídos para gerar a descarga líquida. Já o fluxo e deposição de sedimentos são calculados usando os princípios de energia e fluxo para finalmente serem encaminhados para a saída da bacia através da propagação por onda cinemática (Jetten, 2002).

O princípio do funcionamento do LISEM é sua integração a um software de Sistema de Informação Geográfica, denominado PCRaster (Van Deursen et al., 1992), possibilitando a entrada e saída de dados especializados e georeferenciados.

#### **4.5.1 Processos incorporados ao modelo LISEM**

##### *4.5.1.1 Precipitação*

O LISEM demanda dados detalhados de intensidade de precipitação, de um ou mais pluviógrafos, em intervalos de tempo curtos para cada simulação de um evento pluvial. Nesse estudo o intervalo de tempo determinado no arquivo de chuva foi de 10 minutos (Figura 10), sendo que as unidades de precipitação são sempre em  $\text{mm h}^{-1}$ . Os arquivos de entrada contendo as informações pluviométricas são no formato “txt”. Há partir da informação da

intensidade de chuva, o modelo gera um mapa com a distribuição espacial da intensidade pluviométrica.

| RUU       | CSF  | TIMESERIE | INTENSITY | NORMAL | 1 |
|-----------|------|-----------|-----------|--------|---|
| station_1 |      |           |           |        |   |
| 0         | 0.00 |           |           |        |   |
| 10        | 0.44 |           |           |        |   |
| 20        | 0.22 |           |           |        |   |
| 30        | 0.66 |           |           |        |   |
| 40        | 0.44 |           |           |        |   |
| 50        | 1.54 |           |           |        |   |
| 60        | 1.54 |           |           |        |   |
| 70        | 1.76 |           |           |        |   |
| 80        | 1.32 |           |           |        |   |
| 90        | 0.88 |           |           |        |   |
| 100       | 0.00 |           |           |        |   |

Figura 10: Exemplo de arquivo no formato “txt” contendo a informação de intensidade e volume de chuva para a simulação com eventos pluviais.

Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.5.1.2 Interceptação

A interceptação real do dossel é calculada no modelo LISEM a partir do armazenamento máximo da copa das plantas e das precipitações acumuladas desde o início do evento de chuva, em determinado momento (Equação 7).

$$Cs = S_{\max} * (1 - \exp(-k * \frac{P_{\text{cum}}}{S_{\max}})) \quad (\text{Equação 7})$$

Onde: Cs: interceptação real do dossel (mm);  $S_{\max}$ : armazenamento máximo, em mm;  $P_{\text{cum}}$ : precipitações acumuladas desde o início do evento de chuva;  $S_{\max}$ : armazenamento máximo da copa; k: parâmetro relacionado à abertura da copa (co), e determina a velocidade de preenchimento do dossel, sendo diretamente depende do Índice de área folhar (LAI), em  $m^2/m^2$  (Equação 8).

$$k = 1 - \exp(-co * LAI) \quad (\text{Equação 8})$$

#### 4.5.1.3 Infiltração

No LISEM, a infiltração de água no solo pode ser calculada por diferentes modelos inseridos ao programa. Nesse estudo optou-se pelo modelo Green-Ampt para duas camadas. A primeira camada foi considerada de zero a 20 cm. Para a segunda camada, a profundidade foi dependente da informação disponível no exame de caracterização físico-hídrica para cada uso do solo. De acordo com Dalbianco (2013), o uso e manejo do solo exercem influência na variabilidade espacial dos processos que ocorrem na camada superficial. Para a segunda camada subsuperficial, os processos são controlados pela variabilidade dos tipos de solo.

O modelo Green-Ampt usa uma simplificação da equação de Darcy para o fluxo vertical de água no solo, representado pela Equação 9.

$$f = -K_s * \left( \frac{dh}{dz} \right) + 1 \quad (\text{Equação 9})$$

Onde: f: taxa de infiltração ( $\text{mm h}^{-1}$ );  $K_s$ : condutividade hidráulica saturada ( $\text{mm h}^{-1}$ ); dh: soma da pressão pela camada de água na superfície e a sucção da matriz na frente de molhamento (mm) e dz: profundidade de infiltração (mm). Após as convenções hidráulicas, o sinal negativo nestas equações denota um fluxo para baixo, sendo dz a infiltração acumulativa (F) dividida pelo espaço de poro disponível (vazio), como expressa a Equação 10.

$$dz = F / \left( \frac{\theta_s}{\theta_i} \right) \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:  $\theta_s$  é a porosidade;  $\theta_i$  é o teor inicial de umidade abaixo da frente de molhamento.

#### 4.5.1.4 Processos de superfície: Armazenamento em micro depressões

##### a) Armazenamento em superfície ( $RET_{\max}$ )

O armazenamento de superfície é baseado na representação geomorfológica no microrelevo, caracterizado pela rugosidade aleatória da superfície do solo (Onstad, 1984), calculado pela Equação 11.

$$RET_{\max} = 0,112 * RR + 0,031 * RR^2 - 0,012 * RR * S \quad (\text{Equação 11})$$

Onde:  $RET_{\max}$ : armazenamento máximo em depressões (cm); RR: rugosidade superficial (cm); S: declividade do terreno (%).

A rugosidade aleatória é representada pelo desvio padrão da elevação da superfície, medida em pequena escala. Nesse estudo um perfilômetro foi usado para a obtenção do desvio padrão em microrelevo em diferentes pontos nas duas bacias hidrográficas em estudo.

b) Excesso de chuva necessário para preencher as depressões ( $RET_{rain}$ )

O excesso de chuva necessário para preencher as depressões pode ser calculado usando a Equação 12 (Onstad, 1984).

$$RET_{rain} = 0,329*RR + 0,073*RR^2 - 0,018*RR*S \quad (\text{Equação 12})$$

Onde:  $RET_{rain}$  é o excesso de chuva necessário para preencher as depressões (cm); RR é a rugosidade superficial (cm) e S é a declividade do terreno (%).

c) Início do escoamento ( $DET_{start}$ )

O início do escoamento pode ser simulado utilizando-se a Equação 13, obtida a partir dos dados de (Onstad, 1984).

$$DET_{start} = RET_{rain} * (0,05*RR - 0,0049*S) \quad (\text{Equação 13})$$

Onde:  $DET_{start}$ : excesso de chuva necessário para iniciar o escoamento (cm);  $RET_{rain}$ : excesso de chuva necessário para preencher as depressões (cm); RR: rugosidade superficial (cm) e S: declividade do terreno (%).

d) Fração máxima da superfície coberta com água ( $FWA_{max}$ )

A partir dos dados utilizados para formular a equação empregada na estimativa do excesso de chuva desencadeadora do escoamento na superfície, é possível calcular a fração máxima de superfície coberta por água com a utilização da Equação 14 (Onstad, 1984).

$$FWA_{max} = 0,152*RR - 0,008*RR^2 - 0,008*RR*S \quad (\text{Equação 14})$$

Onde:  $FWA_{max}$ : fração máxima da superfície coberta com água; RR: rugosidade superficial (cm) e S: declividade do terreno (%).

e) Fração atual da superfície coberta com água (FWA)

No modelo LISEM, a fração atual da superfície coberta com água pode ser calculada com uso da Equação 15 (Larson 1979 e Onstad 1984).

$$FWA = FWA_{\max} * \left( \frac{PET}{PET_{\max}} \right)^{0,6} \quad (\text{Equação 15})$$

Onde: FWA: fração atual da superfície coberta com água; PET: armazenamento e  $RET_{\max}$ : armazenamento máximo em depressões (cm).

#### 4.5.1.5 Escoamento superficial

No LISEM, o princípio de simulação do escoamento superficial é definido por meio da divisão da área vertente da bacia hidrográfica por uma grade de células de tamanho previamente determinado, onde em cada célula são simulados os processos hidrológicos e sedimentológicos. Neste estudo, os mapas de entrada utilizados nas simulações foram elaborados e subdivididos em células de cinco metros.

O escoamento superficial e a produção de sedimentos são propagados em cada célula, separadamente, podendo receber e transmitir informações para as células vizinhas, até chegar ao exutório da bacia, pelo método da onda cinemática, representado pela Equação 16 (Moro, 2011).

$$f = \frac{V}{[0,5 * (L_{\text{cél}} - L_{\text{can}})]} \quad (\text{Equação 16})$$

Onde: f: fluxo do canal ( $m^3 s^{-1}$ ); V: velocidade média da célula para o canal e para a superfície ( $m s^{-1}$ );  $L_{\text{cél}}$ : largura da célula (m) e  $L_{\text{can}}$ : largura do canal (m).

O LISEM calcula a velocidade do escoamento por meio da utilização do coeficiente de rugosidade ( $n$ ) desenvolvido pelo engenheiro irlandês Robert Manning, sendo uma das alternativas para determinar a velocidade de escoamento em determinada superfície (Moro et al. 2011) (Equação 17).

$$V = \frac{R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{3}}}{n} \quad (\text{Equação 17})$$

Onde: v: velocidade média da água, em  $m s^{-1}$ ; R: raio hidráulico da seção transversal; S: declividade (metros por metro, ou adimensional); e  $n$  é um coeficiente empírico, denominado coeficiente de Manning.

Neste estudo, os canais das duas bacias não foram considerados nas simulações em razão da diferença espacial apresentada em comparação aos mapas de acumulação de fluxo, gerados pelos modelos digitais de elevação. No entanto, a espacialização e o fluxo do canal primário e secundário são representados pelo mapa de direção de fluxo, o qual abrange tanto as áreas vertentes quanto as redes de drenagens.

#### **4.5.2 Mapas básicos de entrada no software PCraster**

O modelo LISEM é integrado a uma interface de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) denominado PCRaster, software de uso gratuito que possibilita a manipulação de mapas no formato raster em um ambiente conduzido mediante linguagem de programação.

Na interface do PCRaster podem ser inseridas tabelas com informações de atributos físicos, químicos, usos e classes de solos. Essas informações podem ser especializadas na forma de mapas georreferenciados em formato raster, resultando em um conjunto de células contendo informação sobre atributos, onde a informação contida em cada célula pode propagar-se para a célula vizinha durante o processo de simulação no modelo LISEM.

Nesse estudo, primeiramente foram elaborados quatro mapas básicos por meio de técnicas de geoprocessamento. Posteriormente os mapas foram transformados, separadamente, em arquivos no formato *ASCII* e processados no software PCraster mediante linguagem de programação, gerando os quatros primeiros mapas base, em formato raster, necessários para desencadear a simulação. Os mapas base são mapa da área, mapa do modelo numérico de elevação, mapas de usos do solo para os anos agrícolas de 2016 e 2107 (período de realização desse estudo) e mapa de classes de solo para a bacia hidrográfica norte (Figura 11a, 11b, 11c e 11d) e para a bacia hidrográfica sul (Figura 12a, 12b, 12c e 12d).

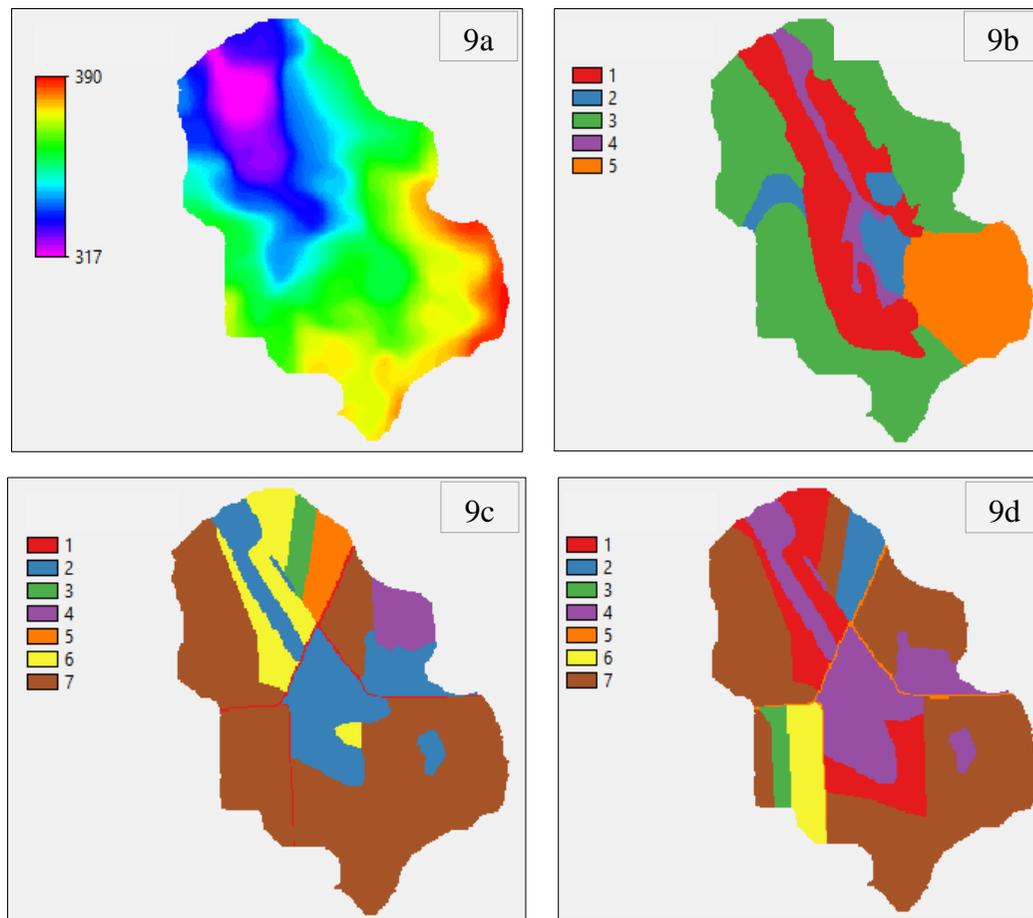


Figura 11: Figuras de saída do PCraster para a bacia hidrográfica sul.

Onde: 9a: modelo numérico de elevação com a informação de altitude; 9b: classes de solos, onde 1: Nitossolo Vermelho, 2: Neossolo Litólico, 3: Latossolo Vermelho, 4: Associação Neossolo-Gleissolo e 5: Argissolo Vermelho; 9c: usos do solo no ano de 2016, onde 1: estrada, 2: mata, 3: milheto, 4: milho, 5: sorgo, 6: tifton e 7: aveia; 9d: usos do solo no ano de 2017, onde 1: tifton, 2: sorgo, 3: milho, 4: mata, 5: estrada, 6: azevém e 7: aveia.

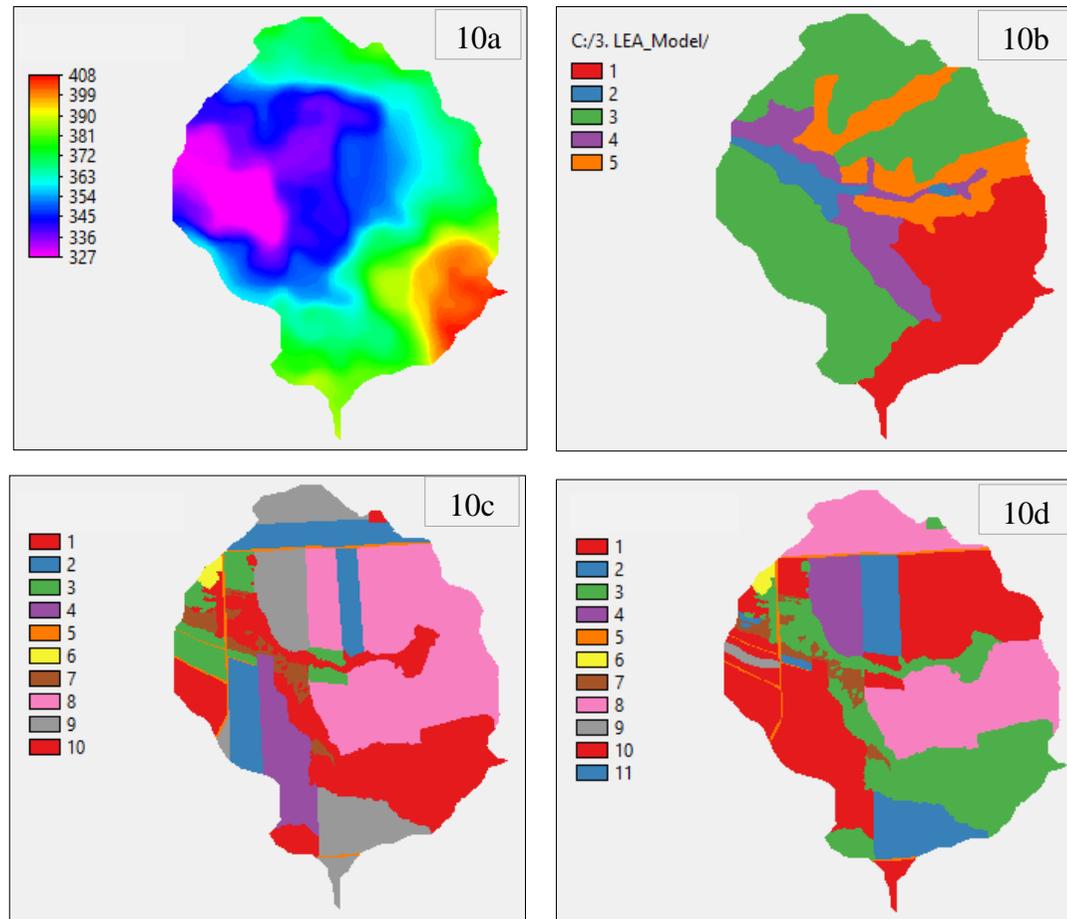


Figura 12: Figuras de saída do PCraster para a bacia hidrográfica norte.

Onde: 10a: modelo numérico de elevação com informação de altitude; 10b: classes de solo, onde 1: Argissolo Vermelho, 2: Gleissolo Háplico, 3: Latossolo Vermelho, 4: Neossolo Litólico, 5: Nitossolo Vermelho; 10c: usos do solo no ano de 2016, onde 1: mata, 2: milho, 3: tifton, 4: feijão, 5: estrada, 6: sede, 7: campo, 8: azevém, 9: aveia após soja, 10: aveia sobre milho; 10d: usos do solo no ano de 2017, onde 1: tifton, 2: milho, 3: mata, 4: feijão, 5: estrada, 6: sede, 7: campo, 8: azevém após soja, 9: aveia após milho, 10: aveia sobre soja e 11: lago.

### 4.5.3 Propriedades físicas para entrada no software PCraster

Após a etapa de elaboração dos mapas base é possível inserir tabelas com os parâmetros condutividade hidráulica do solo saturado, porosidade total, tensão na frente de molhamento, conteúdo inicial de água, coeficiente de rugosidade de Manning, percentagem de cobertura do solo, altura de plantas, índice de área folhar, mediana da granulometria, coesão do solo, coesão pelas raízes, estabilidade de agregados, rugosidade aleatória e fração de cobertura por pedras.

No PCraster, esses parâmetros são processados e espacializados juntamente com as características de cada evento pluvial, formando os vinte e quatro planos cartográficos de informação necessários para desencadear a simulação dos processos hidrológicos no modelo LISEM. Abaixo, consta a metodologia adotada para a definição das propriedades físicas do solo.

#### 4.5.3.1 Caracterização físico-hídrica dos solos

As propriedades físico-hídricas dos solos foram avaliadas em quatro pontos de amostragem em cada bacia hidrográfica (Figura 13). A escolha dos pontos de amostragem foi baseada no tipo e uso do solo e a conformação da paisagem. Em cada ponto de amostragem foi aberta uma trincheira com aproximadamente três metros de profundidade com uma retroescavadeira. Posteriormente, os horizontes foram identificados e separados para a amostragem.

Amostras de solo com estrutura preservada e alterada foram coletadas em cada horizonte de cada classe de solo. Amostras com estrutura preservada foram coletadas verticalmente em cilindros metálicos de 5,7 cm de diâmetro e 4,0 cm de altura, para determinar a densidade do solo, a porosidade total, a macroporosidade e a microporosidade, a retenção de água no solo (até a tensão de 100 kPa), a capacidade de campo, a água disponível, a água drenável e a condutividade hidráulica do solo saturado.

Nos mesmos horizontes de cada trincheira, amostras de solo com estrutura não preservada foram coletadas para a determinação da distribuição granulométrica, quantificação do cascalho, estimativa da retenção de água nas tensões de 500, 1000 e 1500 kPa, em psicrômetro (WP4 – Dewpoint Potential Meter) e para a análise do pH em água.

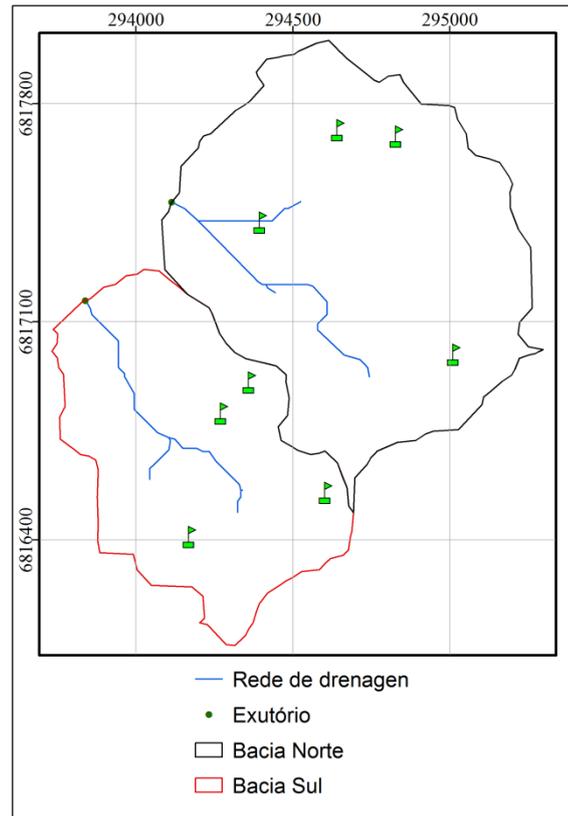


Figura 13: Pontos de amostragem para a caracterização físico-hídrica dos solos das duas bacias hidrográficas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

As amostras de solo com estrutura preservada foram processadas no Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal de Santa Maria. Primeiramente procedeu-se a retirada do excesso de solo das faces superior e inferior dos cilindros metálicos. Posteriormente, as amostras foram saturadas por capilaridade, pesadas e submetidas às tensões de 1,6 e 10 kPa em coluna de areia (Reinert e Reichert, 2006). Posteriormente, as amostras foram submetidas às tensões de 33 e 100 kPa em câmara de Richards (Klute, 1986). Ao final, as amostras foram mantidas em estufa a 105 °C até atingirem peso constante para determinação da densidade do solo ( $D_s$ ) (Blake and Hartge, 1986).

A umidade gravimétrica para as tensões de 500, 1000 e 1500 kPa foi analisada com psicrômetro (WP4 - Dewpoint Potentia Meter), com o uso de amostras com estrutura não preservada (Klein et al., 2013). A umidade gravimétrica determinada foi multiplicada pela densidade do solo correspondente à camada ou horizonte amostrado para obtenção da umidade volumétrica.

A capacidade de campo e o ponto de murcha permanente foram calculados como o volume de água retido na tensão de 10 kPa e de 1500 kPa, respectivamente. A água disponível foi determinada pela diferença entre o volume de água retido na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente. A água drenável foi determinada pela diferença entre o volume de água no solo na saturação e na capacidade de campo.

As amostras de solo com estrutura não preservada, secas ao ar livre, foram tamisadas em malha de 2 mm e, posteriormente, utilizadas para a determinação da distribuição do tamanho de partículas do solo pelo método da pipeta (Embrapa, 1997) modificado por (Suzuki et al., 2015). A dispersão das amostras de solo foi realizada por agitador horizontal com 120 rpm durante 4 horas, em recipientes de 100 mL contendo 20 g de solo, 10 mL de NaOH 6% (dispersante químico), 50 mL de água destilada e duas esferas de nylon com peso de 3,04 g, diâmetro de 1,71 cm e densidade de  $1,11 \text{ g cm}^{-3}$  (Suzuki et al., 2015).

A porcentagem de cascalho foi determinada em amostras de solo com estrutura não preservada, secas ao ar e tamisadas em peneira com malha de 2 mm. Posteriormente, o peso do cascalho foi dividido pelo peso total da amostra, multiplicado por 100.

A avaliação da acidez potencial do solo foi medida por meio de eletrodo combinado, imerso em solução em suspensão de 10 g de solo e 25 mL de água destilada, de acordo com Embrapa (1997), em amostras com três repetições.

A seguir, são descritos os principais exames de propriedade física conduzidos nos solos das duas bacias hidrográficas e os parâmetros determinados por meio da consulta à literatura, essenciais para desencadear a modelagem no modelo LISEM. Os 14 parâmetros determinados são condutividade hidráulica do solo saturado, porosidade total, potencial matricial na frente de molhamento, conteúdo inicial de água, coeficiente de rugosidade de Manning, porcentagem de cobertura do solo, altura de plantas, índice de área folhar, coesão do solo e coesão pelas raízes, estabilidade de agregados, rugosidade aleatória e fração de solo coberto por pedras.

#### a) Condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_{sat}$ )

Para determinação da condutividade hidráulica do solo saturado, primeiramente procedeu-se a retirada do excesso de solo das duas faces de cada cilindro metálico. Após esse procedimento as amostras de solo foram saturadas por capilaridade durante 24 h. A  $K_{sat}$  foi determinada em laboratório de acordo com a metodologia descrita em Gubiani et al. (2010),

com uso de um permeâmetro de carga variável, cujo volume de água percolado nas amostras foi medido em amostras com três repetições.

b) Porosidade total ( $\theta_s$ )

Para a determinação da porosidade total (PT), primeiramente mediu-se a microporosidade com base na água retida na tensão de seis quilopascals (kPa). Posteriormente, a quantidade de macroporos foi determinada pela diferença entre o volume de água retido na saturação e o volume de água retido na microporosidade.

c) Potencial matricial na frente de molhamento ( $\psi_m$ )

Para determinar o potencial matricial na frente de molhamento, foi utilizada a equação desenvolvida por Rawls et al. (1983). Essa equação emprega o volume total de poros das frações argila e areia para a sua modelagem. No Brasil, a equação de Rawls et al. (1983) (Equação 18) foi empregada por Gomes (2008) para calibrar as variáveis de entrada e avaliar o desempenho do modelo LISEM em uma bacia hidrográfica do Ribeirão Marcela, da região Alto Rio Grande, MG, onde obteve-se bons resultados.

$$\begin{aligned} \psi_m = & \text{Exp}(6,5309 - 7,3256 \text{VTP} + 0,001583 * \text{Arg}^2 + 3,809479 \text{VTP}^2 \\ & + 0,0003444 \text{ar} \text{Arg} - 0,049837 \text{ar} \text{VTP} + 0,001608 \text{ar}^2 \\ & + \text{VTP}^2 - 0,000014 \text{ar}^2 \text{Arg} - 0,00348 \text{Arg}^2 \text{VTP} - 0,0008 \text{ar}^2 \text{VTP}) \end{aligned} \quad (\text{Equação 18})$$

Onde:  $\psi_m$ : potencial matricial na frente de umedecimento (mm); VTP: porosidade total do solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ); Arg: teor de argila (%) e ar: teor de areia (%).

d) Conteúdo inicial de água ( $\theta_i$ )

Uma vez que o conteúdo inicial de água no solo não foi medido em campo, a determinação desse parâmetro foi por meio da estimativa da quantidade de água remanescente no solo referente ao evento pluvial anterior, sendo:

- Evento pluvial ocorrido um dia após outro evento de chuva: assumiu-se como solo saturado, com 100% da porosidade total ocupada por água.

- Evento pluvial ocorrido entre seis e dez dias após evento: considerou-se 90% da porosidade total do solo ocupado por água.
- Ocorrência de evento pluvial entre 11 e 20 dias após evento: adotou-se como 80% da porosidade total ocupada com água de saturação.
- Para evento pluvial ocorrido mais de vinte dias após evento de chuva: assumiu-se como 75% da porosidade total ocupado com água.

e) Coeficiente de rugosidade de Manning (n)

O coeficiente de rugosidade n de Manning utilizado para as simulações e calibrações do LISEM foi obtido por meio da consulta na literatura Haan et al.(1993).

f) Porcentagem de cobertura do solo (Cob) e altura de plantas (H)

A fração de cobertura do solo e a altura de plantas foram estimadas por meio da observação em campo, durante os anos agrícolas de 2016 e 2017.

g) Índice de área folhar (LAI)

O índice de área foliar foi obtido para diferentes estágios das culturas por meio da consulta as seguintes literaturas.

Aiolfi (2016); Bazani et al. (2016); Fagundes et al. (1999); Fagundes et al. (2001); Ferreira et al. (2008 ); Heiffig et al. (2006); Jakelaitis et al. (2006); Locatelli et al. (2016); Müller et al. (2005); Oliveira et al. (2000); Pires et al. (2007); Rodrigues et al. (2016); Rosseto et al. (2001); Sangoi et al. (2001); Schuch et al. (2008); Silva et al. (2008).

h) Coesão do solo e coesão pelas raízes

A coesão do solo foi determinada em campo com uso de um torvane, dispositivo de cisalhamento manual usado para a determinação rápida da resistência ao cisalhamento do solo saturado. O dispositivo possui palhetas de tamanhos diferentes que conferem diferentes níveis de força ao cisalhamento, onde:

- Palheta maior: 0,2 kg cm<sup>-2</sup>, indicado para solos com textura arenosa.
- Palheta menor: 2,5 kg cm<sup>-2</sup>, indicado para solos com textura mais rígida.

Nesse estudo, para a determinação da força do solo ao cisalhamento, foram escolhidos quatro pontos, com três repetições, em cada bacia hidrográfica, de modo a representar as classes de solos de cada bacia. A coesão do solo pelas raízes foi determinada por consulta a literatura Morgan et al (1998).

i) Estabilidade de agregados

Para a determinação do índice de estabilidade de agregados, foram coletados blocos de solo representativos de cada classe de solo nos horizontes superficiais de cada trincheira, nas duas bacias hidrográficas. As dimensões dos blocos coletados foram, aproximadamente, 20 cm de altura, 12 cm de largura. Após a coleta, os blocos foram condicionados em sacos plásticos com o objetivo de evitar a perda de umidade. Posteriormente, foram transportados em caixas para o laboratório de Física do Solo da UFSM, com o cuidado de não sofrerem danos em sua estrutura durante o transporte.

Em laboratório, agregados de cada bloco foram separados por seus pontos de fraqueza e tamisados em malha de quatro milímetros. Após esse procedimento foram separados dez agregados por repetição, os quais foram umedecidos com água destilada e borrifador sobre filtros de café, onde permaneceram em recipiente fechado por 24 horas.

Após esse período, cada agregado foi cuidadosamente colocado em uma peneira de 2,3 mm e submetido à resistência ao impacto de gotas com diâmetro aproximado de 3,5 mm, a uma distância de um metro. A determinação do índice de resistência foi por meio da contagem do número total de gotas necessárias para o agregado se romper e passar pela malha de 2,3 mm, sendo determinado um número máximo de 200 gotas por agregado.

j) Rugosidade aleatória (RR)

A rugosidade aleatória em pequena escala foi determinada com uso de um perfilômetro (Figura 14) posicionado no sentido paralelo e perpendicular à declividade. Foram definidos dez pontos de leituras na bacia hidrográfica norte e onze pontos na bacia sul. Em cada ponto foi registrada uma imagem do perfil do micro relevo representado pelas varetas do perfilômetro. Posteriormente, os valores registrados em cada imagem foram plotados em gráficos para a obtenção do desvio padrão da rugosidade aleatória em determinado micro relevo.



Figura 14: Determinação da rugosidade aleatória no microrelevo com uso do perfilômetro.

Fonte: Arquivo pessoal do autor.

#### 1) Fração de solo coberto por pedras

A fração de solo coberta por pedras foi estimada por meio de observações em campo.

#### 4.5.4 Análise estatística

A avaliação dos resultados das simulações foi por meio da comparação entre o volume da vazão de pico, o tempo de pico e o volume de escoamento total, observados e simulados. Para a avaliação estatística desses parâmetros foi empregada a tendência percentual *PBIAS* ou *ERRO* (Equação 19). A *PBIAS* avalia se os dados simulados superestimam ou subestimam os dados observados. Quanto mais próximo de zero, melhor é a estimativa dos dados. Para o escoamento superficial os coeficientes devem ser  $< \pm 25\%$  para serem considerados como resultados satisfatórios. Para a modelagem de produção de sedimentos, devem ser  $< \pm 55\%$  (Moriassi et al., 2007).

Para a comparação entre as formas dos hidrogramas simulados em relação aos observados foi empregado o Coeficiente de Eficiência de Nash e Sutcliffe (COE) (Nash e Sutcliffe, 1970) (Equação 20). O COE compara a variância da vazão máxima e de todos os valores de vazão entre os hidrogramas. De acordo com Gomes (2008), os resultados do Coeficiente de Eficiência de Nash e Sutcliffe podem variar de menos infinito ( $-\infty$ ) até um (1), onde:

- COE = 1: ajuste perfeito dos dados simulados em relação aos dados observados;
- COE > 0,75: desempenho do modelo é considerado bom;
- COE entre 0,36 e 0,75: desempenho aceitável;
- COE < 0,36: inaceitável.

$$PBIAS = \frac{Es - Em}{Em} * 100 \quad (\text{Equação 19})$$

$$COE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Em - Es)^2}{\sum_{i=1}^n (Em - E)^2} \quad (\text{Equação 20})$$

Onde: Em: valor da variável observada em um dado intervalo de tempo; Es: valor da variável simulada pelo modelo em um dado intervalo de tempo; E: média dos valores observados no período de simulação; n: número de variáveis.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA

A caracterização dos parâmetros físico-hídricos foi determinada em oito pontos de amostragens nas duas bacias hidrográficas. Os resultados dos parâmetros estão discretizados por horizonte e classe de solo, para a bacia hidrográfica norte e sul. Alguns desses parâmetros foram utilizados como informações de entrada no LISEM para a modelagem hidrológica, tais como a porosidade total e a condutividade hidráulica do solo saturado.

Verificaram-se diferenças nas características físico-hídricas de uma mesma classe de solo para bacias diferentes. Essas diferenças podem influenciar no comportamento da dinâmica hidrossedimentológica, sendo informações fundamentais na modelagem dos processos em escala de bacia hidrográfica (Rodrigues, 2011).

- Densidade do solo

Os resultados da caracterização físico-hídrica demonstraram que as menores densidades do solo corresponderam aos maiores valores de macroporosidade (Tabela 2). A macroporosidade é responsável pela aeração do solo e a condução da água por capilaridade, sendo um dos fatores que influenciam na dinâmica da infiltração e escoamento superficial.

Na bacia hidrográfica norte, em um perfil de amostragem correspondente à classe Argissolo Vermelho, o valor da densidade correspondente ao horizonte superficial A1 mostrou-se menor que os valores dos demais horizontes (A2, B1 e B2) (Tabela 2). Isso pode ser um indicativo de qualidade estrutural do solo promovido pela diminuição do tráfego de máquinas agrícolas e pisoteio animal.

- Condutividade hidráulica do solo saturado

A condutividade hidráulica do solo saturado (Tabela 3) é um importante parâmetro para o conhecimento da dinâmica do movimento de água no solo. De acordo com Almeida et al. (2017), essa propriedade é responsável por medir a facilidade com que os poros do solo transmitem água, descrevendo a funcionalidade de seu sistema poroso, como tamanho, morfologia, continuidade e orientação dos poros.

A condutividade hidráulica variou entre horizontes de solos de mesma classe em perfis diferentes, nas duas bacias hidrográficas em estudo. A condutividade mais elevada foi verificada no horizonte A do Gleissolo Háplico da bacia hidrográfica norte, seguido do horizonte C do Nitossolo Vermelho, também nessa bacia. A menor condutividade foi verificada no horizonte A do perfil do Argissolo Vermelho, na bacia sul, seguido do horizonte A2 do Argissolo Vermelho da bacia norte (Tabela 2).

Solos com valores de condutividade altos são indicativos de maior macroporosidade, o que pode estar relacionado com o efeito de práticas de manejo adotadas, tais como utilização de plantas de cobertura e emprego do sistema de plantio direto para menor revolvimento do solo. No entanto, valores de condutividade hidráulica do solo podem ser muito variáveis, mesmo em pequenas áreas. O nível dessas diferenças pode ser dependente dos manejos superficiais no solo e também do efeito compactador promovido pelo trânsito de máquinas e animais.

Tabela 2: Espessura, densidade, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e conteúdo de água disponível nos horizontes dos solos das duas bacias hidrográficas.

| Classe de Solo                      | Hz | Espessura<br>(cm) | Densidade<br>(g cm <sup>3</sup> ) | Porosidade |       |       | $\theta_s$ | Ks<br>mm h <sup>-1</sup> |
|-------------------------------------|----|-------------------|-----------------------------------|------------|-------|-------|------------|--------------------------|
|                                     |    |                   |                                   | Total      | Micro | Macro |            |                          |
| Bacia Hidrográfica Norte            |    |                   |                                   |            |       |       |            |                          |
| Latossolo<br>Vermelho               | A  | 0,0 - 27          | 1,40                              | 0,48       | 0,41  | 0,06  | 0,31       | 12,37                    |
|                                     | AB | 27 - 46           | 1,36                              | 0,46       | 0,41  | 0,05  | 0,21       | 27,61                    |
|                                     | BA | 46 - 82           | 1,22                              | 0,50       | 0,41  | 0,09  | 0,21       | 77,31                    |
|                                     | B  | 82 - 340+         | 1,19                              | 0,52       | 0,47  | 0,05  | 0,38       | 8,01                     |
| Argissolo<br>Vermelho               | A1 | 0,0 - 23          | 1,45                              | 0,40       | 0,36  | 0,05  | 0,32       | 98,87                    |
|                                     | A2 | 23 - 46           | 1,78                              | 0,36       | 0,31  | 0,05  | 0,32       | 0,95                     |
|                                     | B1 | 46 - 162          | 1,58                              | 0,37       | 0,35  | 0,02  | 0,18       | 4,20                     |
|                                     | B2 | 162 - 280         | 1,54                              | 0,37       | 0,32  | 0,05  | 0,19       | 13,37                    |
| Nitossolo<br>Vermelho               | A  | 0,0 - 44          | 1,60                              | 0,44       | 0,42  | 0,02  | 0,23       | 1,28                     |
|                                     | AB | 44 - 66           | 1,48                              | 0,44       | 0,39  | 0,05  | 0,18       | 53,03                    |
|                                     | B  | 66 - 265          | 1,15                              | 0,49       | 0,55  | 0,03  | 0,26       | 1,22                     |
|                                     | C  | 265 - 320         | 1,22                              | 0,54       | 0,49  | 0,05  | 0,29       | 210,24                   |
| Gleissolo<br>Háplico                | A1 | 0,00 - 25         | 1,68                              | 0,40       | 0,37  | 0,04  | 0,29       | 281,19                   |
|                                     | A2 | 25 - 80           | 1,21                              | 0,55       | 0,50  | 0,05  | 0,37       | 34,91                    |
|                                     | BG | 80 - 245+         | 1,17                              | 0,57       | 0,56  | 0,01  | 0,40       | 2,44                     |
| Bacia Hidrográfica Sul              |    |                   |                                   |            |       |       |            |                          |
| Latossolo<br>Vermelho               | A  | 0,0 - 022         | 1,56                              | 0,45       | 0,43  | 0,02  | 0,23       | 1,27                     |
|                                     | AB | 22 - 45           | 1,43                              | 0,46       | 0,41  | 0,05  | 0,24       | 33,51                    |
|                                     | BA | 45 - 70           | 1,34                              | 0,48       | 0,43  | 0,05  | 0,19       | 1,46                     |
|                                     | BW | 70 - 100+         | 1,35                              | 0,53       | 0,42  | 0,10  | 0,29       | 23,88                    |
| Argissolo<br>Vermelho               | A  | 0,0 - 36          | 1,57                              | 0,42       | 0,38  | 0,04  | 0,30       | 0,62                     |
|                                     | E  | 36 - 71           | 1,50                              | 0,40       | 0,37  | 0,03  | 0,23       | 6,89                     |
|                                     | B1 | 71 - 110          | 1,42                              | 0,42       | 0,35  | 0,07  | 0,25       | 14,78                    |
|                                     | B2 | 110 - 170         | 1,37                              | 0,46       | 0,38  | 0,07  | 0,29       | 9,92                     |
| Nitossolo<br>Vermelho               | A  | 0,0 - 020         | 1,63                              | 0,41       | 0,38  | 0,03  | 0,15       | 20,84                    |
|                                     | BA | 20 - 80           | 1,42                              | 0,48       | 0,45  | 0,03  | 0,19       | 0,64                     |
|                                     | B  | 80 - 100+         | 1,31                              | 0,52       | 0,45  | 0,07  | 0,24       | 1,27                     |
| Neossolo<br>Litólico                | A  | 0,0 - 100+        | 1,61                              | 0,45       | 0,42  | 0,04  | 0,29       | 29,9                     |
| Associação<br>Neossolo<br>Gleissolo | A  | 0,0 - 50+         | 1,47                              | 0,43       | 0,42  | 0,04  | 0,21       | 106,18                   |

Onde: Hz: horizonte; Total: porosidade total; Macro: macroporosidade; Micro: microporosidade;  $\theta_s$ : conteúdo de água disponível; Ks: condutividade hidráulica do solo saturado.

- Curva de retenção de água no solo

A curva de retenção da água no solo pode ser considerada como uma medida indireta da distribuição do tamanho de poros, sendo um parâmetro da qualidade dos solos (Reinert e Reichert, 2006). É um parâmetro que expressa a relação entre a umidade do solo e o potencial matricial com que a água está retida no sistema poroso do solo.

As figuras 15 e 16 representam o comportamento gráfico das curvas de retenção dos solos das bacias hidrográficas norte e sul, respectivamente. Na bacia hidrográfica norte (Figura 13), o horizonte com maior potencial de retenção foi verificado no horizonte BG do Gleissolo, e o horizonte com menor potencial foi verificado no horizonte A2 do Argissolo Vermelho. O perfil de Argissolo representou maior uniformidade na retenção de água entre seus horizontes (A1, A2, B1 e B2) (Figura 15).

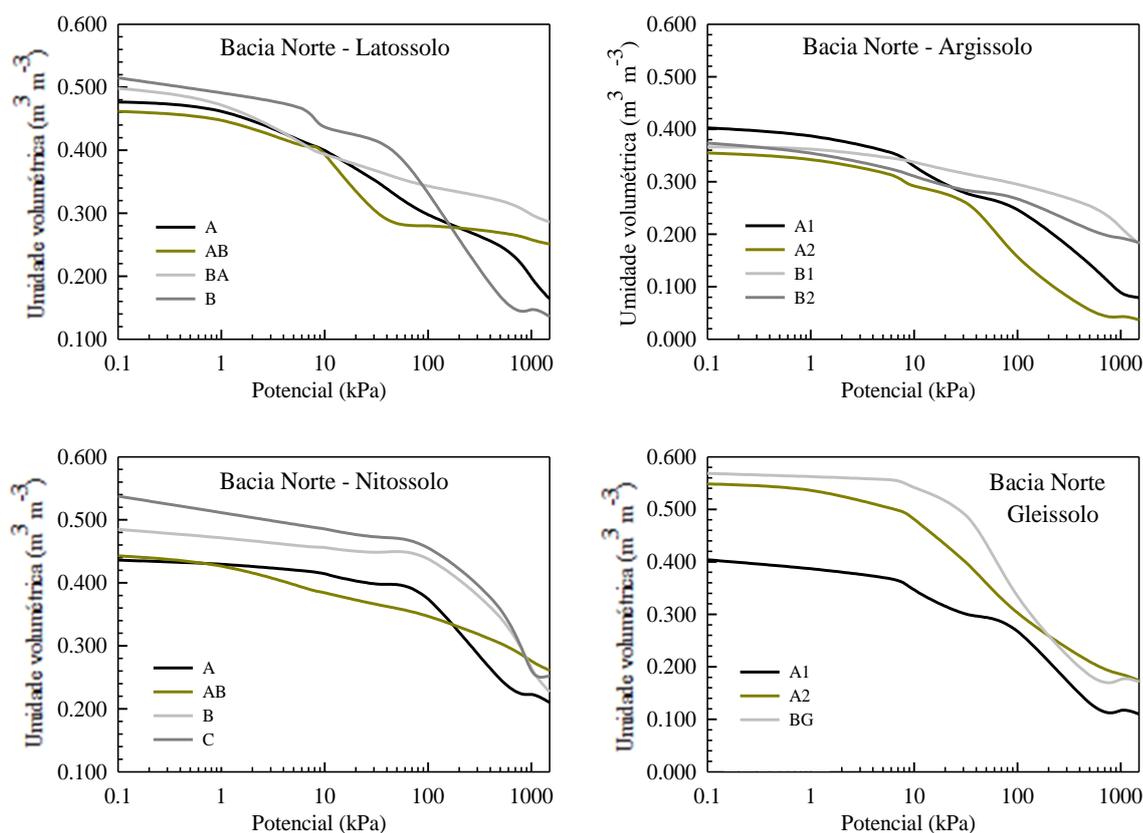


Figura 15: Curvas de retenção de água dos solos da bacia hidrográfica norte.

Na bacia hidrográfica sul foi observado maior uniformidade de retenção entre horizontes no perfil de Argissolo Vermelho. O maior potencial de retenção foi verificado no horizonte BA do Latossolo vermelho (Figura 16).

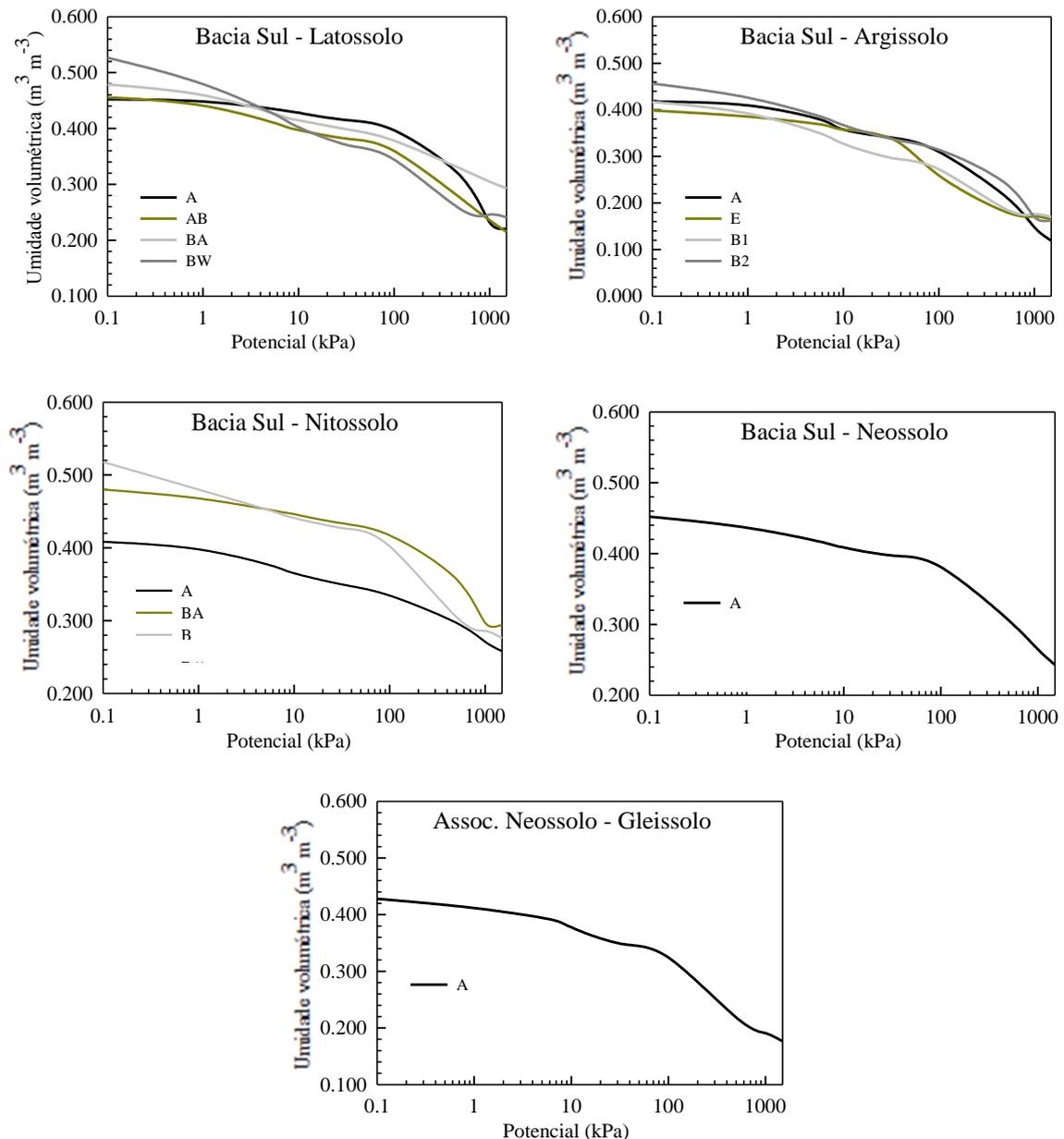


Figura 16: Curvas de retenção de água dos solos da bacia hidrográfica sul.

A Tabela 3 mostra a discretização dos valores de umidade volumétrica nas diferentes tensões para cada horizonte dos perfis de amostragens. Os valores foram utilizados para determinar a porosidade total, sendo um parâmetro importante de entrada no modelo LISEM.

Tabela 3: Valores de retenção de água no solo nas bacias hidrográficas Norte e Sul.

| Classes de solo           | Hz | Umidade Volumétrica (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> ) |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------|----|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                           |    | Kpa   |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                           |    | 0   | 1     | 6     | 10    | 33    | 100   | 500   | 1000  | 1500  |
| Bacia Hidrográfica Norte  |    |   |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Latossolo Vermelho        | A  | 0,462   | 0,448 | 0,408 | 0,394 | 0,300 | 0,280 | 0,269 | 0,258 | 0,251 |
|                           | AB | 0,498   | 0,472 | 0,411 | 0,394 | 0,366 | 0,343 | 0,320 | 0,298 | 0,286 |
|                           | BA | 0,515   | 0,491 | 0,466 | 0,437 | 0,413 | 0,332 | 0,168 | 0,147 | 0,136 |
|                           | B  | 0,436   | 0,429 | 0,419 | 0,415 | 0,398 | 0,374 | 0,247 | 0,223 | 0,210 |
| Argissolo Vermelho        | A1 | 0,403   | 0,387 | 0,355 | 0,330 | 0,277 | 0,247 | 0,143 | 0,089 | 0,079 |
|                           | A2 | 0,355   | 0,342 | 0,313 | 0,292 | 0,258 | 0,157 | 0,056 | 0,043 | 0,037 |
|                           | B1 | 0,366   | 0,362 | 0,345 | 0,337 | 0,315 | 0,295 | 0,254 | 0,213 | 0,182 |
|                           | B2 | 0,374   | 0,354 | 0,324 | 0,311 | 0,283 | 0,267 | 0,209 | 0,193 | 0,184 |
| Nitossolo Vermelho        | A  | 0,436   | 0,429 | 0,419 | 0,415 | 0,398 | 0,374 | 0,247 | 0,223 | 0,210 |
|                           | AB | 0,443   | 0,427 | 0,393 | 0,384 | 0,365 | 0,347 | 0,304 | 0,276 | 0,261 |
|                           | B  | 0,485   | 0,471 | 0,458 | 0,456 | 0,449 | 0,438 | 0,345 | 0,265 | 0,227 |
|                           | C  | 0,538   | 0,511 | 0,491 | 0,486 | 0,473 | 0,455 | 0,358 | 0,261 | 0,252 |
| Gleissolo                 | A1 | 0,404   | 0,387 | 0,368 | 0,347 | 0,300 | 0,268 | 0,131 | 0,117 | 0,110 |
|                           | A2 | 0,548   | 0,536 | 0,502 | 0,481 | 0,396 | 0,303 | 0,210 | 0,186 | 0,174 |
|                           | BG | 0,569   | 0,562 | 0,556 | 0,542 | 0,485 | 0,335 | 0,184 | 0,176 | 0,171 |
| Bacia Hidrográfica Sul    |    |   |       |       |       |       |       |       |       |       |
| Latossolo Vermelho        | A  | 0,452   | 0,448 | 0,434 | 0,428 | 0,415 | 0,397 | 0,314 | 0,232 | 0,220 |
|                           | AB | 0,456   | 0,441 | 0,408 | 0,397 | 0,381 | 0,360 | 0,275 | 0,236 | 0,215 |
|                           | BA | 0,479   | 0,459 | 0,425 | 0,415 | 0,398 | 0,378 | 0,328 | 0,305 | 0,293 |
|                           | BW | 0,527   | 0,479 | 0,423 | 0,402 | 0,370 | 0,344 | 0,255 | 0,246 | 0,241 |
| Argissolo Vermelho        | A  | 0,417   | 0,409 | 0,378 | 0,358 | 0,340 | 0,310 | 0,214 | 0,148 | 0,119 |
|                           | E  | 0,399   | 0,385 | 0,368 | 0,358 | 0,337 | 0,259 | 0,181 | 0,171 | 0,165 |
|                           | B1 | 0,417   | 0,392 | 0,348 | 0,327 | 0,296 | 0,272 | 0,187 | 0,176 | 0,170 |
|                           | B2 | 0,456   | 0,426 | 0,384 | 0,367 | 0,337 | 0,314 | 0,242 | 0,170 | 0,162 |
| Nitossolo Vermelho        | A  | 0,408   | 0,398 | 0,375 | 0,365 | 0,349 | 0,334 | 0,297 | 0,271 | 0,258 |
|                           | BA | 0,480   | 0,468 | 0,451 | 0,446 | 0,433 | 0,417 | 0,357 | 0,297 | 0,294 |
|                           | B  | 0,518   | 0,480 | 0,450 | 0,441 | 0,427 | 0,402 | 0,305 | 0,286 | 0,276 |
| Neossolo Litólico         | A  | 0,45  | 0,437 | 0,42  | 0,409 | 0,4   | 0,38  | 0,31  | 0,265 | 0,24  |
| Assoc. Neossolo Gleissolo | A  | 0,452   | 0,437 | 0,416 | 0,409 | 0,397 | 0,381 | 0,306 | 0,265 | 0,243 |

Onde: Hz: horizonte.

- pH do solo

Embora não tenha sido utilizado como um parâmetro de entrada no modelo LISEM para as simulações hidrológicas, o conhecimento dos valores de pH do solo é importante para o entendimento de um dos parâmetros químicos do solo. A Tabela 4 discretiza os valores de cada horizonte das classes de solos das bacias hidrográficas norte e sul.

Tabela 4: Valores de pH dos solos das duas bacias hidrográficas.

| Bacia Norte        |    |     | Bacia Sul                 |    |     |
|--------------------|----|-----|---------------------------|----|-----|
| Solos              | Hz | pH  | Solos                     | Hz | pH  |
| Latossolo Vermelho | A  | 4,9 | Latossolo Vermelho        | A  | 5,0 |
|                    | AB | 4,7 |                           | AB | 5,6 |
|                    | BA | 4,7 |                           | BA | 5,8 |
|                    | B  | 4,9 |                           | BW | 4,8 |
| Argissolo Vermelho | A1 | 4,6 | Argissolo Vermelho        | A  | 6,0 |
|                    | A2 | 4,9 |                           | E  | 5,2 |
|                    | B1 | 4,5 |                           | B1 | 5,3 |
|                    | B2 | 4,7 |                           | B2 | 4,8 |
| Nitossolo Vermelho | A  | 5,5 | Nitossolo Vermelho        | A  | 5,2 |
|                    | AB | 6,3 |                           | BA | 5,6 |
|                    | B  | 5,3 |                           | B  | 4,7 |
|                    | C  | 4,9 |                           |    |     |
| Gleissolo Háptico  | A1 | 5,4 | Neossolo Litólico         | A  | 6,2 |
|                    | A2 | 5,7 |                           | C  | 4,9 |
|                    | BG | 4,9 |                           |    |     |
|                    |    |     | Assoc. Neossolo Gleissolo | A  | 5,4 |

Onde: Hz: horizonte.

- Distribuição granulométrica

A determinação do tamanho e partículas é um importante parâmetro para o conhecimento dos níveis de erodibilidade do solo. As partículas de diâmetro maior tendem a demandar mais energia para a desagregação, enquanto as partículas de diâmetro menor tendem a ser erodidas com menor dispêndio de energia. A informação sobre as características

da distribuição granulométrica é um dos principais parâmetros de entrada no modelo LISEM para a modelagem dos processos erosivos em escala de bacia hidrográfica.

O maior teor de argila em horizonte foi observado no horizonte BA do Latossolo Vermelho da bacia norte e no horizonte A do Nitossolo Vermelho da bacia sul, ambos com 62,6% de argila. O perfil de solo mais argiloso foi observado no Nitossolo Vermelho da bacia sul, com 59,6% de argila.

A maior diferença na concentração de argila entre perfis da mesma classe de solo nas duas bacias hidrográficas foi observada no Nitossolo Vermelho, com diferença de 17,1%, seguido de 14,1% de diferença entre os dois perfis de Argissolo Vermelho. No entanto, nos dois perfis de Latossolo Vermelho das duas bacias, a diferença na concentração de argila particulada foi de apenas 5,9%.

A maior concentração de silte em horizonte foi observada no horizonte C do Nitossolo Vermelho da bacia norte (54,0%). Esse perfil de solo também apresentou a maior concentração de silte de todos os oito perfis nas duas bacias hidrográficas, com 37,0%. A diferença na concentração de silte entre os dois horizontes de Nitossolo Vermelho foi de 15,1%. Os horizontes de Argissolo Vermelho diferiram apenas 0,2%.

A classe Argissolo Vermelho apresentou a maior concentração de areia fina, tanto no perfil de amostragem da bacia norte quanto no perfil da bacia sul, com valores representativos de 59,9% e 44,3%, respectivamente. A maior concentração de areia fina em horizonte foi observada no horizonte A1 do Argissolo da bacia norte (68,21%), seguido do horizonte A2 do mesmo perfil, com 67,0%. A Tabela 5 discretiza os resultados da distribuição do tamanho de partículas nos solos das duas bacias hidrográficas.

Tabela 5: Distribuição do tamanho de partículas para as classes de solos das Bacias Norte e Sul.

| Classe de Solos               | Distribuição Granulométrica |            |           |                  |                |
|-------------------------------|-----------------------------|------------|-----------|------------------|----------------|
|                               | Hz                          | Argila (%) | Silte (%) | Areia Grossa (%) | Areia Fina (%) |
|                               | %                           |            |           |                  |                |
| Bacia Hidrográfica Norte      |                             |            |           |                  |                |
| Latosolo Vermelho             | A                           | 42,0       | 29,0      | 10,0             | 19,0           |
|                               | AB                          | 58,6       | 20,1      | 5,3              | 16,0           |
|                               | BA                          | 62,9       | 23,5      | 4,3              | 9,3            |
|                               | B                           | 52,8       | 28,7      | 5,0              | 13,6           |
| Argissolo Vermelho            | A1                          | 10,7       | 11,0      | 10,3             | 68,1           |
|                               | A2                          | 13,8       | 10,1      | 9,2              | 67,0           |
|                               | B1                          | 31,5       | 9,7       | 8,8              | 50,1           |
|                               | B2                          | 30,5       | 7,8       | 7,1              | 54,7           |
| Nitossolo Vermelho            | A                           | 40,2       | 28,1      | 10,0             | 21,7           |
|                               | AB                          | 45,8       | 36,5      | 5,4              | 12,4           |
|                               | B                           | 58,7       | 29,6      | 4,3              | 7,4            |
|                               | C                           | 25,7       | 54,0      | 2,4              | 18,0           |
| Gleissolo Háptico             | A1                          | 18,6       | 12,4      | 16,7             | 52,4           |
|                               | A2                          | 31,2       | 30,1      | 12,6             | 26,1           |
|                               | Bg                          | 39,3       | 19,2      | 12,0             | 29,5           |
| Bacia Hidrográfica Sul        |                             |            |           |                  |                |
| Latosolo Vermelho             | A                           | 43,2       | 24,6      | 10,0             | 22,2           |
|                               | AB                          | 34,3       | 41,2      | 9,3              | 15,2           |
|                               | BA                          | 56,7       | 24,5      | 7,2              | 11,7           |
|                               | BW                          | 58,7       | 22,6      | 5,6              | 13,2           |
| Argissolo Vermelho            | A                           | 24,5       | 10,3      | 11,9             | 53,4           |
|                               | E                           | 40,0       | 8,0       | 10,2             | 41,9           |
|                               | B1                          | 39,7       | 10,3      | 8,3              | 41,8           |
|                               | B2                          | 38,4       | 10,7      | 10,8             | 40,1           |
| Nitossolo Vermelho            | A                           | 62,9       | 24,4      | 3,4              | 9,3            |
|                               | BA                          | 58,7       | 21,7      | 5,1              | 14,5           |
|                               | B                           | 57,3       | 19,7      | 7,0              | 16,0           |
| Neossolo Litólico             | A                           | 41,85      | 28,31     | 12,97            | 16,88          |
|                               | C                           | 47,80      | 26,99     | 12,21            | 13,00          |
| Associação Neossolo/Gleissolo | A                           | 18,60      | 12,36     | 16,67            | 52,38          |

Onde: Hz: horizonte.

## 5.2 COMPORTAMENTO HIDROSEDIMENTOLÓGICO

Os resultados do monitoramento hidrossedimentométrico foram obtidos por meio de um banco de dados de variáveis explicativas, como a precipitação pluvial, a vazão e a turbidez da água observados nas bacias hidrográficas norte e sul durante o período de 01/06/16 a 31/10/17. A avaliação dos resultados do monitoramento buscou descrever o comportamento das respostas dos processos hidrológico e sedimentológico das duas bacias hidrográficas em escala diária, mensal e em escala de eventos pluviais.

Ressalta-se que durante o período de monitoramento, algumas falhas nos equipamentos automáticos, mas que não comprometeram os resultados finais. Nos meses de outubro a maio de 2016 não houve registro de dados na bacia hidrográfica norte. Nos meses de setembro e outubro de 2017 também não ocorreu monitoramento na bacia hidrográfica sul.

### 5.2.1 Precipitação pluvial, vazão e concentração de sedimentos em suspensão

#### 5.2.1.1 Escala diária

O tempo de concentração da bacia hidrográfica norte é de 2 h e 38 min, calculado pela média de 34 eventos pluviais monitorados. A bacia sul possui tempo de concentração de 4 h e 16 min, baseado na média de 47 eventos pluviais. As Figuras 16 e 17 mostram os hietogramas, hidrogramas e sedimentogramas durante o período de monitoramento nas bacias hidrográficas norte e sul.

A vazão de base da bacia norte (1,08 km<sup>2</sup>), sem chuva, é de 8,60 L s<sup>-1</sup> (Figura 17, Tabela 6 e Anexo 1). A média da concentração mínima de sedimentos em suspensão, sem precipitação pluvial é de 109,57 mg L<sup>-1</sup>.

Na bacia hidrográfica sul (0,67 km<sup>2</sup>), a vazão de base, sem chuva, correspondeu a 6,15 L s<sup>-1</sup> (Figura 18, Tabela 6 e Anexo 1). A média da concentração mínima de sedimentos em suspensão foi menor que a bacia norte (39,83 mg L<sup>-1</sup>). Minella (2007) conduziu estudos hidrossedimentológicos em uma bacia hidrográfica rural no município de Arvorezinha (1,19 km<sup>2</sup>), na região norte do RS e observou que a concentração de sedimentos em suspensão foi de 20 mg L<sup>-1</sup>, durante vazão de base de 50 L s<sup>-1</sup>.

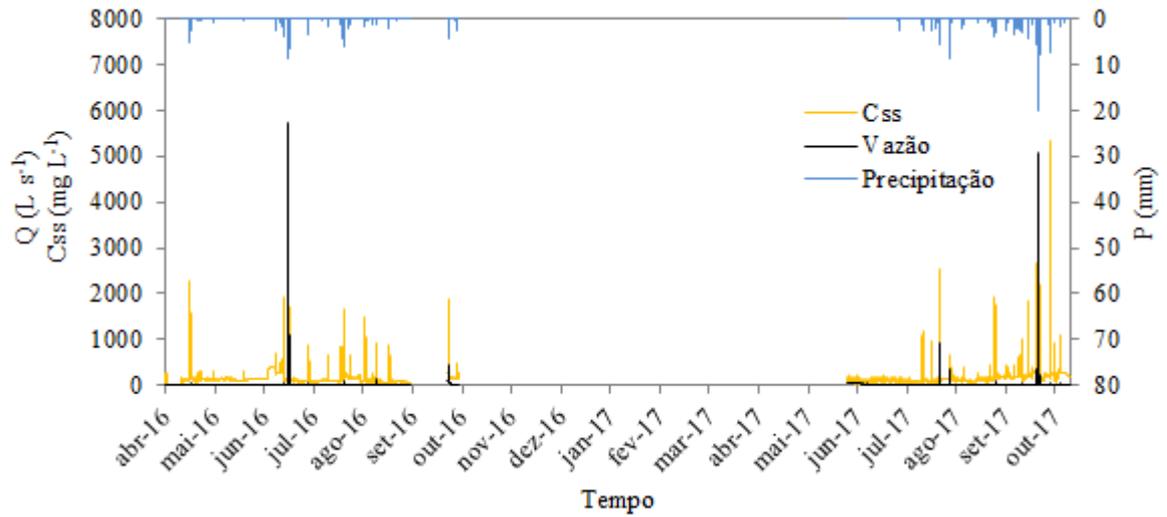


Figura 17: Hietograma, hidrograma e sedimentograma da bacia hidrográfica norte.

Onde: P: Precipitação, Q: vazão e C<sub>ss</sub>: concentração de sedimentos em suspensão.

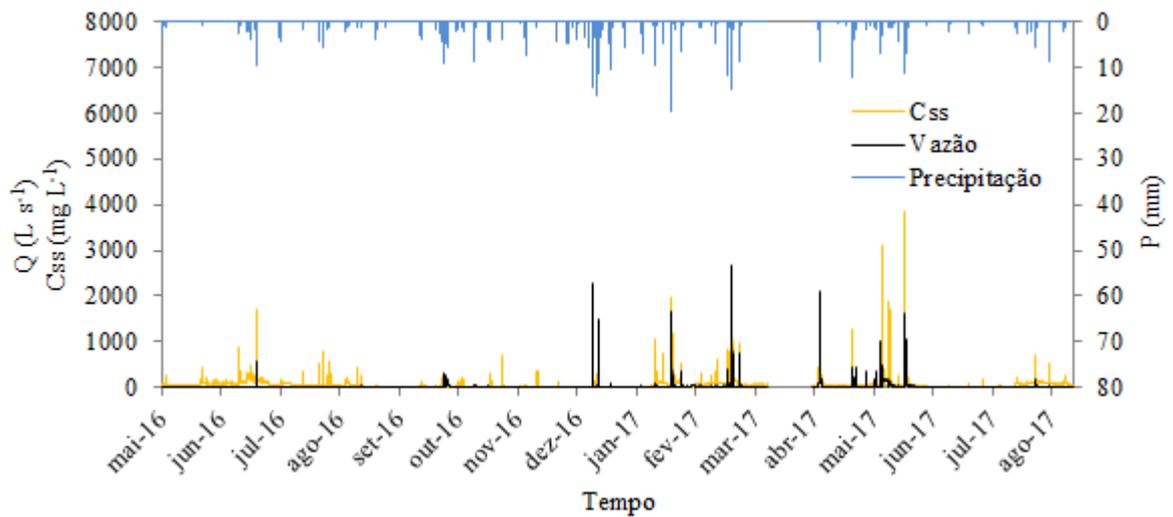


Figura 18: Hietograma, hidrograma e sedimentograma da bacia hidrográfica sul.

Onde: P: Precipitação, Q: vazão e C<sub>ss</sub>: concentração de sedimentos em suspensão.

A ocorrência de maiores valores de produção de sedimentos em suspensão observada nas duas bacias hidrográficas pareadas, em Quinze de Novembro, se comparadas com a bacia de Arvorezinha, monitorada por Minella, 2007, pode estar relacionada com as práticas de uso e manejo do solo e conformação das áreas vertentes e das redes de drenagens. Os canais de drenagem das bacias localizadas em Quinze de Novembro apresentam pontos ao longo dos canais com intenso pisoteio animal, o que pode contribuir com a elevada produção de sedimentos.

No dia 12/10/2017 ocorreu o maior volume acumulado de chuva na bacia hidrográfica norte durante todo o período de monitoramento (80,04 mm). Essa precipitação gerou um pico máximo de vazão de  $5.050,97 \text{ L s}^{-1}$  (Anexo 1) e uma concentração de sedimentos em suspensão de  $3.518,61 \text{ mg L}^{-1}$ . Nesse dia ocorreu a maior produção total de sedimentos (PS) de todo o período observado, 28,85 Mg (Anexo 4).

No entanto, a maior concentração de sedimentos em suspensão foi observada no dia 19/10/2017,  $5.321,23 \text{ mg L}^{-1}$  (Anexo 3). Isso pode estar relacionado com a umidade antecedente do solo, haja vista que durante os treze dias antecedentes o total de precipitação foi de aproximadamente 174 mm.

Na bacia hidrográfica sul, a maior precipitação diária foi observada em 25/04/17, com acumulado de 143,52 mm de precipitação. No entanto, essa precipitação não foi responsável pela máxima vazão. Essa ocorreu em 12/03/17, com um total de precipitação de 67,92 mm, menor em relação ao acumulado ocorrido no dia 25/04/17, no entanto com menor tempo de duração (Anexo 1).

No dia 07/06/17, ocorreu uma precipitação na bacia sul de 153,84 mm, gerando o maior pico de concentração de sedimentos em suspensão de  $3.839,81 \text{ mg L}^{-1}$ , com uma produção total de sedimentos de 9,34 PS (Anexo 3). Entretanto, a maior produção total de sedimentos do período observado ocorreu durante um evento de menor intensidade (101,40 mm) monitorado no dia 27/05/17, chegando a 22,62 PS.

Esse comportamento pode estar relacionado à umidade antecedente. Solos com alta umidade, com ocorrência de chuvas frequentes de alta intensidade tendem a antecipar a ocorrência do escoamento superficial hortoniano (Horton, 1933) promovendo maior desagregação e carreamento de partículas, aumentando a produção total de sedimentos.

A Tabela 6 apresenta as médias de precipitação, médias de vazão mínimas e máximas, médias de concentração de sedimentos em suspensão mínimas e máximas e médias da concentração total de sedimentos, em escala diária, de todo o período de monitoramento compreendido entre 01/06/2016 a 31/10/2017, nas duas bacias hidrográficas.

Tabela 6: Médias diárias de precipitação, descargas líquidas e sólidas de todo o período de monitoramento, nas bacias hidrográficas norte e sul.

| Bacia | Q (L s <sup>-1</sup> ) |       | Q (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ) |       | C <sub>ss</sub> (mg L <sup>-1</sup> ) |        |
|-------|------------------------|-------|---|-------|---------------------------------------|--------|
|       | Mín                    | Máx   | Mín                                     | Máx   | Mín                                   | Máx    |
| Norte | 8,60                   | 64,15 | 7,33                                    | 60,40 | 109,57                                | 340,76 |
| Sul   | 6,15                   | 53,36 | 11,13                                   | 89,13 | 39,83                                 | 156,06 |

Onde: P: precipitação; Q: vazão; C<sub>ss</sub>: concentração de sedimentos em suspensão; PS: produção total de sedimentos; Mín: mínima; Máx: máxima.

As Figuras 16 e 17 trazem um comparativo entre as curvas chaves da relação entre a concentração de sedimentos em suspensão e a vazão das bacias hidrográficas norte e sul, podendo ser utilizadas para completar eventuais falhas no monitoramento hidrossedimentológico, desde que sejam satisfatoriamente ajustadas e representativas das condições de cada bacia hidrográfica.

A relação entre a concentração de sedimentos em suspensão máxima e média e a vazão máxima e média (Figuras 19 e 19A) indica a tendência de um aumento linear da concentração de sedimentos em suspensão com o aumento da vazão. Acredita-se que esse processo pode estar relacionado com a ocorrência de escoamento superficial em convergências de estradas vicinais nas áreas vertentes das duas bacias hidrográficas, mas também pelo processo erosivo nas áreas.

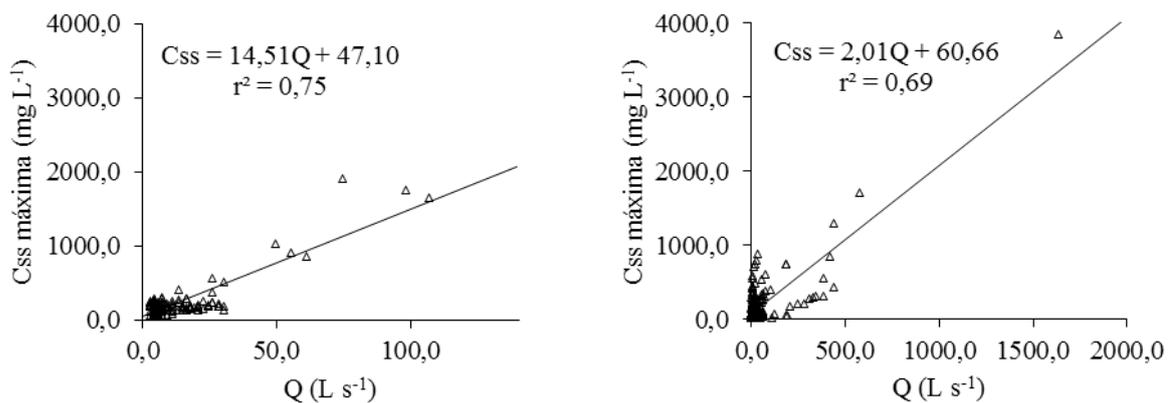


Figura 19: Relação entre a concentração de sedimentos em suspensão máxima e a vazão máxima das bacias hidrográficas norte (a) e sul (b).

Onde: C<sub>ss</sub>: concentração de sedimentos em suspensão; Q: vazão.

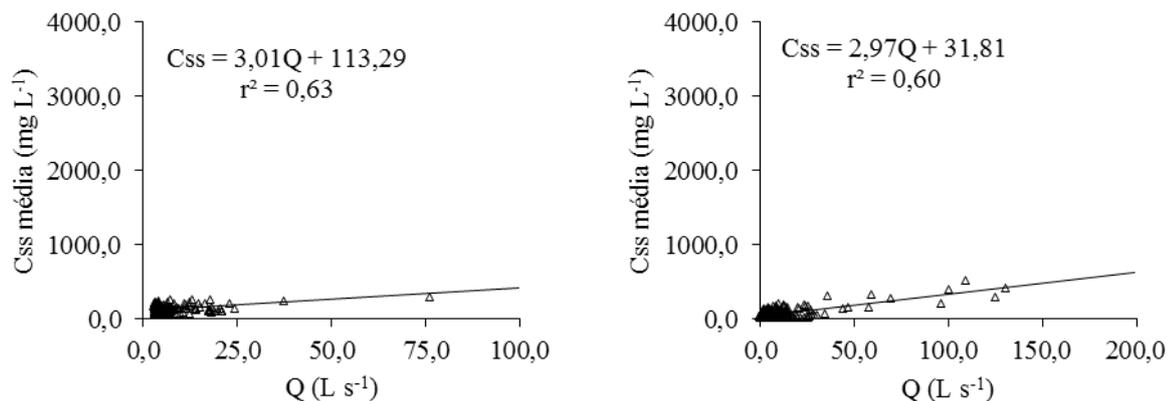


Figura 19A: Relação entre a concentração de sedimentos em suspensão média e a vazão média das bacias hidrográficas norte (a) e sul (b).

Onde: C<sub>ss</sub>: concentração de sedimentos em suspensão; Q: vazão.

#### 5.2.1.2 Escala mensal

Os resultados do monitoramento hidrossedimentológico, em escala mensal, das duas bacias hidrográficas pareadas, estão discretizados nas Tabelas 7 e nas Tabelas 8. As variáveis demonstradas para cada bacia são precipitação, vazão mínima, média e máxima, concentração de sedimentos em suspensão mínima, média e máxima e produção total de sedimentos. A análise dos resultados em escala mensal propõe agrupar e facilitar o entendimento da distribuição das precipitações e as descargas líquidas e sólidas durante os meses de monitoramento.

Durante todo o período de monitoramento conduzido nas duas bacias hidrográficas, compreendido entre 01/06/2016 e 31/10/2017 (16 meses), houve algumas falhas nos equipamentos automáticos que impossibilitaram a quantificação total das precipitações. No entanto, entre o período de 01/06/2016 e 30/06/2017 (12 meses), não foi constatada nenhuma falha nos equipamentos da bacia hidrográfica sul. Dessa forma, foi possível observar um acumulado total de precipitação anual de 2.420,64 mm (Tabela 8). O clima da região é enquadrado na classificação climática de Köppen, onde a precipitação média anual é de 1.750 mm. Assim, observa-se que a precipitação anual do período observado foi acima da média (Alves et al., 2013).

Tabela 7: Precipitação pluvial (P), vazão (Q) mínima, média e máxima, concentração de sedimentos em suspensão (Css) mínima, média e máxima e produção de sedimentos (PS) para a bacia hidrográfica norte, em escala mensal.

| Bacia Hidrográfica Norte |           |                        |        |           |   |        |           |                           |          |           |            |                              |
|--------------------------|-----------|------------------------|--------|-----------|---|--------|-----------|---------------------------|----------|-----------|------------|------------------------------|
| Data                     | P<br>(mm) | Q (L s <sup>-1</sup> ) |        |           | Q (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ) |        |           | Css (mg L <sup>-1</sup> ) |          |           | PS<br>(Mg) | PS<br>(Mg km <sup>-2</sup> ) |
|                          |           | Mín                    | Méd    | Máx       | Mín                                     | Méd    | Máx       | Mín                       | Méd      | Máx       |            |                              |
| 01 a 30/06/16            | 12,10     | 2,89                   | 5,37   | 8,81      | 2,67                                    | 4,97   | 8,14      | 89,68                     | 135,49   | 298,95    | 1,90       | 1,76                         |
| 01 a 31/07/16            | 172,70    | 2,89                   | 10,99  | 5.740,65  | 2,89                                    | 10,15  | 5.304,81  | 59,79                     | 205,46   | 1.913,25  | 22,47      | 20,77                        |
| 01 a 31/08/16            | 118,80    | 2,89                   | 4,52   | 106,38    | 2,67                                    | 8,49   | 98,30     | 74,74                     | 149,56   | 1.659,15  | 2,29       | 2,12                         |
| 01 a 26/09/16            | 66,44     | 2,00                   | 6,76   | 152,30    | 2,51                                    | 6,24   | 140,74    | 44,84                     | 101,01   | 941,68    | 1,99       | 1,84                         |
| 18 a 25/10/16            | 55,66     | 1,98                   | 29,99  | 455,85    | 2,60                                    | 27,71  | 421,24    | 128,52                    | 205,45   | 1.895,61  | 5,81       | 5,37                         |
| 17 a 30/06/17            | 0,22      | 12,13                  | 43,22  | 64,67     | 25,83                                   | 39,94  | 59,76     | 14,95                     | 94,59    | 239,16    | 4,71       | 4,35                         |
| 01 a 31/07/17            | 20,46     | 12,10                  | 18,99  | 27,96     | 11,18                                   | 17,55  | 25,83     | 44,84                     | 98,97    | 224,21    | 4,00       | 3,69                         |
| 01 a 31/08/17            | 207,36    | 4,01                   | 10,90  | 915,82    | 3,71                                    | 10,07  | 846,28    | 14,95                     | 138,05   | 2.555,98  | 10,95      | 10,11                        |
| 01 a 30/09/17            | 138,96    | 1,98                   | 4,23   | 97,77     | 1,83                                    | 3,91   | 90,34     | 44,84                     | 182,28   | 1.913,25  | 2,91       | 2,69                         |
| 01 a 31/10/17            | 267,36    | 1,98                   | 21,55  | 5.050,97  | 1,83                                    | 19,91  | 4.667,49  | 74,74                     | 304,21   | 5.321,23  | 42,50      | 39,27                        |
| Média                    | 106,01    | 4,48                   | 15,65  | 1.262,12  | 5,77                                    | 14,89  | 1.166,29  | 59,19                     | 161,51   | 1.696,25  | 9,95       | 9,20                         |
| Total                    | 1.060,06  | 44,83                  | 156,51 | 12.621,16 | 57,70                                   | 148,94 | 11.662,94 | 591,88                    | 1.615,06 | 16.962,46 | 99,54      | 91,98                        |

Tabela 8: Precipitação pluvial (P), vazão (Q) mínima, média e máxima, concentração de sedimentos em suspensão (C<sub>ss</sub>) mínima, média e máxima e produção de sedimentos (PS) para a bacia hidrográfica sul, em escala mensal.

| Bacia Hidrográfica Sul |           |                        |        |           |   |        |           |                                       |        |           |        |                        |
|------------------------|-----------|------------------------|--------|-----------|---|--------|-----------|---------------------------------------|--------|-----------|--------|------------------------|
| Data                   | P<br>(mm) | Q (L s <sup>-1</sup> ) |        |           | Q (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ) |        |           | C <sub>ss</sub> (mg L <sup>-1</sup> ) |        |           | PS     | PS                     |
|                        |           | Mín                    | Méd    | Máx       | Mín                                     | Méd    | Máx       | Mín                                   | Méd    | Máx       | (Mg)   | (Mg km <sup>-2</sup> ) |
| 01 a 30/06/16          | 10,56     | 1,03                   | 6,20   | 7,91      | 1,54                                    | 6,82   | 11,80     | 17,92                                 | 67,46  | 440,25    | 0,79   | 1,18                   |
| 01 a 31/07/16          | 180,48    | 1,00                   | 7,76   | 572,25    | 1,54                                    | 11,59  | 854,14    | 33,45                                 | 125,35 | 1.707,25  | 5,46   | 8,15                   |
| 01 a 31/08/16          | 124,56    | 0,01                   | 2,02   | 27,62     | 0,02                                    | 3,02   | 41,23     | 21,50                                 | 76,56  | 788,51    | 0,52   | 0,77                   |
| 01 a 30/09/16          | 72,96     | 0,09                   | 3,48   | 57,14     | 0,13                                    | 5,20   | 85,29     | 5,97                                  | 29,15  | 431,29    | 0,41   | 0,61                   |
| 01 a 31/10/16          | 288,72    | 0,01                   | 12,07  | 326,87    | 0,02                                    | 18,02  | 487,89    | 9,56                                  | 28,32  | 286,73    | 1,13   | 1,69                   |
| 01 a 30/11/16          | 142,56    | 1,03                   | 7,17   | 94,54     | 1,03                                    | 10,70  | 94,54     | 9,56                                  | 31,60  | 698,91    | 0,68   | 1,02                   |
| 01 a 31/12/16          | 231,84    | 0,01                   | 4,53   | 2.271,38  | 0,02                                    | 6,76   | 3.390,25  | 5,97                                  | 21,17  | 2.166,97  | 12,12  | 18,09                  |
| 01 a 31/01/17          | 184,32    | 0,01                   | 7,05   | 1.494,53  | 0,02                                    | 10,53  | 2.230,73  | 7,17                                  | 15,09  | 358,00    | 1,22   | 1,82                   |
| 01 a 28/02/17          | 236,88    | 1,86                   | 22,32  | 1.670,60  | 2,78                                    | 33,31  | 2.493,53  | 19,58                                 | 101,12 | 1.989,20  | 13,55  | 20,22                  |
| 01 a 31/03/17          | 184,08    | 0,30                   | 24,07  | 2.674,27  | 0,45                                    | 35,92  | 3.991,60  | 22,70                                 | 99,97  | 1.768,18  | 21,29  | 31,77                  |
| 21 a 33/04/17          | 169,92    | 12,10                  | 54,62  | 2.111,20  | 18,06                                   | 81,53  | 3.151,17  | 7,06                                  | 94,70  | 1.234,14  | 16,46  | 24,57                  |
| 01 a 31/05/17          | 400,80    | 12,10                  | 56,57  | 1.035,40  | 18,06                                   | 84,43  | 1.545,43  | 0,35                                  | 104,85 | 3.115,81  | 37,66  | 56,21                  |
| 01 a 30/06/17          | 192,96    | 8,82                   | 31,80  | 1.632,10  | 13,16                                   | 47,46  | 2.436,06  | 19,57                                 | 56,77  | 3.839,81  | 16,31  | 24,35                  |
| 01 a 31/07/17          | 33,36     | 1,10                   | 5,49   | 10,06     | 1,89                                    | 8,19   | 15,01     | 19,57                                 | 22,03  | 168,45    | 0,27   | 0,40                   |
| 01 a 31/08/17          | 207,36    | 1,20                   | 6,47   | 181,88    | 1,50                                    | 9,65   | 271,47    | 29,60                                 | 90,96  | 731,16    | 2,27   | 3,39                   |
| Média                  | 177,42    | 2,71                   | 16,77  | 944,52    | 4,01                                    | 24,88  | 1.406,68  | 15,30                                 | 64,34  | 1.314,98  | 8,68   | 12,95                  |
| Soma                   | 2.661,36  | 40,68                  | 251,62 | 14.167,75 | 60,22                                   | 373,13 | 21.100,15 | 229,53                                | 965,10 | 19.724,65 | 130,13 | 194,24                 |

Durante os meses de junho, julho e agosto do ano de 2016 e os meses de junho, julho e agosto do ano de 2017, o monitoramento nas duas bacias hidrográficas transcorreu sem apresentar inconsistências. Nesse sentido, as variáveis observadas durante esses meses podem ser utilizadas de forma comparativa entre as duas bacias hidrográficas no que tange as respostas às precipitações, a vazão e a concentração de sedimentos (Tabelas 7 e 8).

O mês de junho de 2016 teve as menores precipitações, totalizando 12,10 mm na bacia norte e 10,56 mm na bacia sul. Durante esse período, a vazão máxima observada foi de 8,81 L s<sup>-1</sup> e 7,9 L s<sup>-1</sup> na bacia norte e bacia sul, respectivamente (Tabelas 7 e 8). A produção total de sedimentos mensal foi a menor de todo o período monitorado na bacia norte, com total de 1,90 Mg (Tabela 7).

Durante o mês de julho de 2016, as precipitações intensificaram-se, gerando acumulados de 172,70 mm na bacia norte a 180,48 mm na bacia sul (Tabelas 7 e 8). Salienta-se que a distância entre os pluviógrafos das duas bacias é de aproximadamente 500 m, o que justifica a diferença entre as precipitações mensais.

Com as precipitações ocorridas no mês de julho de 2016, a bacia norte apresentou o maior pico de vazão de todo o período de monitoramento, chegando a 5.740,65 L s<sup>-1</sup>. Na bacia sul, a vazão observada no mês de julho foi de 572,25 L s<sup>-1</sup>. A bacia norte possui uma área superficial de 1,08 km<sup>2</sup> e a bacia sul possui área de 0,67 km<sup>2</sup>. As diferentes dimensões das áreas de contribuição e a conformação das redes de drenagens e as áreas vertentes podem ter relação direta com o pico de vazão superior apresentado na bacia norte.

Embora o mês de julho de 2016 tenha apresentado a maior vazão de todo o período de monitoramento na bacia norte, a maior concentração de sedimentos em suspensão observada nessa bacia durante todo o período de monitoramento foi verificada em outubro de 2017, com valores de 5.321,23 mg L<sup>-1</sup> (Tabela 7). Isso pode estar relacionado com a distribuição das precipitações no mês de outubro de 2017, totalizando o maior acumulado mensal da bacia norte durante todo o período observado, de 267,36 mm. Adicionalmente, o mês de outubro de 2017 coincidiu com o período de plantio da soja, cultura que representa aproximadamente 24% da área vertente da bacia hidrográfica norte.

A maior produção total de sedimentos durante todo o período de monitoramento ocorreu na bacia hidrográfica norte, durante o mês de outubro de 2017, com 42,50 Mg. Nesse mês também foi observada a maior concentração de sedimentos em suspensão, 5.321,23 mg L<sup>-1</sup>. No mês de maio de 2017, a precipitação total chegou a 400,80 mm e a produção total de sedimentos foi de 37,66 Mg, valor menor se comparado ao mês de outubro de 2017.

As Tabelas 7 e 8 demonstram que a produção total de sedimentos (PS) observada na bacia hidrográfica norte chegou a 99,54 Mg e, a PS observada na bacia sul resultou em 130,26 Mg durante todo o período de monitoramento. No entanto, ressalta-se que houve falhas nos equipamentos que impossibilitou a comparação da PS para o período integral de monitoramento. Nesse sentido, traçou-se um período de comparação compreendido entre os meses de junho e outubro do ano de 2016 e julho a setembro do ano de 2017, onde o monitoramento não sofreu interrupções nas duas bacias. Dessa forma, nesse período a bacia norte apresentou PS de 48,36 Mg e bacia sul 16,29 Mg.

### *5.2.1.3 Escala de eventos pluviais*

A análise em escala de eventos pluviais tem o objetivo de observar as respostas hidrológicas e sedimentológicas das duas bacias hidrográficas frente a eventos de chuva isolados. Adicionalmente, busca-se a compreensão da relação da formação do escoamento superficial e as diferentes condições de uso do solo e as diferentes intensidades de ocorrência dos fenômenos pluviais.

O período de monitoramento compreendido entre 01/06/2016 e 31/10/2017 possibilitou congrega 34 eventos pluviais ocorridos na bacia hidrográfica norte e 47 eventos na bacia hidrográfica sul. Esse conjunto de eventos de chuva-vazão-sedimentos contempla diferentes intensidades, desde acumulados de chuva de 6,60 mm (Tabela 10) até 168,96 mm (Tabela 12), distribuídos ao longo de diferentes períodos de usos do solo. Nesse sentido, a análise do conjunto de eventos representativos mostrou-se uma estratégia importante para a compreensão do comportamento dos processos hidrossedimentológicos das duas bacias hidrográficas.

Os resultados das variáveis hidrológicas e sedimentológicas de todos os eventos pluviais observados durante o período de monitoramento nas duas bacias hidrográficas estão dispostos separadamente nas Tabelas 9, 10, 11 e 12. Adicionalmente, são descritos os comportamentos de alguns eventos pluviais observados nas duas bacias hidrográficas.

#### *5.2.1.3.1 Eventos observados na bacia hidrográfica norte*

A seguir, são descritos alguns hidrogramas, sedimentogramas, hietogramas e histereses de alguns dos eventos pluviais observados na bacia hidrográfica norte. As Tabelas 9

e 10 trazem a discretização das variáveis hidrossedimentológicas de todos os eventos pluviais observados durante o período de monitoramento na bacia hidrográfica norte.

Na Tabela 9 estão dispostos os resultados de escoamento total, escoamento de base, escoamento superficial, vazão de pico, precipitação total, coeficiente de escoamento superficial, intensidade máxima em uma hora, concentração de sedimentos em suspensão e produção total de sedimentos. Na Tabela 10 estão discretizados os resultados de vazão máxima, vazão mínima, vazão central, concentração de sedimentos em suspensão do ramo crescente, concentração de sedimentos em suspensão do ramo decrescente, índice de histerese, histerese sentido horário e histerese sentido anti-horário.

Em 11/07/16 ocorreu um evento pluvial na bacia norte com precipitação acumulada de 12,80 mm em uma hora de duração (Tabelas 9 e 10 e Figuras 20A). Essa precipitação resultou em uma vazão ( $Q$ ) de pico de  $74,50 \text{ L s}^{-1}$  e escoamento superficial observado de  $397,83 \text{ m}^3$ . Salienta-se que a vazão de base da bacia hidrográfica norte, sem chuva, é de aproximadamente  $11,79 \text{ L s}^{-1}$ . A concentração de sedimentos em suspensão ( $C_{ss}$ ) apresentou um pico de  $1.913,25 \text{ mg L}^{-1}$ , resultando em uma produção total de sedimentos ( $PS$ ) de  $0,34 \text{ Mg km}^{-2}$  (Tabelas 9 e 10).

Uma importante ferramenta para análise da dinâmica da produção e transporte de sedimentos em bacias hidrográficas é a análise do comportamento do laço de histerese. A análise desencadeia-se por meio da plotagem dos valores de vazão ( $Q$ ) e da concentração de sedimentos em suspensão ( $CSS$ ) em função do tempo, caracterizando a curva de histerese (Figura 20B).

Os laços de histerese de descarga de sedimentos são frequentemente analisados a fim de facilitar a compreensão dos processos de transporte e produção espacial de sedimentos em escala de bacia hidrográfica; no entanto, podem apresentar compreensão difícil (Aich et al., 2114).

A histerese pode apresentar comportamento em sentido horário, anti-horário, ou formato em oito. O padrão qualitativo de histerese observado no evento 8, ocorrido em 11/07/16 (Tabelas 9 e 10) foi de sentido anti-horário (Tabela 10 e Figura 20B). Ou seja, o pico da concentração de sedimentos em suspensão ( $C_{ss}$ ) ocorreu após o pico da vazão ( $Q$ ). Os laços de histerese que apresentam esse tipo de comportamento indicam que os sedimentos mobilizados, transportados e depositados pertencem a fontes mais distantes, como as áreas vertentes da bacia hidrográfica, onde são transportados pelo escoamento superficial hortoniano até as redes de drenagem (Lenzi e Lorenzo, 2000).

Tabela 9: Variáveis hidrossedimentológicas dos eventos observados no período de 01/06/2016 e 31/10/2017 na bacia hidrográfica norte.

| Eventos Pluviais: Bacia Hidrográfica Norte |          |                               |                              |                              |                 |                                |                  |          |                                |                                  |                  |                              |
|--|----------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------|--------------------------------|------------------|----------|--------------------------------|----------------------------------|------------------|------------------------------|
| Evento                                     | Data     | E. total<br>(m <sup>3</sup> ) | E. Base<br>(m <sup>3</sup> ) | E. sup.<br>(m <sup>3</sup> ) | E. sup.<br>(mm) | Q pico<br>(L s <sup>-1</sup> ) | P. total<br>(mm) | C<br>(%) | IM 1h<br>(mm h <sup>-1</sup> ) | Css máx<br>(mg L <sup>-1</sup> ) | PS total<br>(mg) | PS<br>(Mg km <sup>-2</sup> ) |
| 1  | 15/05/16 | 836,8                         | 692,0                        | 144,8                        | 0,13            | 43,8                           | 24,2             | 0,55     | 11,44                          | 1.569,5                          | 0,72             | 0,66                         |
| 2  | 20/05/16 | 707,1                         | 700,7                        | 6,4                          | 0,01            | 13,3                           | 6,6              | 0,09     | 1,98                           | 313,9                            | 0,13             | 0,12                         |
| 3  | 22/05/16 | 986,1                         | 957,5                        | 28,7                         | 0,03            | 13,3                           | 9,9              | 0,27     | 2,20                           | 313,9                            | 0,17             | 0,16                         |
| 4  | 29/05/16 | 986,1                         | 47,6                         | 938,6                        | 0,87            | 10,9                           | 2,9              | 30,33    | 1,98                           | 298,9                            | 0,03             | 0,03                         |
| 5  | 16/06/16 | 184,0                         | 94,5                         | 89,5                         | 0,08            | 7,0                            | 7,7              | 1,07     | 2,42                           | 298,9                            | 0,35             | 0,33                         |
| 6  | 05/07/16 | 213,9                         | 136,0                        | 77,9                         | 0,07            | 25,9                           | 28,4             | 0,25     | 11,66                          | 702,5                            | 0,14             | 0,13                         |
| 7  | 09/07/16 | 477,8                         | 306,4                        | 171,4                        | 0,16            | 39,9                           | 22,0             | 0,72     | 5,72                           | 597,9                            | 0,28             | 0,26                         |
| 8  | 11/07/16 | 697,7                         | 299,9                        | 397,8                        | 0,37            | 74,5                           | 12,8             | 2,87     | 12,76                          | 1.913,2                          | 0,37             | 0,34                         |
| 9  | 14/07/16 | 15.703,4                      | 773,5                        | 14.929,9                     | 13,80           | 5.740,7                        | 73,3             | 18,83    | 24,86                          | 1.763,8                          | 19,57            | 18,09                        |
| 10   | 26/07/16 | 931,4                         | 16,7                         | 914,7                        | 0,85            | 61,0                           | 27,7             | 3,05     | 7,92                           | 866,9                            | 0,28             | 0,26                         |
| 11   | 06/08/16 | 212,4                         | 99,0                         | 113,5                        | 0,10            | 10,9                           | 13,9             | 0,76     | 5,72                           | 672,6                            | 0,04             | 0,03                         |
| 12   | 15/08/16 | 215,7                         | 54,0                         | 161,7                        | 0,15            | 7,0                            | 10,6             | 1,42     | 4,62                           | 852,0                            | 0,05             | 0,05                         |
| 13   | 20/08/16 | 412,8                         | 141,6                        | 271,2                        | 0,25            | 25,9                           | 11,1             | 2,26     | 4,40                           | 687,6                            | 0,14             | 0,13                         |
| 14   | 28/08/16 | 1.457,4                       | 160,2                        | 1.297,2                      | 1,20            | 16,0                           | 47,1             | 2,55     | 5,06                           | 1.494,7                          | 0,45             | 0,42                         |
| 15   | 30/08/16 | 1.973,5                       | 1.241,1                      | 732,4                        | 0,68            | 25,9                           | 12,1             | 5,59     | 2,86                           | 125,0                            | 0,29             | 0,27                         |
| 16   | 03/09/16 | 437,2                         | 166,5                        | 270,8                        | 0,25            | 16,0                           | 15,4             | 1,62     | 5,28                           | 284,0                            | 0,06             | 0,06                         |
| 17   | 05/09/16 | 2.050,1                       | 1.171,9                      | 865,8                        | 0,80            | 152,3                          | 28,4             | 2,82     | 5,94                           | 941,7                            | 0,69             | 0,64                         |
| 18   | 13/09/16 | 342,9                         | 116,9                        | 226,0                        | 0,21            | 19,0                           | 16,3             | 1,28     | 5,72                           | 896,8                            | 0,20             | 0,19                         |
| 19   | 19/10/16 | 3.985,0                       | 2.255,3                      | 1.729,6                      | 1,60            | 455,9                          | 32,1             | 4,98     | 10,78                          | 1.895,6                          | 18,65            | 17,23                        |
| 20   | 24/10/16 | 507,4                         | 92,6                         | 414,8                        | 0,38            | 29,9                           | 17,8             | 2,15     | 7,70                           | 514,1                            | 0,14             | 0,13                         |

Onde: E. total: escoamento total; E. base: escoamento de base; E. sup.: escoamento superficial; Q pico: vazão de pico; P. total: precipitação total; C: coeficiente de escoamento superficial; IM 1h: intensidade máxima em 1 hora; PS: produção total de sedimentos.

Tabela 9: (Continuação)

| Eventos Pluviais: Bacia Hidrográfica Norte |          |                               |                              |                              |                 |                                |                  |          |                                |                                  |                  |                              |
|--|----------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------|--------------------------------|------------------|----------|--------------------------------|----------------------------------|------------------|------------------------------|
| Evento                                     | Data     | E. total<br>(m <sup>3</sup> ) | E. Base<br>(m <sup>3</sup> ) | E. sup.<br>(m <sup>3</sup> ) | E. sup.<br>(mm) | Q pico<br>(L s <sup>-1</sup> ) | P. total<br>(mm) | C<br>(%) | IM 1h<br>(mm h <sup>-1</sup> ) | Css máx<br>(mg L <sup>-1</sup> ) | PS total<br>(mg) | PS<br>(Mg km <sup>-2</sup> ) |
| 21   | 02/08/07 | 1.376,4                       | 576,8                        | 799,7                        | 0,74            | 25,9                           | 39,4             | 1,88     | 10,08                          | 1.210,7                          | 0,31             | 0,28                         |
| 22   | 12/08/07 | 10.002,2                      | 2.990,4                      | 7.011,8                      | 6,48            | 915,8                          | 109,0            | 5,94     | 19,92                          | 208,8                            | 7,99             | 7,39                         |
| 23   | 19/08/17 | 1.750,4                       | 858,2                        | 892,1                        | 0,82            | 344,8                          | 24,5             | 3,36     | 20,40                          | 672,6                            | 0,67             | 0,62                         |
| 24   | 27/08/17 | 1.449,2                       | 645,9                        | 803,3                        | 0,74            | 344,8                          | 22,0             | 3,37     | 5,52                           | 403,6                            | 0,08             | 0,08                         |
| 25   | 14/09/17 | 256,2                         | 196,9                        | 59,2                         | 0,05            | 19,0                           | 29,0             | 0,19     | 7,68                           | 1.913,2                          | 0,14             | 0,13                         |
| 26   | 15/09/17 | 1.276,9                       | 736,8                        | 540,1                        | 0,50            | 97,8                           | 55,4             | 0,90     | 10,56                          | 144,1                            | 1,32             | 1,22                         |
| 27   | 29/09/17 | 404,9                         | 313,8                        | 91,1                         | 0,08            | 10,9                           | 28,3             | 0,30     | 7,68                           | 612,8                            | 0,11             | 0,11                         |
| 28   | 01/10/17 | 635,8                         | 1,5                          | 634,2                        | 0,59            | 49,2                           | 35,5             | 1,65     | 9,60                           | 1.031,4                          | 0,30             | 0,28                         |
| 29   | 06/10/17 | 224,5                         | 176,0                        | 48,5                         | 0,04            | 4,0                            | 15,1             | 0,30     | 12,96                          | 1.853,5                          | 0,10             | 0,10                         |
| 30   | 11/10/17 | 277,2                         | 9,5                          | 267,7                        | 0,25            | 34,2                           | 10,3             | 2,40     | 9,60                           | 1.010,2                          | 0,17             | 0,16                         |
| 31   | 12/10/17 | 12.584,0                      | 74,1                         | 12.509,9                     | 11,56           | 5.051,0                        | 62,6             | 18,47    | 29,04                          | 3.512,6                          | 27,91            | 25,79                        |
| 32   | 12/10/17 | 2.326,6                       | 1.262,0                      | 1.064,5                      | 0,98            | 220,7                          | 17,5             | 5,62     | 10,32                          | 2.212,2                          | 2,01             | 1,85                         |
| 33   | 19/10/17 | 2.504,2                       | 824,3                        | 1.680,0                      | 1,55            | 74,5                           | 48,5             | 3,20     | 24,24                          | 434,7                            | 3,76             | 3,48                         |
| 34   | 25/10/17 | 1.432,6                       | 652,3                        | 780,4                        | 0,72            | 43,8                           | 21,6             | 3,34     | 8,88                           | 1.091,2                          | 0,69             | 0,64                         |

Onde: E. total: escoamento total; E. base: escoamento de base; E. sup.: escoamento superficial; Q pico: vazão de pico; P. total: precipitação total; C: coeficiente de escoamento superficial; IM 1h: intensidade máxima em 1 hora; PS: produção total de sedimentos.

Tabela 10: Variáveis hidrossedimentológicas e histerese dos eventos pluviométricos e eventos pluviiais observados na bacia hidrográfica norte.

| Bacia Hidrográfica Norte |          |                  |  |  |  |  |  |       |           |
|--------------------------|----------|------------------|--|--|--|--|--|-------|-----------|
| Evento                   | Data     | P. total<br>(mm) | Q <sub>máx</sub><br>(L s <sup>-1</sup> ) | Q <sub>mín</sub><br>(L s <sup>-1</sup> ) | Q <sub>cen</sub><br>(L s <sup>-1</sup> ) | CSS <sub>RC</sub><br>(mg L <sup>-1</sup> ) | CSS <sub>RD</sub><br>(mg L <sup>-1</sup> ) | IH    | Histerese |
| 1                        | 15/05/16 | 24,20            | 34,15                                    | 16,00                                    | 25,08                                    | 867,35                                     | 850,76                                     | 0,02  | H         |
| 2                        | 20/05/16 | 6,60             | 13,32                                    | 10,92                                    | 12,12                                    | 127,05                                     | 304,92                                     | -0,58 | AH        |
| 3                        | 22/05/16 | 9,90             | 13,32                                    | 10,92                                    | 12,12                                    | 156,95                                     | 134,53                                     | 0,17  | H         |
| 4                        | 29/05/16 | 2,86             | 8,81                                     | 8,81                                     | 8,81                                     | 178,49                                     | 149,47                                     | 0,81  | H         |
| 5                        | 16/06/16 | 7,70             | 6,16                                     | 5,36                                     | 5,76                                     | 2.263,48                                   | 1.831,50                                   | 0,24  | H         |
| 6                        | 05/07/16 | 28,38            | 22,29                                    | 2,89                                     | 12,59                                    | 520,12                                     | 285,09                                     | 0,82  | H         |
| 7                        | 09/07/16 | 22,00            | 39,86                                    | 4,01                                     | 21,93                                    | 524,21                                     | 407,55                                     | 0,29  | H         |
| 8                        | 11/07/16 | 12,80            | 54,91                                    | 4,01                                     | 29,46                                    | 651,08                                     | 893,17                                     | -0,73 | AH        |
| 9                        | 14/07/16 | 73,26            | 3.136,80                                 | 5,36                                     | 1.571,08                                 | 1.561,45                                   | 1.612,96                                   | -0,03 | AH        |
| 10                       | 26/07/16 | 27,72            | 49,17                                    | 5,36                                     | 27,26                                    | 461,60                                     | 256,37                                     | 0,80  | 8         |
| 11                       | 06/08/16 | 13,86            | 8,81                                     | 5,36                                     | 7,08                                     | 210,29                                     | 194,31                                     | 0,08  | H         |
| 12                       | 15/08/16 | 10,56            | 5,36                                     | 2,89                                     | 4,12                                     | 835,53                                     | 149,47                                     | 4,59  | H         |
| 13                       | 20/08/16 | 11,09            | 22,29                                    | 4,01                                     | 13,15                                    | 649,28                                     | 363,73                                     | 0,79  | H         |
| 14                       | 28/08/16 | 47,08            | 16,00                                    | 5,36                                     | 10,68                                    | 585,51                                     | 89,68                                      | 5,53  | H         |
| 15                       | 30/08/16 | 12,10            | 22,29                                    | 8,81                                     | 15,55                                    | 430,64                                     | 189,24                                     | 1,28  | H         |
| 16                       | 03/09/16 | 15,40            | 13,32                                    | 5,36                                     | 9,34                                     | 201,39                                     | 138,30                                     | 0,46  | H         |
| 17                       | 05/09/16 | 28,38            | 129,29                                   | 6,96                                     | 68,12                                    | 381,55                                     | 265,05                                     | 0,44  | H         |
| 18                       | 13/09/16 | 16,28            | 16,00                                    | 5,36                                     | 10,68                                    | 544,32                                     | 667,61                                     | -0,18 | AH        |
| 19                       | 19/10/16 | 32,12            | 324,93                                   | 37,57                                    | 181,25                                   | 1.060,26                                   | 571,27                                     | 0,86  | H         |
| 20                       | 24/10/16 | 17,82            | 29,86                                    | 10,92                                    | 20,39                                    | 408,01                                     | 340,81                                     | 0,20  | H         |
| 21                       | 02/08/07 | 39,40            | 25,91                                    | 5,36                                     | 15,64                                    | 1.051,81                                   | 205,17                                     | 4,13  | H         |
| 22                       | 12/08/07 | 109,00           | 666,92                                   | 4,82                                     | 335,87                                   | 1.391,46                                   | 911,06                                     | 0,53  | H         |
| 23                       | 19/08/17 | 24,50            | 219,93                                   | 7,75                                     | 113,84                                   | 414,75                                     | 612,84                                     | -0,32 | H         |
| 24                       | 27/08/17 | 22,00            | 219,93                                   | 6,96                                     | 113,45                                   | 104,63                                     | 119,90                                     | -0,13 | H         |
| 25                       | 14/09/17 | 29,00            | 13,32                                    | 4,01                                     | 8,66                                     | 793,49                                     | 580,65                                     | 0,37  | H         |
| 26                       | 15/09/17 | 55,40            | 89,59                                    | 4,01                                     | 46,80                                    | 1.222,42                                   | 483,61                                     | 1,53  | H         |
| 27                       | 29/09/17 | 28,30            | 10,92                                    | 4,01                                     | 7,47                                     | 394,81                                     | 318,01                                     | 0,24  | H         |
| 28                       | 01/10/17 | 35,50            | 43,80                                    | 5,36                                     | 24,58                                    | 678,41                                     | 306,62                                     | 1,21  | H         |
| 29                       | 06/10/17 | 15,10            | 10,92                                    | 4,01                                     | 7,47                                     | 495,29                                     | 1.288,38                                   | -0,62 | AH        |
| 30                       | 11/10/17 | 10,30            | 34,15                                    | 5,36                                     | 19,76                                    | 667,03                                     | 572,97                                     | 0,16  | H         |
| 31                       | 12/10/17 | 62,60            | 1.541,55                                 | 13,32                                    | 777,44                                   | 1.716,37                                   | 2.114,06                                   | -0,19 | H         |
| 32                       | 12/10/17 | 17,50            | 191,40                                   | 46,48                                    | 118,94                                   | 1.946,40                                   | 757,70                                     | 1,57  | H         |
| 33                       | 19/10/17 | 48,50            | 67,57                                    | 10,92                                    | 39,25                                    | 994,65                                     | 1.667,58                                   | -0,40 | H         |
| 34                       | 25/10/17 | 21,60            | 43,80                                    | 13,32                                    | 28,56                                    | 583,98                                     | 522,08                                     | 0,12  | H         |

Onde: P. total: precipitação total; Q<sub>máx</sub>: vazão máxima; Q<sub>mín</sub>: vazão mínima; Q<sub>cen</sub>: vazão central; CSS<sub>RC</sub>: concentração de sedimentos em suspensão do ramo crescente; CSS<sub>RD</sub>: concentração de sedimentos em suspensão do ramo decrescente; IH: índice de histerese; H: histerese sentido horário, AH: histerese sentido anti-horário e 8: histerese formato em oito.

Além da análise qualitativa, que trata do sentido do laço da histerese, também é possível analisar a feição quantitativa da histerese. A análise quantitativa é expressa por um índice de histerese (IH), determinado pela metodologia proposta por Lawler et al. (2006), que relaciona as descargas de sedimentos e a vazão. O valor do índice de histerese (IH) tende a diminuir quando ocorre aumento das fontes de sedimentos. O IH apresenta valores positivos quando o laço da histerese apresenta sentido horário, e negativo, quando o laço apresenta sentido anti-horário. O índice quantitativo de histerese apresentado no evento 8 foi -0,73.

O índice de histerese (IH) pode ser empregado como instrumento para quantificar a espessura e magnitude da histerese (Aich et al., 2014). É uma ferramenta de análise e comparação entre eventos pluviais e a intensidade das atividades agrícolas não conservacionistas, que tendem a promover o aumento das fontes de mobilização de sedimentos para as redes de drenagem, uma vez que a maior produção de sedimentos em suspensão é indicada pela diminuição do índice de histerese (Minella et al, 2011).

O formato do laço de histerese observado no evento 8 (Figura 20B) tende a demonstrar relativa simetria. A simetria do laço de histerese é observada quando o hidrograma e o sedimentograma apresentarem uma abertura semelhante e picos quase na mesma altura (Minella et al., 2010a).

O mesmo comportamento qualitativo de histerese em sentido anti-horário foi observado no evento ocorrido em 14/07/16 (Tabelas 9 e 10 e Figuras 20C e 20D). Esse cenário sugere que os sedimentos transportados foram mobilizados a partir de fontes mais distantes (Lawler et al., 2006). O índice de histerese do evento 9 (14/07/16) apresentou valor de -0,03 (Tabela 10 e Figura 20D), onde o pico do sedimentograma apresentou pequeno atraso em relação ao pico do hidrograma, formando o laço de histerese no sentido horário.

O evento 9 (14/07/16) apresentou acumulado de precipitação (P) de 73,26 mm e intensidade máxima observada em uma hora de 24,86 mm (Tabelas 9 e 10 e Figura 20C). Essa precipitação gerou o maior volume de escoamento superficial de todos os eventos monitorados na bacia hidrográfica norte, 14.929,90 m<sup>3</sup>.

Acredita-se que a ocorrência desse volume de escoamento superficial esteja relacionada com a umidade do solo antecedente ao evento, uma vez que nos dois dias antecedentes ao dia 14/07/16 foram registrados dois eventos pluviais que totalizaram 34,80 mm, o que pode ter contribuído para antecipação da formação do escoamento superficial durante o evento do dia 14.

A umidade do solo antecedente ao evento tende a apresentar valores heterogêneos nas áreas da bacia hidrográfica. Nas áreas próximas das redes de drenagem o solo tende a estar

perto da saturação. Já nas porções mais altas da encosta a tendência é ocorrer maior capacidade de infiltração, colaborando para o escoamento subsuperficial (Barros, 2012).

Outro fator que pode ter contribuído com o volume escoado é a ocorrência do evento durante o inverno, pois tradicionalmente é um dos períodos que apresenta menor quantidade de cobertura vegetal no solo. A diminuição da cobertura vegetal natural nos usos agrícolas tende a modificar a dinâmica da formação do escoamento superficial e a produção de sedimentos em vários níveis (Morgan, 2005).

O evento pluvial ocorrido no dia 14/07/16 apresentou a maior vazão (Q) de pico de todos os eventos monitorados na bacia norte durante o período de observações, chegando a uma vazão de pico de  $5.740,65 \text{ L s}^{-1}$  (Tabelas 9 e 10 e Figura 20C), o que também atribui-se ao conteúdo de umidade antecedente do solo e à intensidade máxima de precipitação em uma hora, com acumulado de 24,86 mm. A rápida ascensão do hidrograma em relação ao hietograma indica que a bacia apresenta rápida resposta durante eventos pluviais, o que pode ser atribuído às conformações geomorfológicas das áreas vertentes e das redes de drenagens.

Bacias pequenas geram respostas mais rápidas e intensas na vazão e concentração de sedimentos a partir de um evento pluvial em função dos fatores e interações que ocorrem nas encostas (Barros, 2012). Esse fator pode ser atribuído ao efeito direto das escalas, visto que quanto menor a bacia menor a capacidade de amortecimento da onda de cheia e armazenamento da chuva (Girardi et al., 2011).

Mesmo apresentando volumes de chuva e escoamento superficial superiores ao evento 8 (11/07/16), o evento 9 (14/07/16) apresentou menor pico de concentração de sedimentos em suspensão (C<sub>ss</sub>), chegando a  $1.763,78 \text{ mg L}^{-1}$ . No entanto, a produção total de sedimentos (PS) observada atingiu 19,57 Mg, a terceira maior de todos os eventos monitorados na bacia hidrográfica norte (Figura 20C, Tabela 9).

Devido ao período de ocorrência, à intensidade e à elevada produção total de sedimentos (PS), sugerem-se algumas inferências relacionadas ao evento 9 (14/07/16). Esse evento ocorreu no período de inverno, onde o uso do solo na bacia hidrográfica é predominantemente ocupado com a cultura do azevém, aveia e bovinocultura leiteira, com animais criados a pasto e com suplementação alimentar. Nesse sentido, é possível que a elevada produção total de sedimentos esteja relacionada à baixa porcentagem de cobertura do solo, aliada ao pisoteio de animais (Baggio et al., 2009), promovendo o efeito desagregador de partículas na superfície do solo (Silva et al., 2010).

O evento pluvial ocorrido em 20/08/16 (Tabelas 9 e 10 e Figura 20E) demonstra a sensibilidade do hidrograma e sedimentograma à resposta de um evento de baixa intensidade

e duração, com acumulado de precipitação total de 11,09 mm e intensidade máxima em uma hora de 4,40 mm.

O evento de chuva antecedente ao evento 13 (20/08/16) ocorreu em 14/07/16, com intensidade de 19,57 mm, o que permite inferir que o estado de umidade inicial do solo se encontrava baixo. No entanto, houve um volume de escoamento superficial de 271,20 m<sup>3</sup>. A vazão (Q) de pico chegou a 25,91 L s<sup>-1</sup>. A concentração máxima de sedimentos em suspensão (Css) foi 687,57 mg L<sup>-1</sup> e a produção total de sedimentos (PS) foi 0,14 Mg (Tabela 9).

O padrão qualitativo do laço de histerese apresentou sentido horário (Tabela 10 e Figura 20F), podendo ser claramente observado pelo adiantamento do tempo de pico do sedimentograma em relação ao pico do hidrograma (Hudson, 2003), representando rápida mobilização, transporte e exaustão das fontes de sedimentos (Dragovich, 2009). Quanto ao padrão quantitativo, a histerese apresentou índice de 0,79 (Tabela 10). No evento antecedente ocorrido em 15/08/16, a histerese apresentou índice de 4,59. O aumento do índice de histerese do evento 13 em relação ao evento 12 pode estar relacionado com o menor aporte das fontes de sedimentos.

O evento 20, ocorrido em 24/10/16 pode ser considerado um evento de baixa magnitude, com volume total de 17,82 mm e intensidade máxima de uma hora de 7,70 mm (Tabelas 9 e 10 e Figura 20G). A vazão (Q) de pico apresentou fluxo máximo de 29,86 L s<sup>-1</sup> e a concentração de sedimentos em suspensão (Css) máxima foi de 514,07 mg L<sup>-1</sup>, alcançando uma produção total de sedimentos de 0,14 Mg. A histerese apresentou comportamento no sentido horário e o índice quantitativo verificado foi de 0,20 (Tabela 10 e Figura 20H).

A particularidade desse evento de baixa magnitude é a ascensão e recessão uniformes do hidrograma e sedimentograma formados por baixos acumulados de precipitação, característico do comportamento de bacias hidrográficas menores.

Diferentemente do comportamento demonstrado pelo evento 20 (24/10/16), o evento 22, monitorado em 12/08/17, apresentou o maior acumulado de precipitação de todos os eventos monitorados na bacia hidrográfica norte, durante todo o período de monitoramento (Tabelas 9 e 10 e Figura 20I), chegando a 109 mm. A intensidade máxima observada em uma hora foi 19,92 mm, onde a vazão (Q) de pico alcançou 915,82 L s<sup>-1</sup>. A precipitação gerou um volume de escoamento superficial de 7.011,80 m<sup>3</sup>, sendo que o pico de concentração de sedimentos em suspensão (Css) atingiu 2.555,98 mg L<sup>-1</sup>.

A histerese apresentou comportamento qualitativo no sentido horário (Figura 20J), pois o sedimentograma mostra a ascensão de picos da Css adiantados em relação ao pico do hidrograma (Figura 20I). Isso demonstra que esses sedimentos foram mobilizados de fontes

mais próximas, possivelmente na rede de drenagem (Lawler et al., 2006), onde provavelmente ocorreram deposições durante eventos anteriores ou esses sedimentos podem ser resultados de colapsos dos taludes do canal principal.

O evento 22 (12/08/17) apresentou uma particularidade difícil de ser explicada e que cabe ser observada. Apesar de ser o evento com a maior magnitude observada durante o monitoramento na bacia norte, a produção total de sedimentos (PS) foi de 7,99 Mg, menor se comparado ao evento 19 (19/10/16), que apresentou uma PS de 19,98 Mg, sob um volume de precipitação amplamente menor, 32,12 mm. As chuvas antecedentes ao evento 22 foram semelhantes em relação às intensidades, sugerindo similaridade entre o conteúdo de água inicial do solo, não justificando a ampla diferença na PS entre esses dois eventos, sendo que o período de ocorrência dos dois eventos foi sob as mesmas condições de uso do solo.

Essas discrepâncias podem ser consideradas como um exemplo de dificuldades na descrição de processos erosivos em bacias hidrográficas. Existe o envolvimento de um elevado número de fatores influentes que muitas vezes ainda não estão ao alcance do conhecimento do observador, especialmente em bacias hidrográficas com curto histórico de estudo.

O evento 29 ocorrido em 06/10/17 (Tabelas 9 e 10 e Figura 20K) apresentou volume de precipitação de 15,10 mm, sendo o segundo menor volume de escoamento superficial de todos os eventos monitorados na bacia norte, 48,52 m<sup>3</sup>. Resultou no menor volume de produção de sedimentos (PS), 0,10 Mg. A histerese apresentou sentido anti-horário (Figura 20L), com índice de histerese (IH) de -0,62 (Tabela 10).

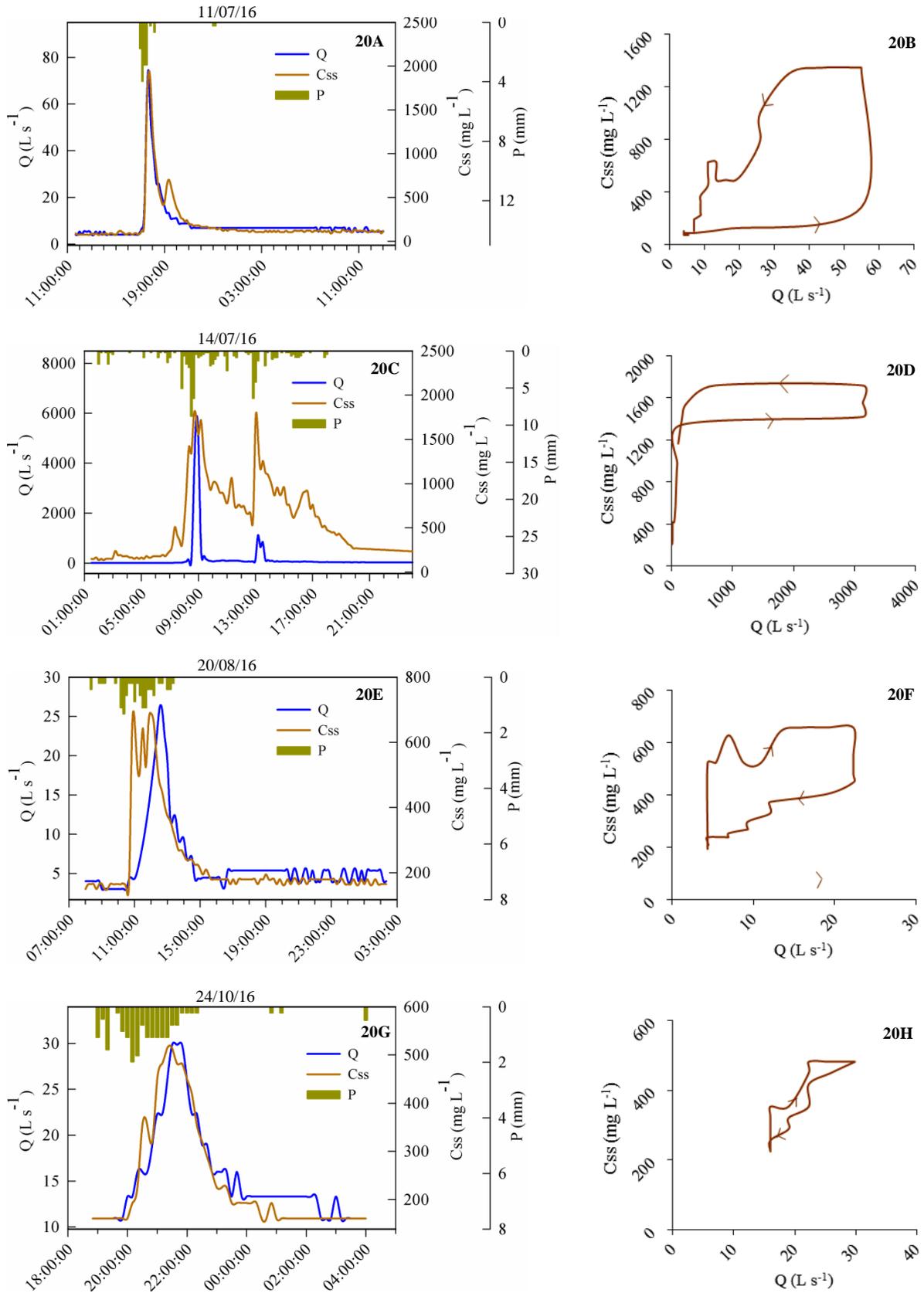


Figura 20: Hidrogramas, hietogramas, sedimentogramas e laços de histereses de eventos observados na bacia hidrográfica norte.

Onde: Q: vazão; C<sub>ss</sub>: concentração de sedimentos em suspensão e P: precipitação.

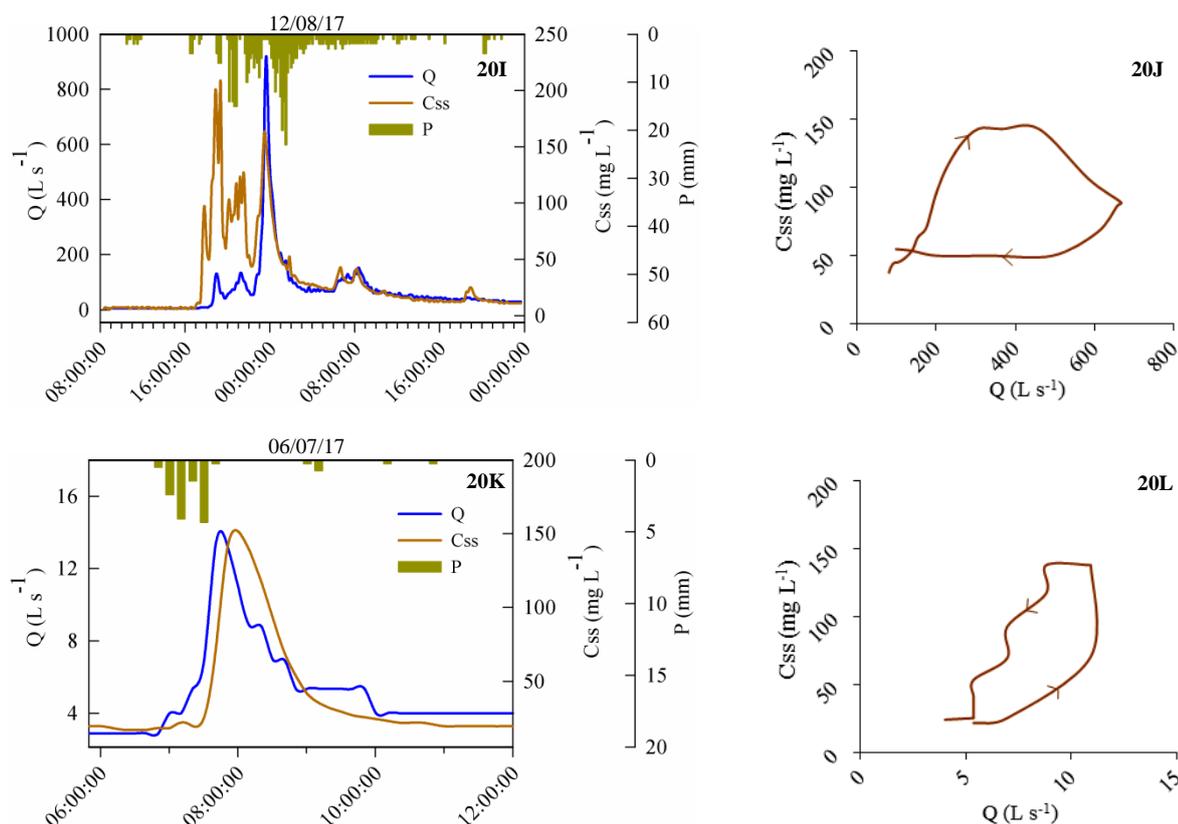


Figura 20 (Continuação): Hidrogramas, hietogramas, sedimentogramas e laços de histereses de eventos observados na bacia hidrográfica norte.

Onde: Q: vazão; Css: concentração de sedimentos em suspensão e P: precipitação.

### 5.2.1.3.2 Eventos observados na bacia hidrográfica sul

Durante o período de monitoramento na bacia hidrográfica sul, entre 01/06/16 e 30/10/17, foram observados 47 eventos de chuva-vazão-sedimentos de diferentes magnitudes e intensidades. Esse conjunto de eventos pode ser considerado como representativo do período sazonal em que ocorreram.

O evento observado com menor volume de precipitação foi monitorado em 16/06/16, com 6,96 mm acumulados, onde o volume de escoamento superficial observado foi de  $5,5 \text{ m}^3$ . O escoamento de base da bacia hidrográfica sul, sem chuva, é de aproximadamente  $7,52 \text{ L s}^{-1}$ .

No dia 23/4/17 ocorreu um evento de alta magnitude (Tabela 11), apresentando o maior volume de precipitação acumulado de todos os eventos monitorados, 168,26 mm, cuja intensidade máxima em uma hora chegou a 32,64 mm. A produção total de sedimentos (PS) foi de 16,25 Mg, onde o pico de concentração de sedimentos em suspensão (Css) observado chegou a  $1.234,14 \text{ mg L}^{-1}$ .

A maior produção total de sedimentos (PS) de todos os eventos monitorados na bacia sul foi observado durante o evento 46, ocorrido em 12/08/17, com 40,08 Mg de sedimentos. Esse evento teve acumulado de precipitação de 106,32 mm com intensidade máxima em uma hora de 19,92 mm (Tabela 11). O evento antecedente ao evento 46 ocorreu 35 dias antes, em 07/06/17, com volume acumulado de 153,94 mm.

A elevada PS observada durante o evento 46 pode não estar dependente apenas da umidade antecedente do solo, mas sim ao período de sua ocorrência - durante o mês de agosto. Esse período é caracterizado pelas menores taxas de cobertura do solo, ao final do inverno, ocasionado pelo pastejo e pisoteio de animais provenientes da atividade leiteira (Baggio et al. (2009).

A seguir são descritos alguns eventos pluviais monitorados na bacia hidrográfica sul. As Tabelas 11 e 12 demonstram as variáveis hidrossedimentológicas de cada evento monitorado nessa bacia hidrográfica. Na Tabela 11 estão dispostos os resultados de escoamento total, escoamento de base, escoamento superficial, vazão de pico, precipitação total, coeficiente de escoamento superficial, intensidade máxima em uma hora, concentração de sedimentos em suspensão e produção total de sedimentos. Na Tabela 12 estão discretizados os resultados de vazão máxima, vazão mínima, vazão central, concentração de sedimentos em suspensão do ramo crescente, concentração de sedimentos em suspensão do ramo decrescente, índice de histerese, histerese sentido horário e histerese sentido anti-horário.

Tabela 11: Variáveis hidrossedimentológicas dos eventos observados no período de 01/06/2016 e 31/10/2017 na bacia hidrográfica sul.

| Eventos Pluviais Bacia Hidrográfica Sul |          |                               |                              |                              |                 |                                |                  |          |                                |                                  |                              |                              |
|---|----------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------|--------------------------------|------------------|----------|--------------------------------|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Evento                                  | Data     | E. total<br>(m <sup>3</sup> ) | E. Base<br>(m <sup>3</sup> ) | E. sup.<br>(m <sup>3</sup> ) | E. sup.<br>(mm) | Q pico<br>(L s <sup>-1</sup> ) | P. total<br>(mm) | C<br>(%) | IM 1h<br>(mm h <sup>-1</sup> ) | Css máx<br>(mg L <sup>-1</sup> ) | PS<br>(Mg km <sup>-2</sup> ) | PS<br>(Mg km <sup>-2</sup> ) |
| 1                                       | 16/06/16 | 397,3                         | 391,8                        | 5,5                          | 0,01            | 7,9                            | 7,0              | 0,12     | 2,16                           | 440,3                            | 0,14                         | 0,21                         |
| 2                                       | 05/07/16 | 436,9                         | 333,9                        | 103,0                        | 0,15            | 5,1                            | 29,5             | 0,52     | 12,24                          | 880,5                            | 0,18                         | 0,27                         |
| 3                                       | 09/07/16 | 880,7                         | 549,4                        | 331,3                        | 0,49            | 17,4                           | 25,0             | 1,98     | 5,04                           | 327,4                            | 0,22                         | 0,32                         |
| 4                                       | 11/07/16 | 1.234,0                       | 1.068,0                      | 165,9                        | 0,25            | 17,4                           | 12,0             | 2,06     | 10,56                          | 479,1                            | 0,30                         | 0,44                         |
| 5                                       | 14/07/16 | 6.226,6                       | 2.102,3                      | 4.124,2                      | 6,16            | 572,2                          | 77,3             | 7,97     | 23,76                          | 1.707,2                          | 3,52                         | 5,26                         |
| 6                                       | 26/07/16 | 8.539,1                       | 635,4                        | 7.903,7                      | 11,80           | 27,6                           | 73,0             | 16,16    | 23,76                          | 201,9                            | 0,11                         | 0,16                         |
| 7                                       | 06/08/16 | 197,9                         | 144,1                        | 53,8                         | 0,08            | 6,2                            | 14,2             | 0,57     | 6,24                           | 364,4                            | 0,02                         | 0,03                         |
| 8                                       | 20/08/16 | 315,2                         | 238,3                        | 76,8                         | 0,11            | 6,2                            | 12,7             | 0,90     | 4,56                           | 577,0                            | 0,09                         | 0,13                         |
| 9                                       | 28/08/16 | 698,5                         | 568,9                        | 129,5                        | 0,19            | 6,2                            | 51,4             | 0,38     | 5,52                           | 214,0                            | 0,09                         | 0,13                         |
| 10                                      | 30/08/16 | 659,6                         | 584,0                        | 75,6                         | 0,11            | 9,9                            | 13,2             | 0,85     | 3,12                           | 150,5                            | 0,04                         | 0,07                         |
| 11                                      | 03/09/16 | 568,3                         | 507,3                        | 61,0                         | 0,09            | 7,9                            | 13,2             | 0,69     | 3,12                           | 431,3                            | 0,04                         | 0,07                         |
| 12                                      | 05/19/16 | 1.421,6                       | 803,6                        | 618,1                        | 0,92            | 57,1                           | 30,2             | 3,05     | 6,24                           | 262,8                            | 0,19                         | 0,28                         |
| 13                                      | 13/09/16 | 233,8                         | 201,4                        | 32,5                         | 0,05            | 7,9                            | 18,0             | 0,27     | 6,00                           | 44,2                             | 0,01                         | 0,01                         |
| 14                                      | 05/10/16 | 272,7                         | 203,0                        | 69,7                         | 0,10            | 9,9                            | 20,9             | 0,50     | 8,40                           | 156,5                            | 0,02                         | 0,03                         |
| 15                                      | 12/10/16 | 272,7                         | 19,9                         | 252,8                        | 0,38            | 4,7                            | 20,2             | 1,87     | 8,40                           | 52,6                             | 0,00                         | 0,00                         |
| 16                                      | 16/10/16 | 425,4                         | 292,8                        | 132,7                        | 0,20            | 31,7                           | 19,2             | 1,03     | 10,56                          | 234,2                            | 0,02                         | 0,02                         |
| 17                                      | 17/10/16 | 1.656,5                       | 676,5                        | 980,0                        | 1,46            | 326,9                          | 54,2             | 2,70     | 27,36                          | 286,7                            | 0,18                         | 0,27                         |
| 18                                      | 18/10/16 | 7.475,1                       | 5.690,1                      | 1.785,0                      | 2,66            | 278,0                          | 80,9             | 3,29     | 12,24                          | 199,5                            | 0,36                         | 0,54                         |
| 19                                      | 19/10/16 | 8.002,3                       | 7.088,3                      | 914,0                        | 1,36            | 206,8                          | 36,2             | 3,76     | 11,76                          | 170,8                            | 0,21                         | 0,31                         |
| 20                                      | 24/10/16 | 1.136,6                       | 1.015,4                      | 121,1                        | 0,18            | 23,9                           | 18,7             | 0,97     | 11,76                          | 145,8                            | 0,09                         | 0,13                         |

Onde: E. total: escoamento total; E. base: escoamento de base; E. sup.: escoamento superficial; Q pico: vazão de pico; P. total: precipitação total; IM 1h: intensidade máxima em 1 hora e PS: produção total de sedimentos.

Tabela 11: (Continuação)

| Eventos Pluviais Bacia Hidrográfica Sul |          |                               |                              |                              |                 |                                |                  |          |                                |                                  |                  |                                    |
|---|----------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------|--------------------------------|------------------|----------|--------------------------------|----------------------------------|------------------|------------------------------------|
| Evento                                  | Data     | E. total<br>(m <sup>3</sup> ) | E. Base<br>(m <sup>3</sup> ) | E. sup.<br>(m <sup>3</sup> ) | E. sup.<br>(mm) | Q pico<br>(L s <sup>-1</sup> ) | P. total<br>(mm) | C<br>(%) | IM 1h<br>(mm h <sup>-1</sup> ) | Css máx<br>(mg L <sup>-1</sup> ) | PS total<br>(mg) | PS total<br>(Mg km <sup>-2</sup> ) |
| 21                                      | 01/11/16 | 4.921,5                       | 4.062,0                      | 859,5                        | 1,28            | 57,1                           | 18,7             | 6,85     | 11,76                          | 71,7                             | 0,16             | 0,24                               |
| 23                                      | 15/11/16 | 919,0                         | 843,5                        | 75,5                         | 0,11            | 12,1                           | 14,9             | 0,76     | 8,64                           | 698,9                            | 0,07             | 0,10                               |
| 24                                      | 31/12/16 | 8.896,1                       | 2.552,1                      | 6.344,0                      | 9,47            | 2.271,4                        | 140,2            | 6,76     | 50,16                          | 2.167,0                          | 12,07            | 18,01                              |
| 25                                      | 02/01/17 | 220,2                         | 128,8                        | 91,4                         | 0,14            | 69,9                           | 25,4             | 0,54     | 25,44                          | 305,5                            | 0,03             | 0,04                               |
| 26                                      | 04/01/17 | 4.237,6                       | 1.232,1                      | 3.005,5                      | 4,49            | 1.494,5                        | 39,1             | 11,47    | 39,12                          | 358,0                            | 0,96             | 1,43                               |
| 27                                      | 10/01/17 | 2.235,3                       | 1.987,1                      | 248,2                        | 0,37            | 108,9                          | 31,4             | 1,18     | 21,12                          | 20,3                             | 0,03             | 0,04                               |
| 28                                      | 16/01/17 | 690,1                         | 592,6                        | 97,5                         | 0,15            | 17,4                           | 26,6             | 0,55     | 13,20                          | 21,5                             | 0,01             | 0,01                               |
| 29                                      | 01/02/17 | 2.394,6                       | 1.594,6                      | 800,0                        | 1,19            | 84,2                           | 44,2             | 2,70     | 20,16                          | 1.075,2                          | 0,77             | 1,15                               |
| 30                                      | 05/02/17 | 1.296,7                       | 910,1                        | 386,7                        | 0,58            | 20,5                           | 24,0             | 2,40     | 14,88                          | 733,6                            | 0,16             | 0,23                               |
| 31                                      | 09/02/17 | 9.183,1                       | 4.004,1                      | 5.179,0                      | 7,73            | 1.670,6                        | 76,8             | 10,07    | 65,76                          | 1.989,2                          | 9,28             | 13,85                              |
| 32                                      | 14/02/17 | 2.688,0                       | 1.692,7                      | 995,4                        | 1,49            | 380,5                          | 46,8             | 3,17     | 24,00                          | 550,3                            | 0,90             | 1,34                               |
| 33                                      | 01/03/17 | 296,0                         | 171,6                        | 124,4                        | 0,19            | 45,9                           | 1,9              | 9,67     | 1,68                           | 278,4                            | 0,05             | 0,08                               |
| 34                                      | 03/03/17 | 689,4                         | 367,6                        | 321,7                        | 0,5             | 77,0                           | 13,4             | 3,57     | 10,08                          | 77,0                             | 0,18             | 0,28                               |
| 35                                      | 10/03/17 | 50.468,8                      | 38.626,8                     | 11.842,1                     | 17,7            | 419,3                          | 57,4             | 30,82    | 19,20                          | 850,6                            | 4,82             | 7,20                               |
| 36                                      | 15/03/17 | 10.730,4                      | 2.729,1                      | 8.001,3                      | 11,9            | 739,5                          | 37,9             | 31,49    | 22,56                          | 974,89                           | 2,23             | 3,32                               |
| 37                                      | 23/04/17 | 39.397,3                      | 26.938,1                     | 12.459,2                     | 18,6            | 2.111,2                        | 169,0            | 11,01    | 32,64                          | 1.234,14                         | 16,25            | 24,25                              |
| 38                                      | 12/05/17 | 3.640,0                       | 2.053,8                      | 1.586,3                      | 2,4             | 439,5                          | 38,4             | 6,17     | 38,16                          | 1.287,90                         | 1,42             | 2,12                               |
| 39                                      | 13/05/17 | 15.696,5                      | 8.881,4                      | 6.815,1                      | 10,2            | 439,5                          | 63,4             | 16,05    | 8,64                           | 430,10                           | 2,36             | 3,53                               |
| 40                                      | 18/05/17 | 13.692,1                      | 5.547,0                      | 8.145,1                      | 12,2            | 380,7                          | 59,3             | 20,51    | 9,12                           | 299,87                           | 1,85             | 2,77                               |

Onde: E. total: escoamento total; E. base: escoamento de base; E. sup.: escoamento superficial; Q pico: vazão de pico; P. total: precipitação total; IM 1h: intensidade máxima em 1 hora e PS: produção total de sedimentos.

Tabela 11: (Continuação)

| Eventos Pluviais Bacia Hidrográfica Sul |          |                               |                              |                              |                 |                                |                  |          |                                |                                  |                  |                              |
|---|----------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------|--------------------------------|------------------|----------|--------------------------------|----------------------------------|------------------|------------------------------|
| Evento                                  | Data     | E. total<br>(m <sup>3</sup> ) | E. Base<br>(m <sup>3</sup> ) | E. sup.<br>(m <sup>3</sup> ) | E. sup.<br>(mm) | Q pico<br>(L s <sup>-1</sup> ) | P. total<br>(mm) | C<br>(%) | IM 1h<br>(mm h <sup>-1</sup> ) | Css máx<br>(mg L <sup>-1</sup> ) | PS total<br>(mg) | PS<br>(Mg km <sup>-2</sup> ) |
| 41                                      | 23/05/17 | 17.117,0                      | 11.252,8                     | 5.864,2                      | 8,8             | 344,4                          | 54,2             | 16,14    | 8,16                           | 305,85                           | 2,22             | 3,31                         |
| 42                                      | 26/05/17 | 47.826,3                      | 36.238,5                     | 11.587,8                     | 17,3            | 1.035,4                        | 101,4            | 17,06    | 20,88                          | 3.115,81                         | 22,62            | 33,76                        |
| 43                                      | 30/05/17 | 4.524,5                       | 3.725,6                      | 798,9                        | 1,2             | 194,1                          | 60,2             | 1,98     | 20,88                          | 1.901,98                         | 4,59             | 6,86                         |
| 44                                      | 04/06/17 | 878,1                         | 737,3                        | 140,8                        | 0,2             | 31,7                           | 18,3             | 1,15     | 6,48                           | 265,82                           | 0,18             | 0,27                         |
| 45                                      | 07/06/07 | 35.107,1                      | 8.238,7                      | 26.868,4                     | 40,1            | 4.048,9                        | 153,8            | 26,07    | 27,84                          | 3.839,81                         | 14,11            | 21,07                        |
| 46                                      | 12/08/17 | 6.275,5                       | 3.503,5                      | 2.772,0                      | 4,1             | 181,9                          | 106,3            | 3,89     | 19,92                          | 731,16                           | 1,25             | 1,87                         |
| 47                                      | 19/08/17 | 234,2                         | 222,2                        | 12,1                         | 0,0             | 50,2                           | 22,6             | 0,08     | 20,40                          | 526,87                           | 0,06             | 0,08                         |

Onde: E. total: escoamento total; E. base: escoamento de base; E. sup.: escoamento superficial; Q pico: vazão de pico; P. total: precipitação total; IM 1h: intensidade máxima em 1 hora e PS: produção total de sedimentos.

Tabela 12: Variáveis hidrossedimentológicas e histerese dos eventos pluviais observados na bacia hidrográfica sul.

| Bacia Hidrográfica Sul |          |                 |  |  |  |  |  |       |           |
|------------------------|----------|-----------------|--|--|--|--|--|-------|-----------|
| Evento                 | Data     | P total<br>(mm) | Q <sub>máx</sub><br>(L s <sup>-1</sup> ) | Q <sub>mín</sub><br>(L s <sup>-1</sup> ) | Q <sub>cen</sub><br>(L s <sup>-1</sup> ) | CSS <sub>RC</sub><br>(mg L <sup>-1</sup> ) | CSS <sub>RD</sub><br>(mg L <sup>-1</sup> ) | IH    | Histerese |
| 1                      | 16/06/16 | 6,96            | 7,91                                     | 4,73                                     | 6,32                                     | 331,35                                     | 423,27                                     | -0,22 | H         |
| 2                      | 05/07/16 | 29,52           | 22,78                                    | 2,20                                     | 12,49                                    | 463,29                                     | 385,19                                     | 0,20  | H         |
| 3                      | 09/07/16 | 24,96           | 17,40                                    | 2,48                                     | 9,94                                     | 240,14                                     | 256,86                                     | -0,07 | AH        |
| 4                      | 11/07/16 | 12,00           | 12,09                                    | 4,73                                     | 8,41                                     | 328,93                                     | 252,18                                     | 0,30  | H         |
| 5                      | 14/07/16 | 77,28           | 380,61                                   | 6,20                                     | 193,40                                   | 927,79                                     | 475,49                                     | 0,95  | H         |
| 6                      | 26/07/16 | 73,00           | 23,90                                    | 9,87                                     | 16,89                                    | 133,41                                     | 107,52                                     | 0,24  | H         |
| 7                      | 06/08/16 | 14,16           | 4,73                                     | 2,48                                     | 3,61                                     | 149,45                                     | 102,80                                     | 0,45  | H         |
| 8                      | 20/08/16 | 12,72           | 6,20                                     | 2,48                                     | 4,34                                     | 13.409,71                                  | 6.556,79                                   | 1,05  | H         |
| 9                      | 28/08/16 | 51,36           | 6,20                                     | 1,03                                     | 3,62                                     | 179,78                                     | 132,50                                     | 0,36  | H         |
| 10                     | 30/08/16 | 13,20           | 9,87                                     | 6,20                                     | 8,03                                     | 118,82                                     | 100,40                                     | 0,18  | H         |
| 11                     | 03/09/16 | 13,20           | 7,91                                     | 4,73                                     | 6,32                                     | 62,88                                      | 52,57                                      | 0,20  | H         |
| 12                     | 05/19/16 | 30,24           | 51,32                                    | 4,98                                     | 28,15                                    | 138,99                                     | 81,17                                      | 0,71  | H         |
| 13                     | 13/09/16 | 18,00           | 7,91                                     | 4,73                                     | 6,32                                     | 29,87                                      | 33,45                                      | -0,11 | AH        |
| 14                     | 05/10/16 | 20,88           | 7,91                                     | 3,50                                     | 5,70                                     | 77,66                                      | 72,47                                      | 0,07  | H         |
| 15                     | 12/10/16 | 20,16           | 3,50                                     | 0,09                                     | 1,79                                     | 49,72                                      | 44,96                                      | 0,11  | H         |
| 16                     | 16/10/16 | 19,20           | 27,62                                    | 3,50                                     | 15,56                                    | 55,63                                      | 25,88                                      | 1,15  | H         |
| 17                     | 17/10/16 | 54,24           | 220,00                                   | 3,50                                     | 111,75                                   | 115,11                                     | 54,77                                      | 1,10  | H         |
| 18                     | 18/10/16 | 80,88           | 247,97                                   | 57,14                                    | 43,45                                    | 32,26                                      | 23,89                                      | 0,35  | H         |
| 19                     | 19/10/16 | 36,24           | 169,97                                   | 9,87                                     | 43,45                                    | 19,89                                      | 15,53                                      | 0,28  | H         |
| 20                     | 24/10/16 | 18,72           | 23,90                                    | 14,61                                    | 19,25                                    | 137,63                                     | 36,72                                      | 2,75  | H         |
| 21                     | 01/11/16 | 18,72           | 57,14                                    | 14,61                                    | 35,87                                    | 30,91                                      | 31,87                                      | -0,03 | AH        |
| 23                     | 15/11/16 | 14,88           | 9,87                                     | 4,73                                     | 7,30                                     | 33,23                                      | 15,53                                      | 1,14  | H         |
| 24                     | 31/12/16 | 140,16          | 1494,70                                  | 6,19                                     | 750,45                                   | 538,53                                     | 2.215,45                                   | -0,76 | 8         |
| 25                     | 02/01/17 | 25,44           | 23,89                                    | 0,27                                     | 12,08                                    | 1,08                                       | 4.364,32                                   | -1,00 | H         |
| 26                     | 04/01/17 | 39,12           | 872,68                                   | 3,49                                     | 438,09                                   | 210,47                                     | 215,41                                     | -0,02 | H         |
| 27                     | 10/01/17 | 31,44           | 63,31                                    | 3,49                                     | 33,40                                    | 10,75                                      | 8,49                                       | 0,27  | H         |
| 28                     | 16/01/17 | 26,64           | 4,73                                     | 3,49                                     | 4,11                                     | 11,95                                      | 9,56                                       | 0,25  | H         |
| 29                     | 01/02/17 | 44,16           | 69,89                                    | 9,86                                     | 39,88                                    | 469,67                                     | 275,21                                     | 0,71  | H         |
| 30                     | 05/02/17 | 24,00           | 20,49                                    | 12,09                                    | 16,29                                    | 132,13                                     | 102,49                                     | 0,29  | H         |
| 31                     | 09/02/17 | 76,80           | 1581,10                                  | 9,86                                     | 795,48                                   | 1.665,43                                   | 1.146,58                                   | 0,45  | H         |
| 32                     | 14/02/17 | 46,80           | 309,98                                   | 23,89                                    | 166,93                                   | 281,45                                     | 76,74                                      | 2,67  | H         |
| 33                     | 01/03/17 | 1,92            | 45,91                                    | 5,32                                     | 25,62                                    | 160,69                                     | 104,04                                     | 0,54  | H         |
| 34                     | 03/03/17 | 13,44           | 76,95                                    | 4,25                                     | 40,60                                    | 2.953,23                                   | 8.071,50                                   | -0,63 | H         |
| 35                     | 10/03/17 | 57,36           | 399,76                                   | 35,98                                    | 217,87                                   | 12.786,77                                  | 3.798,61                                   | 2,37  | H         |

Onde: P. total: precipitação total; Q<sub>máx</sub>: vazão máxima; Q<sub>mín</sub>: vazão mínima; Q<sub>cen</sub>: vazão central; CSS<sub>RC</sub>: concentração de sedimentos em suspensão do ramo crescente; CSS<sub>RD</sub>: concentração de sedimentos em suspensão do ramo decrescente; IH: índice de histerese; H: histerese sentido horário e AH: histerese sentido anti-horário.

Tabela 12: (Continuação)

| Bacia Hidrográfica Sul |          |                 |  |  |  |   |   |       |           |
|------------------------|----------|-----------------|--|--|--|---|---|-------|-----------|
| Evento                 | Data     | P total<br>(mm) | Q <sub>máx</sub><br>(L s <sup>-1</sup> ) | Q <sub>mín</sub><br>(L s <sup>-1</sup> ) | Q <sub>cen</sub><br>(L s <sup>-1</sup> ) | C <sub>SS RC</sub><br>(mg L <sup>-1</sup> ) | C <sub>SS RD</sub><br>(mg L <sup>-1</sup> ) | IH    | Histerese |
| 36                     | 15/03/17 | 37,92           | 699,76                                   | 8,67                                     | 354,21                                   | 285,05                                      | 504,17                                      | -0,43 | 8         |
| 37                     | 23/04/17 | 168,96          | 1625,98                                  | 12,10                                    | 819,04                                   | 36.437,58                                   | 23.611,25                                   | 0,54  | 8         |
| 38                     | 12/05/17 | 38,40           | 380,74                                   | 12,10                                    | 196,42                                   | 491,76                                      | 150,54                                      | 2,27  | H         |
| 39                     | 13/05/17 | 63,36           | 380,74                                   | 12,10                                    | 196,42                                   | 145,34                                      | 117,00                                      | 0,24  | H         |
| 40                     | 18/05/17 | 59,28           | 362,28                                   | 12,10                                    | 187,19                                   | 133,50                                      | 48,36                                       | 1,76  | H         |
| 41                     | 23/05/17 | 54,24           | 327,00                                   | 12,10                                    | 169,55                                   | 3.716,55                                    | 3.601,61                                    | 0,03  | H         |
| 42                     | 26/05/17 | 101,40          | 783,47                                   | 33,33                                    | 408,40                                   | 318,70                                      | 941,87                                      | -0,66 | H         |
| 43                     | 30/05/17 | 60,24           | 170,05                                   | 6,21                                     | 88,13                                    | 876,32                                      | 733,85                                      | 0,19  | H         |
| 44                     | 04/06/17 | 18,28           | 30,89                                    | 8,31                                     | 19,60                                    | 126,71                                      | 53,97                                       | 1,35  | H         |
| 45                     | 07/06/07 | 153,84          | 2439,46                                  | 4,74                                     | 1222,10                                  | 1007,14                                     | 936,13                                      | 0,08  | H         |
| 46                     | 12/08/17 | 106,32          | 151,88                                   | 9,58                                     | 80,73                                    | 225,49                                      | 198,22                                      | 0,14  | H         |
| 47                     | 19/08/17 | 22,56           | 35,48                                    | 4,50                                     | 19,99                                    | 38,90                                       | 240,77                                      | -0,84 | H         |

Onde: P. total: precipitação total; Q<sub>máx</sub>: vazão máxima; Q<sub>mín</sub>: vazão mínima; Q<sub>cen</sub>: vazão central; C<sub>SS RC</sub>: concentração de sedimentos em suspensão do ramo crescente; C<sub>SS RD</sub>: concentração de sedimentos em suspensão do ramo decrescente; IH: índice de histerese; H: histerese sentido horário e AH: histerese sentido anti-horário.

O evento observado em 05/07/16 apresentou volume de precipitação de 29,52 mm, com duração total de oito horas e intensidade máxima em uma hora de 12,24 mm (Tabelas 11 e 12 e Figura 21A). Trata-se de um evento pluvial de baixa intensidade ocorrido durante o período do inverno. A produção total de sedimentos (PS) atingiu 0,18 Mg, sendo que o pico de concentração de sedimentos em suspensão (C<sub>SS</sub>) chegou a 880,50 mg L<sup>-1</sup>.

O laço de histerese apresentou comportamento no sentido horário (Figura 21B), o que pode ser evidenciado pelo adiantamento do pico do sedimentograma em relação ao hidrograma. As curvas de histerese em sentido horário indicam que a concentração de sedimentos em suspensão do ramo crescente é maior que a concentração de sedimentos em suspensão do ramo decrescente (C<sub>SS RC</sub> > C<sub>SS RD</sub>), indicando que os sedimentos são mobilizados, transportados e mobilizados rapidamente (Minella et al., 2010a).

Em 14/07/16 ocorreu um evento pluvial com o dobro de duração do evento anterior (05/07/16), aproximadamente 16 horas (Tabelas 11 e 12 e Figura 21C). A intensidade máxima observada em uma hora foi de 23,76 mm, totalizando um volume total de precipitação de 77,28 mm. Essa precipitação gerou uma vazão (Q) de pico de 572,25 L s<sup>-1</sup>, onde o volume de escoamento superficial atingiu 2.724,2 m<sup>3</sup>.

O evento 05 (04/17/16) apresentou o sétimo maior volume de produção total de sedimentos (PS), 3,52 Mg. Esse volume de PS deve estar relacionado com a duração do evento e a intensidade máxima da chuva em uma hora, o qual atingiu o volume de 23,76 mm.

Uma particularidade desse evento é a simetria da ascensão e recessão dois picos do hidrograma em relação ao sedimentograma, indicando que a conformação geomorfológica da bacia responde rapidamente aos eventos pluviais.

Quanto à análise da histerese, o padrão qualitativo apresentou laço no sentido horário. O índice de histerese (IH) apresentou valor 0,95, apresentando aumento em relação ao evento anterior ocorrido no dia 11/07/16, com IH de 0,30 (Tabela 12 e Figura 21D).

O aumento do IH pode ser atribuído à possível exaustão das fontes de sedimentos. Esse acontecimento pode ser evidenciado pelo sentido da curva horária da histerese do evento 5, indicando a diminuição dos valores da concentração de sedimentos em suspensão do ramo crescente (CSSRD), contribuindo com a elevação do IH. A diminuição da disponibilização de novas fontes de contribuição de sedimentos para uma bacia hidrográfica tende a promover a elevação do IH (Lawler et al., 2006).

Em 17/10/16 ocorreu um evento pluvial com acumulado de precipitação de 54,24 mm e intensidade máxima em uma hora de 27,36 mm. Teve duração de aproximadamente 8 horas. Essa precipitação gerou um volume de escoamento superficial de 980,0 m<sup>3</sup>. A vazão (Q) de pico chegou a 326,73 L s<sup>-1</sup>. O pico de concentração de sedimentos em suspensão (C<sub>ss</sub>) alcançou 286,73 mg L<sup>-1</sup> (Tabela 11 e 12, Figura 21E).

O volume da produção total de sedimentos (PS) foi de 0,18 Mg. Entretanto, no dia anterior a ocorrência desse evento houve uma precipitação com acumulado de 19,20 mm. Cinco dias antes ocorreu outra precipitação de 20,16 mm. Ou seja, a PS do evento ocorrido em 17/10/16 parece ser consideravelmente baixo se analisado no âmbito da umidade antecedente do solo, uma vez que houve ocorrência de eventos antecedentes. O período de ocorrência desse evento coincidiu com a semeadura da cultura da soja, a qual é conduzida sem revolvimento de superfície e com manutenção de cobertura no solo. Esse fator deve ter contribuído para os menores valores de PS durante o evento ocorrido em 17/10/16, mesmo com elevada umidade do solo antecedente ao evento.

A segunda maior intensidade de precipitação em uma hora observada na bacia sul foi registrada durante o evento 24 (31/12/16), com 50,16 mm. O evento teve duração total de aproximadamente 12 horas e volume de precipitação total acumulado de 140,16 mm (Tabelas 11 e 12 e Figura 21G). A vazão (Q) de pico no exutório da bacia chegou a 2.271,38 L s<sup>-1</sup>. O volume de escoamento superficial gerado durante esse evento chegou a 4.115,1 m<sup>3</sup>.

O evento 24 apresentou um pico de concentração de sedimentos em suspensão (C<sub>ss</sub>) de 2.166,97 mg L<sup>-1</sup>. A produção total de sedimentos (PS) atingiu 12,07 Mg. O evento 24 ocorreu após um período de 45 dias sem precipitações, em um período do ano onde os dias são mais longos e as temperaturas elevadas, promovendo maior evapotranspiração. O evento pluvial antecedente ocorreu 45 dias antes, com precipitação total de 14,88 mm. Diante desse cenário, infere-se que a umidade antecedente do solo promoveu maior capacidade de infiltração do solo, justificando o volume de 12,07 Mg de PS, relativamente menor em relação a outros eventos que apresentaram acumulados de precipitação semelhante.

A histerese apresentou laço no sentido em oito (Figura 21H), indicando que provavelmente o aporte de sedimentos durante esse evento estava concentrados tanto próximos quanto distantes das redes de drenagens.

A maior intensidade de precipitação foi observada durante o evento pluvial 31, ocorrido em 09/02/17. O acumulado em uma hora de duração atingiu 65,76 mm e o volume total de precipitação alcançou 76,80 mm. Essa precipitação provocou uma vazão (Q) de pico de 1.670,60 L s<sup>-1</sup>, onde o escoamento superficial totalizou 4.004,14 m<sup>3</sup> (Tabela 11 e 12 e Figura 21I).

Embora o evento 31 (09/02/17) tenha apresentado a maior intensidade de precipitação em uma hora de todos os eventos monitorados na bacia hidrográfica sul, o maior volume de escoamento superficial foi observado durante a ocorrência do evento 45, em 07/06/17, com volume total de 26.868,38 m<sup>3</sup>, cuja intensidade máxima de precipitação em uma hora foi 27,84 mm, com acumulado total de 153,84 mm.

Observa-se que nove dias antecedentes à ocorrência do evento 31 houve três precipitações que totalizaram 179,92 mm. Esse acontecimento pode justificar a ocorrência do maior volume de escoamento superficial durante o evento 45, em 07/06/17, devido ao conteúdo de água do solo antecedente ao evento.

O comportamento da histerese do evento 31 apresentou sentido horário (Figura 21J). O índice de histerese – IH (Tabela 12) apresentou valor de 0,45, apresentando elevação se comparado aos cinco eventos antecedentes, o que pode ser explicado pelo aumento das fontes de sedimentos.

O evento 36 (Tabelas 11 e 12 e Figura 21K), ocorrido em 15/03/17, apresentou formato de histerese em oito (Figura 21L), indicando que provavelmente as fontes produtoras de sedimentos encontravam-se tanto próximas quanto distantes do exutório da bacia hidrográfica. O índice de histerese (IH) apresentou valor de 2,23 (Tabela 12), menor se comparado ao evento 35, ocorrido cinco dias antes, apresentando IH de 4,82. Esse

comportamento sugere que houve aumento das fontes produtoras produção de sedimentos, ou que o aumento do escoamento proporcionou o transporte, mas também a exaustão das fontes de sedimentos.

O evento 36 (15/03/17) apresentou o maior coeficiente de escoamento superficial de todos os 47 eventos observados na bacia sul durante o período de monitoramento, chegando a 31,49%. Esse coeficiente pode ser empregado para eventuais estimativas de cálculos de escoamentos superficiais e vazões máximas de outras precipitações de intensidades diferentes, desde que a precipitação ocorra no mesmo tempo de duração (Pinto et al., 1973).

Assim como o evento 36 (15/03/17), o evento 37 (23/04/17) apresentou padrão qualitativo da histerese em formato em oito, sugerindo que as fontes de sedimentos podem estar localizadas em locais próximos e distantes das redes de drenagem. A precipitação total desse evento atingiu 37,92 mm com intensidade máxima em uma hora de 22,56 mm (Tabelas 11 e 12 e Figuras 21M e 21N). A vazão (Q) de pico observada foi  $739,47 \text{ L s}^{-1}$  e o volume de escoamento superficial alcançou a  $8.001,28 \text{ m}^3$ . A produção total de sedimentos (PS) atingiu 2,23 Mg.

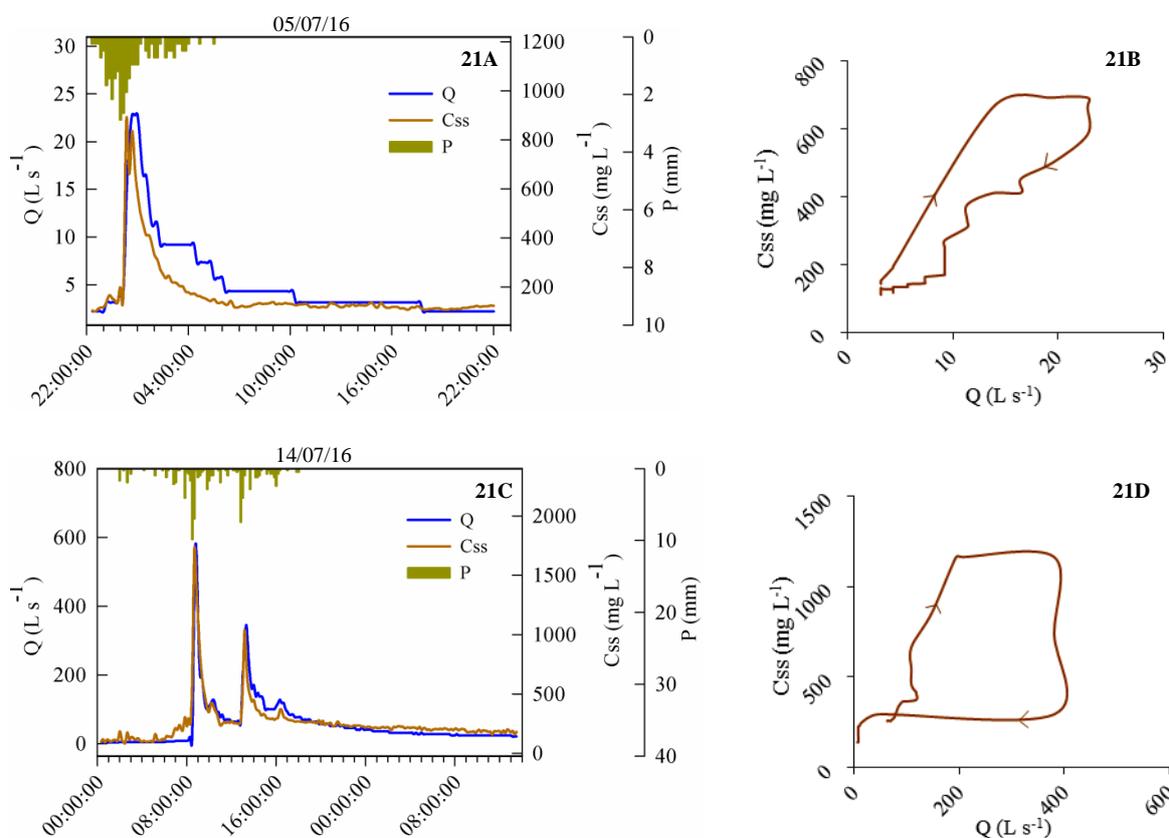


Figura 21: Hidrogramas, hietogramas, sedimentogramas e laços de histereses de eventos observados na bacia hidrográfica sul.

Onde: Q: vazão; Css: concentração de sedimentos em suspensão e P: precipitação.

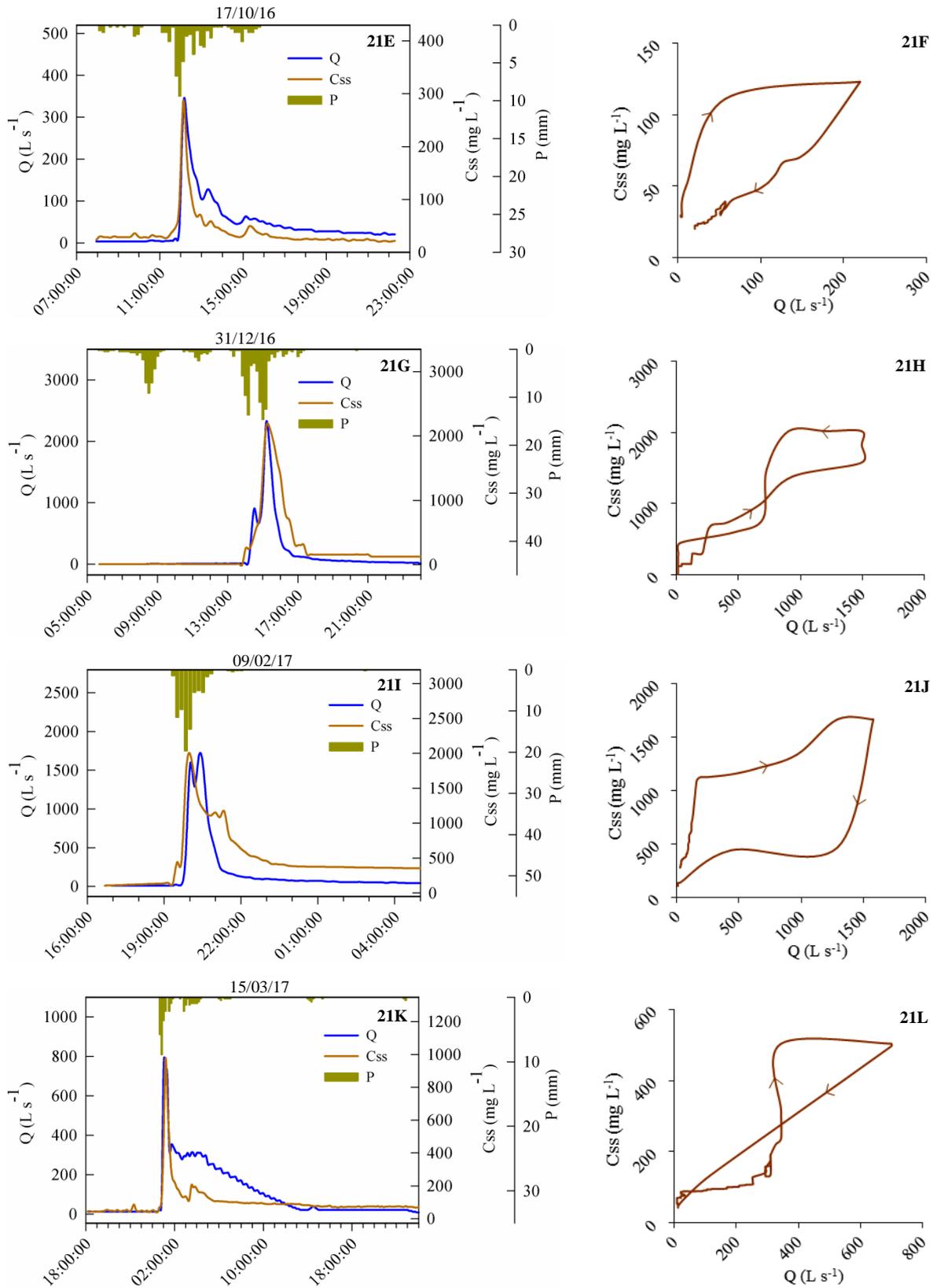


Figura 21 (Continuação): Hidrogramas, hietogramas, sedimentogramas e laços de histereses de eventos observados na bacia hidrográfica sul.

Onde: Q: vazão; C<sub>ss</sub>: concentração de sedimentos em suspensão e P: precipitação.

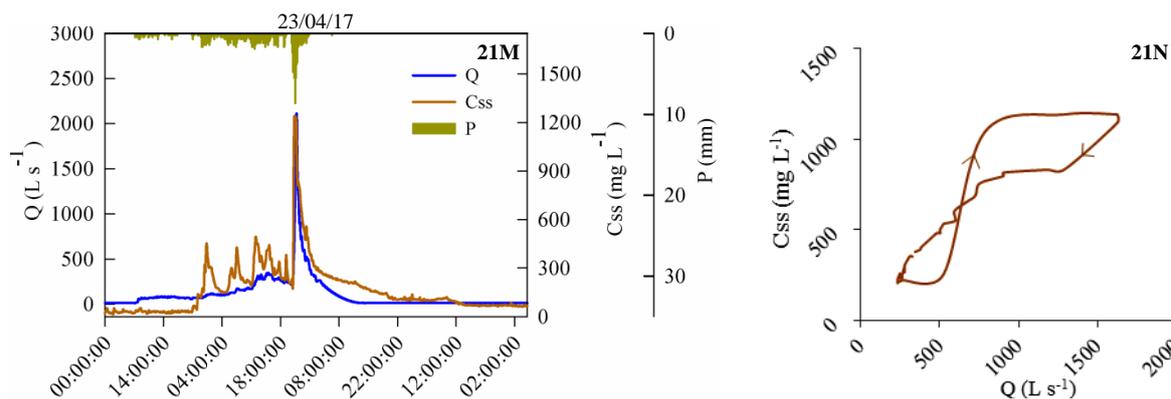


Figura 21 (Continuação): Hidrogramas, hietogramas, sedimentogramas e laços de histereses de eventos observados na bacia hidrográfica sul.

Onde: Q: vazão; Css: concentração de sedimentos em suspensão e P: precipitação.

#### 5.2.1.3.4 Comparação do comportamento por eventos entre as duas bacias

A compressão dos processos hidrológicos que atuam na paisagem sob condições de uso e manejo distintas em bacias hidrográficas pareadas mostra-se como uma estratégia de observação dos impactos do desenvolvimento agrícola (Poesen et al., 1994).

A Figura 22 demonstra o comportamento dos hietogramas, hidrogramas, sedimentogramas e laços de histereses das duas bacias hidrográficas diante da ocorrência de um evento pluvial ocorrido em 19/10/16. Na bacia norte, o evento apresentou precipitação total de 32,12 mm, com intensidade máxima em uma hora de 10,78 mm. Esse acumulado gerou uma vazão de pico de 455,9 L s<sup>-1</sup>. Na bacia sul, o mesmo evento apresentou acumulado de precipitação de 36,24 mm.

Esse evento pluvial gerou uma vazão de pico de 206,76 L s<sup>-1</sup> na bacia sul (249,14 L s<sup>-1</sup> menor se comparado com a bacia norte) (Tabela 11 e Figura 22C). O menor volume de escoamento verificado pode ser atribuído ao tamanho da área vertente da bacia sul, sendo 61% menor em relação à bacia norte.

A concentração de sedimentos em suspensão observada na bacia norte foi de 1.895,61 mg L<sup>-1</sup> (Tabela 9 e Figura 22A) sendo a maior concentração de todos os eventos monitorados na bacia norte no período de observações, pois gerou uma produção total de sedimentos de 4,11 Mg (Tabela 9 e Figura 22A). Na bacia sul a concentração de sedimentos em suspensão chegou a 170,8 mg L<sup>-1</sup> e a produção total de sedimentos foi de 0,21 Mg, amplamente menor se comparado com a bacia norte.

Existe uma diferença relacionada ao comportamento dos processos hidrológicos e sedimentológicos das duas bacias que deve ser ressaltada. A bacia hidrográfica norte apresenta pontos com total ausência de mata ciliar ao longo da costa do canal principal. Entretanto, a bacia hidrográfica sul apresenta mata ciliar ao longo das margens do canal principal.

O gerenciamento das técnicas de uso e manejo do solo na bacia sul é realizado de forma diferenciada se comparado à bacia norte. Nos últimos anos, houve o empenho em prol da recuperação da vegetação ciliar da bacia sul no sentido de atender a necessidade de conservação e estabilidade da rede de drenagem principal, além de atender as exigências das legislações vigentes.

A presença da vegetação ciliar ao longo da rede de drenagem principal na bacia sul pode ter influenciado o efeito de amortecimento do escoamento superficial, disciplinando o movimento de água superficial das áreas vertentes para o canal principal durante eventos pluviais, promovendo menor mobilização e transporte de sedimentos em suspensão. Esse fator pode ser um dos indícios que justificam a menor produção total de sedimentos na bacia sul em relação à bacia norte.

A recuperação e preservação da mata ciliar próximo de cursos d'água influencia nas dinâmicas da paisagem, tanto em termos hidrológicos como ecológicos e geomorfológicos. Proporciona a diminuição dos processos de erosão e assoreamento no leito e margem dos rios e canais, contribuindo com o aumento da infiltração das águas pluviais, disciplinando a vazão das águas superficiais por meio da redução da sua velocidade de escoamento superficial (Vestena e Thomaz, 2006).

Além disso, a bacia norte apresenta maior confluência de estradas vicinais e essas estradas apresentam grau de inclinação maior em relação à bacia sul, influenciando no fenômeno de mobilização e transporte de sedimentos nas laterais dessas estradas.

Estradas não pavimentadas são uma das maiores fontes antropogênicas de produção de sedimentos em pequenas bacias hidrográficas. Adicionalmente, a produção e o carreamento de sedimentos da superfície da estrada podem aumentar durante o trânsito, quando o solo está úmido (Silliman, 2015).

A produção de sedimentos em suspensão de bacias pareadas ocupadas com pecuária e floresta, localizadas no extremo oeste do Estado de Rondônia, demonstrou diferenças na produção sedimentar nas análises em escala de eventos para as duas bacias. Verificaram-se maiores variações de sedimentos na bacia com atividade pecuária em relação à bacia ocupada com floresta (Watanabe, 2015).

Quanto ao comportamento da histerese, a bacia norte apresentou histerese em formato em oito (Figura 22B), indicando que possivelmente os sedimentos foram mobilizados de fontes próximas e distantes. A bacia sul apresentou comportamento qualitativo de histerese em sentido horário, indicando antecipação do tempo de pico do sedimentograma em relação ao do hidrograma (Figura 22D).

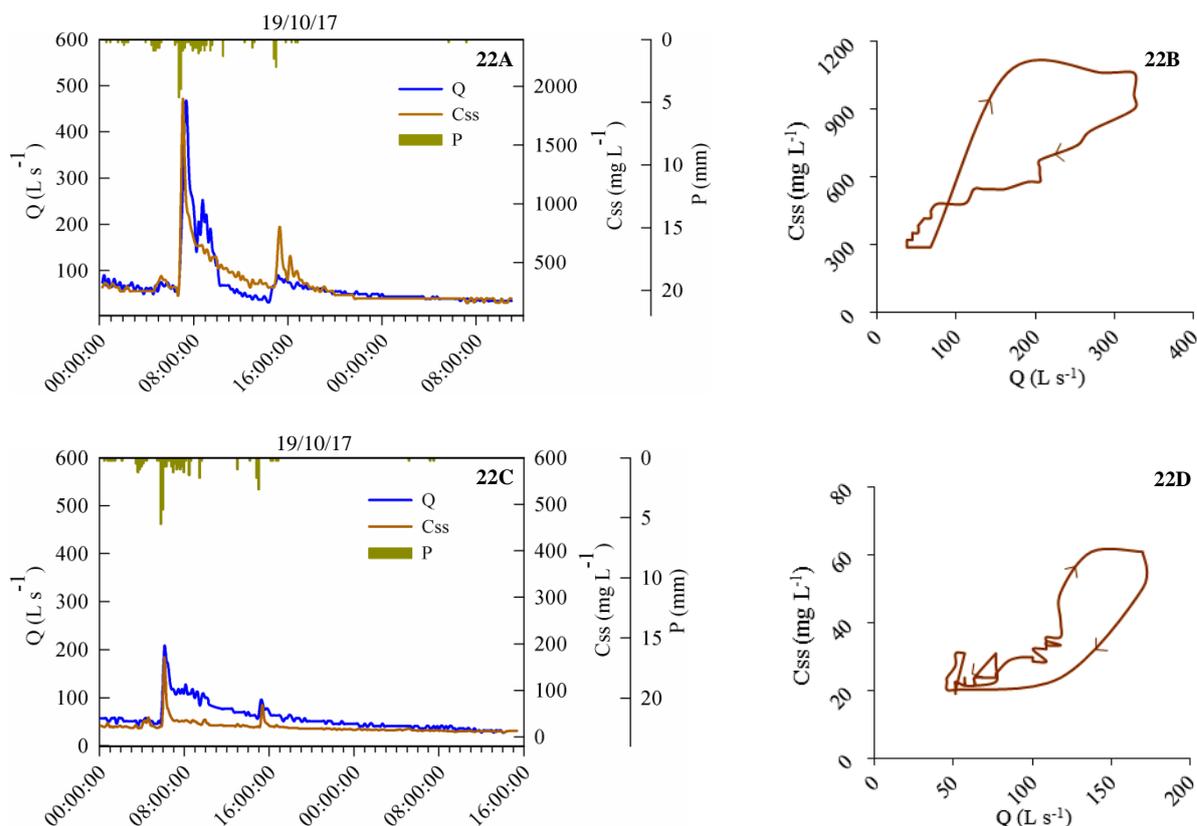


Figura 22: Hidrogramas, hietogramas, sedimentogramas e laços de histereses do evento 19 observado na bacia hidrográfica norte (23A e 23B) e bacia sul (23C e 23D).

Onde: Q: vazão; C<sub>ss</sub>: concentração de sedimentos em suspensão e P: precipitação.

### 5.3 MODELAGEM HIDROLÓGICA

#### 5.3.1 Parâmetros de entrada do modelo LISEM

O processo de simulação do modelo LISEM demanda parâmetros numéricos relacionados à distribuição espacial das classes de solos na área da bacia hidrográfica (descrito no tópico 4.1.3), bem como as propriedades físicas dos solos (tópico 4.5.3). Posteriormente, os parâmetros numéricos são integrados a um sistema de informação

geográfica por meio do software PCRaster, onde são gerados os atributos de uso e caracterização física dos solos de forma especializada (tópico 5.4.2). Finalmente, tais informações são inseridas no modelo LISEM juntamente com a informação da distribuição temporal da precipitação de cada evento pluvial, onde então é desencadeada a simulação do escoamento superficial.

A Tabela 13 demonstra as características hidrológicas dos dez eventos pluviais selecionados para a modelagem. Os eventos são caracterizados pela variabilidade de intensidade de precipitação e compreendem os diferentes usos do solo durante os anos agrícolas de 2016 e 2017 nas duas bacias hidrográficas.

Tabela 13: Características hidrossedimentológicas dos eventos selecionados para a modelagem hidrológica.

| Bacia | Evento | Data     | E. Total<br>(m <sup>3</sup> ) | E. Sup.<br>(m <sup>3</sup> ) | E. Sup.<br>(mm) | Q. Pico<br>(L s <sup>-1</sup> ) | P Total<br>(mm) | IM 1h<br>(mm h <sup>-1</sup> ) |
|-------|--------|----------|-------------------------------|------------------------------|-----------------|---------------------------------|-----------------|--------------------------------|
| Norte | 6      | 05/07/16 | 213,9                         | 77,9                         | 0,1             | 25,9                            | 28,4            | 11,7                           |
|       | 7      | 09/07/16 | 477,8                         | 171,4                        | 0,2             | 39,9                            | 22,0            | 5,7                            |
|       | 17     | 05/09/16 | 2.050,1                       | 865,8                        | 0,8             | 152,3                           | 28,4            | 5,9                            |
|       | 19     | 19/10/16 | 3.985,0                       | 1.729,6                      | 1,6             | 455,9                           | 32,1            | 10,8                           |
|       | 26     | 15/09/17 | 1.276,9                       | 540,1                        | 0,5             | 97,8                            | 55,4            | 10,6                           |
| Sul   | 5      | 14/07/16 | 6.226,6                       | 4.124,2                      | 6,2             | 572,2                           | 77,3            | 23,8                           |
|       | 17     | 17/10/16 | 1.656,5                       | 980,0                        | 1,5             | 326,9                           | 54,2            | 27,4                           |
|       | 24     | 31/12/16 | 8.896,1                       | 6.344,0                      | 9,5             | 2.271,4                         | 140,2           | 50,2                           |
|       | 32     | 14/02/17 | 2.688,0                       | 995,4                        | 1,5             | 380,5                           | 46,8            | 24,0                           |
|       | 38     | 12/05/17 | 3.640,0                       | 1.586,3                      | 2,4             | 439,5                           | 38,4            | 38,2                           |

Onde: E. Total: escoamento total; E. Sup.: Escoamento superficial; Q. Pico: vazão de pico; P Total: precipitação total; IM 1h: intensidade máxima de precipitação em 1 hora.

O modelo LISEM disponibiliza alguns recursos para a modelagem de infiltração de água do solo. Essa escolha pode ser feita pelo usuário em detrimento das intenções de uso e do detalhamento dos atributos de entrada disponíveis. Neste estudo optou-se pela simulação de infiltração para duas camadas de solo, superficial e subsuperficial, empregando-se o modelo de infiltração Green e Ampt. Em estudos conduzidos por Barros (2012) e Dalbianco (2013), foi empregado o modelo de infiltração Green e Ampt para duas camadas de solo para modelar os processos hidrológicos em uma bacia hidrográfica rural, localizada no município de Arvorezinha, região norte do estado do Rio grande do Sul, onde foram obtidos resultados satisfatórios.

Os parâmetros de entrada no modelo foram discretizados e inseridos por meio de duas tabelas. Na primeira tabela está a caracterização numérica da superfície da bacia hidrográfica, associado à variabilidade de uso e manejo do solo para a primeira camada de infiltração. Na segunda tabela estão dispostos os resultados dos exames das características físico-hídricas das classes de solos para a segunda camada de infiltração de água no solo.

Para a identificação dos usos dos solos nas duas bacias hidrográficas foram realizados caminhamentos em campo para a elaboração de dois mapas de usos do solo para cada bacia hidrográfica. A produção de dois mapas de usos foi motivada para contemplar os anos agrícolas de 2016 e 2017, representando melhor a variabilidade de usos do solo na ferramenta LISEM (como descrito no tópico 4.1.4).

### **5.3.2 Parâmetros de entrada para o ano de 2016 - bacia hidrográfica norte**

A Tabela 14 demonstra os resultados da determinação dos 14 parâmetros físicos associados à primeira camada de solo, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica norte. Os parâmetros discretizados para cada uso do solo são condutividade hidráulica do solo saturado, porosidade total, potencial matricial, umidade inicial, coeficiente de Manning, área coberta por plantas, altura de plantas, índice de área foliar, mediana da granulometria, coesão do solo, coesão das raízes, estabilidade de agregados, rugosidade aleatória e pedregosidade.

A Tabela 15 mostra os resultados das características físico-hídricas das classes de solo associados à segunda camada de solo, para o ano agrícola de 2016. As variáveis discretizadas são condutividade hidráulica do solo saturado, porosidade total, potencial matricial e umidade inicial.

Observa-se que os valores de umidade inicial ( $\theta_i$ ) demonstrados nas Tabelas 14 e 15 representam 50% do valor da porosidade total. Salienta-se que a  $\theta_i$  foi estimado para cada evento pluvial simulado baseando-se no intervalo de tempo de ocorrência do evento antecedente, como descrito no tópico 4.5.3.1-d. Os parâmetros demonstrados nas Tabelas 14 e 15 são dados de entrada para modelar os eventos observados no ano de 2016, na bacia hidrográfica norte.

Tabela 14: Parâmetros de entrada: Uso do solo associados à primeira camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica norte.

| Usos | $K_s^{(1)}$ | $\theta_s^{(1)}$ | $\psi^{(1)}$ | $\theta_i^{(2)}$ | $n^{(3)}$ | $cob^{(2)}$ | $ap^{(2)}$ | $iaf^{(2)}$ | $D_{50}^{(3)}$ | $cs^{(3)}$ | $cr^{(3)}$ | $ag^{(1)}$ | $rr^{(1)}$ | $ped^{(3)}$ |
|------|-------------|------------------|--------------|------------------|-----------|-------------|------------|-------------|----------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| 1    | 59,46       | 0,44             | 421,55       | 0,22             | 0,12      | 0,95        | 7,00       | 5,0         | 0,45           | 1,7        | 10,0       | 117        | 3,2        | 0,03        |
| 2    | 23,57       | 0,45             | 9,10         | 0,23             | 0,15      | 0,95        | 1,20       | 4,0         | 0,45           | 1,1        | 5,0        | 194        | 3,2        | 0,03        |
| 3    | 23,84       | 0,45             | 9,37         | 0,23             | 0,13      | 0,95        | 1,20       | 5,0         | 0,45           | 1,0        | 8,0        | 139        | 3,2        | 0,03        |
| 4    | 89,02       | 0,47             | 91,76        | 0,24             | 0,13      | 0,95        | 0,60       | 3,0         | 0,45           | 3,1        | 5,0        | 101        | 3,2        | 0,03        |
| 5    | 12,00       | 0,44             | 5,00         | 0,22             | 0,13      | 0,95        | 0,00       | 0,0         | 0,45           | 1,0        | 0,0        | 100        | 3,2        | 0,03        |
| 6    | 19,99       | 0,47             | 8,46         | 0,23             | 0,15      | 0,95        | 0,20       | 0,5         | 0,45           | 1,3        | 2,0        | 189        | 3,2        | 0,03        |
| 7    | 76,20       | 0,47             | 75,50        | 0,23             | 0,13      | 0,95        | 0,20       | 1,5         | 0,45           | 2,3        | 4,0        | 93         | 3,2        | 0,03        |
| 8    | 59,46       | 0,44             | 421,55       | 0,22             | 0,13      | 0,95        | 0,35       | 2,5         | 0,45           | 1,7        | 7,0        | 117        | 3,2        | 0,03        |
| 9    | 34,01       | 0,44             | 431,28       | 0,22             | 0,13      | 0,95        | 0,30       | 1,2         | 0,45           | 0,9        | 6,0        | 142        | 3,2        | 0,03        |
| 10   | 19,99       | 0,47             | 8,46         | 0,23             | 0,13      | 0,95        | 0,30       | 1,2         | 0,45           | 1,3        | 6,0        | 189        | 3,2        | 0,03        |

Onde: 1: mata; 2: milho após milho; 3: tifton; 4: feijão sobre milho; 5: estrada; 6: cede; 7: campo; 8: azevém sobre soja; 9: aveia sobre soja; 10: aveia sobre milho;  $K_s$ : condutividade hidráulica do solo saturado ( $\text{mm h}^{-1}$ );  $\theta_s$ : porosidade total ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $\psi$ : potencial matricial na frente de molhamento (cm);  $\theta_i$ : umidade inicial ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $n$ :  $n$  de Manning;  $cob$ : área coberta por plantas (%);  $ap$ : altura de plantas (m); índice de área foliar ( $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ );  $D_{50}$ : mediana da granulometria ( $\mu\text{m}$ );  $cs$ : coesão do solo (kPa);  $cr$ : coesão das raízes (kPa);  $ag$ : estabilidade de agregados (número de gotas);  $rr$ : coeficiente de rugosidade aleatória e  $ped$ : pedregosidade (%).

<sup>(1)</sup>: determinado em campo e laboratório

<sup>(2)</sup>: estimado

<sup>(3)</sup>: consultado na literatura

Tabela 15: Parâmetros de entrada: Características físico-hídricas dos solos associados à segunda camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica norte.

| Solos | $K_s^{(1)}$ | $\theta_s^{(1)}$ | $\psi^{(1)}$ | $\theta_i^{(2)}$ |
|-------|-------------|------------------|--------------|------------------|
| 1     | 8,8         | 0,51             | 115,5        | 0,26             |
| 2     | 2,4         | 0,45             | 10,8         | 0,23             |
| 3     | 42,7        | 0,51             | 5,0          | 0,25             |
| 4     | 24,9        | 0,45             | 10,5         | 0,23             |
| 5     | 105,7       | 0,51             | 4,7          | 0,26             |

Onde:  $K_s$ : condutividade hidráulica do solo saturado ( $\text{mm h}^{-1}$ );  $\theta_s$ : porosidade total ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $\psi$ : potencial matricial na frente de molhamento (cm);  $\theta_i$ : umidade inicial ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ); 1: Argissolo Vermelho; 2: Gleissolo Háplico; 3: Latossolo Vermelho; 4: Neossolo Litólico; 5: Nitossolo Vermelho.

<sup>(1)</sup>: determinado em campo e laboratório

<sup>(2)</sup>: estimado

### 5.3.2.1 Eventos calibrados para o ano de 2016 - bacia hidrográfica norte

Para a modelagem dos processos hidrológicos com emprego do modelo LISEM, foram escolhidos quatro (4) eventos pluviais monitorados na bacia hidrográfica norte no ano de 2016. Os eventos ocorrerem entre os meses de julho e outubro de 2016, coincidindo com a

época de plantio das pastagens de inverno, como aveia e azevém, e a período de plantio do milho e da soja, no início da estação do verão.

• Evento 6: 05/07/2016

O evento 6, ocorrido em 05/07/16, apresentou um volume de precipitação de 28,38 mm e intensidade máxima em uma hora de 11,66 mm. O pico de vazão observado foi de 25,90 L s<sup>-1</sup>.

As Tabelas 14 e 15 demonstram os parâmetros de entrada originais para a simulação desse evento. Os parâmetros que sofreram alterações para uma calibração satisfatória foram umidade inicial do solo ( $\theta_i$ ), n de Manning (n) e condutividade hidráulica do solo saturado (Ks). As Tabelas 16 e 17 apresentam os valores de saída calibrados.

Inicialmente, o valor de umidade inicial foi estimado em 50% do valor da porosidade total, pois o evento antecedente ocorreu em um intervalo de 20 dias, assumindo-se que a umidade antecedente do solo se encontrava próxima a essa condição. No entanto, houve a necessidade de diminuir os valores de umidade inicial em 80% em relação aos valores da porosidade total, para as duas camadas de solo, para uma calibração satisfatória

Para o ajuste do volume de pico do hidrograma foi necessário diminuir os valores originais de condutividade hidráulica em 88% para as duas camadas de solo (Tabelas 16 e 17). O parâmetro condutividade hidráulica do solo saturado é um dos mais sensíveis do modelo, e tende a sofrer alterações uma vez que os valores determinados em laboratório podem não ser efetivamente representativos das reais condições de campo devido à variabilidade espacial das áreas vertentes da bacia hidrográfica (Barros, 2012).

A conclusão da calibração do evento transcorreu por meio do ajuste do tempo de pico do hidrograma. Para isso, foi necessário a redução dos valores de n de Manning das áreas vertentes da bacia em 55% (Tabela 16).

O volume de escoamento superficial observado nesse evento foi de 77.948,36 L e o volume simulado resultou em 105.259,50 L. A simulação apresentando uma superestimativa de 27.311,14 L de escoamento superficial em relação ao observado.

O Coeficiente de Eficiência de Nash-Sutcliffe (NSE) apresentou resultado satisfatório para o formato do hidrograma simulado, com valor de 0,78%. O teste estatístico porcentagem BIAS (PBIAS) também mostrou-se satisfatório para esse evento, com valores de -20,85% para a vazão de pico, 10,52% para o tempo de pico e -22,58% para o volume de escoamento.

O coeficiente de determinação entre a vazão observa e simulada apresentou valor de 0,77 (Tabela 42).

A Figura 23 apresenta a precipitação, hidrogramas simulados e observados (esquerda) e a correlação entre a vazão observada e simulada plotados em gráfico 1:1 (direita).

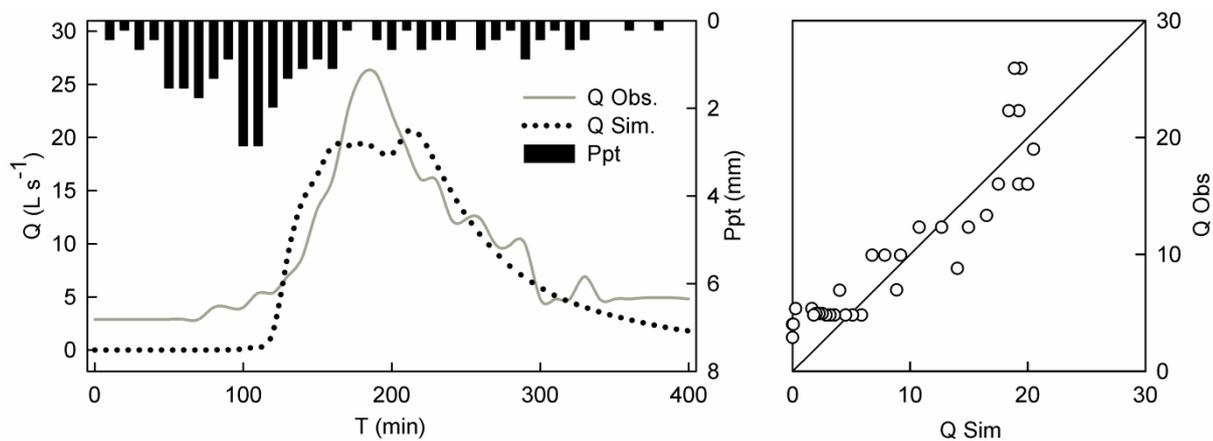


Figura 23: Hietograma, hidrogramas e gráfico 1:1 da vazão observada e simulada do evento 06, bacia hidrográfica norte.

Onde: Q: vazão; Ppt: precipitação; T: tempo; Q Sim: vazão simulada e Q Obs: vazão observada.

Tabela 16: Parâmetros de saída calibrados para o evento ocorrido em 05/07/16: Uso do solo associados à primeira camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica norte.

| Usos | $K_s^{(1)}$ | $\theta_s^{(1)}$ | $\psi^{(1)}$ | $\theta_i^{(2)}$ | $n^{(3)}$ | $cob^{(2)}$ | $ap^{(2)}$ | $iaf^{(2)}$ | $D_{50}^{(3)}$ | $cs^{(3)}$ | $cr^{(3)}$ | $ag^{(1)}$ | $rr^{(1)}$ | $ped^{(3)}$ |
|------|-------------|------------------|--------------|------------------|-----------|-------------|------------|-------------|----------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| 1    | 7,14        | 0,44             | 421,55       | 0,35             | 0,05      | 0,95        | 7,0        | 5,0         | 0,45           | 1,73       | 10,00      | 117        | 3,15       | 0,03        |
| 2    | 2,83        | 0,45             | 9,10         | 0,36             | 0,07      | 0,95        | 1,2        | 4,0         | 0,45           | 1,13       | 5,00       | 194        | 3,15       | 0,03        |
| 3    | 2,86        | 0,45             | 9,37         | 0,36             | 0,06      | 0,95        | 1,2        | 5,0         | 0,45           | 1,00       | 8,00       | 139        | 3,15       | 0,03        |
| 4    | 10,68       | 0,47             | 91,76        | 0,38             | 0,06      | 0,95        | 0,6        | 3,0         | 0,45           | 3,13       | 5,00       | 101        | 3,15       | 0,03        |
| 5    | 1,44        | 0,44             | 5,00         | 0,35             | 0,06      | 0,95        | 0,0        | 0,0         | 0,45           | 1,00       | 0,00       | 100        | 3,15       | 0,03        |
| 6    | 2,40        | 0,47             | 8,46         | 0,38             | 0,07      | 0,95        | 0,2        | 0,5         | 0,45           | 1,25       | 2,00       | 189        | 3,15       | 0,03        |
| 7    | 9,14        | 0,47             | 75,50        | 0,37             | 0,06      | 0,95        | 0,2        | 1,5         | 0,45           | 2,25       | 4,00       | 93         | 3,15       | 0,03        |
| 8    | 7,14        | 0,44             | 421,55       | 0,35             | 0,06      | 0,95        | 0,4        | 2,5         | 0,45           | 1,73       | 7,00       | 117        | 3,15       | 0,03        |
| 9    | 4,08        | 0,44             | 431,28       | 0,35             | 0,06      | 0,95        | 0,3        | 1,2         | 0,45           | 0,91       | 6,00       | 142        | 3,15       | 0,03        |
| 10   | 2,40        | 0,47             | 8,46         | 0,38             | 0,06      | 0,95        | 0,3        | 1,2         | 0,45           | 1,25       | 6,00       | 189        | 3,2        | 0,03        |

Onde: 1: mata; 2: milho após milho; 3: tifton; 4: feijão sobre milho; 5: estrada; 6: cede; 7: campo; 8: azevém sobre soja; 9: aveia sobre soja; 10: aveia sobre milho,  $K_s$ : condutividade hidráulica do solo saturado ( $mm\ h^{-1}$ );  $\theta_s$ : porosidade total ( $cm^3\ cm^{-3}$ );  $\psi$ : potencial matricial na frente de molhamento (cm);  $\theta_i$ : umidade inicial ( $cm^3\ cm^{-3}$ );  $n$ :  $n$  de Manning;  $cob$ : área coberta por plantas (%);  $ap$ : altura de plantas (m); índice de área foliar ( $m^2\ m^{-2}$ );  $D_{50}$ : mediana da granulometria ( $\mu m$ );  $cs$ : coesão do solo (kPa);  $cr$ : coesão das raízes (kPa);  $ag$ : estabilidade de agregados (número de gotas);  $rr$ : coeficiente de rugosidade aleatória e  $ped$ : pedregosidade (%).

<sup>(1)</sup>: determinado em campo e laboratório

<sup>(2)</sup>: estimado

<sup>(3)</sup>: consultado na literatura

Tabela 17: Parâmetros de saída calibrados: Características físico-hídricas dos solos associados à segunda camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica norte.

| Solos | $K_s^{(1)}$ | $\theta_s^{(1)}$ | $\psi^{(1)}$ | $\theta_i^{(2)}$ |
|-------|-------------|------------------|--------------|------------------|
| 1     | 1,05        | 0,51             | 115,50       | 0,41             |
| 2     | 0,29        | 0,45             | 10,76        | 0,36             |
| 3     | 5,12        | 0,51             | 5,02         | 0,41             |
| 4     | 2,99        | 0,45             | 10,46        | 0,36             |
| 5     | 12,69       | 0,51             | 4,74         | 0,41             |

Onde:  $K_s$ : condutividade hidráulica do solo saturado ( $mm\ h^{-1}$ );  $\theta_s$ : porosidade total ( $cm^3\ cm^{-3}$ );  $\psi$ : potencial matricial na frente de molhamento (cm);  $\theta_i$ : umidade inicial ( $cm^3\ cm^{-3}$ ); 1: Argissolo Vermelho; 2: Gleissolo Háptico; 3: Latossolo Vermelho; 4: Neossolo Litólico e 5: Nitossolo Vermelho.

<sup>(1)</sup>: determinado em campo e laboratório

<sup>(2)</sup>: estimado

#### • Evento 7: 09/07/2016

A escolha em modelar o evento pluvial ocorrido em 09/07/16, na bacia norte, foi motivado para verificar a capacidade do modelo LISEM de modelar eventos de baixa

magnitude e intensidade de precipitação. O evento 7 apresentou volume de precipitação de 22,0 mm em nove horas de duração, com intensidade máxima de 5,72 mm em uma hora.

Eventos de menor magnitude não favorecem a ocorrência de escoamento superficial direto, resultando em dificuldades de calibração e maiores erros nas variáveis respostas (Gomes, 2008). Isso que não foi verificado durante as simulações dos eventos de pequenas magnitudes nesse estudo. A Figura 24 mostra o comportamento da precipitação, hidrograma observado e modelado e correlação entre a vazão observada e simulada.

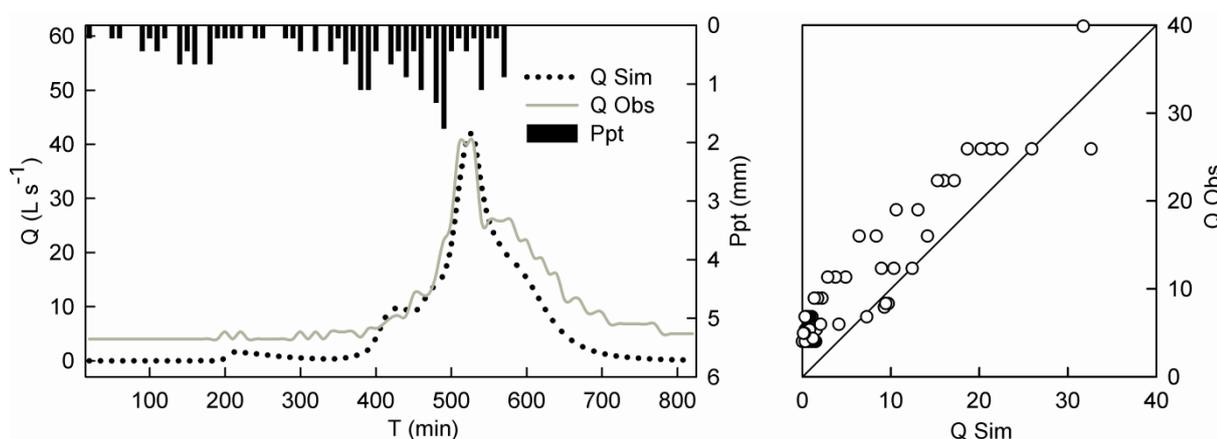


Figura 24: Hietograma, hidrogramas e gráfico 1:1 da vazão observada e simulada do evento 07, bacia hidrográfica norte.

Onde: Q: vazão; Ppt: precipitação; T: tempo; Q Sim: vazão simulada e Q Obs: vazão observada

A comparação entre a forma do hidrograma observado e simulado resultou em um coeficiente NSE de 0,70, considerado bom segundo Moriasi et al. (2007), como especificado do tópico 4.5.5. O escoamento superficial observado gerou volume de 171.374,77 L e o escoamento superficial simulado apresentou volume de 195.414,90 L. O teste estatístico PBIAS para esse parâmetro mostrou-se satisfatório, resultando em uma superestimativa de 14,02%. A vazão de pico apresentou PBIAS de 3,03% e o tempo de pico do hidrograma simulado e observado apresentou percentual PBIAS de zero. O teste estatístico PBIAS apresentou valores satisfatórios para todos os parâmetros calibrados do evento 07 (Tabela 42). A correlação entre o volume da vazão observada e simulada apresentou coeficiente de determinação de 0,72% (Figura 35, direita).

Os parâmetros de entrada para simular o evento 07 (Tabelas 14 e 15) sofreram algumas alterações durante o processo de calibração. A umidade inicial do solo ( $\theta_i$ ) foi reduzida em 95% em relação aos valores da porosidade total (PT), para as camada 1 e 2. A

condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_s$ ) foi reduzida em 98% (Tabelas 18 e 19). A redução dos valores desses dois parâmetros foi necessária porque nas primeiras simulações o modelo apresentou superestimativa de ascensão e pico do hidrograma.

Finalmente, para ajuste do tempo de pico do hidrograma simulado em relação ao observado, o coeficiente  $n$  de Manning foi reduzido em 95% em relação aos valores iniciais, pois a ascensão do hidrograma simulado apresentava atraso em relação ao observado. Os resultados dos parâmetros de saída referentes à calibração desse evento estão dispostos nas Tabelas 18 e 19.

Tabela 18: Parâmetros de saída calibrados do evento 09/07/16: Uso do solo associados à primeira camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica norte.

| Usos | $K_s^{(1)}$ | $\theta_s^{(1)}$ | $\psi^{(1)}$ | $\theta_i^{(2)}$ | $n^{(3)}$ | $cob^{(2)}$ | $ap^{(2)}$ | $iaf^{(2)}$ | $D_{50}^{(3)}$ | $cs^{(3)}$ | $cr^{(3)}$ | $ag^{(1)}$ | $rr^{(1)}$ | $ped^{(3)}$ |
|------|-------------|------------------|--------------|------------------|-----------|-------------|------------|-------------|----------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| 1    | 1,19        | 0,44             | 421,55       | 0,02             | 0,01      | 0,95        | 7,0        | 5,0         | 0,45           | 1,73       | 10,00      | 117        | 3,15       | 0,03        |
| 2    | 0,47        | 0,45             | 9,10         | 0,02             | 0,01      | 0,95        | 1,2        | 4,0         | 0,45           | 1,13       | 5,00       | 194        | 3,15       | 0,03        |
| 3    | 0,48        | 0,45             | 9,37         | 0,02             | 0,01      | 0,95        | 1,2        | 5,0         | 0,45           | 1,00       | 8,00       | 139        | 3,15       | 0,03        |
| 4    | 1,78        | 0,47             | 91,76        | 0,02             | 0,01      | 0,95        | 0,6        | 3,0         | 0,45           | 3,13       | 5,00       | 101        | 3,15       | 0,03        |
| 5    | 0,24        | 0,44             | 5,00         | 0,02             | 0,01      | 0,95        | 0,0        | 0,0         | 0,45           | 1,00       | 0,00       | 100        | 3,15       | 0,03        |
| 6    | 0,40        | 0,47             | 8,46         | 0,02             | 0,01      | 0,95        | 0,2        | 0,5         | 0,45           | 1,25       | 2,00       | 189        | 3,15       | 0,03        |
| 7    | 1,52        | 0,47             | 75,50        | 0,02             | 0,01      | 0,95        | 0,2        | 1,5         | 0,45           | 2,25       | 4,00       | 93         | 3,15       | 0,03        |
| 8    | 1,19        | 0,44             | 421,55       | 0,02             | 0,01      | 0,95        | 0,4        | 2,5         | 0,45           | 1,73       | 7,00       | 117        | 3,15       | 0,03        |
| 9    | 0,68        | 0,44             | 431,28       | 0,02             | 0,01      | 0,95        | 0,3        | 1,2         | 0,45           | 0,91       | 6,00       | 142        | 3,15       | 0,03        |
| 10   | 0,40        | 0,47             | 8,46         | 0,02             | 0,01      | 0,95        | 0,3        | 1,2         | 0,45           | 1,25       | 6,00       | 189        | 3,15       | 0,03        |

Onde: 1: mata; 2: milho após milho; 3: tifton; 4: feijão sobre milho; 5: estrada; 6: cede; 7: campo; 8: azevém sobre soja; 9: aveia sobre soja; 10: aveia sobre milho,  $K_s$ : condutividade hidráulica do solo saturado ( $\text{mm h}^{-1}$ );  $\theta_s$ : porosidade total ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $\psi$ : potencial matricial na frente de molhamento (cm);  $\theta_i$ : umidade inicial ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $n$ :  $n$  de Manning;  $cob$ : área coberta por plantas (%);  $ap$ : altura de plantas (m); índice de área foliar ( $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ );  $D_{50}$ : mediana da granulometria ( $\mu\text{m}$ );  $cs$ : coesão do solo (kPa);  $cr$ : coesão das raízes (kPa);  $ag$ : estabilidade de agregados (número de gotas);  $rr$ : coeficiente de rugosidade aleatória e  $ped$ : pedregosidade (%).

<sup>(1)</sup>: determinado em campo e laboratório

<sup>(2)</sup>: estimado

<sup>(3)</sup>: consultado na literatura

Tabela 19: Parâmetros de saída calibrados do evento 09/17/16: Características físico-hídricas dos solos associados à segunda camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica norte.

| Solos | $K_s^{(1)}$ | $\theta_s^{(1)}$ | $\psi^{(1)}$ | $\theta_i^{(2)}$ |
|-------|-------------|------------------|--------------|------------------|
| 1     | 0,18        | 0,51             | 115,50       | 0,03             |
| 2     | 0,05        | 0,45             | 10,76        | 0,02             |
| 3     | 0,85        | 0,51             | 5,02         | 0,03             |
| 4     | 0,50        | 0,45             | 10,46        | 0,02             |
| 5     | 2,11        | 0,51             | 4,74         | 0,03             |

Onde:  $K_s$ : condutividade hidráulica do solo saturado ( $\text{mm h}^{-1}$ );  $\theta_s$ : porosidade total ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $\psi$ : potencial matricial na frente de molhamento (cm);  $\theta_i$ : umidade inicial ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ); 1: Argissolo Vermelho; 2: Gleissolo Háplico; 3: Latossolo Vermelho; 4: Neossolo Litólico e 5: Nitossolo Vermelho.

<sup>(1)</sup>: determinado em campo e laboratório

<sup>(2)</sup>: estimado

- Evento 17: 05/09/2016

O evento ocorrido em 05/09/17 apresentou volume total precipitado de 28,38 mm e intensidade de precipitação máxima em uma hora de 5,94 mm. O volume de escoamento superficial observado foi de 865.789,00 L e o volume simulado foi de 1.316.361,60 L. Observa-se que o modelo superestimou o volume de escoamento superficial em 450.572,60 L.

A comparação da forma do hidrograma observado e simulado resultou em um coeficiente NSE de 0,74, considerado bom. O teste estatístico PBIAS para a vazão de pico e tempo de pico do hidrograma resultou em 4,57% e 2,33%, respectivamente, considerados coeficientes satisfatórios. No entanto, para o escoamento superficial, em razão da superestimativa do modelo, o teste PBIAS apresentou valor insatisfatório de 52,04%. O coeficiente de determinação entre a vazão simulada e observada apresentou valor de 0,89, considerado resultado satisfatório (Tabela 42). A figura 25 apresenta o hietograma, hidrograma observado e simulado e o gráfico 1:1 entre as vazões observadas e simuladas.

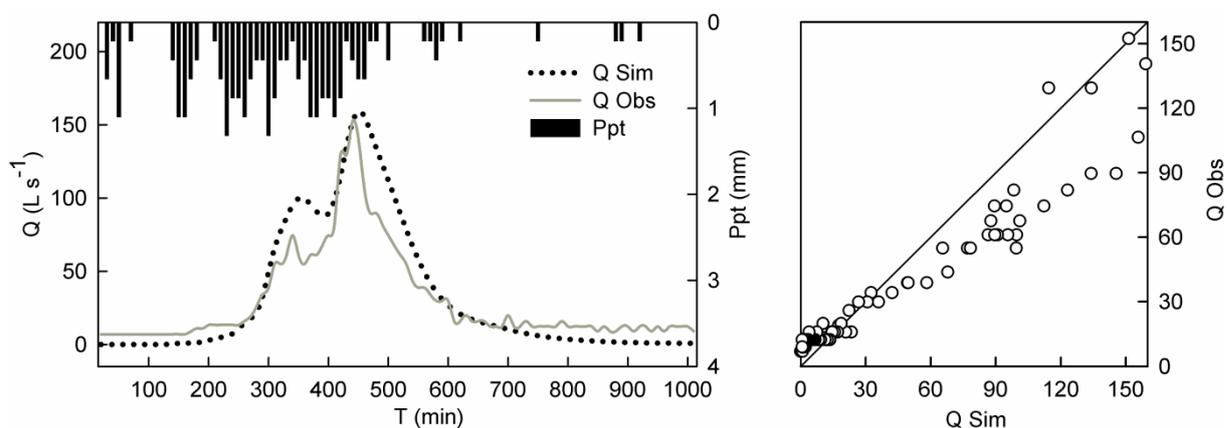


Figura 25: Hietograma, hidrogramas e gráfico 1:1 da vazão observada e simulada do evento 17, bacia hidrográfica norte.

Onde: Q: vazão; Ppt: precipitação; T: tempo; Q Sim: vazão simulada e Q Obs: vazão observada.

A estratégia de calibração do evento 17 consistiu na alteração de alguns dos parâmetros de entrada originais contidos nas Tabelas 14 e 15. Para o volume da vazão, a condutividade hidráulica do solo saturado ( $k_s$ ) e a umidade inicial do solo ( $\theta_i$ ) foram reduzidas em 98% para as camadas 1 e 2. Essa estratégia possibilitando recuar o pico do hidrograma de forma a aproximá-lo dos valores observados (Tabelas 20 e 21). Para ajustar o tempo de pico do hidrograma simulado, o  $n$  de Manning foi reduzido em 95% (Tabela 20).

Tabela 20: Parâmetros de saída calibrados do evento 05/09/16: Uso do solo associados à primeira camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica norte.

| Usos | $K_s^{(1)}$ | $\theta_s^{(1)}$ | $\psi^{(1)}$ | $\theta_i^{(2)}$ | $n^{(3)}$ | cob <sup>(2)</sup> | ap <sup>(2)</sup> | iaf <sup>(2)</sup> | $D_{50}^{(3)}$ | cs <sup>(3)</sup> | cr <sup>(3)</sup> | ag <sup>(1)</sup> | rr <sup>(1)</sup> | ped <sup>(3)</sup> |
|------|-------------|------------------|--------------|------------------|-----------|--------------------|-------------------|--------------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 1    | 1,19        | 0,44             | 421,55       | 0,02             | 0,01      | 0,95               | 7,0               | 5,0                | 0,45           | 1,73              | 10,00             | 117               | 3,15              | 0,03               |
| 2    | 0,47        | 0,45             | 9,10         | 0,02             | 0,01      | 0,95               | 1,2               | 4,0                | 0,45           | 1,13              | 5,00              | 194               | 3,15              | 0,03               |
| 3    | 0,48        | 0,45             | 9,37         | 0,02             | 0,01      | 0,95               | 1,2               | 5,0                | 0,45           | 1,00              | 8,00              | 139               | 3,15              | 0,03               |
| 4    | 1,78        | 0,47             | 91,76        | 0,02             | 0,01      | 0,95               | 0,6               | 3,0                | 0,45           | 3,13              | 5,00              | 101               | 3,15              | 0,03               |
| 5    | 0,24        | 0,44             | 5,00         | 0,02             | 0,01      | 0,95               | 0,0               | 0,0                | 0,45           | 1,00              | 0,00              | 100               | 3,15              | 0,03               |
| 6    | 0,40        | 0,47             | 8,46         | 0,02             | 0,01      | 0,95               | 0,2               | 0,5                | 0,45           | 1,25              | 2,00              | 189               | 3,15              | 0,03               |
| 7    | 1,52        | 0,47             | 75,50        | 0,02             | 0,01      | 0,95               | 0,2               | 1,5                | 0,45           | 2,25              | 4,00              | 93                | 3,15              | 0,03               |
| 8    | 1,19        | 0,44             | 421,55       | 0,02             | 0,01      | 0,95               | 0,4               | 2,5                | 0,45           | 1,73              | 7,00              | 117               | 3,15              | 0,03               |
| 9    | 0,68        | 0,44             | 431,28       | 0,02             | 0,01      | 0,95               | 0,3               | 1,2                | 0,45           | 0,91              | 6,00              | 142               | 3,15              | 0,03               |
| 10   | 0,40        | 0,47             | 8,46         | 0,02             | 0,01      | 0,95               | 0,3               | 1,2                | 0,45           | 1,25              | 6,00              | 189               | 3,15              | 0,03               |

Onde: 1: mata; 2: milho após milho; 3: tifton; 4: feijão sobre milho; 5: estrada; 6: cede; 7: campo; 8: azevém sobre soja; 9: aveia sobre soja; 10: aveia sobre milho,  $K_s$ : condutividade hidráulica do solo saturado ( $\text{mm h}^{-1}$ );  $\theta_s$ : porosidade total ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $\psi$ : potencial matricial na frente de molhamento (cm);  $\theta_i$ : umidade inicial ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $n$ :  $n$  de Manning; cob: área coberta por plantas (%); ap: altura de plantas (m); índice de área foliar ( $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ );  $D_{50}$ : mediana da granulometria ( $\mu\text{m}$ ); cs: coesão do solo (kPa); cr: coesão das raízes (kPa); ag: estabilidade de agregados (número de gotas); rr: coeficiente de rugosidade aleatória e ped: pedregosidade (%).

<sup>(1)</sup>: determinado em campo e laboratório

<sup>(2)</sup>: estimado

<sup>(3)</sup>: consultado na literatura

Tabela 21: Parâmetros de saída calibrados do evento 05/09/16: Características físico-hídricas dos solos associados à segunda camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica norte.

| Solos | $K_s^{(1)}$ | $\theta_s^{(1)}$ | $\psi^{(1)}$ | $\theta_i^{(2)}$ |
|-------|-------------|------------------|--------------|------------------|
| 1     | 0,18        | 0,51             | 115,50       | 0,03             |
| 2     | 0,05        | 0,45             | 10,76        | 0,02             |
| 3     | 0,85        | 0,51             | 5,02         | 0,03             |
| 4     | 0,50        | 0,45             | 10,46        | 0,02             |
| 5     | 2,11        | 0,51             | 4,74         | 0,03             |

Onde:  $K_s$ : condutividade hidráulica do solo saturado ( $\text{mm h}^{-1}$ );  $\theta_s$ : porosidade total ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $\psi$ : potencial matricial na frente de molhamento (cm);  $\theta_i$ : umidade inicial ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ); 1: Argissolo Vermelho; 2: Gleissolo Háplico; 3: Latossolo Vermelho; 4: Neossolo Litólico e 5: Nitossolo Vermelho.

<sup>(1)</sup>: determinado em campo e laboratório

<sup>(2)</sup>: estimado

#### • Evento 19: 19/10/2016

A simulação do evento ocorrido em 19/10/19 apresentou a melhor forma do hidrograma simulado em relação ao observado, apresentando um coeficiente NSE de 0,86. A

relação entre a vazão observada e simulada apresentou coeficiente de determinação de 0,89. O teste PBIAS resultou subestimativa de -7,15% para vazão de pico, -19,23% para o volume de escoamento e superestimativa de 29,41% para o tempo de pico (Tabela 42). A Figura 26 apresenta o hietograma, hidrograma observado e simulado (esquerda) e a correlação entre a vazão simulada e observada (direita).

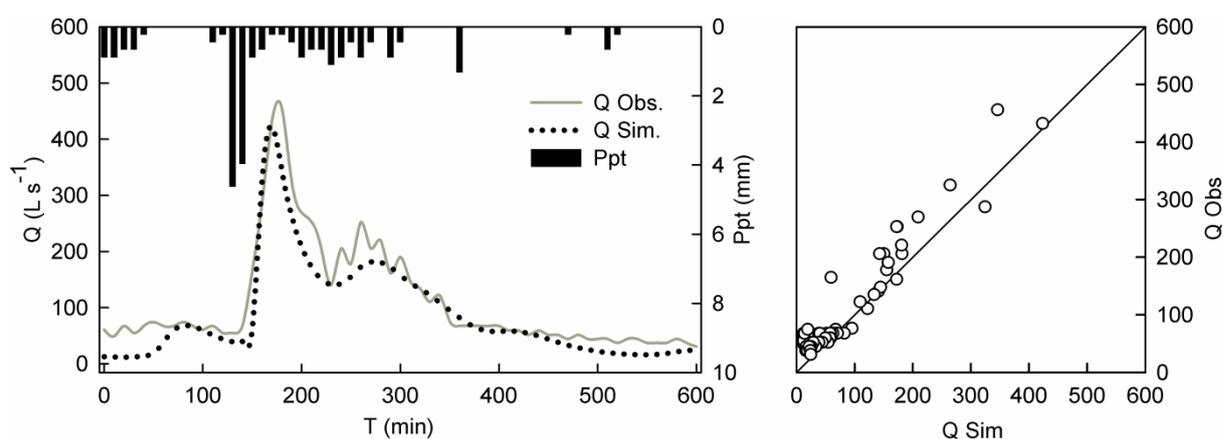


Figura 26: Hietograma, hidrogramas e gráfico 1:1 da vazão observada e simulada do evento 19, bacia hidrográfica norte.

Onde: Q: vazão; Ppt: precipitação; T: tempo; Q Sim: vazão simulada e Q Obs: vazão observada.

Para calibrar o volume do hidrograma foi necessário diminuir os valores de condutividade hidráulica do solo saturado ( $k_s$ ) e os valores de umidade inicial do solo ( $\theta_i$ ) em 99% e 5%, respectivamente. Para o ajuste do tempo de pico do hidrograma simulado, os valores de  $n$  de Manning para a superfície foram elevados em 30%, uma vez que durante as simulações a ascensão do hidrograma apresentou adiantamento no tempo em relação ao hidrograma observado (Tabelas 22 e 23).

No processo de simulação e calibração dos eventos ocorridos durante o ano de 2016, na bacia hidrográfica norte, não foi observada sensibilidades do modelo diante de alterações no parâmetro de rugosidade aleatória. No entanto, as simulações apresentaram resultados satisfatórios diante de ajustes nos valores de condutividade hidráulica do solo saturado ( $k_s$ ), umidade inicial ( $\theta_i$ ) e  $n$  de Manning, mesmo para eventos pluviais de baixa intensidade e magnitude.

Tabela 22: Parâmetros de saída calibrados do evento 19/10/16: Uso do solo associados à primeira camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica norte.

| Usos | $K_s^{(1)}$ | $\theta_s^{(1)}$ | $\psi^{(1)}$ | $\theta_i^{(2)}$ | $n^{(3)}$ | $cob^{(2)}$ | $ap^{(2)}$ | $iaf^{(2)}$ | $D_{50}^{(3)}$ | $cs^{(3)}$ | $cr^{(3)}$ | $ag^{(1)}$ | $rr^{(1)}$ | $ped^{(3)}$ |
|------|-------------|------------------|--------------|------------------|-----------|-------------|------------|-------------|----------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| 1    | 0,59        | 0,44             | 421,55       | 0,42             | 0,16      | 0,95        | 8,0        | 5,0         | 0,5            | 1,73       | 10,00      | 117        | 3,15       | 0,03        |
| 2    | 0,24        | 0,45             | 9,10         | 0,43             | 0,20      | 0,95        | 1,0        | 4,0         | 0,5            | 1,13       | 5,00       | 194        | 3,15       | 0,03        |
| 3    | 0,24        | 0,45             | 9,37         | 0,43             | 0,17      | 0,95        | 0,1        | 5,0         | 0,5            | 1,00       | 8,00       | 139        | 3,15       | 0,03        |
| 4    | 0,89        | 0,47             | 91,76        | 0,45             | 0,17      | 0,95        | 0,3        | 3,0         | 0,5            | 3,13       | 5,00       | 101        | 3,15       | 0,03        |
| 5    | 0,12        | 0,44             | 5,00         | 0,42             | 0,17      | 0,95        | 0,0        | 0,0         | 0,5            | 1,00       | 0,00       | 100        | 3,15       | 0,03        |
| 6    | 0,20        | 0,47             | 8,46         | 0,45             | 0,20      | 0,95        | 0,2        | 0,5         | 0,5            | 1,25       | 2,00       | 189        | 3,15       | 0,03        |
| 7    | 0,76        | 0,47             | 75,50        | 0,44             | 0,17      | 0,95        | 0,1        | 1,5         | 0,5            | 2,25       | 4,00       | 93         | 3,15       | 0,03        |
| 8    | 0,59        | 0,44             | 421,55       | 0,42             | 0,17      | 0,95        | 0,1        | 2,5         | 0,5            | 1,73       | 7,00       | 117        | 3,15       | 0,03        |
| 9    | 0,34        | 0,44             | 431,28       | 0,41             | 0,17      | 0,95        | 0,1        | 1,2         | 0,5            | 0,91       | 6,00       | 142        | 3,15       | 0,03        |
| 10   | 0,20        | 0,47             | 8,46         | 0,45             | 0,17      | 0,95        | 0,1        | 1,2         | 0,5            | 1,25       | 6,00       | 189        | 3,15       | 0,03        |

Onde: 1: mata; 2: milho após milho; 3: tifton; 4: feijão sobre milho; 5: estrada; 6: cede; 7: campo; 8: azevém sobre soja; 9: aveia sobre soja; 10: aveia sobre milho,  $K_s$ : condutividade hidráulica do solo saturado ( $\text{mm h}^{-1}$ );  $\theta_s$ : porosidade total ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $\psi$ : potencial matricial na frente de molhamento (cm);  $\theta_i$ : umidade inicial ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $n$ :  $n$  de Manning;  $cob$ : área coberta por plantas (%);  $ap$ : altura de plantas (m); índice de área foliar ( $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ );  $D_{50}$ : mediana da granulometria ( $\mu\text{m}$ );  $cs$ : coesão do solo (kPa);  $cr$ : coesão das raízes (kPa);  $ag$ : estabilidade de agregados (número de gotas);  $rr$ : coeficiente de rugosidade aleatória e  $ped$ : pedregosidade (%).

<sup>(1)</sup>: determinado em campo e laboratório

<sup>(2)</sup>: estimado

<sup>(3)</sup>: consultado na literatura

Tabela 23: Parâmetros de saída calibrados do evento 19/10/16: Características físico-hídricas dos solos associados à segunda camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica norte.

| Solos | $K_s^{(1)}$ | $\theta_s^{(1)}$ | $\psi^{(1)}$ | $\theta_i^{(2)}$ |
|-------|-------------|------------------|--------------|------------------|
| 1     | 0,09        | 0,51             | 115,50       | 0,49             |
| 2     | 0,02        | 0,45             | 10,76        | 0,43             |
| 3     | 0,43        | 0,51             | 5,02         | 0,48             |
| 4     | 0,25        | 0,45             | 10,46        | 0,43             |
| 5     | 1,06        | 0,51             | 4,74         | 0,49             |

Onde:  $K_s$ : condutividade hidráulica do solo saturado ( $\text{mm h}^{-1}$ );  $\theta_s$ : porosidade total ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $\psi$ : potencial matricial na frente de molhamento (cm);  $\theta_i$ : umidade inicial ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ); 1: Argissolo Vermelho; 2: Gleissolo Háplico; 3: Latossolo Vermelho; 4: Neossolo Litólico e 5: Nitossolo Vermelho.

<sup>(1)</sup>: determinado em campo e laboratório

<sup>(2)</sup>: estimado

### 5.3.3 Parâmetros de entrada para o ano de 2017 - bacia hidrográfica norte

As Tabelas 24 e 25 demonstram os parâmetros de entrada para a calibração de um evento pluvial representativo do ano agrícola de 2017. A separação dos usos do solo entre os

anos de 2016 e 2017 foi planejada para representar separadamente os diferentes cenários na modelagem dos processos hidrológicos.

Tabela 24: Parâmetros de entrada: Uso do solo associados à primeira camada de infiltração, para o ano agrícola de 2017, na bacia hidrográfica norte.

| Usos | $K_s^{(1)}$ | $\theta_s^{(1)}$ | $\psi^{(1)}$ | $\theta_i^{(2)}$ | $n^{(3)}$ | cob <sup>(2)</sup> | ap <sup>(2)</sup> | iaf <sup>(2)</sup> | $D_{50}^{(3)}$ | cs <sup>(3)</sup> | cr <sup>(3)</sup> | ag <sup>(1)</sup> | rr <sup>(1)</sup> | ped <sup>(3)</sup> |
|------|-------------|------------------|--------------|------------------|-----------|--------------------|-------------------|--------------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 1    | 57,52       | 0,46             | 9,37         | 0,41             | 0,15      | 1,00               | 0,20              | 5,0                | 50             | 0,9               | 8,0               | 142               | 3,5               | 0,03               |
| 2    | 31,29       | 0,43             | 491,97       | 0,39             | 0,15      | 1,00               | 0,90              | 4,0                | 50             | 0,9               | 5,0               | 142               | 3,5               | 0,03               |
| 3    | 57,00       | 0,44             | 421,55       | 0,40             | 0,15      | 1,00               | 7,00              | 5,0                | 50             | 1,7               | 10,0              | 117               | 3,5               | 0,03               |
| 4    | 23,84       | 0,45             | 9,37         | 0,41             | 0,15      | 1,00               | 0,50              | 3,0                | 50             | 0,9               | 5,0               | 187               | 3,5               | 0,03               |
| 5    | 59,46       | 0,44             | 6,00         | 0,40             | 0,15      | 0,00               | 0,00              | 0,0                | 50             | 0,9               | 0,0               | 117               | 3,5               | 0,03               |
| 6    | 68,40       | 0,47             | 8,46         | 0,42             | 0,15      | 1,00               | 0,80              | 0,5                | 50             | 0,3               | 2,0               | 189               | 3,5               | 0,03               |
| 7    | 88,16       | 0,47             | 75,50        | 0,42             | 0,15      | 1,00               | 0,15              | 1,2                | 50             | 2,3               | 4,0               | 125               | 3,5               | 0,03               |
| 8    | 31,29       | 0,40             | 380,04       | 0,36             | 0,15      | 1,00               | 0,15              | 2,5                | 50             | 0,9               | 7,0               | 142               | 3,5               | 0,03               |
| 9    | 19,99       | 0,47             | 64,42        | 0,42             | 0,15      | 1,00               | 0,20              | 1,2                | 50             | 1,3               | 6,0               | 189               | 3,5               | 0,03               |
| 10   | 63,78       | 0,44             | 9,12         | 0,40             | 0,15      | 1,00               | 0,20              | 1,2                | 50             | 2,0               | 6,0               | 142               | 3,5               | 0,03               |
| 11   | 50,07       | 0,45             | 120,20       | 0,40             | 0,15      | 0,00               | 0,00              | 0,0                | 50             | 0,5               | 1,0               | 14                | 3,5               | 0,03               |

Onde: 1: tifton; 2: milho após milho; 3: mata; 4: feijão; 5: estrada; 6: cede; 7: campo; 8: azevém sobre soja; 9: aveia sobre milho; 10: aveia sobre soja; 11: lago;  $K_s$ : condutividade hidráulica do solo saturado ( $\text{mm h}^{-1}$ );  $\theta_s$ : porosidade total ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $\psi$ : potencial matricial na frente de molhamento (cm);  $\theta_i$ : umidade inicial ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $n$ :  $n$  de Manning; cob: área coberta por plantas (%); ap: altura de plantas (m); índice de área foliar ( $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ );  $D_{50}$ : mediana da granulometria ( $\mu\text{m}$ ); cs: coesão do solo (kPa); cr: coesão das raízes (kPa); ag: estabilidade de agregados (número de gotas); rr: coeficiente de rugosidade aleatória e ped: pedregosidade (%).

<sup>(1)</sup>: determinado em campo e laboratório

<sup>(2)</sup>: estimado

<sup>(3)</sup>: consultado na literatura

Tabela 25: Parâmetros de entrada: Características físico-hídricas dos solos associados à segunda camada de infiltração, para o ano agrícola de 2017, na bacia hidrográfica norte.

| Solos | $K_s^{(1)}$ | $\theta_s^{(1)}$ | $\psi^{(1)}$ | $\theta_i^{(2)}$ |
|-------|-------------|------------------|--------------|------------------|
| 1     | 8,8         | 0,370            | 115,5        | 0,333            |
| 2     | 2,4         | 0,569            | 10,8         | 0,512            |
| 3     | 42,7        | 0,503            | 5,0          | 0,453            |
| 4     | 24,9        | 0,452            | 10,5         | 0,407            |
| 5     | 105,7       | 0,511            | 9,7          | 0,460            |

Onde:  $K_s$ : condutividade hidráulica do solo saturado ( $\text{mm h}^{-1}$ );  $\theta_s$ : porosidade total ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $\psi$ : potencial matricial na frente de molhamento (cm);  $\theta_i$ : umidade inicial ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ); 1: Argissolo Vermelho; 2: Gleissolo Háptico; 3: Latossolo Vermelho; 4: Neossolo Litólico e 5: Nitossolo Vermelho.

<sup>(1)</sup>: determinado em campo e laboratório

<sup>(2)</sup>: estimado

### 5.3.3.1 Evento calibrado para o ano de 2017 - bacia hidrográfica norte

- Evento 26: 15/09/2017

O evento ocorrido em 15/09/17 na bacia hidrográfica norte ocorreu durante o período de plantio das culturas de verão, destacando-se as culturas da soja e do milho. O teste estatístico NSE para ajuste do hidrograma simulado apresentou coeficiente de 0,59, considerado satisfatório, sendo que valor 1 (um) é considerado uma modelagem perfeita (Moriassi et al.,2007). O teste estatístico PBIAS para o escoamento simulado e observado também resultou em valores muito próximos, com 3,30%. A Figura 27 apresenta a plotagem dos hidrogramas e hietograma (direita) e gráfico 1:1 correlacionando a vazão observada e simulada.

Os parâmetros físicos alterados durante a calibração para ajuste da forma do hidrograma foram a condutividade hidráulica do solo saturado ( $k_s$ ) e a umidade inicial ( $\theta_i$ ), com redução de 90% e 20% respectivamente, para as camadas de infiltração 1 e 2. O tempo de pico do hidrograma foi ajustado com redução de 35% dos valores iniciais dos coeficientes de Manning. As Tabelas 26 e 27 demonstram os parâmetros de saída.

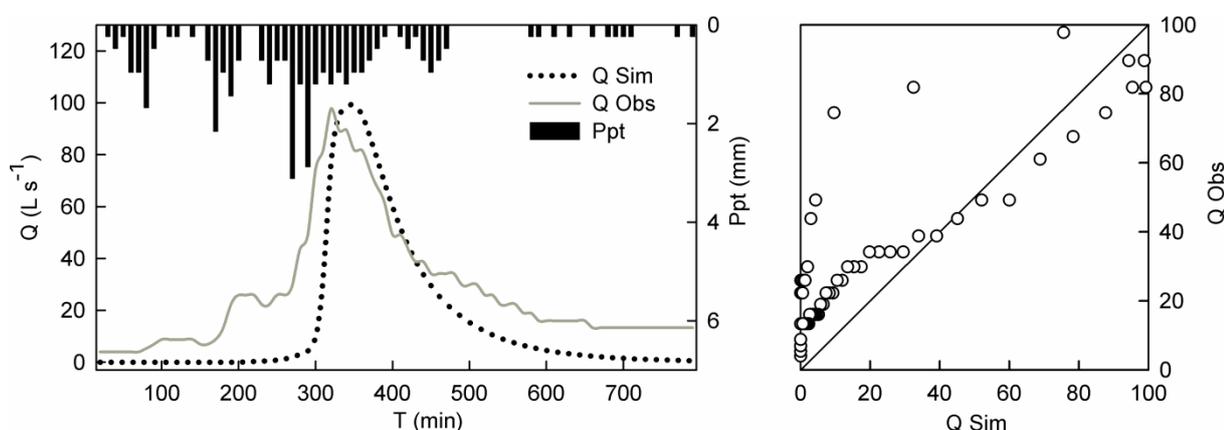


Figura 27: Hietograma, hidrogramas e gráfico 1:1 da vazão observada e simulada do evento 26, bacia hidrográfica norte.

Onde: Q: vazão; Ppt: precipitação; T: tempo; Q Sim: vazão simulada e Q Obs: vazão observada.

Tabela 26: Parâmetros de saída calibrados do evento 15/09/17: Uso do solo associados à primeira camada de infiltração, para o ano agrícola de 2017, na bacia hidrográfica norte.

| Usos | $K_s^{(1)}$ | $\theta_s^{(1)}$ | $\psi^{(1)}$ | $\theta_i^{(2)}$ | $n^{(3)}$ | cob <sup>(2)</sup> | ap <sup>(2)</sup> | iaf <sup>(2)</sup> | $D_{50}^{(3)}$ | cs <sup>(3)</sup> | cr <sup>(3)</sup> | ag <sup>(1)</sup> | rr <sup>(1)</sup> | ped <sup>(3)</sup> |
|------|-------------|------------------|--------------|------------------|-----------|--------------------|-------------------|--------------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 1    | 5,75        | 0,46             | 9,37         | 0,37             | 0,10      | 1,00               | 0,2               | 5,0                | 50             | 0,91              | 8,00              | 142               | 3,52              | 0,03               |
| 2    | 3,13        | 0,43             | 491,97       | 0,35             | 0,10      | 1,00               | 0,9               | 4,0                | 50             | 0,91              | 5,00              | 142               | 3,52              | 0,03               |
| 3    | 5,70        | 0,44             | 421,55       | 0,35             | 0,10      | 1,00               | 7,0               | 5,0                | 50             | 1,73              | 10,00             | 117               | 3,52              | 0,03               |
| 4    | 2,38        | 0,45             | 9,37         | 0,36             | 0,10      | 1,00               | 0,5               | 3,0                | 50             | 0,92              | 5,00              | 187               | 3,52              | 0,03               |
| 5    | 5,95        | 0,44             | 6,00         | 0,35             | 0,10      | 0,00               | 0,0               | 0,0                | 50             | 0,91              | 0,00              | 117               | 3,52              | 0,03               |
| 6    | 6,84        | 0,47             | 8,46         | 0,38             | 0,10      | 1,00               | 0,8               | 0,5                | 50             | 0,25              | 2,00              | 189               | 3,52              | 0,03               |
| 7    | 8,82        | 0,47             | 75,50        | 0,38             | 0,10      | 1,00               | 0,2               | 1,2                | 50             | 2,25              | 4,00              | 125               | 3,52              | 0,03               |
| 8    | 3,13        | 0,40             | 380,04       | 0,32             | 0,10      | 1,00               | 0,2               | 2,5                | 50             | 0,91              | 7,00              | 142               | 3,52              | 0,03               |
| 9    | 2,00        | 0,47             | 64,42        | 0,38             | 0,10      | 1,00               | 0,2               | 1,2                | 50             | 1,25              | 6,00              | 189               | 3,52              | 0,03               |
| 10   | 6,38        | 0,44             | 9,12         | 0,35             | 0,10      | 1,00               | 0,2               | 1,2                | 50             | 2,04              | 6,00              | 142               | 3,52              | 0,03               |
| 11   | 5,01        | 0,45             | 120,20       | 0,36             | 0,10      | 0,00               | 0,0               | 0,0                | 50             | 0,50              | 1,00              | 14                | 3,52              | 0,03               |

Onde: 1: tifton; 2: milho após milho; 3: mata; 4: feijão; 5: estrada; 6: cede; 7: campo; 8: azevém sobre soja; 9: aveia sobre milho; 10: aveia sobre soja; 11: lago;  $K_s$ : condutividade hidráulica do solo saturado ( $\text{mm h}^{-1}$ );  $\theta_s$ : porosidade total ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $\psi$ : potencial matricial na frente de molhamento (cm);  $\theta_i$ : umidade inicial ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $n$ :  $n$  de Manning; cob: área coberta por plantas (%); ap: altura de plantas (m); índice de área foliar ( $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ );  $D_{50}$ : mediana da granulometria ( $\mu\text{m}$ ); cs: coesão do solo (kPa); cr: coesão das raízes (kPa); ag: estabilidade de agregados (número de gotas); rr: coeficiente de rugosidade aleatória e ped: pedregosidade (%).

<sup>(1)</sup>: determinado em campo e laboratório

<sup>(2)</sup>: estimado

<sup>(3)</sup>: consultado na literatura

Tabela 27: Parâmetros de saída calibrados do evento 15/09/167: Características físico-hídricas dos solos associados à segunda camada de infiltração, para o ano agrícola de 2017, na bacia hidrográfica norte.

| Solos | $K_s^{(1)}$ | $\theta_s^{(1)}$ | $\psi^{(1)}$ | $\theta_i^{(2)}$ |
|-------|-------------|------------------|--------------|------------------|
| 1     | 0,88        | 0,37             | 115,50       | 0,27             |
| 2     | 0,24        | 0,57             | 10,76        | 0,41             |
| 3     | 4,27        | 0,50             | 5,02         | 0,36             |
| 4     | 2,49        | 0,45             | 10,46        | 0,33             |
| 5     | 10,57       | 0,51             | 9,74         | 0,37             |

Onde:  $K_s$ : condutividade hidráulica do solo saturado ( $\text{mm h}^{-1}$ );  $\theta_s$ : porosidade total ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $\psi$ : potencial matricial na frente de molhamento (cm);  $\theta_i$ : umidade inicial ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ); 1: Nitossolo Vermelho; 2: Neossolo Litólico; 3: Latossolo Vermelho; 4: Associação Neossolo-Gleissolo e 5: Argissolo Vermelho.

<sup>(1)</sup>: determinado em campo e laboratório

<sup>(2)</sup>: estimado

### 5.3.4 Parâmetros de entrada para ao ano de 2016 – Bacia hidrográfica sul

As Tabelas 28 e 29 apresentam os parâmetros originais de entrada para as simulações dos eventos monitorados durante o ano de 2016, na bacia hidrográfica sul. A Tabela 28 demonstra os parâmetros numéricos de cobertura e uso do solo associado à primeira camada de infiltração do solo e, a Tabela 29, os parâmetros físicos dos solos associados à segunda camada de infiltração.

Tabela 28: Parâmetros de entrada: Uso do solo associados à primeira camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica sul.

| Usos | $K_s^{(1)}$ | $\theta_s^{(1)}$ | $\psi^{(1)}$ | $\theta_i^{(2)}$ | $n^{(3)}$ | cob <sup>(2)</sup> | ap <sup>(2)</sup> | iaf <sup>(2)</sup> | $D_{50}^{(3)}$ | cs <sup>(3)</sup> | cr <sup>(3)</sup> | ag <sup>(1)</sup> | rr <sup>(1)</sup> | ped <sup>(3)</sup> |
|------|-------------|------------------|--------------|------------------|-----------|--------------------|-------------------|--------------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 1    | 10,00       | 0,20             | 4,00         | 0,10             | 0,12      | 0,95               | 0,0               | 0,0                | 0,45           | 0,50              | 0,00              | 50                | 3,15              | 0,03               |
| 2    | 46,23       | 0,45             | 34,33        | 0,22             | 0,30      | 0,95               | 8,0               | 5,0                | 0,45           | 1,60              | 10,00             | 101               | 3,15              | 0,03               |
| 3    | 14,07       | 0,45             | 9,91         | 0,22             | 0,13      | 0,95               | 1,1               | 2,0                | 0,45           | 0,75              | 5,00              | 139               | 3,15              | 0,03               |
| 4    | 17,39       | 0,45             | 10,08        | 0,23             | 0,13      | 0,95               | 1,1               | 3,0                | 0,45           | 0,75              | 4,00              | 200               | 3,15              | 0,03               |
| 5    | 14,07       | 0,45             | 9,91         | 0,22             | 0,13      | 0,95               | 1,1               | 2,0                | 0,45           | 0,30              | 5,00              | 139               | 3,15              | 0,03               |
| 6    | 46,23       | 0,45             | 11,01        | 0,23             | 0,15      | 0,95               | 0,2               | 2,5                | 0,45           | 1,60              | 8,00              | 101               | 3,15              | 0,03               |
| 7    | 52,66       | 0,44             | 10,02        | 0,22             | 0,13      | 0,95               | 0,3               | 2,0                | 0,45           | 0,75              | 6,00              | 123               | 3,15              | 0,03               |

Onde: 1: estrada; 2: mata; 3: milho; 4: milho; 5: sorgo; 6: tifton; 7: aveia;  $K_s$ : condutividade hidráulica do solo saturado ( $\text{mm h}^{-1}$ );  $\theta_s$ : porosidade total ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $\psi$ : potencial matricial na frente de molhamento (cm);  $\theta_i$ : umidade inicial ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $n$ :  $n$  de Manning; cob: área coberta por plantas (%); ap: altura de plantas (m); índice de área foliar ( $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ );  $D_{50}$ : mediana da granulometria ( $\mu\text{m}$ ); cs: coesão do solo (kPa); cr: coesão das raízes (kPa); ag: estabilidade de agregados ( $n^\circ$  de gotas); rr: coeficiente de rugosidade aleatória e ped: pedregosidade (%).

<sup>(1)</sup>: determinado em campo e laboratório

<sup>(2)</sup>: estimado

<sup>(3)</sup>: consultado na literatura

Tabela 29: Parâmetros de entrada: Características físico-hídricas dos solos associados à segunda camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica sul.

| Solos | $K_s^{(1)}$ | $\theta_s^{(1)}$ | $\psi^{(1)}$ | $\theta_i^{(2)}$ |
|-------|-------------|------------------|--------------|------------------|
| 1     | 1,27        | 0,44             | 4,82         | 0,67             |
| 2     | 18,67       | 0,45             | 10,46        | 0,68             |
| 3     | 12,67       | 0,50             | 5,34         | 0,75             |
| 4     | 18,67       | 0,48             | 15,99        | 0,72             |
| 5     | 12,10       | 0,44             | 30,91        | 0,66             |

Onde:  $K_s$ : condutividade hidráulica do solo saturado ( $\text{mm h}^{-1}$ );  $\theta_s$ : porosidade total ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $\psi$ : potencial matricial na frente de molhamento (cm);  $\theta_i$ : umidade inicial ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ); 1: Nitossolo Vermelho; 2: Neossolo Litólico; 3: Latossolo Vermelho; 4: Associação Neossolo-Gleissolo e 5: Argissolo Vermelho.

<sup>(1)</sup>: determinado em campo e laboratório

<sup>(2)</sup>: estimado

#### 5.3.4.1 Eventos calibrados para o ano de 2016 - bacia hidrográfica sul

Para a modelagem dos processos hidrológicos na bacia hidrográfica sul durante o ano de 2016, foram selecionados três eventos observados entre os meses de julho e outubro, contemplando diferentes acumulados de precipitação.

- Evento 5: 14/07/2016

O evento observado em 14/07/16 apresentou volume de precipitação de 77,28 mm e intensidade máxima em uma hora de 23,76 mm. Esse evento apresentou dois picos de vazão, dificultando a separação do escoamento de base e escoamento superficial. A Figura 26 apresenta o comportamento da precipitação e os hidrogramas observados e simulados.

O teste estatístico NSE aplicado para a comparação da forma do hidrograma calibrado em relação ao observado resultou em 0,62, considerado aceitável. Para o tempo de pico, o teste BPIAS apresentou resultado satisfatório, com superestimativa de erro de apenas 1,96. A Tabela 42 apresenta os resultados finais da calibração desse evento.

O escoamento superficial observado gerou um volume de 2.724.216,55 L e o escoamento simulado apresentou volume de 956.210,40 L. O modelo LISEM subestimou o volume de escoamento superficial para esse evento em -64,90%, considerado valor inadequado, segundo o teste PBIAS. Hessel et al. (2003a) aplicou o modelo LISEM em uma bacia hidrográfica na China, onde também observou subestimativas de volumes de escoamento superficial para alguns eventos utilizados na calibração.

A Figura 28 apresenta o hietograma, hidrograma observado e simulado e gráfico 1:1 correlacionando as vazões simuladas e observadas.

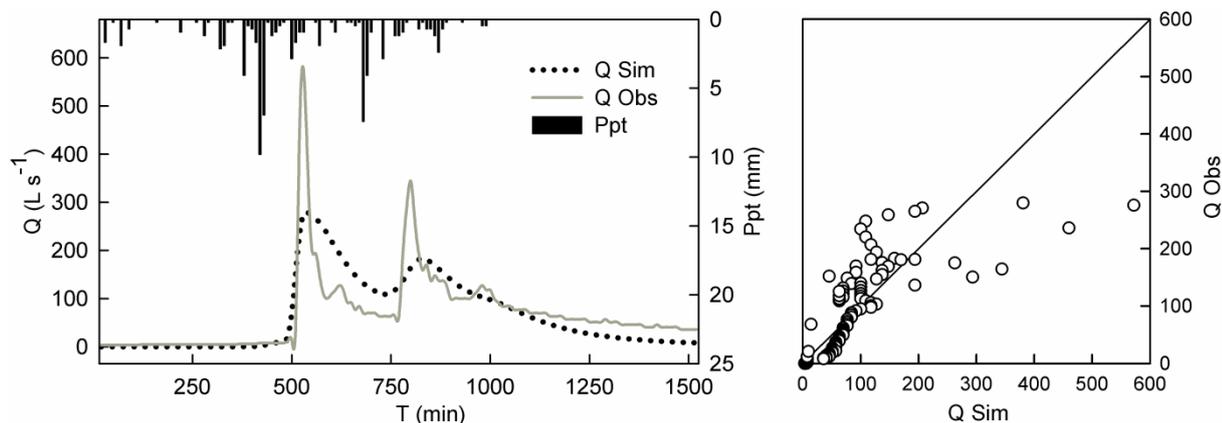


Figura 28: Hietograma, hidrogramas e gráfico 1:1 da vazão observada e simulada do evento 05, bacia hidrográfica sul.

Onde: Q: vazão; Ppt: precipitação; T: tempo; Q Sim: vazão simulada e Q Obs: vazão observada

Para o processo de calibração desse evento, os valores de condutividade hidráulica ( $k_s$ ) sofreram redução de 90% em relação aos valores originais, para as camadas 1 e 2, para o melhor ajuste do volume do hidrograma. Os valores de umidade inicial do solo ( $\theta_i$ ) não foram alterados (Tabelas 30 e 31). Para a calibração do tempo de pico do hidrograma, os valores de  $n$  de Manning foram elevados em 100% (Tabela 30) em relação aos valores de entrada do modelo.

Tabela 30: Parâmetros de saída calibrados do evento 14/07/16: Uso do solo associados à primeira camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica sul.

| Usos | $K_s^{(1)}$ | $\theta_s^{(1)}$ | $\psi^{(1)}$ | $\theta_i^{(2)}$ | $n^{(3)}$ | cob <sup>(2)</sup> | ap <sup>(2)</sup> | iaf <sup>(2)</sup> | $D_{50}^{(3)}$ | cs <sup>(3)</sup> | cr <sup>(3)</sup> | ag <sup>(1)</sup> | rr <sup>(1)</sup> | ped <sup>(3)</sup> |
|------|-------------|------------------|--------------|------------------|-----------|--------------------|-------------------|--------------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 1    | 1,00        | 0,20             | 4,00         | 0,20             | 0,24      | 0,95               | 0,0               | 0,0                | 0,45           | 0,50              | 0,00              | 50                | 3,15              | 0,03               |
| 2    | 4,62        | 0,45             | 34,33        | 0,45             | 0,60      | 0,95               | 8,0               | 5,0                | 0,45           | 1,60              | 10,00             | 101               | 3,15              | 0,03               |
| 3    | 1,41        | 0,45             | 9,91         | 0,45             | 0,26      | 0,95               | 1,1               | 2,0                | 0,45           | 0,75              | 5,00              | 139               | 3,15              | 0,03               |
| 4    | 1,74        | 0,45             | 10,08        | 0,45             | 0,26      | 0,95               | 1,1               | 3,0                | 0,45           | 0,75              | 4,00              | 200               | 3,15              | 0,03               |
| 5    | 1,41        | 0,45             | 9,91         | 0,45             | 0,26      | 0,95               | 1,1               | 2,0                | 0,45           | 0,30              | 5,00              | 139               | 3,15              | 0,03               |
| 6    | 4,62        | 0,45             | 11,01        | 0,45             | 0,30      | 0,95               | 0,2               | 2,5                | 0,45           | 1,60              | 8,00              | 101               | 3,15              | 0,03               |
| 7    | 5,27        | 0,44             | 10,02        | 0,44             | 0,26      | 0,95               | 0,3               | 2,0                | 0,45           | 0,75              | 6,00              | 123               | 3,15              | 0,03               |

Onde: 1: estrada; 2: mata; 3: milho; 4: milho; 5: sorgo; 6: tifton; 7: aveia,  $K_s$ : condutividade hidráulica do solo saturado ( $\text{mm h}^{-1}$ );  $\theta_s$ : porosidade total ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $\psi$ : potencial matricial na frente de molhamento (cm);  $\theta_i$ : umidade inicial ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $n$ :  $n$  de Manning; cob: área coberta por plantas (%); ap: altura de plantas (m); índice de área foliar ( $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ );  $D_{50}$ : mediana da granulometria ( $\mu\text{m}$ ); cs: coesão do solo (kPa); cr: coesão das raízes (kPa); ag: estabilidade de agregados ( $n^\circ$  de gotas); rr: coeficiente de rugosidade aleatória e ped: pedregosidade (%).

<sup>(1)</sup>: determinado em campo e laboratório

<sup>(2)</sup>: estimado

<sup>(3)</sup>: consultado na literatura

Tabela 31: Parâmetros de saída calibrados do evento 14/07/16: Características físico-hídricas dos solos associados à segunda camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica sul.

| Solos | $K_s^{(1)}$ | $\theta_s^{(1)}$ | $\psi^{(1)}$ | $\theta_i^{(2)}$ |
|-------|-------------|------------------|--------------|------------------|
| 1     | 0,13        | 0,44             | 4,82         | 0,44             |
| 2     | 1,87        | 0,45             | 10,46        | 0,45             |
| 3     | 1,27        | 0,50             | 5,34         | 0,50             |
| 4     | 1,87        | 0,48             | 15,99        | 0,48             |
| 5     | 1,21        | 0,44             | 30,91        | 0,44             |

Onde:  $K_s$ : condutividade hidráulica do solo saturado ( $\text{mm h}^{-1}$ );  $\theta_s$ : porosidade total ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $\psi$ : potencial matricial na frente de molhamento (cm);  $\theta_i$ : umidade inicial ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ); 1: Nitossolo Vermelho; 2: Neossolo Litólico; 3: Latossolo Vermelho; 4: Associação Neossolo-Gleissolo e 5: Argissolo Vermelho.

<sup>(1)</sup>: determinado em campo e laboratório

<sup>(2)</sup>: estimado

• Evento 17: 17/10/2016

A Figura 29 apresenta o hietograma, hidrograma calculado e observado (esquerda) e a correlação entre as vazões observadas e calculadas (direita).

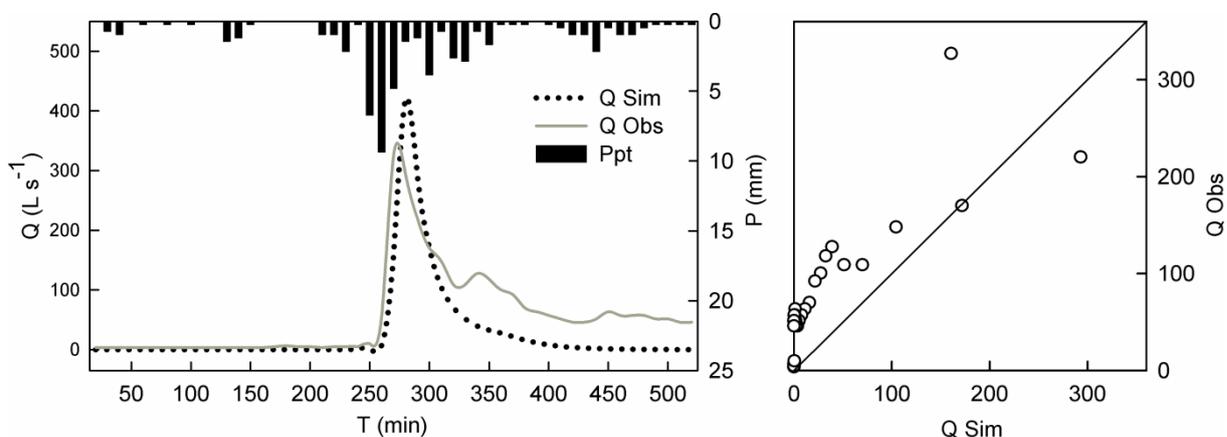


Figura 29: Hietograma, hidrogramas e gráfico 1:1 da vazão observada e simulada do evento 17, bacia hidrográfica sul.

Onde: Q: vazão; Ppt: precipitação; T: tempo; Q Sim: vazão simulada e Q Obs: vazão observada

Observa-se que a forma da ascensão do hidrograma simulado mostrou-se próximo dos resultados observados em campo, ao passo que ao final da recessão, a simulação subestimou os valores da vazão observada. Isso pode estar relacionado com a atenuação da onda de cheia gerada pelo efeito do vertedor no canal do exutório da bacia hidrográfica.

Os testes estatísticos NSE e PBIAS apresentaram valores satisfatórios para a forma do hidrograma, vazão de pico, tempo de pico do hidrograma e escoamento superficial. A Tabela 42 apresenta os valores finais referentes à verificação estatística do evento 17.

No processo de calibração, o hidrograma simulado apresentou tendência de subestimar os valores observados. Para atenuar essa discrepância, os valores da condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_s$ ) foram reduzidos em 60% em relação aos valores de entrada. Adicionalmente, os valores de umidade antecedente do solo ( $\theta_i$ ) também foram reduzidos em 11% em relação à porosidade total, para a primeira e segunda camada de solo (Tabelas 32 e 33). O tempo de pico do hidrograma apresentou o melhor ajuste por meio da diminuição de 75% dos coeficientes  $n$  de Manning da área vertente. As Tabelas 32 e 33 apresentam os parâmetros de saída após a calibração do evento 17.

Tabela 32: Parâmetros de saída calibrados do evento 17/10/16: Uso do solo associados à primeira camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica sul.

| Usos | $K_s^{(1)}$ | $\theta_s^{(1)}$ | $\psi^{(1)}$ | $\theta_i^{(2)}$ | $n^{(3)}$ | $cob^{(2)}$ | $ap^{(2)}$ | $iaf^{(2)}$ | $D_{50}^{(3)}$ | $cs^{(3)}$ | $cr^{(3)}$ | $ag^{(1)}$ | $rr^{(1)}$ | $ped^{(3)}$ |
|------|-------------|------------------|--------------|------------------|-----------|-------------|------------|-------------|----------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| 1    | 4,00        | 0,20             | 4,00         | 0,18             | 0,03      | 0,95        | 0,0        | 0,0         | 0,45           | 0,50       | 0,00       | 50         | 3,15       | 0,03        |
| 2    | 18,49       | 0,45             | 34,33        | 0,40             | 0,08      | 0,95        | 8,0        | 5,0         | 0,45           | 1,60       | 10,00      | 101        | 3,15       | 0,03        |
| 3    | 5,63        | 0,45             | 9,91         | 0,40             | 0,03      | 0,95        | 1,1        | 2,0         | 0,45           | 0,75       | 5,00       | 139        | 3,15       | 0,03        |
| 4    | 6,96        | 0,45             | 10,08        | 0,40             | 0,03      | 0,95        | 1,1        | 3,0         | 0,45           | 0,75       | 4,00       | 200        | 3,15       | 0,03        |
| 5    | 5,63        | 0,45             | 9,91         | 0,40             | 0,03      | 0,95        | 1,1        | 2,0         | 0,45           | 0,30       | 5,00       | 139        | 3,15       | 0,03        |
| 6    | 18,49       | 0,45             | 11,01        | 0,40             | 0,04      | 0,95        | 0,2        | 2,5         | 0,45           | 1,60       | 8,00       | 101        | 3,15       | 0,03        |
| 7    | 21,06       | 0,44             | 10,02        | 0,39             | 0,03      | 0,95        | 0,3        | 2,0         | 0,45           | 0,75       | 6,00       | 123        | 3,15       | 0,03        |

Onde: 1: estrada; 2:mata; 3: milheto; 4: milho; 5: sorgo; 6: tifton; 7: aveia,  $K_s$ : condutividade hidráulica do solo saturado (mm h-1);  $\theta_s$ : porosidade total (cm<sup>3</sup> cm-3);  $\psi$ : potencial matricial na frente de molhamento (cm);  $\theta_i$ : umidade inicial (cm<sup>3</sup> cm-3);  $n$ :  $n$  de Manning;  $cob$ : área coberta por plantas (%);  $ap$ : altura de plantas (m); índice de área foliar (m<sup>2</sup> m<sup>2</sup>);  $D_{50}$ : mediana da granulometria ( $\mu$ m);  $cs$ : coesão do solo (kPa);  $cr$ : coesão das raízes (kPa);  $ag$ : estabilidade de agregados (número de gotas);  $rr$ : coeficiente de rugosidade aleatória e  $ped$ : pedregosidade (%).

(1): determinado em campo e laboratório

(2): estimado

(3): consultado na literatura

Tabela 33: Parâmetros de saída calibrados do evento 17/10/16: Características físico-hídricas dos solos associados à segunda camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica sul.

| Solos | $K_s^{(1)}$ | $\theta_s^{(1)}$ | $\psi^{(1)}$ | $\theta_i^{(2)}$ |
|-------|-------------|------------------|--------------|------------------|
| 1     | 0,51        | 0,44             | 4,82         | 0,40             |
| 2     | 7,47        | 0,45             | 10,46        | 0,41             |
| 3     | 5,07        | 0,50             | 5,34         | 0,45             |
| 4     | 7,47        | 0,48             | 15,99        | 0,43             |
| 5     | 4,84        | 0,44             | 30,91        | 0,39             |

Onde:  $K_s$ : condutividade hidráulica do solo saturado (mm h-1);  $\theta_s$ : porosidade total (cm<sup>3</sup> cm-3);  $\psi$ : potencial matricial na frente de molhamento (cm);  $\theta_i$ : umidade inicial (cm<sup>3</sup> cm-3); 1: Nitossolo Vermelho; 2: Neossolo Litólico; 3: Latossolo Vermelho; 4: Associação Neossolo-Gleissolo e 5: Argissolo Vermelho.

(1): determinado em campo e laboratório

(2): estimado

• Evento 24: 31/12/2016

O evento ocorrido no dia 31/12/16 apresentou um dos maiores acumulados de precipitação e elevada produção de sedimentos do período monitorado. De acordo com Gomes, (2008), eventos de alta intensidade e magnitude favorecem a ocorrência do escoamento superficial direto, resultando em menores dificuldades de calibração e menores erros para as simulações no modelo LISEM, o que pode ser confirmado durante a calibração desse evento (Figura 30).

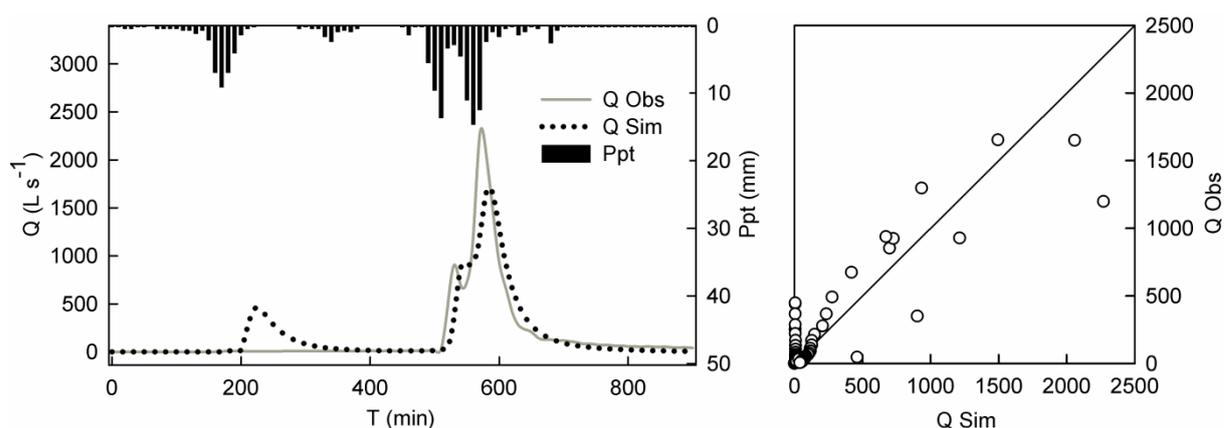


Figura 30: Hietograma, hidrogramas e gráfico 1:1 da vazão observada e simulada do evento 24, bacia hidrográfica sul.

Onde: Q: vazão; Ppt: precipitação; T: tempo; Q Sim: vazão simulada e Q Obs: vazão observada.

O evento apresentou acumulado de precipitação de 140,16 mm em 12 horas de duração, com intensidade máxima de 50,16 mm em uma hora. O teste estatístico NSE apresentou índice de 0,79 para a forma do hidrograma calibrado, considerado bom resultado. O teste PBIAS para o tempo de pico e escoamento superficial mostrou-se satisfatórios, exceto para a vazão de pico, o qual foi subestimado pelo modelo. O coeficiente de determinação para as vazões observadas e calculadas apresentou valor de 0,79. Os resultados finais da calibração do evento 24 estão demonstrados na Tabela 42.

Para a calibração do evento 24 foram necessárias mudanças menores nos parâmetros originais em relação aos demais eventos calibrados. Os parâmetros condutividade hidráulica do solo saturado ( $k_s$ ) e umidade antecedente ao evento ( $\theta_i$ ) foram reduzidos em 75% e 5%, respectivamente, igualmente para as camadas 1 e 2 de infiltração. Essa alteração foi necessária para ajustar a forma do hidrograma calibrado em relação ao observado.

Para ajuste do tempo de pico, o coeficiente  $n$  de Manning foi reduzido em 80% em relação aos valores de entrada. As Tabelas 34 e 35 apresentam os parâmetros de saída calibrados para o evento 24. Barros (2012) determinou diferentes valores de  $k_s$  e  $\theta_i$  para as duas camadas de solo para a calibração dos processos hidrológicos. No presente trabalho, as alterações foram conduzidas de forma uniforme para a camada superficial e subsuperficial do solo.

Tabela 34: Parâmetros de saída calibrados do evento 31/12/16: Uso do solo associados à primeira camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica sul.

| Usos | $K_s^{(1)}$ | $\theta_s^{(1)}$ | $\psi^{(1)}$ | $\theta_i^{(2)}$ | $n^{(3)}$ | cob <sup>(2)</sup> | ap <sup>(2)</sup> | iaf <sup>(2)</sup> | $D_{50}^{(3)}$ | cs <sup>(3)</sup> | cr <sup>(3)</sup> | ag <sup>(1)</sup> | rr <sup>(1)</sup> | ped <sup>(3)</sup> |
|------|-------------|------------------|--------------|------------------|-----------|--------------------|-------------------|--------------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 1    | 2,50        | 0,20             | 4,00         | 0,19             | 0,02      | 0,95               | 0,0               | 0,0                | 0,45           | 0,50              | 0,00              | 50                | 3,15              | 0,03               |
| 2    | 11,56       | 0,45             | 34,33        | 0,42             | 0,06      | 0,95               | 8,0               | 5,0                | 0,45           | 1,60              | 10,00             | 101               | 3,15              | 0,03               |
| 3    | 3,52        | 0,45             | 9,91         | 0,43             | 0,03      | 0,95               | 1,1               | 2,0                | 0,45           | 0,75              | 5,00              | 139               | 3,15              | 0,03               |
| 4    | 4,35        | 0,45             | 10,08        | 0,43             | 0,03      | 0,95               | 1,1               | 3,0                | 0,45           | 0,75              | 4,00              | 200               | 3,15              | 0,03               |
| 5    | 3,52        | 0,45             | 9,91         | 0,43             | 0,03      | 0,95               | 1,1               | 2,0                | 0,45           | 0,30              | 5,00              | 139               | 3,15              | 0,03               |
| 6    | 11,56       | 0,45             | 11,01        | 0,43             | 0,03      | 0,95               | 0,2               | 2,5                | 0,45           | 1,60              | 8,00              | 101               | 3,15              | 0,03               |
| 7    | 13,16       | 0,44             | 10,02        | 0,42             | 0,03      | 0,95               | 0,3               | 2,0                | 0,45           | 0,75              | 6,00              | 123               | 3,15              | 0,03               |

Onde: 1: estrada; 2:mata; 3: milheto; 4: milho; 5: sorgo; 6: tifton; 7: aveia,  $K_s$ : condutividade hidráulica do solo saturado (mm h-1);  $\theta_s$ : porosidade total (cm<sup>3</sup> cm-3);  $\psi$ : potencial matricial na frente de molhamento (cm);  $\theta_i$ : umidade inicial (cm<sup>3</sup> cm-3);  $n$ :  $n$  de Manning; cob: área coberta por plantas (%); ap: altura de plantas (m); índice de área foliar (m<sup>2</sup> m<sup>2</sup>);  $D_{50}$ : mediana da granulometria ( $\mu$ m); cs: coesão do solo (kPa); cr: coesão das raízes (kPa); ag: estabilidade de agregados (número de gotas); rr: coeficiente de rugosidade aleatória e ped: pedregosidade (%).

(1): determinado em campo e laboratório

(2): estimado

(3): consultado na literatura

Tabela 35: Parâmetros de saída calibrados do evento 31/12/16: Características físico-hídricas dos solos associados à segunda camada de infiltração, para o ano agrícola de 2016, na bacia hidrográfica sul.

| Solos | $K_s^{(1)}$ | $\theta_s^{(1)}$ | $\psi^{(1)}$ | $\theta_i^{(2)}$ |
|-------|-------------|------------------|--------------|------------------|
| 1     | 0,19        | 0,44             | 4,8          | 0,42             |
| 2     | 2,80        | 0,45             | 10,5         | 0,43             |
| 3     | 1,90        | 0,50             | 5,3          | 0,48             |
| 4     | 2,80        | 0,48             | 16,0         | 0,46             |
| 5     | 1,82        | 0,44             | 30,9         | 0,42             |

Onde:  $K_s$ : condutividade hidráulica do solo saturado ( $\text{mm h}^{-1}$ );  $\theta_s$ : porosidade total ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ );  $\psi$ : potencial matricial na frente de molhamento (cm);  $\theta_i$ : umidade inicial ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ); 1: Nitossolo Vermelho; 2: Neossolo Litólico; 3: Latossolo Vermelho; 4: Associação Neossolo-Gleissolo e 5: Argissolo Vermelho.

(1): determinado em campo e laboratório

(2): estimado

### 5.3.5 Parâmetros de entrada para ao ano de 2017 – Bacia hidrográfica sul

As Tabelas 36 e 37 demonstram os valores iniciais dos parâmetros de entrada para as simulação hidrológica dos eventos pluviais escolhidos durante o ano de 2017, para a camada superficial e subsuperficial, respectivamente. Salienta-se que os parâmetros de entrada estão divididos entre anos de 2016 e 2017, na bacia hidrográfica sul, em detrimento dos diferentes usos do solo.

Tabela 36: Parâmetros de entrada: Uso do solo associados à primeira camada de infiltração, para o ano agrícola de 2017, na bacia hidrográfica sul.

| Usos | $K_s^{(1)}$ | $\theta_s^{(1)}$ | $\psi^{(1)}$ | $\theta_i^{(2)}$ | $n^{(3)}$ | cob <sup>(2)</sup> | ap <sup>(2)</sup> | iaf <sup>(2)</sup> | $D_{50}^{(3)}$ | cs <sup>(3)</sup> | cr <sup>(3)</sup> | ag <sup>(1)</sup> | rr <sup>(1)</sup> | ped <sup>(3)</sup> |
|------|-------------|------------------|--------------|------------------|-----------|--------------------|-------------------|--------------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 1    | 46,23       | 0,44             | 34,33        | 0,39             | 0,12      | 0,95               | 0,2               | 5,0                | 0,45           | 0,75              | 8,00              | 123               | 3,15              | 0,03               |
| 2    | 7,25        | 0,43             | 9,91         | 0,38             | 0,13      | 0,95               | 1,2               | 4,0                | 0,45           | 0,88              | 5,00              | 121               | 3,15              | 0,03               |
| 3    | 3,76        | 0,41             | 10,08        | 0,37             | 0,13      | 0,95               | 1,3               | 4,0                | 0,45           | 1,00              | 5,00              | 200               | 3,15              | 0,03               |
| 4    | 46,23       | 0,44             | 34,33        | 0,39             | 0,13      | 0,95               | 7,0               | 5,0                | 0,45           | 0,75              | 10,00             | 123               | 3,15              | 0,03               |
| 5    | 3,80        | 0,20             | 2,00         | 0,18             | 0,13      | 0,95               | 0,0               | 0,0                | 0,45           | 1,00              | 0,00              | 100               | 3,15              | 0,03               |
| 6    | 3,76        | 0,41             | 9,91         | 0,37             | 0,15      | 0,95               | 0,2               | 2,5                | 0,45           | 1,00              | 7,00              | 139               | 3,15              | 0,03               |
| 7    | 46,23       | 0,44             | 34,33        | 0,39             | 0,13      | 0,95               | 0,3               | 1,2                | 0,45           | 0,75              | 6,00              | 123               | 3,15              | 0,03               |

Onde: 1: tifton; 2:sorgo; 3: milho; 4: mata; 5: estrada; 6: azevém; 7: aveia;  $K_s$ : condutividade hidráulica do solo saturado ( $\text{mm h}^{-1}$ );  $\theta_s$ : porosidade total ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ );  $\psi$ : potencial matricial na frente de molhamento (cm);  $\theta_i$ : umidade inicial ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ );  $n$ :  $n$  de Manning; cob: área coberta por plantas (%); ap: altura de plantas (m); índice de área foliar ( $\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$ );  $D_{50}$ : mediana da granulometria ( $\mu\text{m}$ ); cs: coesão do solo (kPa); cr: coesão das raízes (kPa); ag: estabilidade de agregados (número de gotas); rr: coeficiente de rugosidade aleatória e ped: pedregosidade (%).

(1): determinado a campo e laboratório

(2): estimado

(3): consultado na literatura

Tabela 37: Parâmetros de entrada: Características físico-hídricas dos solos associados à segunda camada de infiltração, para o ano agrícola de 2017, na bacia hidrográfica sul.

| Solos | $K_s^{(1)}$ | $\theta_s^{(1)}$ | $\psi^{(1)}$ | $\theta_i^{(2)}$ |
|-------|-------------|------------------|--------------|------------------|
| 1     | 1,3         | 0,44             | 4,8          | 0,40             |
| 2     | 18,7        | 0,45             | 10,5         | 0,41             |
| 3     | 12,7        | 0,50             | 5,3          | 0,45             |
| 4     | 18,7        | 0,48             | 16,0         | 0,43             |
| 5     | 12,1        | 0,44             | 30,9         | 0,39             |

Onde:  $K_s$ : condutividade hidráulica do solo saturado ( $\text{mm h}^{-1}$ );  $\theta_s$ : porosidade total ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );  $\psi$ : potencial matricial na frente de molhamento (cm);  $\theta_i$ : umidade inicial ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ); 1: Nitossolo Vermelho; 2: Neossolo Litólico; 3: Latossolo Vermelho; 4: Associação Neossolo-Gleissolo e 5: Argissolo Vermelho.

<sup>(1)</sup>: determinado a campo e laboratório

<sup>(2)</sup>: estimado

### 5.3.5.1 Eventos calibrados para o ano de 2017 - bacia hidrográfica sul

- Evento 32: 14/02/2017

O evento ocorrido em 14/02/17 apresentou acumulado de precipitação de 46,80 mm, com intensidade máxima em uma hora de 24,00 mm. A modelagem hidrológica desse evento apresentou o menor desempenho de todos os eventos calibrados referentes à bacia hidrográfica sul. O teste estatístico NSE para a forma do hidrograma simulado resultou em 0,51, ainda considerado aceitável.

A comparação entre a vazão observada e simulada apresentou coeficiente de determinação de 0,69. O Teste estatístico PBIAS apresentou resultado satisfatório para o tempo de pico. No entanto, o escoamento superficial simulado apresentou superestimativa em relação ao volume de escoamento observado. A Tabela 42 demonstra os valores finais após a calibração do evento. A Figura 31 apresenta o hietograma, hidrograma observado e calculado e a correlação das vazões para o evento 32.

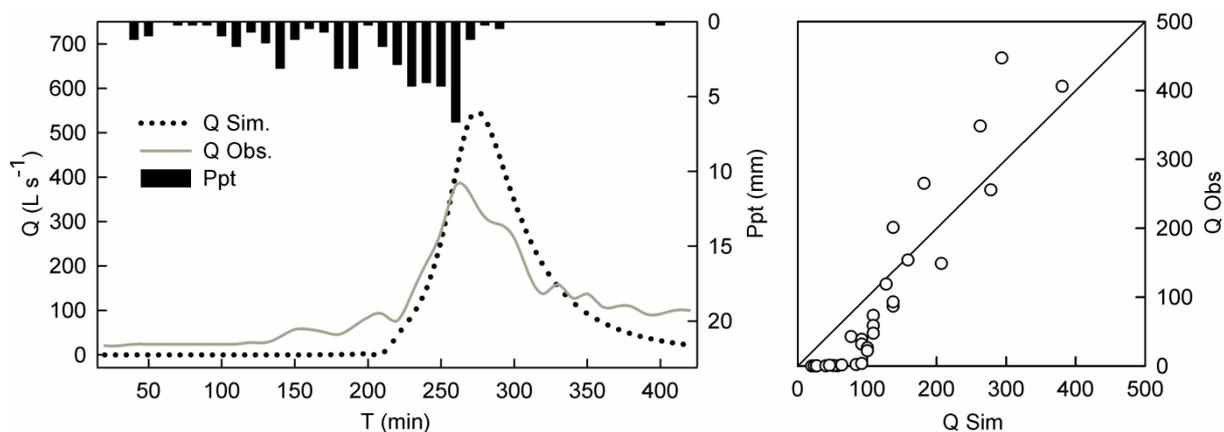


Figura 31: Hietograma, hidrogramas e gráfico 1:1 da vazão observada e simulada do evento 32, bacia hidrográfica sul.

Onde: Q: vazão; Ppt: precipitação; T: tempo; Q Sim: vazão simulada e Q Obs: vazão observada.

O processo de calibração desse evento apresentou algumas particularidades em relação aos demais eventos calibrados. O coeficiente  $n$  de Manning não necessitou de alteração em relação aos valores iniciais, uma vez que o tempo de pico do hidrograma simulado apresentou-se próximo do tempo e pico do hidrograma observado em campo.

A condutividade hidráulica do solo saturado ( $k_s$ ) sofreu diminuição de 90% em relação aos valores iniciais. O conteúdo inicial de água no solo antecedente ao evento ( $\theta_i$ ) foi reduzido em 80% do valor da umidade inicial do solo, pois o evento anterior ocorreu num intervalo de cinco dias, assumindo-se a estimativa do  $\theta_i$  do solo em 80%. Os parâmetros  $k_s$  e  $\theta_i$  mostraram-se muito sensíveis durante a calibração do Evento 32, pois a alteração de apenas 1% de algum desses parâmetros, para mais ou para menos, proporcionava respostas na forma do hidrograma simulado. As Tabelas 38 e 39 apresentam os valores de saída após a calibração do Evento 32.

Tabela 38: Parâmetros de saída calibrados do evento 14/02/17: Uso do solo associados à primeira camada de infiltração, para o ano agrícola de 2017, na bacia hidrográfica sul.

| Usos | $K_s^{(1)}$ | $\theta_s^{(1)}$ | $\psi^{(1)}$ | $\theta_i^{(2)}$ | $n^{(3)}$ | $cob^{(2)}$ | $ap^{(2)}$ | $iaf^{(2)}$ | $D_{50}^{(3)}$ | $cs^{(3)}$ | $cr^{(3)}$ | $ag^{(1)}$ | $rr^{(1)}$ | $ped^{(3)}$ |
|------|-------------|------------------|--------------|------------------|-----------|-------------|------------|-------------|----------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| 1    | 4,62        | 0,44             | 34,33        | 0,08             | 0,12      | 0,95        | 0,2        | 5,0         | 0,5            | 0,75       | 8,00       | 123        | 3,15       | 0,03        |
| 2    | 0,73        | 0,43             | 9,91         | 0,08             | 0,13      | 0,95        | 1,2        | 4,0         | 0,5            | 0,88       | 5,00       | 121        | 3,15       | 0,03        |
| 3    | 0,38        | 0,41             | 10,08        | 0,07             | 0,13      | 0,95        | 1,3        | 4,0         | 0,5            | 1,00       | 5,00       | 200        | 3,15       | 0,03        |
| 4    | 4,62        | 0,44             | 34,33        | 0,08             | 0,13      | 0,95        | 7,0        | 5,0         | 0,5            | 0,75       | 10,00      | 123        | 3,15       | 0,03        |
| 5    | 0,38        | 0,20             | 2,00         | 0,04             | 0,13      | 0,95        | 0,0        | 0,0         | 0,5            | 1,00       | 0,00       | 100        | 3,15       | 0,03        |
| 6    | 0,38        | 0,41             | 9,91         | 0,07             | 0,15      | 0,95        | 0,2        | 2,5         | 0,5            | 1,00       | 7,00       | 139        | 3,15       | 0,03        |
| 7    | 4,62        | 0,44             | 34,33        | 0,08             | 0,13      | 0,95        | 0,3        | 1,2         | 0,5            | 0,75       | 6,00       | 123        | 3,15       | 0,03        |

Onde: 1: tifton; 2:sorgo; 3: milho; 4: mata; 5: estrada; 6: azevém; 7: aveia;  $K_s$ : condutividade hidráulica do solo saturado ( $mm\ h^{-1}$ );  $\theta_s$ : porosidade total ( $cm^3\ cm^{-3}$ );  $\psi$ : potencial matricial na frente de molhamento (cm);  $\theta_i$ : umidade inicial ( $cm^3\ cm^{-3}$ );  $n$ : n de Manning;  $cob$ : área coberta por plantas (%);  $ap$ : altura de plantas (m); índice de área foliar ( $m^2\ m^2$ );  $D_{50}$ : mediana da granulometria ( $\mu m$ );  $cs$ : coesão do solo (kPa);  $cr$ : coesão das raízes (kPa);  $ag$ : estabilidade de agregados (núm. de gotas);  $rr$ : coeficiente de rugosidade aleatória e  $ped$ : pedregosidade (%).

(1): determinado em campo e laboratório

(2): estimado

(3): consultado na literatura

Tabela 39: Parâmetros de saída calibrados do evento 14/02/17: Características físico-hídricas dos solos associados à segunda camada de infiltração, para o ano agrícola de 2017, na bacia hidrográfica sul.

| Solos | $K_s^{(1)}$ | $\theta_s^{(1)}$ | $\psi^{(1)}$ | $\theta_i^{(2)}$ |
|-------|-------------|------------------|--------------|------------------|
| 1     | 0,13        | 0,44             | 4,8          | 0,08             |
| 2     | 1,87        | 0,45             | 10,5         | 0,08             |
| 3     | 1,27        | 0,50             | 5,3          | 0,09             |
| 4     | 1,87        | 0,48             | 16,0         | 0,09             |
| 5     | 1,21        | 0,44             | 30,9         | 0,08             |

Onde:  $K_s$ : condutividade hidráulica do solo saturado ( $mm\ h^{-1}$ );  $\theta_s$ : porosidade total ( $cm^3\ cm^{-3}$ );  $\psi$ : potencial matricial na frente de molhamento (cm);  $\theta_i$ : umidade inicial ( $cm^3\ cm^{-3}$ ); 1: Nitossolo Vermelho; 2: Neossolo Litólico; 3: Latossolo Vermelho; 4: Associação Neossolo-Gleissolo e 5: Argissolo Vermelho.

(1): determinado em campo e laboratório

(2): estimado

#### • Evento 38: 12/05/2017

A calibração do evento ocorrido em 12/05/17 apresentou superestimativa no comportamento do hidrograma simulado. Para ajustar essa discrepância foi necessário aumentar os valores de condutividade hidráulica do solo saturado ( $ks$ ) em 230% e diminuir os valores de umidade antecedente do solo em 78%, para as duas camadas de infiltração do solo (Tabelas 40 e 41). Finalmente, para ajuste de pico do hidrograma, o n de Manning teve os

valores de saída ampliados em 400%. Dessa forma, o evento 38 apresentou a maior amplitude de alterações dos parâmetros sensíveis para a conclusão da calibração. As Tabelas 40 e 41 apresentam os valores finais calibrados.

O teste estatístico NSE para a comparação das formas do hidrograma apresentou resultado de 0,80, considerado bom. O teste PBIAS para a vazão de pico, tempo de pico e escoamento mostraram-se satisfatórios. A correlação entre a vazão calculada e simulada apresentou coeficiente de determinação de 0,80%. Os resultados finais da calibração do evento 38 estão discretizadas na Tabela 42. A Figura 32 apresenta o comportamento gráfico da precipitação, hidrogramas calculados e observados (esquerda) e a correlação das vazões calculadas e observadas (direita).

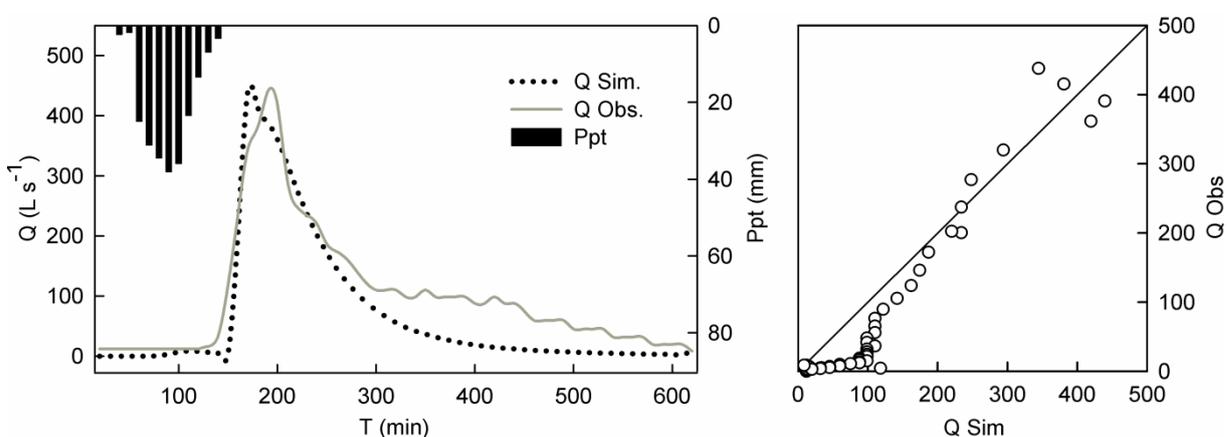


Figura 32: Hietograma, hidrogramas e gráfico 1:1 da vazão observada e simulada do evento 38, bacia hidrográfica sul.

Onde: Q: vazão; Ppt: precipitação; T: tempo; Q Sim: vazão simulada e Q Obs: vazão observada.

Tabela 40: Parâmetros de saída calibrados do evento 12/05/17: Uso do solo associados à primeira camada de infiltração, para o ano agrícola de 2017, na bacia hidrográfica sul.

| Usos | $K_s^{(1)}$ | $\theta_s^{(1)}$ | $\psi^{(1)}$ | $\theta_i^{(2)}$ | $n^{(3)}$ | cob <sup>(2)</sup> | ap <sup>(2)</sup> | iaf <sup>(2)</sup> | $D_{50}^{(3)}$ | cs <sup>(3)</sup> | cr <sup>(3)</sup> | ag <sup>(1)</sup> | rr <sup>(1)</sup> | ped <sup>(3)</sup> |
|------|-------------|------------------|--------------|------------------|-----------|--------------------|-------------------|--------------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 1    | 147,9       | 0,44             | 34,3         | 0,10             | 0,60      | 0,95               | 0,2               | 5,0                | 0,5            | 0,8               | 8,0               | 123               | 0,2               | 0,03               |
| 2    | 23,2        | 0,43             | 9,9          | 0,10             | 0,65      | 0,95               | 1,2               | 4,0                | 0,5            | 0,9               | 5,0               | 121               | 0,2               | 0,03               |
| 3    | 12,0        | 0,41             | 10,1         | 0,09             | 0,65      | 0,95               | 1,3               | 4,0                | 0,5            | 1,0               | 5,0               | 200               | 0,2               | 0,03               |
| 4    | 147,9       | 0,44             | 34,3         | 0,10             | 0,65      | 0,95               | 7,0               | 5,0                | 0,5            | 0,8               | 10,0              | 123               | 0,2               | 0,03               |
| 5    | 12,2        | 0,20             | 2,0          | 0,05             | 0,65      | 0,95               | 0,0               | 0,0                | 0,5            | 1,0               | 0,0               | 100               | 0,2               | 0,03               |
| 6    | 12,0        | 0,41             | 9,9          | 0,09             | 0,75      | 0,95               | 0,2               | 2,5                | 0,5            | 1,0               | 7,0               | 139               | 0,2               | 0,03               |
| 7    | 147,9       | 0,44             | 34,3         | 0,10             | 0,65      | 0,95               | 0,3               | 1,2                | 0,5            | 0,8               | 6,0               | 123               | 0,2               | 0,03               |

Onde: 1: tifton; 2:sorgo; 3: milho; 4: mata; 5: estrada; 6: azevém; 7: aveia;  $K_s$ : condutividade hidráulica do solo saturado ( $\text{mm h}^{-1}$ );  $\theta_s$ : porosidade total ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ );  $\psi$ : potencial matricial na frente de molhamento (cm);  $\theta_i$ : umidade inicial ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ );  $n$ :  $n$  de Manning; cob: área coberta por plantas (%); ap: altura de plantas (m); índice de área foliar ( $\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$ );  $D_{50}$ : mediana da granulometria ( $\mu\text{m}$ ); cs: coesão do solo (kPa); cr: coesão das raízes (kPa); ag: estabilidade de agregados (núm. de gotas); rr: coeficiente de rugosidade aleatória e ped: pedregosidade (%).

(1): determinado a campo e laboratório

(2): estimado

(3): consultado na literatura

Tabela 41: Parâmetros de saída calibrados do evento 12/05/17: Características físico-hídricas dos solos associados à segunda camada de infiltração, para o ano agrícola de 2017, na bacia hidrográfica sul.

| Solos | $K_s^{(1)}$ | $\theta_s^{(1)}$ | $\psi^{(1)}$ | $\theta_i^{(2)}$ |
|-------|-------------|------------------|--------------|------------------|
| 1     | 4,06        | 0,44             | 4,8          | 0,11             |
| 2     | 59,74       | 0,45             | 10,5         | 0,11             |
| 3     | 40,54       | 0,50             | 5,3          | 0,11             |
| 4     | 59,74       | 0,48             | 16,0         | 0,11             |
| 5     | 38,72       | 0,44             | 30,9         | 0,10             |

Onde:  $K_s$ : condutividade hidráulica do solo saturado ( $\text{mm h}^{-1}$ );  $\theta_s$ : porosidade total ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ );  $\psi$ : potencial matricial na frente de molhamento (cm);  $\theta_i$ : umidade inicial ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ); 1: Nitossolo Vermelho; 2: Neossolo Litólico; 3: Latossolo Vermelho; 4: Associação Neossolo-Gleissolo e 5: Argissolo Vermelho.

(1): determinado a campo e laboratório

(2): estimado

### 5.3.6 Integração dos resultados da modelagem hidrológica para as duas bacias

O modelo LISEM superestimou o escoamento superficial em quatro dos eventos calibrados de menor intensidade de precipitação. Os eventos pluviais com maior intensidade e magnitude apresentaram subestimativa no volume de escoamento superficial. Esses resultados corroboram com estudos conduzidos por Hessel et al. (2003), em uma bacia hidrográfica na China, onde observaram subestimativas e superestimativas de volumes de escoamento

superficial para alguns eventos utilizados na calibração. O modelo LISEM também foi empregado para a predição dos processos hidrológicos em uma bacia hidrográfica rural no município de Eldorado do Sul, no estado do Rio Grande do Sul, onde os resultados apresentaram superestimativas e subestimativas de volumes de escoamento superficial para eventos com diferentes magnitudes (Rodrigues et al., 2014).

Para a bacia hidrográfica norte foram escolhidos e calibrados eventos pluviais de menores intensidades e os resultados mostraram-se melhores se comparados aos eventos calibrados na bacia sul, de maiores intensidades e magnitudes. Esse comportamento sugere que o LISEN pode ser empregado na representação da formação do escoamento superficial de eventos pluviais de diferentes magnitudes, desde que os parâmetros físicos do solo e os dados de entrada provenientes do monitoramento automáticos sejam representativos do comportamento da bacia hidrográfica.

A Tabela 42 apresenta os resultados finais dos parâmetros hidrológicos e dos testes estatísticos aplicados aos eventos calibrados nas duas bacias hidrográficas, para os períodos de 2016 e 2017.

Tabela 42: Resultados finais dos parâmetros hidrológicos dos eventos calibrados para as bacias hidrográficas norte e sul.

| Data     | B | P<br>(mm) | I <sub>máx 1h</sub><br>(mm) | Q <sub>pico</sub> (L s <sup>-1</sup> ) |        | T <sub>pico</sub> (min) |     | E <sub>Sup</sub> (L) |             | PBIAS                |                      |                     | NSE<br>(Hid) | r <sup>2</sup><br>(Q <sub>sim/obs</sub> ) |
|----------|---|-----------|-----------------------------|--|--------|-------------------------|-----|----------------------|-------------|----------------------|----------------------|---------------------|--------------|---|
|          |   |           |                             | Med                                    | Sim    | Med                     | Sim | Med                  | Sim         | (Q <sub>pico</sub> ) | (T <sub>pico</sub> ) | (E <sub>Sup</sub> ) |              |   |
| 05/07/16 | N | 28,4      | 11,7                        | 25,9                                   | 20,5   | 190                     | 210 | 77.948,4             | 105.259,5   | -20,9                | 10,53                | 35,04               | 0,78         | 0,77                                      |
| 09/07/16 | N | 22,0      | 5,7                         | 39,9                                   | 41,1   | 510                     | 510 | 171.374,8            | 195.414,9   | 3,03                 | 0,00                 | 14,03               | 0,70         | 0,72                                      |
| 05/09/16 | N | 28,4      | 5,9                         | 159,3                                  | 159,3  | 430                     | 440 | 865.789,0            | 1.316.361,6 | 4,57                 | 2,33                 | 52,04               | 0,74         | 0,89                                      |
| 19/10/16 | N | 32,1      | 10,8                        | 455,9                                  | 423,3  | 170                     | 220 | 1.729.616,8          | 1.396.937,1 | -7,15                | 29,41                | -19,23              | 0,86         | 0,89                                      |
| 15/09/17 | N | 55,4      | 10,6                        | 97,8                                   | 99,3   | 300                     | 330 | 540.093,2            | 557.396,4   | 1,56                 | 10,00                | 3,20                | 0,59         | 0,68                                      |
| 14/07/16 | S | 77,3      | 23,8                        | 572,2                                  | 279,6  | 510                     | 520 | 4.124.238,2          | 4.903.869,3 | -51,13               | 1,96                 | 18,90               | 0,62         | 0,62                                      |
| 17/10/16 | S | 54,2      | 27,4                        | 326,9                                  | 419,5  | 250                     | 260 | 980.019,8            | 661.097,1   | 28,35                | 4,00                 | -32,54              | 0,68         | 0,50                                      |
| 31/12/16 | S | 140,2     | 50,2                        | 2271,4                                 | 1653,4 | 570                     | 590 | 6.343.984,1          | 5.583.996,0 | -27,21               | 3,51                 | -11,98              | 0,79         | 0,79                                      |
| 14/02/17 | S | 46,8      | 24,0                        | 380,5                                  | 532,4  | 240                     | 250 | 995.357,2            | 1.305.980,4 | 39,92                | 4,17                 | 31,21               | 0,51         | 0,69                                      |
| 12/05/17 | S | 38,4      | 38,2                        | 439,5                                  | 438,0  | 180                     | 160 | 1.586.263,9          | 1.822.884,3 | -0,34                | -11,11               | 14,92               | 0,80         | 0,80                                      |

Onde: Ev: evento; B: bacia; N: norte; S: sul; P: precipitação; mm: milímetros; I<sub>máx 1h</sub>: intensidade máxima em uma hora; Q<sub>pico</sub>: vazão de pico; Med: medido; Sim: simulado; T<sub>pico</sub>: tempo de pico; E<sub>sup</sub>: escoamento superficial; PBIAS: porcentagem BIAS; NSE: Coeficiente de Nash e Sutcliffe, Q<sub>sim/obs</sub>: correlação entre vazão simulada e observada; Hid: forma do hidrograma simulado.

## 6 CONCLUSÕES

O monitoramento hidrossedimentológico realizado durante o período de junho do ano de 2016 a outubro do ano de 2017, em duas pequenas bacias hidrográficas rurais pareadas, possibilitou a geração de um amplo banco de dados, os quais compõem um conjunto de aproximadamente 50 eventos pluviais de diferentes intensidades. A análise dessas informações observadas possibilitou o início do entendimento de alguns processos ocorrentes nas duas bacias hidrográficas estudadas, tais como:

1. A descrição e análise dos processos hidrológicos e sedimentológicos demonstrou comportamentos íngremes de ascensão e recessão dos hidrogramas e sedimentogramas, permitindo inferir que as duas bacias hidrográficas apresentam rápida respostas a eventos pluviais, possivelmente relacionados às suas características geomorfológicas. Eventos de maior magnitude, acima de 50 mm, foram responsáveis pelo maior volume de vazão e concentração de sedimentos, sugerindo que possam ser utilizados como ferramentas promissoras para estudos futuros, uma vez que representam melhor a dinâmica dos processos hidrológicos e sedimentológicos que ocorrem nas duas bacias pareadas. Adicionalmente, a análise em escala de eventos pluviais mostrou-se mais adequada por oferecer maior discretização dos dados, que parecem ser amortizados se analisados apenas em escala diária, quinzenal e mensal.

2. A análise do movimento de água e sedimentos por meio do efeito histerese indicou a predominância de laços de histereses em sentido horário, representado pela chegada dos picos de sedimentos antecipadas em relação aos picos dos hidrogramas. Esse cenário sugere que as fontes de produção e mobilização de sedimentos ocorrem predominantemente nos canais das redes de drenagens, sulcos próximos aos canais principais ou convergência de estradas, e não das áreas mais distantes das áreas vertentes.

3. Durante sete meses o monitoramento não apresentou inconsistências, permitindo inferir que a bacia hidrográfica norte apresentou maior produção de sedimentos. Isso pode estar relacionado à conformação das redes de drenagens e ao tamanho da área vertente, sendo 62% maior em relação à bacia hidrográfica sul.

4. O modelo LISEM foi capaz de prever satisfatoriamente o escoamento superficial em eventos pluviais de diferentes intensidades nas duas bacias hidrográficas, admitidos pelo Coeficiente Nash e Sutcliffe (NSE) e percentagem de Bias (PBIAS). Após as calibrações, contudo, alguns parâmetros apresentaram valores distantes dos medidos em laboratório.

5. O estudo está em fase inicial e pode ser considerado como primeiro passo para estudos mais abrangentes no âmbito dos processos hidrossedimentológicos nas duas bacias hidrográficas. Para aplicações eficientes de ferramentas de modelagem, é de suma importância o entendimento dos processos ocorrentes nas bacias e tal entendimento somente é possível com a disponibilidade de séries históricas longas.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AICH, V. et al. **Comparing impacts of climate change on streamflow in four large African river basins**. Hydrology and Earth System Sciences, v. 18, n. 4, p. 1305-1321, Potsdam, 2014.
- ALEWELL, C.; EGLI, M.; MEUSBURGER, K. **An attempt to estimate tolerable soil erosion rates by matching soil formation with denudation in Alpine grasslands**. Journal of Soils and Sediments, v. 15, p. 1383-1399, Zürich, 2015.
- ALMEIDA, K. S. S. A. et al. **Variabilidade espacial da condutividade hidráulica do solo saturado em latossolo amarelo distrocoeso, no município de Cruz das Almas**. Irriga, v. 22, n. 2, p. 259-274, Cruz das Almas, 2017.
- ALVARES, C. A. et al. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, p. 11-728, Pirecicaba, dez. 2013.
- ARES, M. G. et al. **Water erosion and connectivity analysis during a year with high precipitations in a watershed of Argentina**. Hydrology Research, n. 47.6, p. 1234-1252, Buenos Aires, fev. 2016.
- BAGGIO, C. et al. **Padrões de deslocamento e captura de forragem por novilhos em pastagem de azevém-anual e aveia-preta manejada sob diferentes alturas em sistema de integração lavoura-pecuária**. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 38, n. 2, p. 215-222, Viçosa, 2009.
- BARROS, C. A. P. de. **Comportamento hidrossedimentológico de uma bacia hidrográfica rural utilizando técnicas de monitoramento e modelagem**. 2012. 180 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2012.
- BARTELS, G. K. **Monitoramento hidrossedimentológico numa bacia hidrográfica do Escudo Sul-Rio-Grandense**. 2015. 88 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, RS, 2015.
- BENJAMIN, A. S. **Production of road born sediment of an agricultural road network in southeast**. Dissertação 87 p. 2015. (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Naturais). Escola de graduação da Ohio State University, Ohio, 2015.
- BERHANE GRUMA, B. et al. **Assessing the effect of water harvesting techniques on event-based hydrological responses and sediment yield at a catchment scale in northern Ethiopia using the Limburg Soil Erosion Model (LISEM)**. Catena, v. 159, p. 20-34, Etiópia, 2017.
- BISPO, D. F. A. et al. **Perdas de solo, água, nutrientes e matéria orgânica do solo por erosão hídrica em função do manejo na sub-bacia das Posses, Extrema, MG**. Ciências Agrárias, v. 38, n. 4, p. 1813-1824, jul. ago. Jaboticabal, 2017.
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. In: Klute, A. **Methods of soil analysis. I. Physical and Mineralogical Methods**. 2nd edition. American Society of Agronomy, Madison, [s.n.], 1986.

BOARDMAN, J.; POESEN, J. **Soil Erosion in Europe**. John Wiley & Sons Ltd, ISBN: 978 0-470-85910-0, 878 p., 2006.

BRYAN, R. B. **Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope**. *Geomorphology*. v. 32, p. 385-415, Toronto, 2000.

CARVALHO, N.O. **Hidrossedimentologia Prática**. Interciência, ISBN: 9788571931817, v. 2, ed. 600 p., São Paulo: Interciência, 2008.

COLAZO, J. C.; BUSCHIAZZO, D. **The impact of agriculture on soil texture due to wind erosion**. *Land Degradation e Development*, n. 26, p. 62–70, San Luis, 2015.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. Diretoria de Geologia e Recursos Naturais – DGM. Projeto Mapas estaduais – PME: **Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Superintendência Regional de Porto Alegre. 2005. Escala: 1:750.000.

DALBIANCO, L. **Simulação hidrossedimentológica com o modelo litem em uma pequena bacia hidrográfica rural**. 2013, 92 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2013

DE ROO, A. P. J. et al. **LISEM: A physically-based hydrological and soil erosion model incorporated in a GIS**. *Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management*, n. 235, p. 395-403, Viena, 1996

DE ROO, A. P. J.; JETTEN, V. G. **Calibrating and validating the LISEM model for two data sets from the Netherlands and South Africa**. *Catena*, v. 37, p. 477-493, Laon, 1999.

DOUROJEANNI, A. **Management procedures for sustainable development**. Serie Medio Ambiente y Desarrollo. Economic Commission for Latin America and the Caribbean, United Nations, n. 3, Santiago, [s.n.], 1997.

SMITH, H., DRAGOVICH, D. **Interpreting sediment delivery processes using suspended sediment-discharge hysteresis patterns from nested upland catchments, southeastern Australia**. *Hydrol. Processes*. v. 23, p. 2415-2426, Sidney, 2009.

ECK, C. M. V. et al. **Physically-based modelling of the post-fire runoff response of a forest catchment in central Portugal: Using Field Versus Remote Sensing Based Estimates of Vegetation Recovery**. *Land Degradation e Development*, v. 27, n. 5, p. 1535-1544, Aveiro, 2016.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2 ed. p. 212. Rio de Janeiro, 1997.

FIGUEIREDO, S. R. et al. **Uso de regressões logísticas múltiplas para mapeamento digital de solos no planalto médio do RS**. Seção v - Gênese, morfologia e classificação do solo. n. 2, p. 103–115, 2000.

FILHO, J. C. R. et al. **Rainfall Characterization and sedimentological sesponses of watersheds with different land uses to precipitation in the semiarid region of brazil**.

Revista Caatinga, v. 30, n. 2, p. 468-478, Mossoró, 2017.

GIRARDI, R. V. et al. **Avaliação do Efeito de Escala em Características de Chuva e Vazão em Sub-Bacias Embutidas da Bacia do Potiribu – RS.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.16, n. 2, p. 49-64, abri. jun. 2011.

GOMES, N. M. **Aplicação do LISEM (Limburg Soil Erosion Model) para simulação hidrológica em bacia hidrográfica tropical.** 2008. 191 p. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

GUBIANI, P. I. et al. **Permeâmetro de carga decrescente associado a programa computacional para a determinação da condutividade hidráulica do solo saturado.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2010.

HAAN, C. T.; BARFIELD, B. J.; HAYES, J. C. **Design hydrology and sedimentology for small catchments.** Academic Press. 588p. 1993.

HESSESL, R. et al. **Soil erosion simulations of land use scenarios for a small Loess Plateau catchment.** NATENA. v. 54, p. 289-302, Uppsala, 2003a.

HIGGINS A. et al. **Suspended sediment transport in the Magdalena River (Colombia, South America): Hydrologic regime, rating parameters and effective discharge variability.** International Journal of Sediment Research. v. 31, n. 1, p. 25–35, 2016.

HOLLANDA, M. P. et al. **Avaliação do TOPMODEL na estimativa do escoamento superficial em microbacia hidrográfica em diferentes usos.** Agriambi, v.19, n. 5, p. 489–496, Campina Grande , 2015.

HORTON, R. E. **The role of infiltration in the hydrologic cycle.** American Geophysical Union – Journal Seek. v. 14, p.446-460, 1933.

HUDSON, P. F. **Event sequence and sediment exhaustion in the lower Panuco Basin.** Catena, v. 52, 57-76, 2003

JETTEN, V. LISEM: Limburg Soil Erosion Model. Utrecht University: Utrecht, the Netherlands, 2002.

KARLA, M.; ROSA, R. **Metodologia para simulação de vazão em bacias hidrográficas : o caso da sub- bacia hidrográfica Fazenda Letreiro.** Caderno de Geografia, v. 27, n.48, p. 44-72, Uberlândia, MG, 2017.

KLEIN, V. A. et al. **Metodologias de controle de qualidade de análises granulométricas do solo.** Ciência Rural, v. 43, n. 5, Santa Maria, RS, mai. 2013.

KLIPPEL, A. H. **Uso da terra e balanço de água em unidades hidrológicas edafoclimáticas distintas no rio grande do sul.** 51 p. 2016. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2016.

KOCHEM, M. L. **Características granulométricas, carbono, nitrogênio e frações de fósforo em sedimentos durante eventos chuva-vazão em bacias hidrográficas no rio**

**grande do sul, Brasil.** 120 p. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo) Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2014.

KROLOW, I. R. C. et al. **Fenômenos El Niño e La Niña em duas bacias hidrográficas na Mesorregião Centro Ocidental Rio-grandense:** Assentamento Alvorada. Revista Nera, ano 20, n. 37, p. 294-316, Santa Maria, RS, mai. ago, 2017.

LAWLER, D. M. et al. **Turbidity dynamics and hysteresis patterns during spring storm events in an urban headwater system:** The Upper Tame, West Midlands, UK. Science of the Total Environment, v. 360, p.109-126, Birmingham, 2006.

LEFRANCQ, M. et al. **Improving runoff prediction using agronomical information in a cropped, loess covered catchment.** Hydrological Processes. v. 31, n. 6, p. 1408–1423, 2017.

LENZI, M. A.; LORENZO, M. **Suspended sediment load during floods in a small stream of the Dolomites (Northeastern Italy).** Catena. v.39, p.267-282, Legnaro, 2000.

LONDERO, A. L. **Perdas de água e sedimento de bacias pareadas de ordem zero sob plantio direto com e sem terraço.** 156 p. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo). Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2015.

MEGNOUNIF, A.; GHENIM, A. N. **Rainfall irregularity and its impact on the sediment yield in Wadi Sebdou watershed, Algeria.** Arabian Journal of Geosciences. v. 9, n. 4, Tlemcen, 2016.

MELLO, C. R.; BESKOW, S. **Aplicabilidade do LISEM (Limburg Soil Erosion) para simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica tropical.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, n. 6, p. 2483–2492, Lavras, 2009.

MERRITT, W. S.; LETCHER, R. A.; JAKEMAN, A. J. **A review of erosion and sediment transport models.** Environmental Modelling and Software. v. 18, n. 8–9, p. 761–799, 2003.

MINELLA, J. P. G. **Utilização de técnicas hidrossedimentométricas combinadas com a identificação de fontes de sedimentos para avaliar o efeito do uso e do manejo do solo nos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica rural no Rio Grande do Sul.** 172 p. 2007. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2007.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H. **Monitoramento de bacias hidrográficas para identificar fontes de sedimentos em suspensão.** Ciência Rural. v. 41, n. 3, Santa Maria, RS, mar. 2011.

MINELLA, J. P. G. et al. **Efeito histerese entre vazão e concentração de sedimentos em Bacia Rural.** In: IX Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos. Brasília - DF. 2010a.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; MAGNAGO, P. F. **Análise qualitativa e quantitativa da histerese entre vazão e concentração de sedimentos durante eventos hidrológicos.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 15, n. 12, p. 1306-1313, Campina Grande, PB, set. 2011.

- MINELLA, J. P. G. et al. **Changing sediment yield as an indicator of improved soil management practices in southern Brazil**. *Catena*. v. 79, p. 228-236, Santa Maria, RS, 2009.
- MOORE, I. D.; LARSON, C. L. **Estimating micro-relief surface storage from point data**. *Transactions of the ASAE*, v. 20, n. 5, p. 1073-1077, 1979.
- MORERA, S. B. et al. **The impact of extreme El Niño events on modern sediment transport along the western Peruvian Andes (1968–2012)**. *Scientific Reports*. n. 11947, p. 1-14, Lima, set. 2017.
- MORGAN, R. P. C. **Soil erosion e conservation**. 3. Ed. ISBN 1-4051-1781-8, Longman: Blackwell, 2005.
- MORGAN, R. P. C. et al. **The European Soil Erosion Model (EUROSEM): Documentation and user guide** July. Silsoe College, Cranfield University, Silsoe, Bedford MK45 4DT, United Kingdom. jun. 1998.
- MORIASI, D. N. et al. **Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations**. *Transactions of the ASABE*. v. 50, n. 3, p. 885-900, Michigan, mar. 2007.
- MORO, M. **Avaliação do modelo Lisem na simulação dos processos hidrossedimentológicos de uma pequena bacia rural localizada nas encostas basálticas do Rio Grande do Sul**. 133 p. 2011. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2011.
- MORO, M.; MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H. **Simulação da produção de sedimentos em uma pequena bacia hidrográfica rural utilizando o modelo LISEM (Limburg Soil Erosion Model)**. 8º Simpósio Nacional de Controle de Erosão, São Paulo, 2009.
- NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V. **River flow forecasting through conceptual models. Part I: a discussion of principles**. *Journal of Hydrology*. v. 10, n. 3, p. 282-290, Amsterdam, abr. 1970.
- NETO, P., **Análise areal como subsidio aos estudos integrados da bacia hidrográfica do rio seridó (RN/PB)**. *Revista Equador*. v. 5, n. 4, p. 250-261, Fortaleza, 2016.
- PANAGOS, P. et al. **The new assessment of soil loss by water erosion in Europe**. *Environmental Science e Policy*. v. 54, p. 438-447, Ispra, 2015.
- PEREIRA, M. A. F. **Processos hidrossedimentológicos em diferentes escalas espaço temporais no Bioma Mata Atlântica**. 189 p. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2010.
- PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A. **Hidrologia de superfície**. Centro de Estudos e Pesquisas de Hidráulica e Hidrologia da Universidade Federal do Paraná. 2 ed. Editora Edgard Blücher, Curitiba, 1973.

POESEN, J. W.; TORRI, D. B.; BUNKE, K. **Effects of rock fragments on soil erosion by water at different spatial scales: A review**. *Catena* 23(1-2): 141-166, 1994.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. **Gestão de bacias hidrográficas**. *Estudos Avançados*, v. 22, n. 63, São Paulo, SP, 2008.

PÖTTER, R. O.; HOCHMÜLLER, D. P. **Levantamento detalhado da área piloto para conservação de solos no município de Ibirubá (RS)**. EMPRESA BRASILEIRA DE ESTUDOS AGROPECUÁRIOS. Boletim Técnico N° 68, Rio de Janeiro, 1980.

PROSDOCIMI, M.; CERDÀ, A.; TAROLLI, P. **Soil water erosion on Mediterranean vineyards: A review**. *Catena*. v. 141, p. 1-21, Legnaro, jun. 2016.

REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Coluna de areia para medir a retenção de água no solo: protótipos e teste**. *Ciência Rural*, v. 36, n. 6, p. 1931-1935, Santa Maria, RS, 2006.

RENNÓ, C. D. e SOARES, J. V. **Conceitos Básicos de Modelagem Hidrológica**. *Geomática: modelos e aplicações ambientais*. Editado por Meirelles, M. S. P., Camara, G. e Almeida, C. M. Brasília, DF: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, Informação e tecnologia. 2007.

RODRIGUES, M. F. et al. **Hydrosedimentology of nested subtropical watersheds with native and eucalyptus forests**. *Journal of Soils and Sediments*. v. 14, n. 7, p. 131-1324, Berlin, 2014.

RODRIGUES, M. F. **Monitoramento e modelagem do procesos hidrossedimentológicos em bacias hidrográficas florestais no sul do Brasil**. 209P. 2011. Dissertação (Mestrado em Ciência do solo). Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2011.

SANTOS, H. G. dos et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. 3. ed. 353 p. Brasília, DF, 2013.

SANTOS, G. G. et al. **Intensidade-duração-freqüência de chuvas para o estado de Mato Grosso do Sul**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.13 (suplemento), p.899-905, Campina Grande, PB, 2009.

SANTOS, M. C. L. et al. **Levantamento e utilização dos solos do município de Ibirubá**. Porto Alegre: INCRA: Secretaria da Agricultura: Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1970.

SEMA-RS – SECRETARIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE. **Bacias hidrográficas do RS: Bacia hidrográfica do Alto Jacuí**. Disponível em: <<http://www.sema.rs.gov.br/acia-hidrograficado-alto-jacui>>. Acesso em: 28/03/2017.

SHREVE, E. A.; DOWNS, A. C. **Quality-assurance plan for the analysis of fluvial sediment by the U. S. geological survey kentucky water science center sediment laboratory, U.S.** Geological Survey Open-File Report, 28 p. 2005.

- SILVA, J. V. et al. **Perdas de solo e água por erosão hídrica em floresta equiânea em um Latossolo Vermelho-Amarelo.** Revista Brasileira de Ciência Agrária, v.5, n.4, p.579-584, Recife, PE, 2010.
- SOUZA, J. O. P. DE; ALMEIDA, J. D. M. de. **Modelo digital de elevação e extração automática de drenagem: dados, métodos e precisão para estudos hidrológicos e geomorfológicos.** Boletim de Geografia, v. 32, n. 2, p. 134, Recife, PE, 2014.
- SUZUKI, L. E. A. S. et al. **Dispersion and flocculation of Vertisols, Alfisols and Oxisols in Southern Brazil.** Geoderma Regional. v. 5, p 64-70, Pelotas, RS, ago. 2015.
- TEODORO, L. L. I. et al. **O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local.** Revista Uniara. n. 20, p. 138-157, São Paulo, SP, 2007.
- TORNQUIST, C. G. **Simulação da dinâmica do carbono orgânico do solo em escala regional: aplicação do modelo Century e sistemas de informações geográficas.** 156 p. 2007. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2007.
- TRENTIN, A. B. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo do comportamento espectral da água no reservatório Passo Real-RS.** 98 p. 2009. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2009.
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** Associação Brasileira de Recursos Hídricos. v. 4, 2. ed. Editora da UFRGS, Porto Alegre, RS, 1997.
- VAN DEURSEN, W. P. A.; WESSELING, C. G. **The PCRaster package.** Department of Physical Geography: Utrecht University, 1992.
- VESTENA, L. R.; THOMAZ, E. L. Avaliação de conflitos entre áreas de preservação permanente associadas aos cursos fluviais e uso da terra na bacia do rio das Pedras, Guarapuava-Pr. **Ambiência**, v. 2, n. 1, p. 73-85, 2009
- WALLING, D. E.; COLLINS, A. L. **Integrated assessment of catchment sedimen budgets: a technical manual.** Exeter: 168 p. University of Exeter.
- WATANABE, M. **O uso da terra e o aporte sedimentar em suspensão de bacias pareadas na amazônia: sub-bacias do rio Mutum-Paraná-RO.** 115 p. 2015. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.
- WILLIAMS, G. P. **Sediment concentration versus water discharge during single hydrologic events in rivers.** Journal of Hydrology, v.111, p.89-116, Amsterdam, 1989.
- WMO. **The Dublin Statement and Report of the Conference.** International Conference on Water and the Environment: Development Issues for the 21st Century. P. 26-31, Dublin, jan. 1992.

ANEXOS

Anexo 1: Precipitação (P) diária e vazão (Q) diária nas bacias hidrográficas Norte e Sul.

| Período  | Bacia Norte |                        |       |        | Bacia Sul |                        |       |        |
|----------|-------------|------------------------|-------|--------|-----------|------------------------|-------|--------|
|          | P<br>(mm)   | Q (L s <sup>-1</sup> ) |       |        | P<br>(mm) | Q (L s <sup>-1</sup> ) |       |        |
|          |             | Mínima                 | Média | Máxima |           | Mínima                 | Média | Máxima |
| 01/06/16 | 0,2         | 6,96                   | 7,71  | 8,81   | 0,0       | 6,20                   | 7,91  | 6,28   |
| 02/06/16 | 0,2         | 6,96                   | 7,05  | 8,81   | 0,0       | 6,20                   | 6,20  | 6,20   |
| 03/06/16 | 0,0         | 6,96                   | 6,99  | 8,81   | 0,0       | 6,20                   | 6,20  | 6,20   |
| 04/06/16 | 0,2         | 6,96                   | 6,97  | 8,81   | 0,0       | 6,20                   | 6,20  | 6,20   |
| 05/06/16 | 0,2         | 6,96                   | 6,96  | 6,96   | 0,0       | 6,20                   | 6,20  | 6,20   |
| 06/06/16 | 0,0         | 6,96                   | 6,96  | 6,96   | 0,0       | 6,20                   | 6,24  | 7,91   |
| 07/06/16 | 0,0         | 5,36                   | 6,92  | 6,96   | 0,2       | 6,20                   | 6,20  | 6,20   |
| 08/06/16 | 0,2         | 5,36                   | 6,57  | 6,96   | 0,0       | 4,73                   | 5,60  | 6,20   |
| 09/06/16 | 0,2         | 5,36                   | 6,33  | 6,96   | 0,0       | 4,73                   | 5,60  | 6,20   |
| 10/06/16 | 0,0         | 5,36                   | 5,82  | 6,96   | 0,0       | 4,73                   | 5,42  | 6,20   |
| 11/06/16 | 0,2         | 5,36                   | 5,48  | 6,96   | 0,0       | 4,73                   | 4,82  | 6,20   |
| 12/06/16 | 0,2         | 5,36                   | 5,36  | 5,36   | 0,0       | 4,73                   | 4,73  | 4,73   |
| 13/06/16 | 0,0         | 5,36                   | 5,36  | 5,36   | 0,2       | 4,73                   | 4,73  | 4,73   |
| 14/06/16 | 0,0         | 5,36                   | 5,36  | 5,36   | 0,0       | 3,50                   | 4,44  | 4,73   |
| 15/06/16 | 0,0         | 5,36                   | 5,36  | 5,36   | 0,0       | 4,73                   | 5,02  | 6,20   |
| 16/06/16 | 7,3         | 5,36                   | 5,43  | 6,96   | 7,2       | 3,50                   | 4,90  | 7,91   |
| 17/06/16 | 0,4         | 4,01                   | 5,26  | 6,96   | 0,5       | 4,73                   | 5,29  | 7,91   |
| 18/06/16 | 0,2         | 4,01                   | 5,18  | 5,36   | 0,2       | 4,73                   | 5,43  | 6,20   |
| 19/06/16 | 0,2         | 4,01                   | 4,88  | 5,36   | 0,0       | 3,50                   | 4,65  | 4,73   |
| 20/06/16 | 0,2         | 4,01                   | 4,48  | 5,36   | 0,2       | 3,50                   | 4,16  | 4,73   |
| 21/06/16 | 0,9         | 4,01                   | 4,55  | 5,36   | 0,7       | 3,50                   | 3,67  | 4,73   |
| 22/06/16 | 0,4         | 4,01                   | 4,34  | 5,36   | 0,5       | 2,48                   | 3,71  | 4,73   |
| 23/06/16 | 0,2         | 4,01                   | 4,03  | 5,36   | 0,2       | 2,48                   | 3,29  | 3,50   |
| 24/06/16 | 0,2         | 4,01                   | 4,20  | 5,36   | 0,0       | 3,50                   | 3,50  | 3,50   |
| 25/06/16 | 0,0         | 4,01                   | 4,01  | 4,01   | 0,0       | 2,48                   | 3,21  | 3,50   |
| 26/06/16 | 0,0         | 4,01                   | 4,01  | 4,01   | 0,0       | 1,03                   | 1,83  | 3,50   |
| 27/06/16 | 0,0         | 2,89                   | 3,99  | 4,01   | 0,0       | 1,03                   | 1,45  | 3,50   |
| 28/06/16 | 0,2         | 2,89                   | 3,99  | 4,01   | 0,2       | 2,48                   | 2,55  | 3,50   |
| 29/06/16 | 0,0         | 2,89                   | 3,84  | 4,01   | 0,2       | 2,48                   | 3,34  | 4,73   |
| 30/06/16 | 0,0         | 2,89                   | 3,83  | 4,01   | 0,0       | 2,48                   | 2,78  | 3,50   |
| 01/07/16 | 0,2         | 2,89                   | 3,54  | 4,01   | 0,0       | 2,48                   | 2,48  | 2,48   |
| 02/07/16 | 0,0         | 2,89                   | 3,61  | 4,01   | 0,0       | 2,48                   | 2,69  | 3,50   |
| 03/07/16 | 0,0         | 2,89                   | 3,46  | 4,01   | 0,0       | 2,48                   | 2,48  | 2,48   |
| 04/07/16 | 0,0         | 2,89                   | 3,31  | 4,01   | 0,0       | 1,03                   | 1,31  | 2,48   |
| 05/07/16 | 8,8         | 2,89                   | 3,15  | 8,81   | 9,8       | 1,66                   | 3,09  | 7,91   |
| 06/07/16 | 19,6        | 4,01                   | 6,33  | 25,91  | 19,7      | 4,73                   | 8,73  | 31,67  |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 1: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |                        |        |         | Bacia Sul |                        |       |        |
|----------|-------------|------------------------|--------|---------|-----------|------------------------|-------|--------|
|          | P<br>(mm)   | Q (L s <sup>-1</sup> ) |        |         | P<br>(mm) | Q (L s <sup>-1</sup> ) |       |        |
|          |             | Mínima                 | Média  | Máxima  |           | Mínima                 | Média | Máxima |
| 07/07/16 | 0,2         | 4,01                   | 4,01   | 4,01    | 0,0       | 3,50                   | 3,82  | 4,73   |
| 08/07/16 | 0,2         | 2,89                   | 3,98   | 4,01    | 0,2       | 3,50                   | 3,76  | 4,73   |
| 09/07/16 | 22,2        | 0,01                   | 0,02   | 0,09    | 25,0      | 1,66                   | 7,27  | 17,40  |
| 10/07/16 | 3,7         | 4,01                   | 5,52   | 6,96    | 3,6       | 4,73                   | 5,84  | 7,91   |
| 11/07/16 | 14,3        | 4,01                   | 7,97   | 74,50   | 13,9      | 4,73                   | 6,59  | 17,40  |
| 12/07/16 | 0,0         | 5,36                   | 6,04   | 6,96    | 0,0       | 4,73                   | 6,19  | 9,87   |
| 13/07/16 | 0,7         | 5,36                   | 5,36   | 5,36    | 0,5       | 3,50                   | 4,30  | 4,73   |
| 14/07/16 | 73,3        | 4,01                   | 155,23 | 5740,65 | 77,0      | 3,50                   | 69,67 | 572,25 |
| 15/07/16 | 0,0         | 13,32                  | 18,04  | 25,91   | 0,2       | 14,61                  | 24,00 | 40,79  |
| 16/07/16 | 0,0         | 10,92                  | 13,95  | 18,99   | 0,0       | 9,87                   | 13,06 | 17,40  |
| 17/07/16 | 0,0         | 6,96                   | 9,06   | 10,92   | 0,0       | 7,91                   | 9,05  | 12,10  |
| 18/07/16 | 0,2         | 6,96                   | 7,21   | 8,81    | 0,0       | 6,20                   | 7,88  | 7,91   |
| 19/07/16 | 0,0         | 6,96                   | 6,96   | 6,96    | 0,0       | 6,20                   | 6,80  | 7,91   |
| 20/07/16 | 0,0         | 5,36                   | 5,72   | 6,96    | 0,2       | 3,50                   | 6,24  | 7,91   |
| 21/07/16 | 0,2         | 5,36                   | 5,36   | 5,36    | 0,0       | 4,73                   | 4,95  | 6,20   |
| 22/07/16 | 0,2         | 4,01                   | 5,17   | 5,36    | 0,2       | 3,50                   | 4,09  | 4,73   |
| 23/07/16 | 0,2         | 4,01                   | 4,50   | 5,36    | 0,2       | 3,50                   | 3,50  | 3,50   |
| 24/07/16 | 0,0         | 4,01                   | 4,04   | 5,36    | 0,0       | 2,48                   | 3,08  | 3,50   |
| 25/07/16 | 0,2         | 4,01                   | 4,01   | 4,01    | 0,0       | 1,66                   | 2,45  | 2,48   |
| 26/07/16 | 27,7        | 4,01                   | 11,18  | 61,05   | 29,3      | 2,48                   | 8,85  | 27,62  |
| 27/07/16 | 0,2         | 5,36                   | 6,30   | 6,96    | 0,2       | 4,73                   | 5,53  | 7,91   |
| 28/07/16 | 0,2         | 5,36                   | 5,36   | 5,36    | 0,2       | 3,50                   | 4,01  | 4,73   |
| 29/07/16 | 0,2         | 4,01                   | 5,01   | 5,36    | 0,0       | 2,48                   | 3,50  | 4,73   |
| 30/07/16 | 0,0         | 4,01                   | 4,13   | 5,36    | 0,0       | 2,48                   | 2,94  | 3,50   |
| 31/07/16 | 0,0         | 4,01                   | 4,01   | 4,01    | 0,0       | 1,66                   | 2,21  | 2,48   |
| 01/08/16 | 0,2         | 4,01                   | 4,01   | 4,01    | 0,2       | 1,66                   | 2,18  | 2,48   |
| 02/08/16 | 0,0         | 4,01                   | 4,01   | 4,01    | 0,2       | 1,66                   | 2,18  | 2,48   |
| 03/08/16 | 0,9         | 4,01                   | 4,01   | 4,01    | 0,7       | 1,66                   | 2,04  | 2,48   |
| 04/08/16 | 0,0         | 2,89                   | 3,99   | 4,01    | 0,7       | 1,03                   | 1,75  | 2,48   |
| 05/08/16 | 0,2         | 2,89                   | 3,92   | 4,01    | 0,0       | 1,03                   | 1,44  | 1,66   |
| 06/08/16 | 8,1         | 2,89                   | 3,96   | 6,96    | 7,7       | 1,66                   | 1,71  | 3,50   |
| 07/08/16 | 5,7         | 2,89                   | 4,45   | 10,92   | 6,5       | 1,66                   | 2,75  | 6,20   |
| 08/08/16 | 0,0         | 2,89                   | 3,84   | 4,01    | 0,0       | 1,03                   | 1,71  | 2,48   |
| 09/08/16 | 0,2         | 2,89                   | 3,60   | 4,01    | 0,0       | 1,03                   | 1,38  | 1,66   |
| 10/08/16 | 0,2         | 2,89                   | 3,40   | 4,01    | 0,0       | 0,27                   | 1,01  | 1,66   |
| 11/08/16 | 0,0         | 2,89                   | 3,17   | 4,01    | 0,2       | 0,57                   | 1,91  | 3,50   |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 1: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |                        |       |        | Bacia Sul |                        |       |        |
|----------|-------------|------------------------|-------|--------|-----------|------------------------|-------|--------|
|          | P<br>(mm)   | Q (L s <sup>-1</sup> ) |       |        | P<br>(mm) | Q (L s <sup>-1</sup> ) |       |        |
|          |             | Mínima                 | Média | Máxima |           | Mínima                 | Média | Máxima |
| 12/08/16 | 0,2         | 2,89                   | 3,04  | 4,01   | 0,0       | 1,03                   | 1,36  | 1,66   |
| 13/08/16 | 0,2         | 2,89                   | 2,93  | 4,01   | 0,0       | 0,57                   | 1,32  | 1,66   |
| 14/08/16 | 0,2         | 2,89                   | 2,92  | 4,01   | 0,2       | 0,57                   | 1,11  | 1,66   |
| 15/08/16 | 10,6        | 2,89                   | 3,54  | 6,96   | 11,0      | 1,03                   | 1,92  | 2,48   |
| 16/08/16 | 0,2         | 2,89                   | 2,96  | 4,01   | 0,0       | 0,57                   | 1,26  | 1,66   |
| 17/08/16 | 16,3        | 2,89                   | 7,22  | 106,38 | 16,1      | 1,03                   | 3,83  | 27,62  |
| 18/08/16 | 0,2         | 4,01                   | 4,01  | 4,01   | 0,2       | 1,03                   | 2,00  | 2,48   |
| 19/08/16 | 3,7         | 4,01                   | 4,01  | 4,01   | 3,4       | 1,03                   | 1,49  | 1,66   |
| 20/08/16 | 11,9        | 4,01                   | 6,23  | 25,91  | 12,5      | 1,66                   | 3,22  | 6,20   |
| 21/08/16 | 0,2         | 4,01                   | 4,23  | 5,36   | 0,2       | 1,66                   | 2,35  | 3,50   |
| 22/08/16 | 0,2         | 4,01                   | 4,01  | 4,01   | 0,2       | 1,03                   | 1,65  | 2,48   |
| 23/08/16 | 0,0         | 2,89                   | 3,89  | 4,01   | 0,0       | 0,57                   | 1,30  | 1,66   |
| 24/08/16 | 0,2         | 2,89                   | 3,51  | 4,01   | 0,2       | 0,27                   | 0,82  | 1,66   |
| 25/08/16 | 0,0         | 2,89                   | 3,03  | 4,01   | 0,0       | 0,27                   | 0,55  | 1,03   |
| 26/08/16 | 0,0         | 2,89                   | 2,89  | 2,89   | 0,0       | 0,09                   | 0,51  | 1,03   |
| 27/08/16 | 0,0         | 2,89                   | 2,89  | 2,89   | 0,0       | 0,01                   | 0,25  | 0,57   |
| 28/08/16 | 17,8        | 2,89                   | 3,58  | 10,92  | 19,2      | 0,01                   | 0,89  | 4,73   |
| 29/08/16 | 28,4        | 5,36                   | 10,03 | 16,00  | 31,2      | 3,50                   | 4,96  | 6,20   |
| 30/08/16 | 10,6        | 8,81                   | 12,13 | 25,91  | 12,0      | 4,73                   | 6,42  | 9,87   |
| 31/08/16 | 2,2         | 8,81                   | 10,43 | 10,92  | 2,2       | 3,50                   | 5,46  | 7,91   |
| 01/09/16 | 0,2         | 6,96                   | 7,95  | 8,81   | 0,2       | 2,48                   | 3,47  | 4,73   |
| 02/09/16 | 0,0         | 5,36                   | 6,10  | 6,96   | 0,0       | 1,66                   | 2,86  | 3,50   |
| 03/09/16 | 16,9        | 5,36                   | 7,10  | 16,00  | 18,5      | 2,48                   | 4,99  | 7,91   |
| 04/09/16 | 1,1         | 5,36                   | 6,95  | 6,96   | 1,4       | 4,73                   | 5,25  | 6,20   |
| 05/09/16 | 27,3        | 6,96                   | 22,71 | 152,30 | 29,3      | 3,50                   | 13,22 | 57,14  |
| 06/09/16 | 1,3         | 13,32                  | 18,02 | 25,91  | 1,2       | 9,87                   | 14,89 | 27,62  |
| 07/09/16 | 0,0         | 10,92                  | 12,38 | 16,00  | 0,0       | 6,20                   | 7,88  | 9,87   |
| 08/09/16 | 0,0         | 8,81                   | 9,73  | 10,92  | 0,0       | 4,73                   | 5,51  | 6,20   |
| 09/09/16 | 0,0         | 6,96                   | 7,79  | 8,81   | 0,0       | 3,50                   | 4,82  | 6,20   |
| 10/09/16 | 0,2         | 5,36                   | 6,52  | 6,96   | 0,2       | 2,48                   | 3,73  | 4,73   |
| 11/09/16 | 0,0         | 5,36                   | 5,66  | 6,96   | 0,0       | 1,66                   | 3,13  | 4,73   |
| 12/09/16 | 0,0         | 5,36                   | 5,36  | 5,36   | 0,0       | 1,66                   | 2,58  | 3,50   |
| 13/09/16 | 16,3        | 5,36                   | 6,68  | 18,99  | 18,0      | 2,48                   | 4,82  | 7,91   |
| 14/09/16 | 0,0         | 5,36                   | 5,36  | 5,36   | 0,0       | 2,48                   | 3,25  | 4,73   |
| 15/09/16 | 0,0         | 5,36                   | 5,36  | 5,36   | 0,2       | 2,48                   | 2,98  | 3,50   |
| 16/09/16 | 0,0         | 4,01                   | 4,92  | 5,36   | 0,0       | 1,66                   | 2,58  | 3,50   |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 1: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |                        |       |        | Bacia Sul |                        |       |        |
|----------|-------------|------------------------|-------|--------|-----------|------------------------|-------|--------|
|          | P<br>(mm)   | Q (L s <sup>-1</sup> ) |       |        | P<br>(mm) | Q (L s <sup>-1</sup> ) |       |        |
|          |             | Mínima                 | Média | Máxima |           | Mínima                 | Média | Máxima |
| 17/09/16 | 0,2         | 4,01                   | 4,31  | 5,36   | 0,2       | 1,66                   | 2,31  | 3,50   |
| 18/09/16 | 2,2         | 4,01                   | 4,02  | 5,36   | 2,9       | 1,66                   | 2,19  | 3,50   |
| 19/09/16 | 0,0         | 4,01                   | 4,01  | 4,01   | 0,0       | 0,57                   | 1,57  | 2,48   |
| 20/09/16 | 0,0         | 2,89                   | 3,99  | 4,01   | 0,0       | 1,03                   | 1,49  | 1,66   |
| 21/09/16 | 0,0         | 2,89                   | 3,65  | 4,01   | 0,0       | 0,57                   | 1,15  | 1,66   |
| 22/09/16 | 0,0         | 2,89                   | 3,37  | 4,01   | 0,0       | 0,27                   | 0,64  | 1,03   |
| 23/09/16 | 0,0         | 2,89                   | 3,18  | 4,01   | 0,0       | 0,57                   | 2,24  | 7,91   |
| 24/09/16 | 0,4         | 2,89                   | 3,13  | 4,01   | 0,5       | 0,57                   | 1,31  | 1,66   |
| 25/09/16 | 0,0         | 2,89                   | 2,96  | 4,01   | 0,0       | 1,03                   | 1,24  | 1,66   |
| 26/09/16 | 0,2         | 2,89                   | 2,89  | 2,89   | 0,2       | 0,27                   | 1,10  | 1,66   |
| 27/09/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 0,27                   | 0,95  | 1,66   |
| 28/09/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 0,27                   | 0,66  | 1,66   |
| 29/09/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 0,57                   | 1,18  | 2,48   |
| 30/09/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 0,09                   | 0,56  | 1,03   |
| 01/10/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 0,01                   | 0,29  | 0,57   |
| 02/10/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 0,09                   | 0,85  | 2,48   |
| 03/10/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 0,09                   | 0,54  | 1,66   |
| 04/10/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 0,01                   | 0,21  | 0,27   |
| 05/10/16 | -           | -                      | -     | -      | 27,1      | 0,09                   | 1,52  | 9,87   |
| 06/10/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,7       | 0,57                   | 1,40  | 3,50   |
| 07/10/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 0,09                   | 0,56  | 1,03   |
| 08/10/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 0,09                   | 0,36  | 0,57   |
| 09/10/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 0,01                   | 0,40  | 1,03   |
| 10/10/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 0,01                   | 0,27  | 0,57   |
| 11/10/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 0,01                   | 0,11  | 0,27   |
| 12/10/16 | -           | -                      | -     | -      | 7,7       | 0,09                   | 0,15  | 0,57   |
| 13/10/16 | -           | -                      | -     | -      | 14,9      | 0,27                   | 0,80  | 4,73   |
| 14/10/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,2       | 0,09                   | 1,58  | 9,87   |
| 15/10/16 | -           | -                      | -     | -      | 13,4      | 0,57                   | 1,72  | 4,73   |
| 16/10/16 | -           | -                      | -     | -      | 19,2      | 0,27                   | 4,73  | 31,67  |
| 17/10/16 | -           | -                      | -     | -      | 54,2      | 3,50                   | 29,15 | 326,87 |
| 18/10/16 | -           | -                      | -     | -      | 81,4      | 17,40                  | 89,80 | 277,97 |
| 19/10/16 | -           | -                      | -     | -      | 35,5      | 40,79                  | 69,61 | 206,76 |
| 20/10/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,7       | 9,87                   | 30,23 | 45,87  |
| 21/10/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 17,40                  | 23,75 | 27,62  |
| 22/10/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 14,61                  | 17,65 | 20,50  |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 1: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |                        |       |        | Bacia Sul |                        |       |        |
|----------|-------------|------------------------|-------|--------|-----------|------------------------|-------|--------|
|          | P<br>(mm)   | Q (L s <sup>-1</sup> ) |       |        | P<br>(mm) | Q (L s <sup>-1</sup> ) |       |        |
|          |             | Mínima                 | Média | Máxima |           | Mínima                 | Média | Máxima |
| 23/10/16 | -           | -                      | -     | -      | 5,0       | 12,10                  | 14,94 | 17,40  |
| 24/10/16 | -           | -                      | -     | -      | 18,2      | 9,87                   | 14,98 | 23,90  |
| 25/10/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,5       | 0,00                   | 0,01  | 0,06   |
| 26/10/16 | -           | -                      | -     | -      | 7,4       | 9,87                   | 11,51 | 12,10  |
| 27/10/16 | -           | -                      | -     | -      | 9,8       | 7,91                   | 10,28 | 12,10  |
| 28/10/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 6,20                   | 8,47  | 9,87   |
| 29/10/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 6,20                   | 7,59  | 9,87   |
| 30/10/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 7,91                   | 9,09  | 12,10  |
| 31/10/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 6,20                   | 8,97  | 12,10  |
| 01/11/16 | -           | -                      | -     | -      | 27,8      | 7,91                   | 16,76 | 40,79  |
| 02/11/16 | -           | -                      | -     | -      | 34,1      | 23,90                  | 37,67 | 57,14  |
| 03/11/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 12,10                  | 19,37 | 27,62  |
| 04/11/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,2       | 6,20                   | 9,76  | 14,61  |
| 05/11/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 4,73                   | 6,17  | 7,91   |
| 06/11/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 3,50                   | 4,62  | 6,20   |
| 07/11/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 2,48                   | 3,86  | 6,20   |
| 08/11/16 | -           | -                      | -     | -      | 7,7       | 3,50                   | 4,74  | 7,91   |
| 09/11/16 | -           | -                      | -     | -      | 26,4      | 4,73                   | 10,02 | 63,34  |
| 10/11/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,2       | 2,48                   | 4,09  | 14,61  |
| 11/11/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 2,48                   | 2,60  | 4,73   |
| 12/11/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 1,03                   | 2,65  | 6,20   |
| 13/11/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 1,03                   | 2,50  | 3,50   |
| 14/11/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 2,48                   | 3,06  | 3,50   |
| 15/11/16 | -           | -                      | -     | -      | 13,4      | 2,48                   | 5,24  | 9,87   |
| 16/11/16 | -           | -                      | -     | -      | 1,4       | 4,73                   | 8,27  | 12,10  |
| 17/11/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,5       | 4,73                   | 6,25  | 7,91   |
| 18/11/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 6,20                   | 7,86  | 12,10  |
| 19/11/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 4,73                   | 7,54  | 9,87   |
| 20/11/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 4,73                   | 6,52  | 7,91   |
| 21/11/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 4,73                   | 5,95  | 7,91   |
| 22/11/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 4,73                   | 5,98  | 6,20   |
| 23/11/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 4,73                   | 5,82  | 7,91   |
| 24/11/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 3,50                   | 5,39  | 9,87   |
| 25/11/16 | -           | -                      | -     | -      | 2,6       | 3,50                   | 4,58  | 9,87   |
| 26/11/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 2,48                   | 3,49  | 4,73   |
| 27/11/16 | -           | -                      | -     | -      | 28,1      | 2,48                   | 5,09  | 7,91   |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 1: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |                        |       |        | Bacia Sul |                        |        |         |
|----------|-------------|------------------------|-------|--------|-----------|------------------------|--------|---------|
|          | P<br>(mm)   | Q (L s <sup>-1</sup> ) |       |        | P<br>(mm) | Q (L s <sup>-1</sup> ) |        |         |
|          |             | Mínima                 | Média | Máxima |           | Mínima                 | Média  | Máxima  |
| 28/11/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 3,50                   | 4,64   | 7,91    |
| 29/11/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 1,03                   | 2,57   | 3,50    |
| 30/11/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 1,03                   | 1,82   | 2,48    |
| 01/12/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 0,57                   | 1,51   | 2,48    |
| 02/12/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 0,57                   | 1,31   | 1,66    |
| 03/12/16 | -           | -                      | -     | -      | 11,3      | 1,03                   | 2,44   | 3,50    |
| 04/12/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,2       | 2,48                   | 3,18   | 4,73    |
| 05/12/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,2       | 1,66                   | 3,01   | 4,73    |
| 06/12/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 2,48                   | 2,92   | 3,50    |
| 07/12/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 1,03                   | 1,76   | 2,48    |
| 08/12/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,5       | 0,57                   | 1,30   | 1,66    |
| 09/12/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 0,57                   | 0,89   | 1,03    |
| 10/12/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 0,57                   | 0,91   | 1,03    |
| 11/12/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 0,40                   | 1,15   | 1,54    |
| 12/12/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 0,27                   | 0,67   | 1,03    |
| 13/12/16 | -           | -                      | -     | -      | 12,2      | 0,09                   | 0,79   | 1,66    |
| 14/12/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 0,57                   | 0,84   | 1,66    |
| 15/12/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 0,09                   | 0,58   | 1,03    |
| 16/12/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 0,09                   | 0,47   | 1,03    |
| 17/12/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 0,01                   | 0,16   | 0,57    |
| 18/12/16 | -           | -                      | -     | -      | 14,6      | 0,09                   | 1,20   | 2,48    |
| 19/12/16 | -           | -                      | -     | -      | 12,7      | 1,03                   | 1,95   | 3,50    |
| 20/12/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 0,27                   | 1,02   | 1,66    |
| 21/12/16 | -           | -                      | -     | -      | 4,8       | 0,09                   | 0,21   | 0,57    |
| 22/12/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 0,09                   | 0,24   | 0,57    |
| 23/12/16 | -           | -                      | -     | -      | 7,2       | 0,27                   | 0,90   | 2,48    |
| 24/12/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,7       | 0,57                   | 1,39   | 2,48    |
| 25/12/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 0,27                   | 0,65   | 1,03    |
| 26/12/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 0,09                   | 0,37   | 0,57    |
| 27/12/16 | -           | -                      | -     | -      | 7,7       | 0,09                   | 0,34   | 0,57    |
| 28/12/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 0,09                   | 0,21   | 0,57    |
| 29/12/16 | -           | -                      | -     | -      | 19,2      | 0,09                   | 0,70   | 2,48    |
| 30/12/16 | -           | -                      | -     | -      | 0,2       | 0,27                   | 0,65   | 1,66    |
| 31/12/16 | -           | -                      | -     | -      | 140,2     | 0,27                   | 106,45 | 2271,38 |
| 01/01/17 | -           | -                      | -     | -      | 3,6       | 0,27                   | 1,69   | 6,19    |
| 02/01/17 | -           | -                      | -     | -      | 25,4      | 0,01                   | 2,09   | 69,89   |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 1: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |                        |       |        | Bacia Sul |                        |       |         |
|----------|-------------|------------------------|-------|--------|-----------|------------------------|-------|---------|
|          | P<br>(mm)   | Q (L s <sup>-1</sup> ) |       |        | P<br>(mm) | Q (L s <sup>-1</sup> ) |       |         |
|          |             | Mínima                 | Média | Máxima |           | Mínima                 | Média | Máxima  |
| 03/01/17 | -           | -                      | -     | -      | 2,9       | 0,09                   | 0,73  | 1,66    |
| 04/01/17 | -           | -                      | -     | -      | 43,0      | 0,27                   | 49,90 | 1494,53 |
| 05/01/17 | -           | -                      | -     | -      | 3,0       | 1,66                   | 2,78  | 4,73    |
| 06/01/17 | -           | -                      | -     | -      | 11,5      | 3,49                   | 4,42  | 6,19    |
| 07/01/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 2,48                   | 3,04  | 3,49    |
| 08/01/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 1,66                   | 2,39  | 2,48    |
| 09/01/17 | -           | -                      | -     | -      | 16,1      | 1,66                   | 3,55  | 7,90    |
| 10/01/17 | -           | -                      | -     | -      | 31,2      | 2,48                   | 15,55 | 108,87  |
| 11/01/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,2       | 4,73                   | 7,30  | 9,86    |
| 12/01/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 3,49                   | 4,60  | 6,19    |
| 13/01/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 2,48                   | 3,91  | 4,73    |
| 14/01/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 3,49                   | 3,53  | 4,73    |
| 15/01/17 | -           | -                      | -     | -      | 3,6       | 3,49                   | 3,65  | 4,73    |
| 16/01/17 | -           | -                      | -     | -      | 25,7      | 3,49                   | 7,01  | 17,39   |
| 17/01/17 | -           | -                      | -     | -      | 1,0       | 3,49                   | 5,15  | 7,90    |
| 18/01/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 3,49                   | 4,15  | 4,73    |
| 19/01/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,2       | 2,48                   | 3,49  | 4,73    |
| 20/01/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 3,49                   | 3,94  | 4,73    |
| 21/01/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 3,49                   | 3,88  | 4,73    |
| 22/01/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 3,49                   | 3,95  | 4,73    |
| 23/01/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 3,49                   | 3,88  | 4,73    |
| 24/01/17 | -           | -                      | -     | -      | 7,4       | 3,49                   | 4,24  | 4,73    |
| 25/01/17 | -           | -                      | -     | -      | 7,9       | 4,73                   | 11,77 | 45,85   |
| 26/01/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,2       | 9,86                   | 11,29 | 12,09   |
| 27/01/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 7,90                   | 9,45  | 12,09   |
| 28/01/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 7,90                   | 9,43  | 12,09   |
| 29/01/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 7,90                   | 9,43  | 9,86    |
| 30/01/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 7,90                   | 9,17  | 9,86    |
| 31/01/17 | -           | -                      | -     | -      | 1,0       | 7,90                   | 8,95  | 9,86    |
| 01/02/17 | -           | -                      | -     | -      | 44,2      | 7,90                   | 24,58 | 84,25   |
| 02/02/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,2       | 9,86                   | 13,53 | 20,49   |
| 03/02/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 7,90                   | 9,43  | 9,86    |
| 04/02/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 6,19                   | 10,36 | 14,60   |
| 05/02/17 | -           | -                      | -     | -      | 24,0      | 7,90                   | 14,48 | 20,49   |
| 06/02/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,2       | 9,86                   | 11,49 | 14,60   |
| 07/02/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 7,90                   | 10,28 | 12,09   |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 1: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |                        |       |        | Bacia Sul |                        |        |         |
|----------|-------------|------------------------|-------|--------|-----------|------------------------|--------|---------|
|          | P<br>(mm)   | Q (L s <sup>-1</sup> ) |       |        | P<br>(mm) | Q (L s <sup>-1</sup> ) |        |         |
|          |             | Mínima                 | Média | Máxima |           | Mínima                 | Média  | Máxima  |
| 08/02/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 9,86                   | 11,04  | 12,09   |
| 09/02/17 | -           | -                      | -     | -      | 76,6      | 0,01                   | 1,87   | 60,52   |
| 10/02/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,2       | 0,10                   | 0,23   | 0,57    |
| 11/02/17 | -           | -                      | -     | -      | 27,4      | 17,39                  | 25,54  | 36,04   |
| 12/02/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,5       | 23,89                  | 27,31  | 31,66   |
| 13/02/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 0,05                   | 0,06   | 0,08    |
| 14/02/17 | -           | -                      | -     | -      | 51,6      | 17,39                  | 57,92  | 380,53  |
| 15/02/17 | -           | -                      | -     | -      | 1,0       | 31,66                  | 41,87  | 57,12   |
| 16/02/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,2       | 23,89                  | 29,81  | 31,66   |
| 17/02/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 23,89                  | 30,03  | 45,85   |
| 18/02/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 20,49                  | 26,83  | 31,66   |
| 19/02/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 20,49                  | 26,03  | 40,77   |
| 20/02/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 36,04                  | 44,26  | 57,12   |
| 21/02/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 3,80                   | 27,98  | 57,12   |
| 22/02/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,5       | 2,73                   | 4,81   | 8,40    |
| 23/02/17 | -           | -                      | -     | -      | 3,4       | 1,86                   | 6,21   | 57,18   |
| 24/02/17 | -           | -                      | -     | -      | 5,3       | 2,73                   | 7,31   | 51,36   |
| 25/02/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 2,73                   | 6,92   | 21,37   |
| 26/02/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,2       | 1,86                   | 5,98   | 8,40    |
| 27/02/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 2,73                   | 5,24   | 8,40    |
| 28/02/17 | -           | -                      | -     | -      | 1,4       | 2,73                   | 6,69   | 19,91   |
| 01/03/17 | -           | -                      | -     | -      | 2,2       | 2,73                   | 8,41   | 45,91   |
| 02/03/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 4,60                   | 9,06   | 12,74   |
| 03/03/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,5       | 3,80                   | 9,09   | 63,38   |
| 04/03/17 | -           | -                      | -     | -      | 16,6      | 0,38                   | 15,58  | 76,95   |
| 05/03/17 | -           | -                      | -     | -      | 1,0       | 0,56                   | 6,04   | 12,01   |
| 06/03/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 1,12                   | 10,65  | 32,32   |
| 07/03/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 0,63                   | 10,77  | 46,68   |
| 08/03/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 2,62                   | 15,04  | 52,18   |
| 09/03/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 0,30                   | 5,81   | 15,01   |
| 10/03/17 | -           | -                      | -     | -      | 57,1      | 2,62                   | 100,70 | 419,33  |
| 11/03/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,2       | 21,14                  | 21,14  | 21,14   |
| 12/03/17 | -           | -                      | -     | -      | 67,9      | 21,14                  | 224,52 | 2674,27 |
| 13/03/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,2       | 12,10                  | 12,82  | 33,33   |
| 14/03/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 12,10                  | 12,10  | 12,10   |
| 15/03/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,2       | 12,10                  | 12,10  | 12,10   |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 1: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |                        |       |        | Bacia Sul |                        |        |        |
|----------|-------------|------------------------|-------|--------|-----------|------------------------|--------|--------|
|          | P<br>(mm)   | Q (L s <sup>-1</sup> ) |       |        | P<br>(mm) | Q (L s <sup>-1</sup> ) |        |        |
|          |             | Mínima                 | Média | Máxima |           | Mínima                 | Média  | Máxima |
| 16/03/17 | -           | -                      | -     | -      | 37,9      | 8,67                   | 116,72 | 739,47 |
| 17/03/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 8,67                   | 8,67   | 8,67   |
| 18/03/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,2       | 8,67                   | 8,67   | 8,67   |
| 19/03/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 8,67                   | 8,67   | 8,67   |
| 20/03/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 8,67                   | 8,67   | 8,67   |
| 21/03/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 8,67                   | 8,67   | 8,67   |
| 22/03/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 8,67                   | 8,67   | 8,67   |
| 23/03/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 8,67                   | 8,67   | 8,67   |
| 24/03/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 8,67                   | 8,67   | 8,67   |
| 25/03/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 8,67                   | 8,67   | 8,67   |
| 26/03/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 8,67                   | 8,67   | 8,67   |
| 27/03/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 8,67                   | 8,67   | 8,67   |
| 28/03/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 8,67                   | 8,67   | 8,67   |
| 29/03/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 8,67                   | 8,67   | 8,67   |
| 30/03/17 | -           | -                      | -     | -      | -         | -                      | -      | -      |
| 31/03/17 | -           | -                      | -     | -      | -         | -                      | -      | -      |
| 01/04/17 | -           | -                      | -     | -      | -         | -                      | -      | -      |
| 02/04/17 | -           | -                      | -     | -      | -         | -                      | -      | -      |
| 03/04/17 | -           | -                      | -     | -      | -         | -                      | -      | -      |
| 04/04/17 | -           | -                      | -     | -      | -         | -                      | -      | -      |
| 05/04/17 | -           | -                      | -     | -      | -         | -                      | -      | -      |
| 06/04/17 | -           | -                      | -     | -      | -         | -                      | -      | -      |
| 07/04/17 | -           | -                      | -     | -      | -         | -                      | -      | -      |
| 08/04/17 | -           | -                      | -     | -      | -         | -                      | -      | -      |
| 09/04/17 | -           | -                      | -     | -      | -         | -                      | -      | -      |
| 10/04/17 | -           | -                      | -     | -      | -         | -                      | -      | -      |
| 11/04/17 | -           | -                      | -     | -      | -         | -                      | -      | -      |
| 12/04/17 | -           | -                      | -     | -      | -         | -                      | -      | -      |
| 13/04/17 | -           | -                      | -     | -      | -         | -                      | -      | -      |
| 14/04/17 | -           | -                      | -     | -      | -         | -                      | -      | -      |
| 15/04/17 | -           | -                      | -     | -      | -         | -                      | -      | -      |
| 16/04/17 | -           | -                      | -     | -      | -         | -                      | -      | -      |
| 17/04/17 | -           | -                      | -     | -      | -         | -                      | -      | -      |
| 18/04/17 | -           | -                      | -     | -      | -         | -                      | -      | -      |
| 19/04/17 | -           | -                      | -     | -      | -         | -                      | -      | -      |
| 20/04/17 | -           | -                      | -     | -      | -         | -                      | -      | -      |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 1: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |                        |       |        | Bacia Sul |                        |        |         |
|----------|-------------|------------------------|-------|--------|-----------|------------------------|--------|---------|
|          | P<br>(mm)   | Q (L s <sup>-1</sup> ) |       |        | P<br>(mm) | Q (L s <sup>-1</sup> ) |        |         |
|          |             | Mínima                 | Média | Máxima |           | Mínima                 | Média  | Máxima  |
| 21/04/17 | -           | -                      | -     | -      | -         | -                      | -      | -       |
| 22/04/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 12,10                  | 12,10  | 12,10   |
| 23/04/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,2       | 12,10                  | 12,10  | 12,10   |
| 24/04/17 | -           | -                      | -     | -      | 21,8      | 12,10                  | 52,70  | 100,34  |
| 25/04/17 | -           | -                      | -     | -      | 143,5     | 84,33                  | 291,93 | 2111,20 |
| 26/04/17 | -           | -                      | -     | -      | 3,6       | 12,10                  | 96,84  | 525,76  |
| 27/04/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 12,10                  | 12,10  | 12,10   |
| 28/04/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 12,10                  | 12,10  | 12,10   |
| 29/04/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,2       | 12,10                  | 12,10  | 12,10   |
| 30/04/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 12,10                  | 12,10  | 12,10   |
| 01/05/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,2       | 12,10                  | 12,10  | 12,10   |
| 02/05/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 12,10                  | 12,10  | 12,10   |
| 03/05/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,2       | 12,10                  | 12,10  | 12,10   |
| 04/05/17 | -           | -                      | -     | -      | 7,0       | 12,10                  | 17,24  | 26,82   |
| 05/05/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,2       | 12,10                  | 12,10  | 12,10   |
| 06/05/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 12,10                  | 12,10  | 12,10   |
| 07/05/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 12,10                  | 12,10  | 12,10   |
| 08/05/17 | -           | -                      | -     | -      | 3,4       | 12,10                  | 12,58  | 21,14   |
| 09/05/17 | -           | -                      | -     | -      | 1,0       | 12,10                  | 12,10  | 12,10   |
| 10/05/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,2       | 12,10                  | 12,10  | 12,10   |
| 11/05/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 12,10                  | 12,10  | 12,10   |
| 12/05/17 | -           | -                      | -     | -      | 38,4      | 12,10                  | 70,73  | 439,47  |
| 13/05/17 | -           | -                      | -     | -      | 62,4      | 16,24                  | 163,59 | 439,47  |
| 14/05/17 | -           | -                      | -     | -      | 1,0       | 12,10                  | 25,44  | 119,48  |
| 15/05/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 12,10                  | 12,10  | 12,10   |
| 16/05/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 12,10                  | 12,10  | 12,10   |
| 17/05/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 12,10                  | 12,10  | 12,10   |
| 18/05/17 | -           | -                      | -     | -      | 46,8      | 12,10                  | 70,36  | 310,16  |
| 19/05/17 | -           | -                      | -     | -      | 12,7      | 12,10                  | 96,51  | 380,74  |
| 20/05/17 | -           | -                      | -     | -      | 6,2       | 12,10                  | 15,11  | 33,33   |
| 21/05/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,2       | 12,10                  | 12,46  | 21,14   |
| 22/05/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,2       | 12,10                  | 12,10  | 12,10   |
| 23/05/17 | -           | -                      | -     | -      | 41,3      | 12,10                  | 103,85 | 344,37  |
| 24/05/17 | -           | -                      | -     | -      | 13,0      | 12,10                  | 98,84  | 248,07  |
| 25/05/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,2       | 12,10                  | 12,10  | 12,10   |
| 26/05/17 | -           | -                      | -     | -      | 52,6      | 0,00                   | 1,85   | 13,85   |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 1: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |                        |       |        | Bacia Sul |                        |        |         |
|----------|-------------|------------------------|-------|--------|-----------|------------------------|--------|---------|
|          | P<br>(mm)   | Q (L s <sup>-1</sup> ) |       |        | P<br>(mm) | Q (L s <sup>-1</sup> ) |        |         |
|          |             | Mínima                 | Média | Máxima |           | Mínima                 | Média  | Máxima  |
| 27/05/17 | -           | -                      | -     | -      | 48,5      | 33,33                  | 206,40 | 503,31  |
| 28/05/17 | -           | -                      | -     | -      | 1,7       | 156,50                 | 171,58 | 192,10  |
| 29/05/17 | -           | -                      | -     | -      | 1,0       | 149,91                 | 166,15 | 184,63  |
| 30/05/17 | -           | -                      | -     | -      | 40,3      | 25,95                  | 109,49 | 170,22  |
| 31/05/17 | -           | -                      | -     | -      | 22,6      | 38,87                  | 59,30  | 149,91  |
| 01/06/17 | -           | -                      | -     | -      | 8,4       | 33,33                  | 38,41  | 44,93   |
| 02/06/17 | -           | -                      | -     | -      | 1,2       | 30,75                  | 33,42  | 38,87   |
| 03/06/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,5       | 28,29                  | 30,81  | 33,33   |
| 04/06/17 | -           | -                      | -     | -      | 17,3      | 28,29                  | 34,62  | 51,52   |
| 05/06/17 | -           | -                      | -     | -      | 1,2       | 28,29                  | 29,34  | 30,75   |
| 06/06/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 25,95                  | 26,65  | 28,29   |
| 07/06/17 | -           | -                      | -     | -      | 101,0     | 23,74                  | 130,97 | 1632,10 |
| 08/06/17 | -           | -                      | -     | -      | 50,4      | 48,16                  | 125,28 | 766,83  |
| 09/06/17 | -           | -                      | -     | -      | 2,4       | 33,33                  | 44,30  | 51,52   |
| 10/06/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 33,33                  | 39,87  | 44,93   |
| 11/06/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,2       | 33,33                  | 36,15  | 38,87   |
| 12/06/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,2       | 30,75                  | 33,78  | 36,03   |
| 13/06/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 33,33                  | 33,33  | 33,33   |
| 14/06/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,2       | 33,33                  | 33,33  | 33,33   |
| 15/06/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 33,33                  | 33,33  | 33,33   |
| 16/06/17 | -           | -                      | -     | -      | 0,0       | 33,33                  | 33,33  | 33,33   |
| 17/06/17 | 0,4         | 58,29                  | 61,55 | 64,67  | 0,0       | 21,64                  | 26,89  | 33,33   |
| 18/06/17 | 0,2         | 52,30                  | 60,93 | 64,67  | 2,6       | 21,64                  | 22,16  | 23,74   |
| 19/06/17 | 0,2         | 52,30                  | 57,26 | 58,29  | 0,5       | 19,66                  | 21,37  | 21,64   |
| 20/06/17 | 0,2         | 46,70                  | 53,87 | 58,29  | 0,2       | 17,79                  | 20,34  | 21,64   |
| 21/06/17 | 0,9         | 46,70                  | 51,41 | 52,30  | 0,0       | 16,03                  | 18,42  | 19,66   |
| 22/06/17 | 0,4         | 41,47                  | 47,79 | 52,30  | 0,0       | 14,38                  | 16,28  | 17,79   |
| 23/06/17 | 0,2         | 41,47                  | 43,96 | 46,70  | 0,0       | 12,84                  | 14,77  | 16,03   |
| 24/06/17 | 0,2         | 36,61                  | 41,00 | 41,47  | 0,0       | 11,40                  | 13,43  | 14,38   |
| 25/06/17 | 0,0         | 36,61                  | 38,08 | 41,47  | 0,0       | 10,06                  | 12,28  | 12,84   |
| 26/06/17 | 0,0         | 32,11                  | 34,81 | 36,61  | 0,2       | 10,06                  | 11,92  | 12,84   |
| 27/06/17 | 0,0         | 32,11                  | 32,48 | 36,61  | 0,0       | 8,82                   | 10,85  | 12,84   |
| 28/06/17 | 0,2         | 32,11                  | 32,11 | 32,11  | 0,0       | 8,82                   | 10,35  | 11,40   |
| 29/06/17 | 0,0         | 27,96                  | 31,79 | 32,11  | 0,0       | 8,82                   | 9,50   | 10,06   |
| 30/06/17 | 0,0         | 27,96                  | 31,88 | 36,61  | 6,2       | 8,82                   | 10,09  | 11,40   |
| 01/07/17 | 0,0         | 24,15                  | 27,99 | 32,11  | 0,2       | 8,82                   | 9,25   | 10,06   |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 1: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |                        |       |        | Bacia Sul |                        |       |        |
|----------|-------------|------------------------|-------|--------|-----------|------------------------|-------|--------|
|          | P<br>(mm)   | Q (L s <sup>-1</sup> ) |       |        | P<br>(mm) | Q (L s <sup>-1</sup> ) |       |        |
|          |             | Mínima                 | Média | Máxima |           | Mínima                 | Média | Máxima |
| 02/07/17 | 0,0         | 24,15                  | 26,85 | 27,96  | 0,2       | 7,68                   | 8,65  | 10,06  |
| 03/07/17 | 0,0         | 24,15                  | 25,10 | 27,96  | 0,0       | 7,68                   | 8,23  | 8,82   |
| 04/07/17 | 0,0         | 24,15                  | 24,15 | 24,15  | 0,0       | 7,68                   | 8,09  | 8,82   |
| 05/07/17 | 0,0         | 20,66                  | 23,76 | 24,15  | 0,0       | 6,63                   | 7,15  | 7,68   |
| 06/07/17 | 0,0         | 20,66                  | 21,70 | 24,15  | 0,0       | 5,67                   | 6,83  | 7,68   |
| 07/07/17 | 0,0         | 20,66                  | 20,66 | 20,66  | 0,0       | 5,67                   | 6,22  | 7,68   |
| 08/07/17 | 0,0         | 20,66                  | 20,66 | 20,66  | 0,0       | 4,80                   | 6,02  | 6,63   |
| 09/07/17 | 0,0         | 17,50                  | 20,67 | 27,96  | 7,4       | 4,80                   | 5,72  | 7,68   |
| 10/07/17 | 0,0         | 17,50                  | 19,61 | 20,66  | 0,0       | 4,80                   | 5,57  | 6,63   |
| 11/07/17 | 0,0         | 17,50                  | 17,77 | 20,66  | 0,2       | 4,80                   | 5,14  | 5,67   |
| 12/07/17 | 0,0         | 17,50                  | 17,50 | 17,50  | 0,0       | 4,01                   | 4,53  | 4,80   |
| 13/07/17 | 0,0         | 17,50                  | 17,50 | 17,50  | 0,2       | 3,31                   | 4,42  | 4,80   |
| 14/07/17 | 0,0         | 17,50                  | 17,50 | 17,50  | 0,0       | 3,31                   | 4,38  | 4,80   |
| 15/07/17 | 0,0         | 14,65                  | 17,48 | 17,50  | 0,3       | 3,31                   | 3,79  | 4,80   |
| 16/07/17 | 0,0         | 14,65                  | 17,79 | 20,66  | 16,8      | 4,01                   | 4,57  | 8,82   |
| 17/07/17 | 0,0         | 17,50                  | 18,84 | 24,15  | 7,4       | 4,80                   | 6,76  | 8,82   |
| 18/07/17 | 5,5         | 17,50                  | 17,50 | 17,50  | 0,2       | 4,01                   | 4,88  | 5,67   |
| 19/07/17 | 15,0        | 14,65                  | 16,61 | 17,50  | 0,0       | 3,31                   | 4,49  | 4,80   |
| 20/07/17 | 0,0         | 14,65                  | 15,46 | 17,50  | 0,2       | 1,26                   | 3,84  | 4,80   |
| 21/07/17 | 0,0         | 14,65                  | 14,65 | 14,65  | 0,0       | 3,31                   | 4,35  | 4,80   |
| 22/07/17 | 0,0         | 14,65                  | 14,65 | 14,65  | 0,0       | 3,31                   | 3,81  | 4,80   |
| 23/07/17 | 0,0         | 12,10                  | 13,76 | 14,65  | 0,2       | 2,69                   | 3,52  | 4,01   |
| 24/07/17 | 0,0         | 12,10                  | 12,81 | 14,65  | 0,0       | 2,14                   | 2,99  | 4,01   |
| 25/07/17 | 0,0         | 12,10                  | 12,12 | 14,65  | 0,0       | 2,14                   | 2,87  | 3,31   |
| 26/07/17 | 0,0         | 6,96                   | 7,17  | 8,81   | 0,0       | 3,74                   | 3,79  | 4,50   |
| 27/07/17 | 0,0         | 6,96                   | 6,96  | 6,96   | 0,0       | 3,07                   | 4,06  | 4,50   |
| 28/07/17 | 0,0         | 5,36                   | 6,25  | 6,96   | 0,0       | 3,07                   | 3,61  | 4,50   |
| 29/07/17 | 0,0         | 5,36                   | 5,46  | 6,96   | 0,0       | 3,07                   | 3,58  | 4,50   |
| 30/07/17 | 0,0         | 5,36                   | 5,36  | 5,36   | 0,0       | 2,48                   | 3,56  | 4,50   |
| 31/07/17 | 0,0         | 5,36                   | 5,45  | 6,96   | 0,0       | 2,48                   | 3,55  | 4,50   |
| 01/08/17 | 0,0         | 5,36                   | 5,37  | 6,96   | 0,0       | 2,48                   | 3,37  | 4,50   |
| 02/08/17 | 13,4        | 5,36                   | 6,75  | 25,91  | 26,4      | 3,07                   | 4,10  | 13,79  |
| 03/08/17 | 25,9        | 6,96                   | 10,45 | 25,91  | 13,0      | 5,33                   | 10,08 | 17,12  |
| 04/08/17 | 0,0         | 5,36                   | 6,17  | 6,96   | 0,0       | 3,74                   | 4,74  | 5,33   |
| 05/08/17 | 0,2         | 5,36                   | 5,43  | 6,96   | 0,2       | 3,07                   | 4,03  | 5,33   |
| 06/08/17 | 0,0         | 5,36                   | 5,36  | 5,36   | 0,0       | 3,07                   | 3,67  | 4,50   |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 1: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |                        |       |        | Bacia Sul |                        |       |        |
|----------|-------------|------------------------|-------|--------|-----------|------------------------|-------|--------|
|          | P<br>(mm)   | Q (L s <sup>-1</sup> ) |       |        | P<br>(mm) | Q (L s <sup>-1</sup> ) |       |        |
|          |             | Mínima                 | Média | Máxima |           | Mínima                 | Média | Máxima |
| 07/08/17 | 0,0         | 5,36                   | 5,36  | 5,36   | 0,0       | 2,48                   | 3,36  | 4,50   |
| 08/08/17 | 7,9         | 5,36                   | 5,59  | 8,81   | 7,9       | 0,81                   | 4,10  | 8,38   |
| 09/08/17 | 0,0         | 5,36                   | 5,36  | 5,36   | 0,0       | 0,36                   | 4,19  | 7,27   |
| 10/08/17 | 3,1         | 4,01                   | 5,33  | 5,36   | 1,2       | 0,21                   | 3,21  | 6,26   |
| 11/08/17 | 0,0         | 4,01                   | 4,94  | 5,36   | 0,0       | 0,04                   | 1,76  | 4,50   |
| 12/08/17 | 40,6        | 4,01                   | 44,40 | 915,82 | 66,7      | 0,00                   | 15,01 | 181,88 |
| 13/08/17 | 68,4        | 29,86                  | 76,08 | 505,84 | 42,2      | 27,40                  | 47,34 | 181,88 |
| 14/08/17 | 0,0         | 16,00                  | 20,61 | 29,86  | 0,0       | 3,74                   | 14,30 | 35,01  |
| 15/08/17 | 0,2         | 13,32                  | 14,02 | 16,00  | 0,2       | 4,50                   | 4,50  | 4,50   |
| 16/08/17 | 0,2         | 10,92                  | 11,25 | 13,32  | 2,0       | 4,50                   | 4,50  | 4,50   |
| 17/08/17 | 0,0         | 8,81                   | 9,55  | 10,92  | 1,9       | 4,50                   | 4,50  | 4,50   |
| 18/08/17 | 0,2         | 6,96                   | 8,58  | 8,81   | 0,2       | 4,50                   | 4,50  | 4,50   |
| 19/08/17 | 2,6         | 6,96                   | 16,48 | 344,83 | 22,6      | 4,50                   | 6,31  | 50,22  |
| 20/08/17 | 21,8        | 8,81                   | 10,95 | 29,86  | 1,9       | 4,50                   | 4,52  | 6,07   |
| 21/08/17 | 0,0         | 6,96                   | 8,79  | 8,81   | 0,0       | 4,50                   | 4,50  | 4,50   |
| 22/08/17 | 0,0         | 6,96                   | 7,59  | 8,81   | 0,0       | 4,50                   | 4,50  | 4,50   |
| 23/08/17 | 0,0         | 5,36                   | 6,22  | 6,96   | 0,0       | 4,50                   | 4,50  | 4,50   |
| 24/08/17 | 0,0         | 5,36                   | 5,36  | 5,36   | 0,0       | 4,50                   | 4,50  | 4,50   |
| 25/08/17 | 0,0         | 4,01                   | 5,35  | 5,36   | 0,0       | 4,50                   | 4,50  | 4,50   |
| 26/08/17 | 0,0         | 4,01                   | 5,13  | 5,36   | 0,0       | 4,50                   | 4,50  | 4,50   |
| 27/08/17 | 22,6        | 5,36                   | 6,47  | 13,32  | 22,6      | 4,50                   | 4,50  | 4,50   |
| 28/08/17 | 0,0         | 5,36                   | 5,36  | 5,36   | 0,0       | 4,50                   | 4,50  | 4,50   |
| 29/08/17 | 0,0         | 4,01                   | 4,65  | 5,36   | 0,0       | 4,50                   | 4,50  | 4,50   |
| 30/08/17 | 0,0         | 4,01                   | 4,02  | 5,36   | 0,0       | 4,50                   | 4,50  | 4,50   |
| 31/08/17 | 0,0         | 4,01                   | 4,01  | 4,01   | 0,0       | 4,50                   | 4,50  | 4,50   |
| 01/09/17 | 0,0         | 4,01                   | 4,46  | 5,36   | -         | -                      | -     | -      |
| 02/09/17 | 0,0         | 4,01                   | 4,01  | 4,01   | -         | -                      | -     | -      |
| 03/09/17 | 0,0         | 4,01                   | 4,01  | 4,01   | -         | -                      | -     | -      |
| 04/09/17 | 0,0         | 2,89                   | 3,95  | 4,01   | -         | -                      | -     | -      |
| 05/09/17 | 3,4         | 2,89                   | 3,99  | 4,01   | -         | -                      | -     | -      |
| 06/09/17 | 0,0         | 2,89                   | 3,60  | 4,01   | -         | -                      | -     | -      |
| 07/09/17 | 0,0         | 2,89                   | 3,17  | 4,01   | -         | -                      | -     | -      |
| 08/09/17 | 0,0         | 2,89                   | 2,89  | 2,89   | -         | -                      | -     | -      |
| 09/09/17 | 0,0         | 2,89                   | 2,89  | 2,89   | -         | -                      | -     | -      |
| 10/09/17 | 0,0         | 1,98                   | 2,80  | 2,89   | -         | -                      | -     | -      |
| 11/09/17 | 0,0         | 2,89                   | 2,89  | 2,89   | -         | -                      | -     | -      |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 1: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |                        |        |         | Bacia Sul |                        |       |        |
|----------|-------------|------------------------|--------|---------|-----------|------------------------|-------|--------|
|          | P<br>(mm)   | Q (L s <sup>-1</sup> ) |        |         | P<br>(mm) | Q (L s <sup>-1</sup> ) |       |        |
|          |             | Mínima                 | Média  | Máxima  |           | Mínima                 | Média | Máxima |
| 12/09/17 | 1,0         | 2,89                   | 2,89   | 2,89    | -         | -                      | -     | -      |
| 13/09/17 | 0,0         | 2,89                   | 2,89   | 2,89    | -         | -                      | -     | -      |
| 14/09/17 | 27,8        | 2,89                   | 4,02   | 18,99   | -         | -                      | -     | -      |
| 15/09/17 | 18,0        | 2,89                   | 4,24   | 6,96    | -         | -                      | -     | -      |
| 16/09/17 | 40,6        | 4,01                   | 19,05  | 97,77   | -         | -                      | -     | -      |
| 17/09/17 | 0,2         | 6,96                   | 7,99   | 10,92   | -         | -                      | -     | -      |
| 18/09/17 | 0,0         | 5,36                   | 5,75   | 6,96    | -         | -                      | -     | -      |
| 19/09/17 | 0,0         | 4,01                   | 4,39   | 5,36    | -         | -                      | -     | -      |
| 20/09/17 | 0,2         | 4,01                   | 4,01   | 4,01    | -         | -                      | -     | -      |
| 21/09/17 | 0,0         | 2,89                   | 3,43   | 4,01    | -         | -                      | -     | -      |
| 22/09/17 | 0,2         | 2,89                   | 2,98   | 4,01    | -         | -                      | -     | -      |
| 23/09/17 | 6,7         | 2,89                   | 3,24   | 4,01    | -         | -                      | -     | -      |
| 24/09/17 | 0,0         | 2,89                   | 2,89   | 2,89    | -         | -                      | -     | -      |
| 25/09/17 | 0,0         | 2,89                   | 2,89   | 2,89    | -         | -                      | -     | -      |
| 26/09/17 | 0,0         | 1,98                   | 2,75   | 2,89    | -         | -                      | -     | -      |
| 27/09/17 | 8,9         | 2,89                   | 4,13   | 5,36    | -         | -                      | -     | -      |
| 28/09/17 | 0,2         | 2,89                   | 3,47   | 2,89    | -         | -                      | -     | -      |
| 29/09/17 | 28,3        | 2,89                   | 4,24   | 10,92   | -         | -                      | -     | -      |
| 30/09/17 | 0,0         | 2,89                   | 3,03   | 4,01    | -         | -                      | -     | -      |
| 01/10/17 | 35,8        | 2,89                   | 8,27   | 49,17   | -         | -                      | -     | -      |
| 02/10/17 | 0,0         | 5,36                   | 6,90   | 10,92   | -         | -                      | -     | -      |
| 03/10/17 | 0,0         | 4,01                   | 4,85   | 5,36    | -         | -                      | -     | -      |
| 04/10/17 | 0,0         | 4,01                   | 4,01   | 4,01    | -         | -                      | -     | -      |
| 05/10/17 | 0,0         | 2,89                   | 3,39   | 4,01    | -         | -                      | -     | -      |
| 06/10/17 | 15,1        | 2,89                   | 3,88   | 13,32   | -         | -                      | -     | -      |
| 07/10/17 | 0,0         | 2,89                   | 2,92   | 4,01    | -         | -                      | -     | -      |
| 08/10/17 | 2,4         | 1,98                   | 2,90   | 4,01    | -         | -                      | -     | -      |
| 09/10/17 | 4,8         | 2,89                   | 2,99   | 4,01    | -         | -                      | -     | -      |
| 10/10/17 | 11,5        | 2,89                   | 3,40   | 10,92   | -         | -                      | -     | -      |
| 11/10/17 | 42,5        | 2,89                   | 37,68  | 344,83  | -         | -                      | -     | -      |
| 12/10/17 | 80,4        | 13,32                  | 200,21 | 5050,97 | -         | -                      | -     | -      |
| 13/10/17 | 14,6        | 25,91                  | 37,29  | 54,91   | -         | -                      | -     | -      |
| 14/10/17 | 1,9         | 18,99                  | 24,06  | 29,86   | -         | -                      | -     | -      |
| 15/10/17 | 0,0         | 16,00                  | 17,30  | 22,29   | -         | -                      | -     | -      |
| 16/10/17 | 0,0         | 13,32                  | 14,67  | 16,00   | -         | -                      | -     | -      |
| 17/10/17 | 0,0         | 10,92                  | 12,87  | 13,32   | -         | -                      | -     | -      |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 1: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |                        |       | Bacia Sul |                        |        |       |        |
|----------|-------------|------------------------|-------|-----------|------------------------|--------|-------|--------|
|          | P<br>(mm)   | Q (L s <sup>-1</sup> ) |       | P<br>(mm) | Q (L s <sup>-1</sup> ) |        |       |        |
|          |             | Mínima                 | Média |           | Máxima                 | Mínima | Média | Máxima |
| 18/10/17 | 1,2         | 10,92                  | 12,14 | 13,32     | -                      | -      | -     | -      |
| 19/10/17 | 48,5        | 10,92                  | 29,71 | 74,50     | -                      | -      | -     | -      |
| 20/10/17 | 0,0         | 13,32                  | 17,81 | 22,29     | -                      | -      | -     | -      |
| 21/10/17 | 8,6         | 13,32                  | 15,33 | 18,99     | -                      | -      | -     | -      |
| 22/10/17 | 0,0         | 13,32                  | 13,61 | 16,00     | -                      | -      | -     | -      |
| 23/10/17 | 0,0         | 13,32                  | 15,15 | 16,00     | -                      | -      | -     | -      |
| 24/10/17 | 0,0         | 10,92                  | 13,76 | 16,00     | -                      | -      | -     | -      |
| 25/10/17 | 21,6        | 13,32                  | 17,14 | 43,80     | -                      | -      | -     | -      |
| 26/10/17 | 0,0         | 10,92                  | 12,49 | 13,32     | -                      | -      | -     | -      |
| 27/10/17 | 1,7         | 10,92                  | 11,74 | 13,32     | -                      | -      | -     | -      |
| 28/10/17 | 0,0         | 8,81                   | 10,23 | 10,92     | -                      | -      | -     | -      |
| 29/10/17 | 0,5         | 8,81                   | 9,41  | 10,92     | -                      | -      | -     | -      |
| 30/10/17 | 0,2         | 8,81                   | 8,81  | 8,81      | -                      | -      | -     | -      |
| 31/10/17 | 0,0         | 6,96                   | 8,78  | 8,81      | -                      | -      | -     | -      |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

Anexo 2: Precipitação (P) diária e vazão (Q) diária nas bacias hidrográficas Norte e Sul.

| Período  | Bacia Norte |   |       |        | Bacia Sul |   |       |        |
|----------|-------------|---|-------|--------|-----------|---|-------|--------|
|          | P<br>(mm)   | Q (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ) |       |        | P<br>(mm) | Q (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ) |       |        |
|          |             | Mínima                                  | Média | Máxima |           | Mínima                                  | Média | Máxima |
| 01/06/16 | 0,2         | 6,43                                    | 7,12  | 8,14   | 0,0       | 9,25                                    | 9,37  | 11,80  |
| 02/06/16 | 0,2         | 6,43                                    | 6,51  | 8,14   | 0,0       | 9,25                                    | 9,25  | 9,25   |
| 03/06/16 | 0,0         | 6,43                                    | 6,46  | 8,14   | 0,0       | 9,25                                    | 9,25  | 9,25   |
| 04/06/16 | 0,2         | 6,43                                    | 6,44  | 8,14   | 0,0       | 9,25                                    | 9,25  | 9,25   |
| 05/06/16 | 0,2         | 6,43                                    | 6,43  | 6,43   | 0,0       | 9,25                                    | 9,25  | 9,25   |
| 06/06/16 | 0,0         | 6,43                                    | 6,43  | 6,43   | 0,0       | 9,25                                    | 9,32  | 11,80  |
| 07/06/16 | 0,0         | 4,96                                    | 6,40  | 6,43   | 0,2       | 9,25                                    | 9,25  | 9,25   |
| 08/06/16 | 0,2         | 4,96                                    | 6,07  | 6,43   | 0,0       | 7,06                                    | 8,36  | 9,25   |
| 09/06/16 | 0,2         | 4,96                                    | 5,85  | 6,43   | 0,0       | 7,06                                    | 8,36  | 9,25   |
| 10/06/16 | 0,0         | 4,96                                    | 5,38  | 6,43   | 0,0       | 7,06                                    | 8,09  | 9,25   |
| 11/06/16 | 0,2         | 4,96                                    | 5,07  | 6,43   | 0,0       | 7,06                                    | 7,20  | 9,25   |
| 12/06/16 | 0,2         | 4,96                                    | 4,96  | 4,96   | 0,0       | 7,06                                    | 7,06  | 7,06   |
| 13/06/16 | 0,0         | 4,96                                    | 4,96  | 4,96   | 0,2       | 7,06                                    | 7,06  | 7,06   |
| 14/06/16 | 0,0         | 4,96                                    | 4,96  | 4,96   | 0,0       | 5,22                                    | 6,63  | 7,06   |
| 15/06/16 | 0,0         | 4,96                                    | 4,96  | 4,96   | 0,0       | 7,06                                    | 7,49  | 9,25   |
| 16/06/16 | 7,3         | 4,96                                    | 5,02  | 6,43   | 7,2       | 5,22                                    | 7,32  | 11,80  |
| 17/06/16 | 0,4         | 3,71                                    | 4,86  | 6,43   | 0,5       | 7,06                                    | 7,90  | 11,80  |
| 18/06/16 | 0,2         | 3,71                                    | 4,78  | 4,96   | 0,2       | 7,06                                    | 8,10  | 9,25   |
| 19/06/16 | 0,2         | 3,71                                    | 4,51  | 4,96   | 0,0       | 5,22                                    | 6,94  | 7,06   |
| 20/06/16 | 0,2         | 3,71                                    | 4,14  | 4,96   | 0,2       | 5,22                                    | 6,21  | 7,06   |
| 21/06/16 | 0,9         | 3,71                                    | 4,21  | 4,96   | 0,7       | 5,22                                    | 5,47  | 7,06   |
| 22/06/16 | 0,4         | 3,71                                    | 4,01  | 4,96   | 0,5       | 3,70                                    | 5,54  | 7,06   |
| 23/06/16 | 0,2         | 3,71                                    | 3,72  | 4,96   | 0,2       | 3,70                                    | 4,91  | 5,22   |
| 24/06/16 | 0,2         | 3,71                                    | 3,88  | 4,96   | 0,0       | 5,22                                    | 5,22  | 5,22   |
| 25/06/16 | 0,0         | 3,71                                    | 3,71  | 3,71   | 0,0       | 3,70                                    | 4,79  | 5,22   |
| 26/06/16 | 0,0         | 3,71                                    | 3,71  | 3,71   | 0,0       | 1,54                                    | 2,74  | 5,22   |
| 27/06/16 | 0,0         | 2,67                                    | 3,69  | 3,71   | 0,0       | 1,54                                    | 2,17  | 5,22   |
| 28/06/16 | 0,2         | 2,67                                    | 3,68  | 3,71   | 0,2       | 3,70                                    | 3,81  | 5,22   |
| 29/06/16 | 0,0         | 2,67                                    | 3,55  | 3,71   | 0,2       | 3,70                                    | 4,99  | 7,06   |
| 30/06/16 | 0,0         | 2,67                                    | 3,54  | 3,71   | 0,0       | 3,70                                    | 4,15  | 5,22   |
| 01/07/16 | 0,2         | 2,67                                    | 3,27  | 3,71   | 0,0       | 3,70                                    | 3,70  | 3,70   |
| 02/07/16 | 0,0         | 2,67                                    | 3,33  | 3,71   | 0,0       | 3,70                                    | 4,01  | 5,22   |
| 03/07/16 | 0,0         | 2,67                                    | 3,20  | 3,71   | 0,0       | 3,70                                    | 3,70  | 3,70   |
| 04/07/16 | 0,0         | 2,67                                    | 3,06  | 3,71   | 0,0       | 1,54                                    | 1,96  | 3,70   |
| 05/07/16 | 8,8         | 2,67                                    | 2,91  | 8,14   | 9,8       | 2,48                                    | 4,61  | 11,80  |
| 06/07/16 | 19,6        | 3,71                                    | 5,85  | 23,94  | 19,7      | 7,06                                    | 13,03 | 47,27  |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 2: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |   |        |          | Bacia Sul |   |        |        |
|----------|-------------|---|--------|----------|-----------|---|--------|--------|
|          | P<br>(mm)   | Q (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ) |        |          | P<br>(mm) | Q (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ) |        |        |
|          |             | Mínima                                  | Média  | Máxima   |           | Mínima                                  | Média  | Máxima |
| 07/07/16 | 0,2         | 3,71                                    | 3,71   | 3,71     | 0,0       | 5,22                                    | 5,70   | 7,06   |
| 08/07/16 | 0,2         | 2,67                                    | 3,68   | 3,71     | 0,2       | 5,22                                    | 5,61   | 7,06   |
| 09/07/16 | 22,2        | 3,71                                    | 7,41   | 27,59    | 25,0      | 2,48                                    | 10,85  | 25,98  |
| 10/07/16 | 3,7         | 3,71                                    | 5,10   | 6,43     | 3,6       | 7,06                                    | 8,71   | 11,80  |
| 11/07/16 | 14,3        | 3,71                                    | 7,37   | 68,84    | 13,9      | 7,06                                    | 9,84   | 25,98  |
| 12/07/16 | 0,0         | 4,96                                    | 5,59   | 6,43     | 0,0       | 7,06                                    | 9,24   | 14,73  |
| 13/07/16 | 0,7         | 4,96                                    | 4,96   | 4,96     | 0,5       | 5,22                                    | 6,42   | 7,06   |
| 14/07/16 | 73,3        | 3,71                                    | 143,45 | 5.304,81 | 77,0      | 5,22                                    | 103,98 | 854,14 |
| 15/07/16 | 0,0         | 12,31                                   | 16,67  | 23,94    | 0,2       | 21,80                                   | 35,82  | 60,88  |
| 16/07/16 | 0,0         | 10,09                                   | 12,89  | 17,55    | 0,0       | 14,73                                   | 19,49  | 25,98  |
| 17/07/16 | 0,0         | 6,43                                    | 8,37   | 10,09    | 0,0       | 11,80                                   | 13,51  | 18,06  |
| 18/07/16 | 0,2         | 6,43                                    | 6,66   | 8,14     | 0,0       | 9,25                                    | 11,77  | 11,80  |
| 19/07/16 | 0,0         | 6,43                                    | 6,43   | 6,43     | 0,0       | 9,25                                    | 10,15  | 11,80  |
| 20/07/16 | 0,0         | 4,96                                    | 5,28   | 6,43     | 0,2       | 5,22                                    | 9,31   | 11,80  |
| 21/07/16 | 0,2         | 4,96                                    | 4,96   | 4,96     | 0,0       | 1,54                                    | 7,36   | 9,25   |
| 22/07/16 | 0,2         | 3,71                                    | 4,77   | 4,96     | 0,2       | 5,22                                    | 6,10   | 7,06   |
| 23/07/16 | 0,2         | 3,71                                    | 4,16   | 4,96     | 0,2       | 5,22                                    | 5,22   | 5,22   |
| 24/07/16 | 0,0         | 3,71                                    | 3,73   | 4,96     | 0,0       | 3,70                                    | 4,60   | 5,22   |
| 25/07/16 | 0,2         | 3,71                                    | 3,71   | 3,71     | 0,0       | 2,48                                    | 3,65   | 3,70   |
| 26/07/16 | 27,7        | 3,71                                    | 10,33  | 56,41    | 29,3      | 3,70                                    | 13,21  | 41,23  |
| 27/07/16 | 0,2         | 4,96                                    | 5,82   | 6,43     | 0,2       | 7,06                                    | 8,26   | 11,80  |
| 28/07/16 | 0,2         | 4,96                                    | 4,96   | 4,96     | 0,2       | 5,22                                    | 5,98   | 7,06   |
| 29/07/16 | 0,2         | 3,71                                    | 4,63   | 4,96     | 0,0       | 3,70                                    | 5,22   | 7,06   |
| 30/07/16 | 0,0         | 3,71                                    | 3,82   | 4,96     | 0,0       | 3,70                                    | 4,39   | 5,22   |
| 31/07/16 | 0,0         | 3,71                                    | 3,71   | 3,71     | 0,0       | 2,48                                    | 3,31   | 3,70   |
| 01/08/16 | 0,2         | 3,71                                    | 3,71   | 3,71     | 0,2       | 2,48                                    | 3,25   | 3,70   |
| 02/08/16 | 0,0         | 3,71                                    | 3,71   | 3,71     | 0,2       | 2,48                                    | 3,25   | 3,70   |
| 03/08/16 | 0,9         | 3,71                                    | 3,71   | 3,71     | 0,7       | 2,48                                    | 3,05   | 3,70   |
| 04/08/16 | 0,0         | 2,67                                    | 3,68   | 3,71     | 0,7       | 1,54                                    | 2,61   | 3,70   |
| 05/08/16 | 0,2         | 2,67                                    | 3,62   | 3,71     | 0,0       | 1,54                                    | 2,15   | 2,48   |
| 06/08/16 | 8,1         | 2,67                                    | 3,66   | 6,43     | 7,7       | 2,48                                    | 2,55   | 5,22   |
| 07/08/16 | 5,7         | 2,67                                    | 4,12   | 10,09    | 6,5       | 2,48                                    | 4,11   | 9,25   |
| 08/08/16 | 0,0         | 2,67                                    | 3,55   | 3,71     | 0,0       | 1,54                                    | 2,55   | 3,70   |
| 09/08/16 | 0,2         | 2,67                                    | 3,33   | 3,71     | 0,0       | 1,54                                    | 2,06   | 2,48   |
| 10/08/16 | 0,2         | 2,67                                    | 3,14   | 3,71     | 0,0       | 0,40                                    | 1,51   | 2,48   |
| 11/08/16 | 0,0         | 2,67                                    | 2,93   | 3,71     | 0,2       | 0,86                                    | 2,85   | 5,22   |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 2: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |   |       |        | Bacia Sul |   |       |        |
|----------|-------------|---|-------|--------|-----------|---|-------|--------|
|          | P<br>(mm)   | Q (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ) |       |        | P<br>(mm) | Q (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ) |       |        |
|          |             | Mínima                                  | Média | Máxima |           | Mínima                                  | Média | Máxima |
| 12/08/16 | 0,2         | 2,67                                    | 2,81  | 3,71   | 0,0       | 1,54                                    | 2,04  | 2,48   |
| 13/08/16 | 0,2         | 2,67                                    | 2,70  | 3,71   | 0,0       | 0,86                                    | 1,96  | 2,48   |
| 14/08/16 | 0,2         | 2,67                                    | 2,70  | 3,71   | 0,2       | 0,86                                    | 1,65  | 2,48   |
| 15/08/16 | 10,6        | 2,67                                    | 3,27  | 6,43   | 11,0      | 1,54                                    | 2,86  | 3,70   |
| 16/08/16 | 0,2         | 2,67                                    | 2,73  | 3,71   | 0,0       | 0,40                                    | 1,87  | 2,48   |
| 17/08/16 | 16,3        | 2,67                                    | 6,68  | 98,30  | 16,1      | 1,54                                    | 5,72  | 41,23  |
| 18/08/16 | 0,2         | 3,71                                    | 3,71  | 3,71   | 0,2       | 0,40                                    | 2,97  | 3,70   |
| 19/08/16 | 3,7         | 3,71                                    | 3,71  | 3,71   | 3,4       | 1,54                                    | 2,22  | 2,48   |
| 20/08/16 | 11,9        | 3,71                                    | 5,76  | 23,94  | 12,5      | 2,48                                    | 4,80  | 9,25   |
| 21/08/16 | 0,2         | 3,71                                    | 3,91  | 4,96   | 0,2       | 2,48                                    | 3,51  | 5,22   |
| 22/08/16 | 0,2         | 3,71                                    | 3,71  | 3,71   | 0,2       | 1,54                                    | 2,47  | 3,70   |
| 23/08/16 | 0,0         | 2,67                                    | 3,60  | 3,71   | 0,0       | 0,86                                    | 1,95  | 2,48   |
| 24/08/16 | 0,2         | 2,67                                    | 3,24  | 3,71   | 0,2       | 0,40                                    | 1,22  | 2,48   |
| 25/08/16 | 0,0         | 2,67                                    | 2,80  | 3,71   | 0,0       | 0,40                                    | 0,82  | 1,54   |
| 26/08/16 | 0,0         | 2,67                                    | 2,67  | 2,67   | 0,0       | 0,13                                    | 0,76  | 1,54   |
| 27/08/16 | 0,0         | 2,67                                    | 2,67  | 2,67   | 0,0       | 0,02                                    | 0,37  | 0,86   |
| 28/08/16 | 17,8        | 2,67                                    | 3,31  | 10,09  | 19,2      | 0,02                                    | 1,33  | 7,06   |
| 29/08/16 | 28,4        | 4,96                                    | 9,27  | 14,79  | 31,2      | 5,22                                    | 7,40  | 9,25   |
| 30/08/16 | 10,6        | 8,14                                    | 11,21 | 23,94  | 12,0      | 7,06                                    | 9,58  | 14,73  |
| 31/08/16 | 2,2         | 8,14                                    | 9,63  | 10,09  | 2,2       | 0,02                                    | 8,10  | 11,80  |
| 01/09/16 | 0,2         | 6,43                                    | 7,35  | 8,14   | 0,2       | 3,70                                    | 5,18  | 7,06   |
| 02/09/16 | 0,0         | 4,96                                    | 5,64  | 6,43   | 0,0       | 2,48                                    | 4,27  | 5,22   |
| 03/09/16 | 16,9        | 4,96                                    | 6,56  | 14,79  | 18,5      | 3,70                                    | 7,44  | 11,80  |
| 04/09/16 | 1,1         | 4,96                                    | 6,42  | 6,43   | 1,4       | 7,06                                    | 7,83  | 9,25   |
| 05/09/16 | 27,3        | 6,43                                    | 20,99 | 140,74 | 29,3      | 5,22                                    | 19,74 | 85,29  |
| 06/09/16 | 1,3         | 12,31                                   | 16,65 | 23,94  | 1,2       | 14,73                                   | 22,23 | 41,23  |
| 07/09/16 | 0,0         | 10,09                                   | 11,44 | 14,79  | 0,0       | 9,25                                    | 11,77 | 14,73  |
| 08/09/16 | 0,0         | 8,14                                    | 8,99  | 10,09  | 0,0       | 7,06                                    | 8,22  | 9,25   |
| 09/09/16 | 0,0         | 6,43                                    | 7,19  | 8,14   | 0,0       | 5,22                                    | 7,19  | 9,25   |
| 10/09/16 | 0,2         | 4,96                                    | 6,02  | 6,43   | 0,2       | 3,70                                    | 5,57  | 7,06   |
| 11/09/16 | 0,0         | 4,96                                    | 5,23  | 6,43   | 0,0       | 2,48                                    | 4,68  | 7,06   |
| 12/09/16 | 0,0         | 4,96                                    | 4,96  | 4,96   | 0,0       | 2,48                                    | 3,85  | 5,22   |
| 13/09/16 | 16,3        | 4,96                                    | 6,17  | 17,55  | 18,0      | 3,70                                    | 7,20  | 11,80  |
| 14/09/16 | 0,0         | 4,96                                    | 4,96  | 4,96   | 0,0       | 3,70                                    | 4,85  | 7,06   |
| 15/09/16 | 0,0         | 4,96                                    | 4,96  | 4,96   | 0,2       | 3,70                                    | 4,46  | 5,22   |
| 16/09/16 | 0,0         | 3,71                                    | 4,55  | 4,96   | 0,0       | 2,48                                    | 3,85  | 5,22   |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 2: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |   |       |        | Bacia Sul |   |        |        |
|----------|-------------|---|-------|--------|-----------|---|--------|--------|
|          | P<br>(mm)   | Q (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ) |       |        | P<br>(mm) | Q (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ) |        |        |
|          |             | Mínima                                  | Média | Máxima |           | Mínima                                  | Média  | Máxima |
| 17/09/16 | 0,2         | 3,71                                    | 3,98  | 4,96   | 0,2       | 2,48                                    | 3,44   | 5,22   |
| 18/09/16 | 2,2         | 3,71                                    | 3,71  | 4,96   | 2,9       | 2,48                                    | 3,27   | 5,22   |
| 19/09/16 | 0,0         | 3,71                                    | 3,71  | 3,71   | 0,0       | 0,86                                    | 2,34   | 3,70   |
| 20/09/16 | 0,0         | 2,67                                    | 3,69  | 3,71   | 0,0       | 1,54                                    | 2,22   | 2,48   |
| 21/09/16 | 0,0         | 2,67                                    | 3,37  | 3,71   | 0,0       | 0,86                                    | 1,72   | 2,48   |
| 22/09/16 | 0,0         | 2,67                                    | 3,12  | 3,71   | 0,0       | 0,40                                    | 0,96   | 1,54   |
| 23/09/16 | 0,0         | 2,67                                    | 2,93  | 3,71   | 0,0       | 0,86                                    | 3,34   | 11,80  |
| 24/09/16 | 0,4         | 2,67                                    | 2,89  | 3,71   | 0,5       | 0,86                                    | 1,95   | 2,48   |
| 25/09/16 | 0,0         | 2,67                                    | 2,74  | 3,71   | 0,0       | 1,54                                    | 1,85   | 2,48   |
| 26/09/16 | 0,2         | 2,67                                    | 2,67  | 2,67   | 0,2       | 0,40                                    | 1,65   | 2,48   |
| 27/09/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 0,40                                    | 1,42   | 2,48   |
| 28/09/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 0,40                                    | 0,98   | 2,48   |
| 29/09/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 0,86                                    | 1,75   | 3,70   |
| 30/09/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 0,13                                    | 0,83   | 1,54   |
| 01/10/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 0,02                                    | 0,43   | 0,86   |
| 02/10/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 0,13                                    | 1,27   | 3,70   |
| 03/10/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 0,13                                    | 0,80   | 2,48   |
| 04/10/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 0,02                                    | 0,31   | 0,40   |
| 05/10/16 | -           | -                                       | -     | -      | 27,1      | 0,13                                    | 2,27   | 14,73  |
| 06/10/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,7       | 0,86                                    | 2,10   | 5,22   |
| 07/10/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 0,13                                    | 0,84   | 1,54   |
| 08/10/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 0,13                                    | 0,53   | 0,86   |
| 09/10/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 0,02                                    | 0,60   | 1,54   |
| 10/10/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 0,02                                    | 0,41   | 0,86   |
| 11/10/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 0,02                                    | 0,17   | 0,40   |
| 12/10/16 | -           | -                                       | -     | -      | 7,7       | 0,13                                    | 0,23   | 0,86   |
| 13/10/16 | -           | -                                       | -     | -      | 14,9      | 0,40                                    | 1,20   | 7,06   |
| 14/10/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,2       | 0,13                                    | 2,36   | 14,73  |
| 15/10/16 | -           | -                                       | -     | -      | 13,4      | 0,86                                    | 2,56   | 7,06   |
| 16/10/16 | -           | -                                       | -     | -      | 19,2      | 0,40                                    | 7,05   | 47,27  |
| 17/10/16 | -           | -                                       | -     | -      | 54,2      | 5,22                                    | 43,51  | 487,89 |
| 18/10/16 | -           | 74,50                                   | 92,76 | 129,29 | 81,4      | 25,98                                   | 134,03 | 414,89 |
| 19/10/16 | -           | 43,80                                   | 89,20 | 455,85 | 35,5      | 60,88                                   | 103,91 | 308,62 |
| 20/10/16 | -           | 22,29                                   | 33,37 | 49,17  | 0,7       | 14,73                                   | 45,13  | 68,47  |
| 21/10/16 | -           | 16,00                                   | 21,51 | 25,91  | 0,0       | 25,98                                   | 35,44  | 41,23  |
| 22/10/16 | -           | 13,32                                   | 15,81 | 18,99  | 0,0       | 21,80                                   | 26,35  | 30,60  |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 2: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |   |       |        | Bacia Sul |   |       |        |
|----------|-------------|---|-------|--------|-----------|---|-------|--------|
|          | P<br>(mm)   | Q (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ) |       |        | P<br>(mm) | Q (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ) |       |        |
|          |             | Mínima                                  | Média | Máxima |           | Mínima                                  | Média | Máxima |
| 23/10/16 | -           | 10,92                                   | 12,47 | 16,00  | 5,0       | 18,06                                   | 22,29 | 25,98  |
| 24/10/16 | -           | 8,81                                    | 12,14 | 29,86  | 18,2      | 14,73                                   | 22,37 | 35,68  |
| 25/10/16 | -           | 8,81                                    | 11,27 | 13,32  | 0,5       | 18,06                                   | 21,91 | 35,68  |
| 26/10/16 | -           | -                                       | -     | -      | 7,4       | 14,73                                   | 17,19 | 18,06  |
| 27/10/16 | -           | -                                       | -     | -      | 9,8       | 11,80                                   | 15,35 | 18,06  |
| 28/10/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 9,25                                    | 12,65 | 14,73  |
| 29/10/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 9,25                                    | 11,33 | 14,73  |
| 30/10/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 11,80                                   | 13,56 | 18,06  |
| 31/10/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 9,25                                    | 13,39 | 18,06  |
| 01/11/16 | -           | -                                       | -     | -      | 27,8      | 11,80                                   | 25,02 | 60,88  |
| 02/11/16 | -           | -                                       | -     | -      | 34,1      | 35,68                                   | 56,23 | 85,29  |
| 03/11/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 18,06                                   | 28,92 | 41,23  |
| 04/11/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,2       | 9,25                                    | 14,57 | 21,80  |
| 05/11/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 7,06                                    | 9,20  | 11,80  |
| 06/11/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 5,22                                    | 6,90  | 9,25   |
| 07/11/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 3,70                                    | 5,76  | 9,25   |
| 08/11/16 | -           | -                                       | -     | -      | 7,7       | 5,22                                    | 7,07  | 11,80  |
| 09/11/16 | -           | -                                       | -     | -      | 26,4      | 7,06                                    | 14,96 | 94,54  |
| 10/11/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,2       | 3,70                                    | 6,10  | 21,80  |
| 11/11/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 3,70                                    | 3,89  | 7,06   |
| 12/11/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 1,54                                    | 3,96  | 9,25   |
| 13/11/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 1,54                                    | 3,73  | 5,22   |
| 14/11/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 3,70                                    | 4,57  | 5,22   |
| 15/11/16 | -           | -                                       | -     | -      | 13,4      | 3,70                                    | 7,82  | 14,73  |
| 16/11/16 | -           | -                                       | -     | -      | 1,4       | 7,06                                    | 12,35 | 18,06  |
| 17/11/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,5       | 7,06                                    | 9,33  | 11,80  |
| 18/11/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 9,25                                    | 11,74 | 18,06  |
| 19/11/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 7,06                                    | 11,25 | 14,73  |
| 20/11/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 7,06                                    | 8,88  | 11,80  |
| 21/11/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 7,06                                    | 8,88  | 11,80  |
| 22/11/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 7,06                                    | 8,92  | 9,25   |
| 23/11/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 7,06                                    | 8,69  | 11,80  |
| 24/11/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 5,22                                    | 8,04  | 14,73  |
| 25/11/16 | -           | -                                       | -     | -      | 2,6       | 5,22                                    | 6,84  | 14,73  |
| 26/11/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 3,70                                    | 5,21  | 7,06   |
| 27/11/16 | -           | -                                       | -     | -      | 28,1      | 3,70                                    | 7,59  | 11,80  |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 2: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |   |       |        | Bacia Sul |   |        |          |
|----------|-------------|---|-------|--------|-----------|---|--------|----------|
|          | P<br>(mm)   | Q (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ) |       |        | P<br>(mm) | Q (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ) |        |          |
|          |             | Mínima                                  | Média | Máxima |           | Mínima                                  | Média  | Máxima   |
| 28/11/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 5,22                                    | 6,93   | 11,80    |
| 29/11/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 1,54                                    | 3,83   | 5,22     |
| 30/11/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 1,54                                    | 2,72   | 3,70     |
| 01/12/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 0,86                                    | 2,25   | 3,70     |
| 02/12/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 0,86                                    | 1,96   | 2,48     |
| 03/12/16 | -           | -                                       | -     | -      | 11,3      | 1,54                                    | 3,64   | 5,22     |
| 04/12/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,2       | 3,70                                    | 4,74   | 7,06     |
| 05/12/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,2       | 2,48                                    | 4,49   | 7,06     |
| 06/12/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 3,70                                    | 4,36   | 5,22     |
| 07/12/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 1,54                                    | 2,63   | 3,70     |
| 08/12/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,5       | 0,86                                    | 1,94   | 2,48     |
| 09/12/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 0,86                                    | 1,33   | 1,54     |
| 10/12/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 0,86                                    | 1,36   | 1,54     |
| 11/12/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 0,40                                    | 1,15   | 1,54     |
| 12/12/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 0,40                                    | 1,01   | 1,54     |
| 13/12/16 | -           | -                                       | -     | -      | 12,2      | 0,13                                    | 1,19   | 2,48     |
| 14/12/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 0,86                                    | 1,25   | 2,48     |
| 15/12/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 0,13                                    | 0,87   | 1,54     |
| 16/12/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 0,13                                    | 0,71   | 1,54     |
| 17/12/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 0,02                                    | 0,24   | 0,86     |
| 18/12/16 | -           | -                                       | -     | -      | 14,6      | 0,13                                    | 1,80   | 3,70     |
| 19/12/16 | -           | -                                       | -     | -      | 12,7      | 1,54                                    | 2,91   | 5,22     |
| 20/12/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 0,40                                    | 1,52   | 2,48     |
| 21/12/16 | -           | -                                       | -     | -      | 4,8       | 0,13                                    | 0,31   | 0,86     |
| 22/12/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 0,13                                    | 0,36   | 0,86     |
| 23/12/16 | -           | -                                       | -     | -      | 7,2       | 0,40                                    | 1,34   | 3,70     |
| 24/12/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,7       | 0,86                                    | 2,07   | 3,70     |
| 25/12/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 0,40                                    | 0,97   | 1,54     |
| 26/12/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 0,13                                    | 0,55   | 0,86     |
| 27/12/16 | -           | -                                       | -     | -      | 7,7       | 0,13                                    | 0,51   | 0,86     |
| 28/12/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 0,13                                    | 0,31   | 0,86     |
| 29/12/16 | -           | -                                       | -     | -      | 19,2      | 0,13                                    | 1,04   | 3,70     |
| 30/12/16 | -           | -                                       | -     | -      | 0,2       | 0,40                                    | 0,97   | 2,48     |
| 31/12/16 | -           | -                                       | -     | -      | 140,2     | 0,40                                    | 158,89 | 3.390,25 |
| 01/01/17 | -           | -                                       | -     | -      | 3,6       | 0,40                                    | 2,53   | 9,24     |
| 02/01/17 | -           | -                                       | -     | -      | 25,4      | 0,02                                    | 3,13   | 104,32   |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 2: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |   |       |        | Bacia Sul |   |       |          |
|----------|-------------|---|-------|--------|-----------|---|-------|----------|
|          | P<br>(mm)   | Q (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ) |       |        | P<br>(mm) | Q (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ) |       |          |
|          |             | Mínima                                  | Média | Máxima |           | Mínima                                  | Média | Máxima   |
| 03/01/17 | -           | -                                       | -     | -      | 2,9       | 0,13                                    | 1,09  | 2,48     |
| 04/01/17 | -           | -                                       | -     | -      | 43,0      | 0,40                                    | 74,48 | 2.230,73 |
| 05/01/17 | -           | -                                       | -     | -      | 3,0       | 2,48                                    | 4,14  | 7,06     |
| 06/01/17 | -           | -                                       | -     | -      | 11,5      | 5,21                                    | 6,59  | 9,24     |
| 07/01/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 3,69                                    | 4,54  | 5,21     |
| 08/01/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 2,48                                    | 3,56  | 3,69     |
| 09/01/17 | -           | -                                       | -     | -      | 16,1      | 2,48                                    | 5,29  | 11,79    |
| 10/01/17 | -           | -                                       | -     | -      | 31,2      | 3,69                                    | 23,21 | 162,50   |
| 11/01/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,2       | 7,06                                    | 10,89 | 14,72    |
| 12/01/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 5,21                                    | 6,87  | 9,24     |
| 13/01/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 3,69                                    | 5,83  | 7,06     |
| 14/01/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 5,21                                    | 5,26  | 7,06     |
| 15/01/17 | -           | -                                       | -     | -      | 3,6       | 5,21                                    | 5,44  | 7,06     |
| 16/01/17 | -           | -                                       | -     | -      | 25,7      | 5,21                                    | 10,47 | 25,96    |
| 17/01/17 | -           | -                                       | -     | -      | 1,0       | 5,21                                    | 7,68  | 11,79    |
| 18/01/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 5,21                                    | 6,19  | 7,06     |
| 19/01/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,2       | 3,69                                    | 5,21  | 7,06     |
| 20/01/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 5,21                                    | 5,89  | 7,06     |
| 21/01/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 5,21                                    | 5,79  | 7,06     |
| 22/01/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 5,21                                    | 5,90  | 7,06     |
| 23/01/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 5,21                                    | 5,80  | 7,06     |
| 24/01/17 | -           | -                                       | -     | -      | 7,4       | 5,21                                    | 6,33  | 7,06     |
| 25/01/17 | -           | -                                       | -     | -      | 7,9       | 7,06                                    | 17,57 | 68,44    |
| 26/01/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,2       | 14,72                                   | 16,85 | 18,05    |
| 27/01/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 11,79                                   | 14,10 | 18,05    |
| 28/01/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 11,79                                   | 14,07 | 18,05    |
| 29/01/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 11,79                                   | 14,07 | 14,72    |
| 30/01/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 11,79                                   | 13,69 | 14,72    |
| 31/01/17 | -           | -                                       | -     | -      | 1,0       | 11,79                                   | 13,37 | 14,72    |
| 01/02/17 | -           | -                                       | -     | -      | 44,2      | 11,79                                   | 36,69 | 125,75   |
| 02/02/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,2       | 14,72                                   | 20,20 | 30,58    |
| 03/02/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 11,79                                   | 14,07 | 14,72    |
| 04/02/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 9,24                                    | 15,46 | 21,79    |
| 05/02/17 | -           | -                                       | -     | -      | 24,0      | 11,79                                   | 21,62 | 30,58    |
| 06/02/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,2       | 14,72                                   | 17,16 | 21,79    |
| 07/02/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 11,79                                   | 15,34 | 18,05    |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 2: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |   |       |        | Bacia Sul |   |        |          |
|----------|-------------|---|-------|--------|-----------|---|--------|----------|
|          | P<br>(mm)   | Q (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ) |       |        | P<br>(mm) | Q (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ) |        |          |
|          |             | Mínima                                  | Média | Máxima |           | Mínima                                  | Média  | Máxima   |
| 08/02/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 14,72                                   | 16,49  | 18,05    |
| 09/02/17 | -           | -                                       | -     | -      | 76,6      | 11,79                                   | 122,68 | 2.493,53 |
| 10/02/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,2       | 30,58                                   | 54,12  | 114,74   |
| 11/02/17 | -           | -                                       | -     | -      | 27,4      | 25,96                                   | 38,12  | 53,79    |
| 12/02/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,5       | 35,65                                   | 40,76  | 47,25    |
| 13/02/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 25,96                                   | 30,57  | 35,65    |
| 14/02/17 | -           | -                                       | -     | -      | 51,6      | 25,96                                   | 86,45  | 567,98   |
| 15/02/17 | -           | -                                       | -     | -      | 1,0       | 47,25                                   | 62,49  | 85,25    |
| 16/02/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,2       | 35,65                                   | 44,49  | 47,25    |
| 17/02/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 35,65                                   | 44,82  | 68,44    |
| 18/02/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 30,58                                   | 40,04  | 47,25    |
| 19/02/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 30,58                                   | 38,86  | 60,85    |
| 20/02/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 53,79                                   | 66,06  | 85,25    |
| 21/02/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 5,68                                    | 41,76  | 85,25    |
| 22/02/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,5       | 4,07                                    | 7,18   | 12,54    |
| 23/02/17 | -           | -                                       | -     | -      | 3,4       | 2,78                                    | 9,26   | 85,35    |
| 24/02/17 | -           | -                                       | -     | -      | 5,3       | 4,07                                    | 10,91  | 76,66    |
| 25/02/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 4,07                                    | 10,32  | 31,90    |
| 26/02/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,2       | 2,78                                    | 8,93   | 12,54    |
| 27/02/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 4,07                                    | 7,82   | 12,54    |
| 28/02/17 | -           | -                                       | -     | -      | 1,4       | 4,07                                    | 9,98   | 29,72    |
| 01/03/17 | -           | -                                       | -     | -      | 2,2       | 4,07                                    | 12,55  | 68,53    |
| 02/03/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 6,87                                    | 13,53  | 19,01    |
| 03/03/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,5       | 5,68                                    | 13,57  | 94,61    |
| 04/03/17 | -           | -                                       | -     | -      | 16,6      | 0,57                                    | 23,25  | 114,86   |
| 05/03/17 | -           | -                                       | -     | -      | 1,0       | 0,84                                    | 9,01   | 17,93    |
| 06/03/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 1,67                                    | 15,90  | 48,24    |
| 07/03/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 0,95                                    | 16,08  | 69,67    |
| 08/03/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 3,91                                    | 22,45  | 77,89    |
| 09/03/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 0,45                                    | 8,67   | 22,41    |
| 10/03/17 | -           | -                                       | -     | -      | 57,1      | 3,91                                    | 150,30 | 625,89   |
| 11/03/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,2       | 31,55                                   | 31,55  | 31,55    |
| 12/03/17 | -           | -                                       | -     | -      | 67,9      | 31,55                                   | 335,12 | 3.991,60 |
| 13/03/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,2       | 18,06                                   | 19,14  | 49,75    |
| 14/03/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 18,06                                   | 18,06  | 18,06    |
| 15/03/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,2       | 18,06                                   | 18,06  | 18,06    |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 2: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |   |       |        | Bacia Sul |   |        |          |
|----------|-------------|---|-------|--------|-----------|---|--------|----------|
|          | P<br>(mm)   | Q (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ) |       |        | P<br>(mm) | Q (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ) |        |          |
|          |             | Mínima                                  | Média | Máxima |           | Mínima                                  | Média  | Máxima   |
| 16/03/17 | -           | -                                       | -     | -      | 37,9      | 12,94                                   | 174,22 | 1.103,72 |
| 17/03/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 12,94                                   | 12,94  | 12,94    |
| 18/03/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,2       | 12,94                                   | 12,94  | 12,94    |
| 19/03/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 12,94                                   | 12,94  | 12,94    |
| 20/03/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 12,94                                   | 12,94  | 12,94    |
| 21/03/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 12,94                                   | 12,94  | 12,94    |
| 22/03/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 12,94                                   | 12,94  | 12,94    |
| 23/03/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 12,94                                   | 12,94  | 12,94    |
| 24/03/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 12,94                                   | 12,94  | 12,94    |
| 25/03/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 12,94                                   | 12,94  | 12,94    |
| 26/03/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 12,94                                   | 12,94  | 12,94    |
| 27/03/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 12,94                                   | 12,94  | 12,94    |
| 28/03/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 12,94                                   | 12,94  | 12,94    |
| 29/03/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 12,94                                   | 12,94  | 12,94    |
| 30/03/17 | -           | -                                       | -     | -      | -         | -                                       | -      | -        |
| 31/03/17 | -           | -                                       | -     | -      | -         | -                                       | -      | -        |
| 01/04/17 | -           | -                                       | -     | -      | -         | -                                       | -      | -        |
| 02/04/17 | -           | -                                       | -     | -      | -         | -                                       | -      | -        |
| 03/04/17 | -           | -                                       | -     | -      | -         | -                                       | -      | -        |
| 04/04/17 | -           | -                                       | -     | -      | -         | -                                       | -      | -        |
| 05/04/17 | -           | -                                       | -     | -      | -         | -                                       | -      | -        |
| 06/04/17 | -           | -                                       | -     | -      | -         | -                                       | -      | -        |
| 07/04/17 | -           | -                                       | -     | -      | -         | -                                       | -      | -        |
| 08/04/17 | -           | -                                       | -     | -      | -         | -                                       | -      | -        |
| 09/04/17 | -           | -                                       | -     | -      | -         | -                                       | -      | -        |
| 10/04/17 | -           | -                                       | -     | -      | -         | -                                       | -      | -        |
| 11/04/17 | -           | -                                       | -     | -      | -         | -                                       | -      | -        |
| 12/04/17 | -           | -                                       | -     | -      | -         | -                                       | -      | -        |
| 13/04/17 | -           | -                                       | -     | -      | -         | -                                       | -      | -        |
| 14/04/17 | -           | -                                       | -     | -      | -         | -                                       | -      | -        |
| 15/04/17 | -           | -                                       | -     | -      | -         | -                                       | -      | -        |
| 16/04/17 | -           | -                                       | -     | -      | -         | -                                       | -      | -        |
| 17/04/17 | -           | -                                       | -     | -      | -         | -                                       | -      | -        |
| 18/04/17 | -           | -                                       | -     | -      | -         | -                                       | -      | -        |
| 19/04/17 | -           | -                                       | -     | -      | -         | -                                       | -      | -        |
| 20/04/17 | -           | -                                       | -     | -      | -         | -                                       | -      | -        |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 2: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |   |       |        | Bacia Sul |   |        |          |
|----------|-------------|---|-------|--------|-----------|---|--------|----------|
|          | P<br>(mm)   | Q (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ) |       |        | P<br>(mm) | Q (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ) |        |          |
|          |             | Mínima                                  | Média | Máxima |           | Mínima                                  | Média  | Máxima   |
| 21/04/17 | -           | -                                       | -     | -      | -         | -                                       | -      | -        |
| 22/04/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 18,06                                   | 18,06  | 18,06    |
| 23/04/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,2       | 18,06                                   | 18,06  | 18,06    |
| 24/04/17 | -           | -                                       | -     | -      | 21,8      | 18,06                                   | 78,66  | 149,76   |
| 25/04/17 | -           | -                                       | -     | -      | 143,5     | 125,88                                  | 435,73 | 3.151,17 |
| 26/04/17 | -           | -                                       | -     | -      | 3,6       | 18,06                                   | 144,55 | 784,74   |
| 27/04/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 18,06                                   | 18,06  | 18,06    |
| 28/04/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 18,06                                   | 18,06  | 18,06    |
| 29/04/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,2       | 18,06                                   | 18,06  | 18,06    |
| 30/04/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 18,06                                   | 18,06  | 18,06    |
| 01/05/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,2       | 18,06                                   | 18,06  | 18,06    |
| 02/05/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 18,06                                   | 18,06  | 18,06    |
| 03/05/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,2       | 18,06                                   | 18,06  | 18,06    |
| 04/05/17 | -           | -                                       | -     | -      | 7,0       | 18,06                                   | 25,73  | 40,03    |
| 05/05/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,2       | 18,06                                   | 18,06  | 18,06    |
| 06/05/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 18,06                                   | 18,06  | 18,06    |
| 07/05/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 18,06                                   | 18,06  | 18,06    |
| 08/05/17 | -           | -                                       | -     | -      | 3,4       | 18,06                                   | 18,78  | 31,55    |
| 09/05/17 | -           | -                                       | -     | -      | 1,0       | 18,06                                   | 18,06  | 18,06    |
| 10/05/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,2       | 18,06                                   | 18,06  | 18,06    |
| 11/05/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 18,06                                   | 18,06  | 18,06    |
| 12/05/17 | -           | -                                       | -     | -      | 38,4      | 18,06                                   | 105,58 | 655,95   |
| 13/05/17 | -           | -                                       | -     | -      | 62,4      | 24,24                                   | 244,17 | 655,95   |
| 14/05/17 | -           | -                                       | -     | -      | 1,0       | 18,06                                   | 37,97  | 178,33   |
| 15/05/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 18,06                                   | 18,06  | 18,06    |
| 16/05/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 18,06                                   | 18,06  | 18,06    |
| 17/05/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 18,06                                   | 18,06  | 18,06    |
| 18/05/17 | -           | -                                       | -     | -      | 46,8      | 18,06                                   | 105,02 | 462,94   |
| 19/05/17 | -           | -                                       | -     | -      | 12,7      | 18,06                                   | 144,05 | 568,29   |
| 20/05/17 | -           | -                                       | -     | -      | 6,2       | 18,06                                   | 22,55  | 49,75    |
| 21/05/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,2       | 18,06                                   | 18,61  | 31,55    |
| 22/05/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,2       | 18,06                                   | 18,06  | 18,06    |
| 23/05/17 | -           | -                                       | -     | -      | 41,3      | 18,06                                   | 155,01 | 514,00   |
| 24/05/17 | -           | -                                       | -     | -      | 13,0      | 18,06                                   | 147,53 | 370,27   |
| 25/05/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,2       | 18,06                                   | 18,06  | 18,06    |
| 26/05/17 | -           | -                                       | -     | -      | 52,6      | 18,06                                   | 271,45 | 1.545,43 |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 2: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |   |       |        | Bacia Sul |   |        |          |
|----------|-------------|---|-------|--------|-----------|---|--------|----------|
|          | P<br>(mm)   | Q (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ) |       |        | P<br>(mm) | Q (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ) |        |          |
|          |             | Mínima                                  | Média | Máxima |           | Mínima                                  | Média  | Máxima   |
| 27/05/17 | -           | -                                       | -     | -      | 48,5      | 49,75                                   | 308,07 | 751,24   |
| 28/05/17 | -           | -                                       | -     | -      | 1,7       | 233,60                                  | 256,09 | 286,73   |
| 29/05/17 | -           | -                                       | -     | -      | 1,0       | 223,75                                  | 247,99 | 275,58   |
| 30/05/17 | -           | -                                       | -     | -      | 40,3      | 38,74                                   | 163,43 | 254,07   |
| 31/05/17 | -           | -                                       | -     | -      | 22,6      | 58,01                                   | 88,51  | 223,75   |
| 01/06/17 | -           | -                                       | -     | -      | 8,4       | 49,74                                   | 57,34  | 67,06    |
| 02/06/17 | -           | -                                       | -     | -      | 1,2       | 45,89                                   | 49,88  | 58,01    |
| 03/06/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,5       | 42,23                                   | 45,98  | 49,74    |
| 04/06/17 | -           | -                                       | -     | -      | 17,3      | 42,23                                   | 51,68  | 76,90    |
| 05/06/17 | -           | -                                       | -     | -      | 1,2       | 42,23                                   | 43,79  | 45,89    |
| 06/06/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 38,74                                   | 39,77  | 42,23    |
| 07/06/17 | -           | -                                       | -     | -      | 101,0     | 35,43                                   | 195,48 | 2.436,06 |
| 08/06/17 | -           | -                                       | -     | -      | 50,4      | 71,88                                   | 186,99 | 1.144,57 |
| 09/06/17 | -           | -                                       | -     | -      | 2,4       | 49,74                                   | 66,12  | 76,90    |
| 10/06/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 49,74                                   | 59,51  | 67,06    |
| 11/06/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,2       | 49,74                                   | 53,96  | 58,01    |
| 12/06/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,2       | 45,89                                   | 50,42  | 53,78    |
| 13/06/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 49,74                                   | 49,74  | 49,74    |
| 14/06/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,2       | 49,74                                   | 49,74  | 49,74    |
| 15/06/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 49,74                                   | 49,74  | 49,74    |
| 16/06/17 | -           | -                                       | -     | -      | 0,0       | 49,74                                   | 49,74  | 49,74    |
| 17/06/17 | 0,4         | 3,71                                    | 4,86  | 6,43   | 0,0       | 32,30                                   | 40,13  | 49,74    |
| 18/06/17 | 0,2         | 3,71                                    | 4,78  | 4,96   | 2,6       | 32,30                                   | 33,08  | 35,43    |
| 19/06/17 | 0,2         | 3,71                                    | 4,51  | 4,96   | 0,5       | 29,34                                   | 31,89  | 32,30    |
| 20/06/17 | 0,2         | 3,71                                    | 4,14  | 4,96   | 0,2       | 26,55                                   | 30,35  | 32,30    |
| 21/06/17 | 0,9         | 3,71                                    | 4,21  | 4,96   | 0,0       | 23,93                                   | 27,50  | 29,34    |
| 22/06/17 | 0,4         | 3,71                                    | 4,01  | 4,96   | 0,0       | 21,46                                   | 24,30  | 26,55    |
| 23/06/17 | 0,2         | 3,71                                    | 3,72  | 4,96   | 0,0       | 19,16                                   | 22,05  | 23,93    |
| 24/06/17 | 0,2         | 3,71                                    | 3,88  | 4,96   | 0,0       | 17,01                                   | 20,04  | 21,46    |
| 25/06/17 | 0,0         | 3,71                                    | 3,71  | 3,71   | 0,0       | 15,01                                   | 18,34  | 19,16    |
| 26/06/17 | 0,0         | 3,71                                    | 3,71  | 3,71   | 0,2       | 15,01                                   | 17,79  | 19,16    |
| 27/06/17 | 0,0         | 2,67                                    | 3,69  | 3,71   | 0,0       | 13,16                                   | 16,19  | 19,16    |
| 28/06/17 | 0,2         | 2,67                                    | 3,68  | 3,71   | 0,0       | 13,16                                   | 15,44  | 17,01    |
| 29/06/17 | 0,0         | 2,67                                    | 3,55  | 3,71   | 0,0       | 13,16                                   | 14,18  | 15,01    |
| 30/06/17 | 0,0         | 2,67                                    | 3,54  | 3,71   | 6,2       | 13,16                                   | 15,05  | 17,01    |
| 01/07/17 | 0,0         | 22,31                                   | 25,86 | 29,67  | 0,2       | 13,16                                   | 13,80  | 15,01    |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 2: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |   |       |        | Bacia Sul |   |       |        |
|----------|-------------|---|-------|--------|-----------|---|-------|--------|
|          | P<br>(mm)   | Q (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ) |       |        | P<br>(mm) | Q (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ) |       |        |
|          |             | Mínima                                  | Média | Máxima |           | Mínima                                  | Média | Máxima |
| 02/07/17 | 0,0         | 22,31                                   | 24,81 | 25,83  | 0,2       | 11,46                                   | 12,92 | 15,01  |
| 03/07/17 | 0,0         | 22,31                                   | 23,19 | 25,83  | 0,0       | 11,46                                   | 12,29 | 13,16  |
| 04/07/17 | 0,0         | 22,31                                   | 22,31 | 22,31  | 0,0       | 11,46                                   | 12,08 | 13,16  |
| 05/07/17 | 0,0         | 19,10                                   | 21,96 | 22,31  | 0,0       | 9,89                                    | 10,67 | 11,46  |
| 06/07/17 | 0,0         | 19,10                                   | 20,06 | 22,31  | 0,0       | 8,46                                    | 10,20 | 11,46  |
| 07/07/17 | 0,0         | 19,10                                   | 19,10 | 19,10  | 0,0       | 8,46                                    | 9,29  | 11,46  |
| 08/07/17 | 0,0         | 19,10                                   | 19,10 | 19,10  | 0,0       | 7,16                                    | 8,99  | 9,89   |
| 09/07/17 | 0,0         | 16,17                                   | 19,10 | 25,83  | 7,4       | 7,16                                    | 8,53  | 11,46  |
| 10/07/17 | 0,0         | 16,17                                   | 18,12 | 19,10  | 0,0       | 7,16                                    | 8,31  | 9,89   |
| 11/07/17 | 0,0         | 16,17                                   | 16,42 | 19,10  | 0,2       | 7,16                                    | 7,67  | 8,46   |
| 12/07/17 | 0,0         | 16,17                                   | 16,17 | 16,17  | 0,0       | 5,99                                    | 6,77  | 7,16   |
| 13/07/17 | 0,0         | 16,17                                   | 16,17 | 16,17  | 0,2       | 4,94                                    | 6,60  | 7,16   |
| 14/07/17 | 0,0         | 16,17                                   | 16,17 | 16,17  | 0,0       | 4,94                                    | 6,54  | 7,16   |
| 15/07/17 | 0,0         | 13,54                                   | 16,16 | 16,17  | 0,3       | 4,94                                    | 5,66  | 7,16   |
| 16/07/17 | 0,0         | 13,54                                   | 16,44 | 19,10  | 16,8      | 5,99                                    | 6,82  | 13,16  |
| 17/07/17 | 0,0         | 16,17                                   | 17,41 | 22,31  | 7,4       | 7,16                                    | 10,09 | 13,16  |
| 18/07/17 | 5,5         | 16,17                                   | 16,17 | 16,17  | 0,2       | 5,99                                    | 7,28  | 8,46   |
| 19/07/17 | 15,0        | 13,54                                   | 15,35 | 16,17  | 0,0       | 4,94                                    | 6,70  | 7,16   |
| 20/07/17 | 0,0         | 13,54                                   | 14,29 | 16,17  | 0,2       | 1,89                                    | 5,74  | 7,16   |
| 21/07/17 | 0,0         | 13,54                                   | 13,54 | 13,54  | 0,0       | 4,94                                    | 6,49  | 7,16   |
| 22/07/17 | 0,0         | 13,54                                   | 13,54 | 13,54  | 0,0       | 4,94                                    | 5,69  | 7,16   |
| 23/07/17 | 0,0         | 11,18                                   | 12,72 | 13,54  | 0,2       | 4,01                                    | 5,25  | 5,99   |
| 24/07/17 | 0,0         | 11,18                                   | 11,83 | 13,54  | 0,0       | 3,20                                    | 4,46  | 5,99   |
| 25/07/17 | 0,0         | 11,18                                   | 11,20 | 13,54  | 0,0       | 3,20                                    | 4,29  | 4,94   |
| 26/07/17 | 0,0         | 6,43                                    | 6,63  | 8,14   | 0,0       | 5,59                                    | 5,66  | 6,71   |
| 27/07/17 | 0,0         | 6,43                                    | 6,43  | 6,43   | 0,0       | 4,58                                    | 6,06  | 6,71   |
| 28/07/17 | 0,0         | 4,96                                    | 5,78  | 6,43   | 0,0       | 4,58                                    | 5,39  | 6,71   |
| 29/07/17 | 0,0         | 4,96                                    | 5,05  | 6,43   | 0,0       | 4,58                                    | 5,34  | 6,71   |
| 30/07/17 | 0,0         | 4,96                                    | 4,96  | 4,96   | 0,0       | 3,70                                    | 5,32  | 6,71   |
| 31/07/17 | 0,0         | 4,96                                    | 5,04  | 6,43   | 0,0       | 3,70                                    | 5,29  | 6,71   |
| 01/08/17 | 0,0         | 4,96                                    | 4,97  | 6,43   | 0,0       | 3,70                                    | 5,03  | 6,71   |
| 02/08/17 | 13,4        | 4,96                                    | 6,24  | 23,94  | 26,4      | 4,58                                    | 6,11  | 20,58  |
| 03/08/17 | 25,9        | 6,43                                    | 9,66  | 23,94  | 13,0      | 7,96                                    | 15,05 | 25,55  |
| 04/08/17 | 0,0         | 4,96                                    | 5,70  | 6,43   | 0,0       | 5,59                                    | 7,08  | 7,96   |
| 05/08/17 | 0,2         | 4,96                                    | 5,02  | 6,43   | 0,2       | 4,58                                    | 6,02  | 7,96   |
| 06/08/17 | 0,0         | 4,96                                    | 4,96  | 4,96   | 0,0       | 4,58                                    | 5,48  | 6,71   |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 2: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |   |       |        | Bacia Sul |   |       |        |
|----------|-------------|---|-------|--------|-----------|---|-------|--------|
|          | P<br>(mm)   | Q (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ) |       |        | P<br>(mm) | Q (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ) |       |        |
|          |             | Mínima                                  | Média | Máxima |           | Mínima                                  | Média | Máxima |
| 07/08/17 | 0,0         | 4,96                                    | 4,96  | 4,96   | 0,0       | 3,70                                    | 5,01  | 6,71   |
| 08/08/17 | 7,9         | 4,96                                    | 5,17  | 8,14   | 7,9       | 1,22                                    | 6,12  | 12,51  |
| 09/08/17 | 0,0         | 4,96                                    | 4,96  | 4,96   | 0,0       | 0,53                                    | 6,26  | 10,85  |
| 10/08/17 | 3,1         | 3,71                                    | 4,93  | 4,96   | 1,2       | 0,31                                    | 4,79  | 9,34   |
| 11/08/17 | 0,0         | 3,71                                    | 4,57  | 4,96   | 0,0       | 4,79                                    | 2,63  | 6,71   |
| 12/08/17 | 40,6        | 3,71                                    | 41,03 | 846,28 | 66,7      | 9,34                                    | 22,41 | 271,47 |
| 13/08/17 | 68,4        | 27,59                                   | 70,30 | 467,44 | 42,2      | 40,90                                   | 70,66 | 271,47 |
| 14/08/17 | 0,0         | 14,79                                   | 19,04 | 27,59  | 0,0       | 5,59                                    | 21,34 | 52,25  |
| 15/08/17 | 0,2         | 12,31                                   | 12,96 | 14,79  | 0,2       | 6,71                                    | 6,71  | 6,71   |
| 16/08/17 | 0,2         | 10,09                                   | 10,40 | 12,31  | 2,0       | 6,71                                    | 6,71  | 6,71   |
| 17/08/17 | 0,0         | 8,14                                    | 8,83  | 10,09  | 1,9       | 6,71                                    | 6,71  | 6,71   |
| 18/08/17 | 0,2         | 6,43                                    | 7,93  | 8,14   | 0,2       | 6,71                                    | 6,71  | 6,71   |
| 19/08/17 | 2,6         | 6,43                                    | 15,23 | 318,65 | 22,6      | 6,71                                    | 9,42  | 74,95  |
| 20/08/17 | 21,8        | 8,14                                    | 10,12 | 27,59  | 1,9       | 6,71                                    | 6,74  | 9,05   |
| 21/08/17 | 0,0         | 6,43                                    | 8,13  | 8,14   | 0,0       | 6,71                                    | 6,71  | 6,71   |
| 22/08/17 | 0,0         | 6,43                                    | 7,02  | 8,14   | 0,0       | 6,71                                    | 6,71  | 6,71   |
| 23/08/17 | 0,0         | 4,96                                    | 5,75  | 6,43   | 0,0       | 6,71                                    | 6,71  | 6,71   |
| 24/08/17 | 0,0         | 4,96                                    | 4,96  | 4,96   | 0,0       | 6,71                                    | 6,71  | 6,71   |
| 25/08/17 | 0,0         | 3,71                                    | 4,95  | 4,96   | 0,0       | 6,71                                    | 6,71  | 6,71   |
| 26/08/17 | 0,0         | 3,71                                    | 4,74  | 4,96   | 0,0       | 6,71                                    | 6,71  | 6,71   |
| 27/08/17 | 22,6        | 4,96                                    | 5,98  | 12,31  | 22,6      | 6,71                                    | 6,71  | 6,71   |
| 28/08/17 | 0,0         | 4,96                                    | 4,96  | 4,96   | 0,0       | 6,71                                    | 6,71  | 6,71   |
| 29/08/17 | 0,0         | 3,71                                    | 4,30  | 4,96   | 0,0       | 6,71                                    | 6,71  | 6,71   |
| 30/08/17 | 0,0         | 3,71                                    | 3,71  | 4,96   | 0,0       | 6,71                                    | 6,71  | 6,71   |
| 31/08/17 | 0,0         | 3,71                                    | 3,71  | 3,71   | 0,0       | 6,71                                    | 6,71  | 6,71   |
| 01/09/17 | 0,0         | 3,71                                    | 4,12  | 4,96   | -         | -                                       | -     | -      |
| 02/09/17 | 0,0         | 3,71                                    | 3,71  | 3,71   | -         | -                                       | -     | -      |
| 03/09/17 | 0,0         | 3,71                                    | 3,71  | 3,71   | -         | -                                       | -     | -      |
| 04/09/17 | 0,0         | 2,67                                    | 3,65  | 3,71   | -         | -                                       | -     | -      |
| 05/09/17 | 3,4         | 2,67                                    | 3,68  | 3,71   | -         | -                                       | -     | -      |
| 06/09/17 | 0,0         | 2,67                                    | 3,33  | 3,71   | -         | -                                       | -     | -      |
| 07/09/17 | 0,0         | 2,67                                    | 2,93  | 3,71   | -         | -                                       | -     | -      |
| 08/09/17 | 0,0         | 2,67                                    | 2,67  | 2,67   | -         | -                                       | -     | -      |
| 09/09/17 | 0,0         | 2,67                                    | 2,67  | 2,67   | -         | -                                       | -     | -      |
| 10/09/17 | 0,0         | 1,83                                    | 2,59  | 2,67   | -         | -                                       | -     | -      |
| 11/09/17 | 0,0         | 2,67                                    | 2,67  | 2,67   | -         | -                                       | -     | -      |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 2: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |   |        |          | Bacia Sul |   |       |        |
|----------|-------------|---|--------|----------|-----------|---|-------|--------|
|          | P<br>(mm)   | Q (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ) |        |          | P<br>(mm) | Q (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ) |       |        |
|          |             | Mínima                                  | Média  | Máxima   |           | Mínima                                  | Média | Máxima |
| 12/09/17 | 1,0         | 2,67                                    | 2,67   | 2,67     | -         | -                                       | -     | -      |
| 13/09/17 | 0,0         | 2,67                                    | 2,67   | 2,67     | -         | -                                       | -     | -      |
| 14/09/17 | 27,8        | 2,67                                    | 3,71   | 17,55    | -         | -                                       | -     | -      |
| 15/09/17 | 18,0        | 2,67                                    | 3,92   | 6,43     | -         | -                                       | -     | -      |
| 16/09/17 | 40,6        | 3,71                                    | 17,60  | 90,34    | -         | -                                       | -     | -      |
| 17/09/17 | 0,2         | 6,43                                    | 7,38   | 10,09    | -         | -                                       | -     | -      |
| 18/09/17 | 0,0         | 4,96                                    | 5,31   | 6,43     | -         | -                                       | -     | -      |
| 19/09/17 | 0,0         | 3,71                                    | 4,06   | 4,96     | -         | -                                       | -     | -      |
| 20/09/17 | 0,2         | 3,71                                    | 3,71   | 3,71     | -         | -                                       | -     | -      |
| 21/09/17 | 0,0         | 2,67                                    | 3,17   | 3,71     | -         | -                                       | -     | -      |
| 22/09/17 | 0,2         | 2,67                                    | 2,75   | 3,71     | -         | -                                       | -     | -      |
| 23/09/17 | 6,7         | 2,67                                    | 3,00   | 3,71     | -         | -                                       | -     | -      |
| 24/09/17 | 0,0         | 2,67                                    | 2,67   | 2,67     | -         | -                                       | -     | -      |
| 25/09/17 | 0,0         | 2,67                                    | 2,67   | 2,67     | -         | -                                       | -     | -      |
| 26/09/17 | 0,0         | 1,83                                    | 2,54   | 2,67     | -         | -                                       | -     | -      |
| 27/09/17 | 8,9         | 2,67                                    | 3,82   | 4,96     | -         | -                                       | -     | -      |
| 28/09/17 | 0,2         | 2,67                                    | 3,20   | 2,67     | -         | -                                       | -     | -      |
| 29/09/17 | 28,3        | 2,67                                    | 3,92   | 10,09    | -         | -                                       | -     | -      |
| 30/09/17 | 0,0         | 2,67                                    | 2,80   | 3,71     | -         | -                                       | -     | -      |
| 01/10/17 | 35,8        | 2,67                                    | 7,64   | 45,43    | -         | -                                       | -     | -      |
| 02/10/17 | 0,0         | 4,96                                    | 6,37   | 10,09    | -         | -                                       | -     | -      |
| 03/10/17 | 0,0         | 3,71                                    | 4,48   | 4,96     | -         | -                                       | -     | -      |
| 04/10/17 | 0,0         | 3,71                                    | 3,71   | 3,71     | -         | -                                       | -     | -      |
| 05/10/17 | 0,0         | 2,67                                    | 3,13   | 3,71     | -         | -                                       | -     | -      |
| 06/10/17 | 15,1        | 2,67                                    | 3,58   | 12,31    | -         | -                                       | -     | -      |
| 07/10/17 | 0,0         | 2,67                                    | 2,70   | 3,71     | -         | -                                       | -     | -      |
| 08/10/17 | 2,4         | 1,83                                    | 2,68   | 3,71     | -         | -                                       | -     | -      |
| 09/10/17 | 4,8         | 2,67                                    | 2,77   | 3,71     | -         | -                                       | -     | -      |
| 10/10/17 | 11,5        | 2,67                                    | 3,14   | 10,09    | -         | -                                       | -     | -      |
| 11/10/17 | 42,5        | 2,67                                    | 34,82  | 318,65   | -         | -                                       | -     | -      |
| 12/10/17 | 80,4        | 12,31                                   | 185,01 | 4.667,49 | -         | -                                       | -     | -      |
| 13/10/17 | 14,6        | 23,94                                   | 34,46  | 50,74    | -         | -                                       | -     | -      |
| 14/10/17 | 1,9         | 17,55                                   | 22,24  | 27,59    | -         | -                                       | -     | -      |
| 15/10/17 | 0,0         | 14,79                                   | 15,99  | 20,60    | -         | -                                       | -     | -      |
| 16/10/17 | 0,0         | 12,31                                   | 13,56  | 14,79    | -         | -                                       | -     | -      |
| 17/10/17 | 0,0         | 10,09                                   | 11,89  | 12,31    | -         | -                                       | -     | -      |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 2: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |   |       |        | Bacia Sul |   |       |        |
|----------|-------------|---|-------|--------|-----------|---|-------|--------|
|          | P<br>(mm)   | Q (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ) |       |        | P<br>(mm) | Q (L s <sup>-1</sup> km <sup>-2</sup> ) |       |        |
|          |             | Mínima                                  | Média | Máxima |           | Mínima                                  | Média | Máxima |
| 18/10/17 | 1,2         | 10,09                                   | 11,22 | 12,31  | -         | -                                       | -     | -      |
| 19/10/17 | 48,5        | 10,09                                   | 27,46 | 68,84  | -         | -                                       | -     | -      |
| 20/10/17 | 0,0         | 12,31                                   | 16,46 | 20,60  | -         | -                                       | -     | -      |
| 21/10/17 | 8,6         | 12,31                                   | 14,16 | 17,55  | -         | -                                       | -     | -      |
| 22/10/17 | 0,0         | 12,31                                   | 12,58 | 14,79  | -         | -                                       | -     | -      |
| 23/10/17 | 0,0         | 13,32                                   | 15,15 | 16,00  | -         | -                                       | -     | -      |
| 24/10/17 | 0,0         | 10,92                                   | 13,76 | 16,00  | -         | -                                       | -     | -      |
| 25/10/17 | 21,6        | 13,32                                   | 17,14 | 43,80  | -         | -                                       | -     | -      |
| 26/10/17 | 0,0         | 10,92                                   | 12,49 | 13,32  | -         | -                                       | -     | -      |
| 27/10/17 | 1,7         | 10,92                                   | 11,74 | 13,32  | -         | -                                       | -     | -      |
| 28/10/17 | 0,0         | 8,81                                    | 10,23 | 10,92  | -         | -                                       | -     | -      |
| 29/10/17 | 0,5         | 8,81                                    | 9,41  | 10,92  | -         | -                                       | -     | -      |
| 30/10/17 | 0,2         | 8,81                                    | 8,81  | 8,81   | -         | -                                       | -     | -      |
| 31/10/17 | 0,0         | 6,96                                    | 8,78  | 8,81   | -         | -                                       | -     | -      |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

Anexo 3: Precipitação (P) diária e concentração de sedimentos em suspensão (Css) diária nas bacias hidrográficas Norte e Sul.

| Período  | Bacia Norte |                           |       |        | Bacia Sul |                           |       |        |
|----------|-------------|---------------------------|-------|--------|-----------|---------------------------|-------|--------|
|          | P<br>(mm)   | Css (mg L <sup>-1</sup> ) |       |        | P<br>(mm) | Css (mg L <sup>-1</sup> ) |       |        |
|          |             | Mínima                    | Média | Máxima |           | Mínima                    | Média | Máxima |
| 01/06/16 | 0,2         | 119,6                     | 141,3 | 164,4  | 0,0       | 51,8                      | 52,0  | 52,1   |
| 02/06/16 | 0,2         | 119,6                     | 143,3 | 164,4  | 0,0       | 51,4                      | 51,6  | 51,6   |
| 03/06/16 | 0,0         | 134,5                     | 157,8 | 179,4  | 0,0       | 51,1                      | 51,2  | 51,4   |
| 04/06/16 | 0,2         | 119,6                     | 148,5 | 164,4  | 0,0       | 50,7                      | 50,9  | 51,1   |
| 05/06/16 | 0,2         | 119,6                     | 145,6 | 164,4  | 0,0       | 50,4                      | 50,5  | 50,7   |
| 06/06/16 | 0,0         | 134,5                     | 159,2 | 170,4  | 0,0       | 50,0                      | 50,2  | 50,4   |
| 07/06/16 | 0,0         | 149,5                     | 158,7 | 169,4  | 0,2       | 49,7                      | 49,8  | 50,0   |
| 08/06/16 | 0,2         | 119,6                     | 148,8 | 179,4  | 0,0       | 49,3                      | 49,5  | 49,7   |
| 09/06/16 | 0,2         | 119,6                     | 135,2 | 164,4  | 0,0       | 49,3                      | 49,5  | 49,7   |
| 10/06/16 | 0,0         | 119,6                     | 136,9 | 169,4  | 0,0       | 49,0                      | 49,1  | 49,3   |
| 11/06/16 | 0,2         | 104,6                     | 121,0 | 164,4  | 0,0       | 48,3                      | 48,4  | 48,6   |
| 12/06/16 | 0,2         | 119,4                     | 119,4 | 119,4  | 0,0       | 47,9                      | 48,1  | 48,3   |
| 13/06/16 | 0,0         | 119,4                     | 119,4 | 119,4  | 0,2       | 47,6                      | 47,6  | 47,9   |
| 14/06/16 | 0,0         | 119,4                     | 119,4 | 119,4  | 0,0       | 47,2                      | 47,4  | 47,6   |
| 15/06/16 | 0,0         | 119,4                     | 119,4 | 119,4  | 0,0       | 46,9                      | 47,0  | 47,2   |
| 16/06/16 | 7,3         | 119,4                     | 182,3 | 298,9  | 7,2       | 46,6                      | 126,4 | 412,6  |
| 17/06/16 | 0,4         | 89,7                      | 126,6 | 239,2  | 0,5       | 97,7                      | 232,7 | 440,3  |
| 18/06/16 | 0,2         | 89,7                      | 111,7 | 134,5  | 0,2       | 98,1                      | 98,6  | 99,2   |
| 19/06/16 | 0,2         | 104,6                     | 133,8 | 134,5  | 0,0       | 31,1                      | 43,8  | 218,6  |
| 20/06/16 | 0,2         | 134,5                     | 134,5 | 134,5  | 0,2       | 22,7                      | 39,0  | 127,8  |
| 21/06/16 | 0,9         | 134,5                     | 134,5 | 134,5  | 0,7       | 19,1                      | 36,9  | 70,5   |
| 22/06/16 | 0,4         | 134,5                     | 134,5 | 134,5  | 0,5       | 31,1                      | 42,8  | 129,0  |
| 23/06/16 | 0,2         | 134,5                     | 134,5 | 134,5  | 0,2       | 38,2                      | 76,5  | 172,0  |
| 24/06/16 | 0,2         | 134,5                     | 134,5 | 134,5  | 0,0       | 72,9                      | 104,6 | 190,0  |
| 25/06/16 | 0,0         | 134,5                     | 134,5 | 134,5  | 0,0       | 40,6                      | 76,1  | 151,7  |
| 26/06/16 | 0,0         | 134,5                     | 134,5 | 134,5  | 0,0       | 17,9                      | 69,1  | 119,5  |
| 27/06/16 | 0,0         | 134,5                     | 134,5 | 134,5  | 0,0       | 41,8                      | 66,7  | 141,0  |
| 28/06/16 | 0,2         | 134,5                     | 134,5 | 134,5  | 0,2       | 62,1                      | 79,7  | 161,3  |
| 29/06/16 | 0,0         | 134,5                     | 134,5 | 134,5  | 0,2       | 72,9                      | 94,0  | 192,3  |
| 30/06/16 | 0,0         | 134,5                     | 136,2 | 371,0  | 0,0       | 81,2                      | 96,2  | 117,1  |
| 01/07/16 | 0,2         | 370,9                     | 375,9 | 380,9  | 0,0       | 78,9                      | 82,8  | 98,0   |
| 02/07/16 | 0,0         | 380,9                     | 385,9 | 390,9  | 0,0       | 65,7                      | 85,7  | 148,1  |
| 03/07/16 | 0,0         | 390,8                     | 395,8 | 400,9  | 0,0       | 62,1                      | 76,8  | 100,4  |
| 04/07/16 | 0,0         | 400,8                     | 405,8 | 410,8  | 0,0       | 33,5                      | 50,5  | 108,7  |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 3: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |                           |       |         | Bacia Sul |                           |       |         |
|----------|-------------|---------------------------|-------|---------|-----------|---------------------------|-------|---------|
|          | P<br>(mm)   | Css (mg L <sup>-1</sup> ) |       |         | P<br>(mm) | Css (mg L <sup>-1</sup> ) |       |         |
|          |             | Mínima                    | Média | Máxima  |           | Mínima                    | Média | Máxima  |
| 05/07/16 | 8,8         | 328,8                     | 420,6 | 582,9   | 9,8       | 40,6                      | 72,0  | 195,9   |
| 06/07/16 | 19,6        | 239,2                     | 290,8 | 702,5   | 19,7      | 107,5                     | 167,8 | 880,5   |
| 07/07/16 | 0,2         | 254,1                     | 258,9 | 267,0   | 0,0       | 88,4                      | 116,6 | 135,0   |
| 08/07/16 | 0,2         | 266,9                     | 275,5 | 284,0   | 0,2       | 86,0                      | 113,5 | 158,9   |
| 09/07/16 | 22,2        | 269,1                     | 359,4 | 597,9   | 25,0      | 102,7                     | 178,6 | 314,2   |
| 10/07/16 | 3,7         | 209,3                     | 276,2 | 313,9   | 3,6       | 224,6                     | 279,4 | 327,4   |
| 11/07/16 | 14,3        | 74,7                      | 251,9 | 1.913,2 | 13,9      | 164,9                     | 239,5 | 479,1   |
| 12/07/16 | 0,0         | 89,7                      | 116,7 | 164,4   | 0,0       | 129,0                     | 250,6 | 359,6   |
| 13/07/16 | 0,7         | 74,7                      | 126,2 | 179,4   | 0,5       | 84,8                      | 148,2 | 254,5   |
| 14/07/16 | 73,3        | 134,5                     | 531,1 | 1.763,8 | 77,0      | 92,0                      | 281,9 | 1.707,2 |
| 15/07/16 | 0,0         | 103,2                     | 150,1 | 233,9   | 0,2       | 141,0                     | 185,5 | 229,4   |
| 16/07/16 | 0,0         | 89,7                      | 114,4 | 164,4   | 0,0       | 105,1                     | 162,6 | 231,8   |
| 17/07/16 | 0,0         | 59,8                      | 128,9 | 179,4   | 0,0       | 117,1                     | 153,9 | 218,6   |
| 18/07/16 | 0,2         | 109,8                     | 132,5 | 164,4   | 0,0       | 95,6                      | 134,3 | 193,5   |
| 19/07/16 | 0,0         | 59,8                      | 98,5  | 149,5   | 0,0       | 107,5                     | 127,0 | 142,2   |
| 20/07/16 | 0,0         | 74,7                      | 103,1 | 119,6   | 0,2       | 60,9                      | 92,0  | 137,4   |
| 21/07/16 | 0,2         | 74,7                      | 109,4 | 119,6   | 0,0       | 62,1                      | 62,1  | 62,1    |
| 22/07/16 | 0,2         | 74,7                      | 103,3 | 119,6   | 0,2       | 62,1                      | 62,1  | 62,1    |
| 23/07/16 | 0,2         | 74,7                      | 113,8 | 119,6   | 0,2       | 62,1                      | 62,1  | 62,1    |
| 24/07/16 | 0,0         | 89,7                      | 112,4 | 119,6   | 0,0       | 62,1                      | 62,1  | 62,1    |
| 25/07/16 | 0,2         | 89,7                      | 107,3 | 149,5   | 0,0       | 62,1                      | 62,1  | 62,1    |
| 26/07/16 | 27,7        | 89,7                      | 195,1 | 866,9   | 29,3      | 62,1                      | 97,8  | 201,9   |
| 27/07/16 | 0,2         | 74,7                      | 87,0  | 119,6   | 0,2       | 75,3                      | 104,0 | 151,7   |
| 28/07/16 | 0,2         | 74,7                      | 90,8  | 119,6   | 0,2       | 80,0                      | 98,6  | 123,1   |
| 29/07/16 | 0,2         | 74,7                      | 85,4  | 104,6   | 0,0       | 83,6                      | 91,7  | 103,9   |
| 30/07/16 | 0,0         | 74,7                      | 82,7  | 89,7    | 0,0       | 85,2                      | 87,4  | 89,7    |
| 31/07/16 | 0,0         | 74,7                      | 87,4  | 104,6   | 0,0       | 80,6                      | 82,9  | 85,1    |
| 01/08/16 | 0,2         | 74,7                      | 89,2  | 89,7    | 0,2       | 76,1                      | 78,3  | 80,6    |
| 02/08/16 | 0,0         | 89,7                      | 95,7  | 126,3   | 0,2       | 71,6                      | 73,8  | 76,1    |
| 03/08/16 | 0,9         | 89,7                      | 112,9 | 134,5   | 0,7       | 67,0                      | 69,3  | 71,5    |
| 04/08/16 | 0,0         | 104,6                     | 111,0 | 117,4   | 0,7       | 62,5                      | 64,7  | 67,0    |
| 05/08/16 | 0,2         | 104,6                     | 120,6 | 134,5   | 0,0       | 58,0                      | 60,2  | 62,5    |
| 06/08/16 | 8,1         | 119,6                     | 132,7 | 672,6   | 7,7       | 53,8                      | 60,2  | 145,8   |
| 07/08/16 | 5,7         | 116,4                     | 131,2 | 224,2   | 6,5       | 74,1                      | 87,0  | 364,4   |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 3: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |                                       |       |         | Bacia Sul |                                       |       |        |
|----------|-------------|---------------------------------------|-------|---------|-----------|---------------------------------------|-------|--------|
|          | P<br>(mm)   | C <sub>ss</sub> (mg L <sup>-1</sup> ) |       |         | P<br>(mm) | C <sub>ss</sub> (mg L <sup>-1</sup> ) |       |        |
|          |             | Mínima                                | Média | Máxima  |           | Mínima                                | Média | Máxima |
| 08/08/16 | 0,0         | 111,6                                 | 114,0 | 116,4   | 0,0       | 74,1                                  | 74,1  | 74,1   |
| 09/08/16 | 0,2         | 106,9                                 | 109,2 | 111,6   | 0,0       | 74,1                                  | 74,1  | 74,1   |
| 10/08/16 | 0,2         | 44,8                                  | 130,4 | 1.659,1 | 0,0       | 74,1                                  | 74,1  | 74,1   |
| 11/08/16 | 0,0         | 97,3                                  | 99,7  | 102,1   | 0,2       | 74,1                                  | 74,1  | 74,1   |
| 12/08/16 | 0,2         | 92,6                                  | 94,9  | 97,3    | 0,0       | 74,1                                  | 74,1  | 74,1   |
| 13/08/16 | 0,2         | 74,7                                  | 89,2  | 92,5    | 0,0       | 74,1                                  | 74,1  | 74,1   |
| 14/08/16 | 0,2         | 74,7                                  | 87,4  | 89,7    | 0,2       | 74,1                                  | 74,1  | 74,1   |
| 15/08/16 | 10,6        | 89,7                                  | 191,4 | 852,0   | 11,0      | 74,1                                  | 122,8 | 555,5  |
| 16/08/16 | 0,2         | 89,7                                  | 104,0 | 119,6   | 0,0       | 74,1                                  | 74,1  | 74,1   |
| 17/08/16 | 16,3        | 89,7                                  | 258,3 | 1.659,1 | 16,1      | 53,8                                  | 94,1  | 788,5  |
| 18/08/16 | 0,2         | 179,4                                 | 200,5 | 216,6   | 0,2       | 59,7                                  | 59,7  | 59,7   |
| 19/08/16 | 3,7         | 164,4                                 | 197,2 | 224,2   | 3,4       | 59,7                                  | 70,0  | 285,5  |
| 20/08/16 | 11,9        | 149,5                                 | 214,8 | 687,6   | 12,5      | 59,7                                  | 210,2 | 577,0  |
| 21/08/16 | 0,2         | 134,5                                 | 156,1 | 194,3   | 0,2       | 56,9                                  | 114,5 | 323,8  |
| 22/08/16 | 0,2         | 149,5                                 | 163,1 | 179,4   | 0,2       | 54,8                                  | 55,8  | 56,9   |
| 23/08/16 | 0,0         | 149,5                                 | 163,2 | 179,4   | 0,0       | 52,8                                  | 53,8  | 54,8   |
| 24/08/16 | 0,2         | 123,3                                 | 169,9 | 179,4   | 0,2       | 50,8                                  | 51,8  | 52,8   |
| 25/08/16 | 0,0         | 149,5                                 | 192,1 | 209,3   | 0,0       | 48,7                                  | 49,7  | 50,8   |
| 26/08/16 | 0,0         | 74,7                                  | 156,1 | 239,2   | 0,0       | 23,9                                  | 38,7  | 48,7   |
| 27/08/16 | 0,0         | 74,7                                  | 104,8 | 119,6   | 0,0       | 21,5                                  | 32,0  | 38,2   |
| 28/08/16 | 17,8        | 104,6                                 | 146,9 | 1.046,3 | 19,2      | 21,5                                  | 61,8  | 202,1  |
| 29/08/16 | 28,4        | 104,6                                 | 466,3 | 1.494,7 | 31,2      | 106,5                                 | 128,9 | 214,0  |
| 30/08/16 | 10,6        | 74,7                                  | 169,0 | 1.061,3 | 12,0      | 40,6                                  | 91,9  | 150,5  |
| 31/08/16 | 2,2         | 74,7                                  | 92,7  | 119,6   | 2,2       | 34,6                                  | 51,2  | 72,9   |
| 01/09/16 | 0,2         | 89,7                                  | 122,7 | 134,5   | 0,2       | 37,0                                  | 50,1  | 72,9   |
| 02/09/16 | 0,0         | 74,7                                  | 100,7 | 134,5   | 0,0       | 34,6                                  | 52,3  | 71,7   |
| 03/09/16 | 16,9        | 74,7                                  | 115,9 | 284,0   | 18,5      | 47,8                                  | 83,6  | 431,3  |
| 04/09/16 | 1,1         | 59,8                                  | 83,3  | 134,5   | 1,4       | 37,0                                  | 51,6  | 68,1   |
| 05/09/16 | 27,3        | 59,8                                  | 206,1 | 941,7   | 29,3      | 41,8                                  | 84,3  | 262,8  |
| 06/09/16 | 1,3         | 59,8                                  | 83,7  | 373,7   | 1,2       | 27,5                                  | 57,4  | 75,3   |
| 07/09/16 | 0,0         | 59,8                                  | 74,9  | 134,5   | 0,0       | 27,5                                  | 27,5  | 27,5   |
| 08/09/16 | 0,0         | 59,8                                  | 74,4  | 89,7    | 0,0       | 27,5                                  | 27,7  | 28,7   |
| 09/09/16 | 0,0         | 74,7                                  | 74,7  | 74,7    | 0,0       | 27,3                                  | 27,9  | 28,5   |
| 10/09/16 | 0,2         | 74,7                                  | 74,7  | 74,7    | 0,2       | 26,2                                  | 26,7  | 27,3   |
| 11/09/16 | 0,0         | 74,7                                  | 74,7  | 74,7    | 0,0       | 25,0                                  | 25,6  | 26,1   |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 3: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |                                       |       |        | Bacia Sul |                                       |       |        |
|----------|-------------|---------------------------------------|-------|--------|-----------|---------------------------------------|-------|--------|
|          | P<br>(mm)   | C <sub>ss</sub> (mg L <sup>-1</sup> ) |       |        | P<br>(mm) | C <sub>ss</sub> (mg L <sup>-1</sup> ) |       |        |
|          |             | Mínima                                | Média | Máxima |           | Mínima                                | Média | Máxima |
| 12/09/16 | 0,0         | 74,7                                  | 74,7  | 74,7   | 0,0       | 21,5                                  | 24,4  | 25,1   |
| 13/09/16 | 16,3        | 74,7                                  | 356,5 | 896,8  | 18,0      | 19,5                                  | 26,6  | 44,2   |
| 14/09/16 | 0,0         | 59,8                                  | 104,1 | 148,5  | 0,0       | 18,4                                  | 19,2  | 19,5   |
| 15/09/16 | 0,0         | 59,8                                  | 103,3 | 134,5  | 0,2       | 16,6                                  | 17,5  | 18,4   |
| 16/09/16 | 0,0         | 74,7                                  | 86,3  | 119,6  | 0,0       | 14,8                                  | 15,7  | 16,6   |
| 17/09/16 | 0,2         | 74,7                                  | 80,6  | 89,7   | 0,2       | 11,9                                  | 13,8  | 14,7   |
| 18/09/16 | 2,2         | 86,4                                  | 97,0  | 104,6  | 2,9       | 8,4                                   | 10,6  | 11,9   |
| 19/09/16 | 0,0         | 90,1                                  | 95,3  | 100,6  | 0,0       | 11,7                                  | 13,6  | 15,5   |
| 20/09/16 | 0,0         | 74,7                                  | 84,2  | 97,2   | 0,0       | 14,3                                  | 15,5  | 15,5   |
| 21/09/16 | 0,0         | 74,7                                  | 84,1  | 93,4   | 0,0       | 13,1                                  | 15,4  | 15,5   |
| 22/09/16 | 0,0         | 74,7                                  | 81,6  | 108,4  | 0,0       | 9,6                                   | 12,4  | 15,5   |
| 23/09/16 | 0,0         | 44,8                                  | 72,7  | 89,7   | 0,0       | 6,0                                   | 15,6  | 22,7   |
| 24/09/16 | 0,4         | 59,8                                  | 68,0  | 74,7   | 0,5       | 21,5                                  | 22,9  | 25,1   |
| 25/09/16 | 0,0         | 59,8                                  | 68,6  | 74,7   | 0,0       | 20,3                                  | 22,9  | 23,9   |
| 26/09/16 | 0,2         | 59,8                                  | 69,8  | 74,7   | 0,2       | 19,1                                  | 22,3  | 23,9   |
| 27/09/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 22,7                                  | 22,7  | 22,7   |
| 28/09/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 22,7                                  | 22,7  | 22,7   |
| 29/09/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 22,7                                  | 22,7  | 22,7   |
| 30/09/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 22,7                                  | 22,7  | 22,7   |
| 01/10/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 22,7                                  | 22,7  | 22,7   |
| 02/10/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 22,7                                  | 22,7  | 22,7   |
| 03/10/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 22,7                                  | 22,7  | 22,7   |
| 04/10/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 22,7                                  | 22,7  | 22,7   |
| 05/10/16 | -           | -                                     | -     | -      | 27,1      | 22,7                                  | 58,6  | 156,5  |
| 06/10/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,7       | 39,4                                  | 77,3  | 108,7  |
| 07/10/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 23,9                                  | 40,9  | 63,3   |
| 08/10/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 23,9                                  | 23,9  | 23,9   |
| 09/10/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 23,9                                  | 23,9  | 23,9   |
| 10/10/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 20,3                                  | 23,6  | 23,9   |
| 11/10/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 23,9                                  | 23,9  | 23,9   |
| 12/10/16 | -           | -                                     | -     | -      | 7,7       | 23,9                                  | 26,9  | 52,6   |
| 13/10/16 | -           | -                                     | -     | -      | 14,9      | 20,5                                  | 34,5  | 71,7   |
| 14/10/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,2       | 20,5                                  | 20,5  | 20,5   |
| 15/10/16 | -           | -                                     | -     | -      | 13,4      | 19,1                                  | 25,9  | 72,9   |
| 16/10/16 | -           | -                                     | -     | -      | 19,2      | 17,9                                  | 32,4  | 234,2  |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 3: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |                                       |       |        | Bacia Sul |                                       |       |        |
|----------|-------------|---------------------------------------|-------|--------|-----------|---------------------------------------|-------|--------|
|          | P<br>(mm)   | C <sub>ss</sub> (mg L <sup>-1</sup> ) |       |        | P<br>(mm) | C <sub>ss</sub> (mg L <sup>-1</sup> ) |       |        |
|          |             | Mínima                                | Média | Máxima |           | Mínima                                | Média | Máxima |
| 17/10/16 | -           | -                                     | -     | -      | 54,2      | 20,3                                  | 32,4  | 286,7  |
| 18/10/16 | -           | 68,8                                  | 85,7  | 119,5  | 81,4      | 17,9                                  | 39,3  | 199,5  |
| 19/10/16 | -           | 40,5                                  | 82,4  | 421,2  | 35,5      | 15,5                                  | 26,0  | 170,8  |
| 20/10/16 | -           | 20,6                                  | 30,8  | 45,4   | 0,7       | 9,6                                   | 13,8  | 17,9   |
| 21/10/16 | -           | 14,8                                  | 19,9  | 23,9   | 0,0       | 14,9                                  | 16,7  | 19,1   |
| 22/10/16 | -           | 12,3                                  | 14,6  | 17,5   | 0,0       | 11,9                                  | 15,2  | 17,9   |
| 23/10/16 | -           | 10,1                                  | 11,5  | 14,8   | 5,0       | 10,8                                  | 15,7  | 46,6   |
| 24/10/16 | -           | 8,1                                   | 11,2  | 27,6   | 18,2      | 20,3                                  | 42,7  | 142,2  |
| 25/10/16 | -           | 8,1                                   | 10,4  | 12,3   | 0,5       | 13,1                                  | 33,4  | 145,8  |
| 26/10/16 | -           | -                                     | -     | -      | 7,4       | 13,1                                  | 44,1  | 253,3  |
| 27/10/16 | -           | -                                     | -     | -      | 9,8       | 14,3                                  | 20,0  | 199,5  |
| 28/10/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 14,3                                  | 17,8  | 23,9   |
| 29/10/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 19,1                                  | 19,1  | 19,1   |
| 30/10/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 19,1                                  | 19,1  | 19,1   |
| 31/10/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 19,1                                  | 19,1  | 19,1   |
| 01/11/16 | -           | -                                     | -     | -      | 27,8      | 19,1                                  | 26,6  | 41,8   |
| 02/11/16 | -           | -                                     | -     | -      | 34,1      | 23,9                                  | 33,2  | 71,7   |
| 03/11/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 29,9                                  | 31,0  | 33,5   |
| 04/11/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,2       | 21,0                                  | 25,9  | 30,9   |
| 05/11/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 11,9                                  | 18,7  | 22,7   |
| 06/11/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 11,9                                  | 17,7  | 22,7   |
| 07/11/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 10,8                                  | 13,3  | 25,1   |
| 08/11/16 | -           | -                                     | -     | -      | 7,7       | 11,9                                  | 15,3  | 22,7   |
| 09/11/16 | -           | -                                     | -     | -      | 26,4      | 14,3                                  | 197,5 | 338,1  |
| 10/11/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,2       | 14,3                                  | 81,7  | 273,6  |
| 11/11/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 15,5                                  | 19,0  | 23,9   |
| 12/11/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 17,9                                  | 20,7  | 23,9   |
| 13/11/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 15,5                                  | 21,3  | 23,9   |
| 14/11/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 9,6                                   | 13,7  | 19,1   |
| 15/11/16 | -           | -                                     | -     | -      | 13,4      | 13,1                                  | 68,0  | 698,9  |
| 16/11/16 | -           | -                                     | -     | -      | 1,4       | 13,1                                  | 39,2  | 80,4   |
| 17/11/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,5       | 20,3                                  | 20,3  | 20,3   |
| 18/11/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 20,3                                  | 20,3  | 20,3   |
| 19/11/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 20,3                                  | 20,3  | 20,3   |
| 20/11/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 10,8                                  | 16,8  | 20,7   |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 3: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |                                       |       |        | Bacia Sul |                                       |       |        |
|----------|-------------|---------------------------------------|-------|--------|-----------|---------------------------------------|-------|--------|
|          | P<br>(mm)   | C <sub>ss</sub> (mg L <sup>-1</sup> ) |       |        | P<br>(mm) | C <sub>ss</sub> (mg L <sup>-1</sup> ) |       |        |
|          |             | Mínima                                | Média | Máxima |           | Mínima                                | Média | Máxima |
| 21/11/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 10,8                                  | 16,8  | 20,7   |
| 22/11/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 10,8                                  | 15,8  | 22,7   |
| 23/11/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 13,1                                  | 18,0  | 25,1   |
| 24/11/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 18,3                                  | 19,0  | 19,8   |
| 25/11/16 | -           | -                                     | -     | -      | 2,6       | 17,9                                  | 28,3  | 74,1   |
| 26/11/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 19,4                                  | 19,7  | 20,0   |
| 27/11/16 | -           | -                                     | -     | -      | 28,1      | 19,1                                  | 44,9  | 72,9   |
| 28/11/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 16,7                                  | 34,9  | 69,3   |
| 29/11/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 9,6                                   | 14,2  | 17,9   |
| 30/11/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 9,6                                   | 12,3  | 15,5   |
| 01/12/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 8,4                                   | 11,5  | 13,1   |
| 02/12/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 8,4                                   | 12,9  | 29,9   |
| 03/12/16 | -           | -                                     | -     | -      | 11,3      | 16,7                                  | 127,8 | 368,0  |
| 04/12/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,2       | 22,2                                  | 22,9  | 23,6   |
| 05/12/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,2       | 20,8                                  | 21,5  | 22,2   |
| 06/12/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 13,1                                  | 19,8  | 23,9   |
| 07/12/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 13,1                                  | 19,4  | 22,7   |
| 08/12/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,5       | 11,9                                  | 14,0  | 21,5   |
| 09/12/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 10,8                                  | 14,4  | 19,1   |
| 10/12/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 10,8                                  | 12,2  | 15,5   |
| 11/12/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 9,6                                   | 11,4  | 15,5   |
| 12/12/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 9,6                                   | 10,3  | 14,3   |
| 13/12/16 | -           | -                                     | -     | -      | 12,2      | 8,4                                   | 10,5  | 29,9   |
| 14/12/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 8,4                                   | 15,6  | 132,6  |
| 15/12/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 8,4                                   | 10,7  | 17,9   |
| 16/12/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 8,4                                   | 9,7   | 13,1   |
| 17/12/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 8,4                                   | 9,7   | 11,9   |
| 18/12/16 | -           | -                                     | -     | -      | 14,6      | 9,6                                   | 10,7  | 14,3   |
| 19/12/16 | -           | -                                     | -     | -      | 12,7      | 8,4                                   | 10,3  | 11,9   |
| 20/12/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 9,6                                   | 11,0  | 13,1   |
| 21/12/16 | -           | -                                     | -     | -      | 4,8       | 9,6                                   | 10,5  | 11,9   |
| 22/12/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 6,0                                   | 9,7   | 11,9   |
| 23/12/16 | -           | -                                     | -     | -      | 7,2       | 7,2                                   | 9,0   | 11,9   |
| 24/12/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,7       | 7,2                                   | 10,2  | 13,1   |
| 25/12/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 7,2                                   | 8,5   | 10,8   |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 3: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |                                       |       |        | Bacia Sul |                                       |       |         |
|----------|-------------|---------------------------------------|-------|--------|-----------|---------------------------------------|-------|---------|
|          | P<br>(mm)   | C <sub>ss</sub> (mg L <sup>-1</sup> ) |       |        | P<br>(mm) | C <sub>ss</sub> (mg L <sup>-1</sup> ) |       |         |
|          |             | Mínima                                | Média | Máxima |           | Mínima                                | Média | Máxima  |
| 26/12/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 7,2                                   | 8,4   | 9,6     |
| 27/12/16 | -           | -                                     | -     | -      | 7,7       | 7,2                                   | 8,6   | 9,6     |
| 28/12/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 8,4                                   | 8,8   | 16,7    |
| 29/12/16 | -           | -                                     | -     | -      | 19,2      | 7,2                                   | 9,0   | 11,9    |
| 30/12/16 | -           | -                                     | -     | -      | 0,2       | 7,2                                   | 8,9   | 11,9    |
| 31/12/16 | -           | -                                     | -     | -      | 140,2     | 7,2                                   | 177,1 | 2.167,0 |
| 01/01/17 | -           | -                                     | -     | -      | 3,6       | 7,2                                   | 66,7  | 127,0   |
| 02/01/17 | -           | -                                     | -     | -      | 25,4      | 7,2                                   | 16,3  | 305,5   |
| 03/01/17 | -           | -                                     | -     | -      | 2,9       | 7,2                                   | 7,9   | 8,4     |
| 04/01/17 | -           | -                                     | -     | -      | 43,0      | 7,2                                   | 23,3  | 358,0   |
| 05/01/17 | -           | -                                     | -     | -      | 3,0       | 7,2                                   | 8,4   | 9,6     |
| 06/01/17 | -           | -                                     | -     | -      | 11,5      | 7,2                                   | 7,9   | 8,4     |
| 07/01/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 7,2                                   | 7,9   | 8,4     |
| 08/01/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 7,2                                   | 8,1   | 8,4     |
| 09/01/17 | -           | -                                     | -     | -      | 16,1      | 7,2                                   | 7,9   | 8,4     |
| 10/01/17 | -           | -                                     | -     | -      | 31,2      | 7,2                                   | 12,3  | 20,3    |
| 11/01/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,2       | 10,8                                  | 13,9  | 17,9    |
| 12/01/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 9,6                                   | 10,9  | 13,1    |
| 13/01/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 9,6                                   | 10,5  | 11,9    |
| 14/01/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 9,6                                   | 10,2  | 10,8    |
| 15/01/17 | -           | -                                     | -     | -      | 3,6       | 8,4                                   | 10,1  | 11,9    |
| 16/01/17 | -           | -                                     | -     | -      | 25,7      | 9,6                                   | 11,2  | 21,5    |
| 17/01/17 | -           | -                                     | -     | -      | 1,0       | 8,4                                   | 10,1  | 15,5    |
| 18/01/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 7,2                                   | 9,4   | 11,9    |
| 19/01/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,2       | 8,4                                   | 9,5   | 11,0    |
| 20/01/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 11,0                                  | 11,0  | 11,0    |
| 21/01/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 11,0                                  | 11,0  | 11,0    |
| 22/01/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 11,0                                  | 11,0  | 11,0    |
| 23/01/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 11,0                                  | 11,0  | 11,0    |
| 24/01/17 | -           | -                                     | -     | -      | 7,4       | 11,0                                  | 11,6  | 29,5    |
| 25/01/17 | -           | -                                     | -     | -      | 7,9       | 11,0                                  | 12,2  | 27,4    |
| 26/01/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,2       | 11,0                                  | 11,0  | 11,0    |
| 27/01/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 11,0                                  | 11,0  | 11,0    |
| 28/01/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 11,0                                  | 11,0  | 11,0    |
| 29/01/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 11,0                                  | 11,0  | 11,0    |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 3: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |                           |       |        | Bacia Sul |                           |       |         |
|----------|-------------|---------------------------|-------|--------|-----------|---------------------------|-------|---------|
|          | P<br>(mm)   | Css (mg L <sup>-1</sup> ) |       |        | P<br>(mm) | Css (mg L <sup>-1</sup> ) |       |         |
|          |             | Mínima                    | Média | Máxima |           | Mínima                    | Média | Máxima  |
| 30/01/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,0       | 11,0                      | 34,6  | 71,7    |
| 31/01/17 | -           | -                         | -     | -      | 1,0       | 53,5                      | 58,4  | 63,3    |
| 01/02/17 | -           | -                         | -     | -      | 44,2      | 45,9                      | 170,7 | 1.075,2 |
| 02/02/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,2       | 103,9                     | 174,9 | 255,7   |
| 03/02/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,0       | 122,5                     | 134,8 | 147,2   |
| 04/02/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,0       | 107,5                     | 112,0 | 122,4   |
| 05/02/17 | -           | -                         | -     | -      | 24,0      | 84,8                      | 116,9 | 733,6   |
| 06/02/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,2       | 90,4                      | 98,3  | 111,1   |
| 07/02/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,0       | 65,8                      | 77,9  | 90,3    |
| 08/02/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,0       | 39,4                      | 53,9  | 68,1    |
| 09/02/17 | -           | -                         | -     | -      | 76,6      | 40,6                      | 216,8 | 1.989,2 |
| 10/02/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,2       | 245,7                     | 313,4 | 384,7   |
| 11/02/17 | -           | -                         | -     | -      | 27,4      | 98,7                      | 176,0 | 244,8   |
| 12/02/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,5       | 89,1                      | 118,5 | 139,3   |
| 13/02/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,0       | 126,2                     | 161,3 | 183,5   |
| 14/02/17 | -           | -                         | -     | -      | 51,6      | 59,7                      | 153,1 | 550,3   |
| 15/02/17 | -           | -                         | -     | -      | 1,0       | 20,1                      | 41,3  | 72,3    |
| 16/02/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,2       | 20,0                      | 23,5  | 30,3    |
| 17/02/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,0       | 19,6                      | 24,2  | 28,9    |
| 18/02/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,0       | 20,2                      | 23,9  | 28,3    |
| 19/02/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,0       | 19,7                      | 22,9  | 26,2    |
| 20/02/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,0       | 19,6                      | 24,8  | 29,2    |
| 21/02/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,0       | 20,1                      | 45,0  | 87,2    |
| 22/02/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,5       | 64,5                      | 79,7  | 87,2    |
| 23/02/17 | -           | -                         | -     | -      | 3,4       | 58,5                      | 75,5  | 96,8    |
| 24/02/17 | -           | -                         | -     | -      | 5,3       | 59,7                      | 74,2  | 326,3   |
| 25/02/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,0       | 66,7                      | 71,2  | 75,8    |
| 26/02/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,2       | 75,7                      | 83,2  | 93,2    |
| 27/02/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,0       | 70,5                      | 80,8  | 95,6    |
| 28/02/17 | -           | -                         | -     | -      | 1,4       | 76,5                      | 84,0  | 90,5    |
| 01/03/17 | -           | -                         | -     | -      | 2,2       | 82,9                      | 90,7  | 278,4   |
| 02/03/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,0       | 86,9                      | 88,4  | 89,8    |
| 03/03/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,5       | 84,1                      | 85,5  | 108,4   |
| 04/03/17 | -           | -                         | -     | -      | 16,6      | 81,7                      | 228,8 | 602,4   |
| 05/03/17 | -           | -                         | -     | -      | 1,0       | 81,5                      | 81,6  | 81,7    |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 3: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |                                       |       |        | Bacia Sul |                                       |       |         |
|----------|-------------|---------------------------------------|-------|--------|-----------|---------------------------------------|-------|---------|
|          | P<br>(mm)   | C <sub>ss</sub> (mg L <sup>-1</sup> ) |       |        | P<br>(mm) | C <sub>ss</sub> (mg L <sup>-1</sup> ) |       |         |
|          |             | Mínima                                | Média | Máxima |           | Mínima                                | Média | Máxima  |
| 06/03/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 81,2                                  | 81,3  | 81,5    |
| 07/03/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 80,9                                  | 81,1  | 81,2    |
| 08/03/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 80,7                                  | 80,8  | 80,9    |
| 09/03/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 80,4                                  | 80,5  | 80,7    |
| 10/03/17 | -           | -                                     | -     | -      | 57,1      | 80,4                                  | 399,9 | 850,6   |
| 11/03/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,2       | 101,0                                 | 142,7 | 185,0   |
| 12/03/17 | -           | -                                     | -     | -      | 67,9      | 68,8                                  | 313,5 | 1.768,2 |
| 13/03/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,2       | 143,4                                 | 188,1 | 258,1   |
| 14/03/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 70,5                                  | 118,7 | 158,9   |
| 15/03/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,2       | 40,6                                  | 62,6  | 94,4    |
| 16/03/17 | -           | -                                     | -     | -      | 37,9      | 38,2                                  | 112,1 | 974,9   |
| 17/03/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 35,8                                  | 54,4  | 71,7    |
| 18/03/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,2       | 33,5                                  | 49,0  | 64,5    |
| 19/03/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 31,1                                  | 50,7  | 94,4    |
| 20/03/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 23,9                                  | 40,0  | 60,9    |
| 21/03/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 34,6                                  | 46,1  | 59,7    |
| 22/03/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 41,8                                  | 54,7  | 69,3    |
| 23/03/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 45,4                                  | 66,0  | 103,9   |
| 24/03/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 27,5                                  | 60,0  | 96,8    |
| 25/03/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 22,7                                  | 44,5  | 93,2    |
| 26/03/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 25,1                                  | 53,1  | 95,6    |
| 27/03/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 52,6                                  | 75,5  | 107,5   |
| 28/03/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 27,5                                  | 57,8  | 107,5   |
| 29/03/17 | -           | -                                     | -     | -      | 0,0       | 32,3                                  | 37,1  | 56,2    |
| 30/03/17 | -           | -                                     | -     | -      | -         | -                                     | -     | -       |
| 31/03/17 | -           | -                                     | -     | -      | -         | -                                     | -     | -       |
| 01/04/17 | -           | -                                     | -     | -      | -         | -                                     | -     | -       |
| 02/04/17 | -           | -                                     | -     | -      | -         | -                                     | -     | -       |
| 03/04/17 | -           | -                                     | -     | -      | -         | -                                     | -     | -       |
| 04/04/17 | -           | -                                     | -     | -      | -         | -                                     | -     | -       |
| 05/04/17 | -           | -                                     | -     | -      | -         | -                                     | -     | -       |
| 06/04/17 | -           | -                                     | -     | -      | -         | -                                     | -     | -       |
| 07/04/17 | -           | -                                     | -     | -      | -         | -                                     | -     | -       |
| 08/04/17 | -           | -                                     | -     | -      | -         | -                                     | -     | -       |
| 09/04/17 | -           | -                                     | -     | -      | -         | -                                     | -     | -       |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 3: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |                           |       |        | Bacia Sul |                           |       |         |
|----------|-------------|---------------------------|-------|--------|-----------|---------------------------|-------|---------|
|          | P<br>(mm)   | Css (mg L <sup>-1</sup> ) |       |        | P<br>(mm) | Css (mg L <sup>-1</sup> ) |       |         |
|          |             | Mínima                    | Média | Máxima |           | Mínima                    | Média | Máxima  |
| 10/04/17 | -           | -                         | -     | -      | -         | -                         | -     | -       |
| 11/04/17 | -           | -                         | -     | -      | -         | -                         | -     | -       |
| 12/04/17 | -           | -                         | -     | -      | -         | -                         | -     | -       |
| 13/04/17 | -           | -                         | -     | -      | -         | -                         | -     | -       |
| 14/04/17 | -           | -                         | -     | -      | -         | -                         | -     | -       |
| 15/04/17 | -           | -                         | -     | -      | -         | -                         | -     | -       |
| 16/04/17 | -           | -                         | -     | -      | -         | -                         | -     | -       |
| 17/04/17 | -           | -                         | -     | -      | -         | -                         | -     | -       |
| 18/04/17 | -           | -                         | -     | -      | -         | -                         | -     | -       |
| 19/04/17 | -           | -                         | -     | -      | -         | -                         | -     | -       |
| 20/04/17 | -           | -                         | -     | -      | -         | -                         | -     | -       |
| 21/04/17 | -           | -                         | -     | -      | -         | -                         | -     | -       |
| 22/04/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,0       | 7,1                       | 27,8  | 52,1    |
| 23/04/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,2       | 10,4                      | 24,4  | 40,1    |
| 24/04/17 | -           | -                         | -     | -      | 21,8      | 16,0                      | 43,0  | 401,4   |
| 25/04/17 | -           | -                         | -     | -      | 143,5     | 149,3                     | 339,2 | 1.234,1 |
| 26/04/17 | -           | -                         | -     | -      | 3,6       | 105,1                     | 208,2 | 557,9   |
| 27/04/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,0       | 64,5                      | 88,3  | 136,2   |
| 28/04/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,0       | 47,8                      | 61,3  | 82,4    |
| 29/04/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,2       | 34,6                      | 47,9  | 69,3    |
| 30/04/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,0       | 39,4                      | 50,5  | 62,1    |
| 01/05/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,2       | 17,0                      | 39,2  | 66,0    |
| 02/05/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,0       | 15,8                      | 27,0  | 51,7    |
| 03/05/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,2       | 17,2                      | 26,8  | 53,8    |
| 04/05/17 | -           | -                         | -     | -      | 7,0       | 41,8                      | 52,6  | 70,5    |
| 05/05/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,2       | 29,9                      | 44,8  | 64,5    |
| 06/05/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,0       | 34,6                      | 44,2  | 56,2    |
| 07/05/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,0       | 18,4                      | 37,7  | 55,5    |
| 08/05/17 | -           | -                         | -     | -      | 3,4       | 21,1                      | 38,7  | 75,3    |
| 09/05/17 | -           | -                         | -     | -      | 1,0       | 10,1                      | 29,3  | 62,6    |
| 10/05/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,2       | 10,8                      | 34,0  | 57,3    |
| 11/05/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,0       | 18,4                      | 36,9  | 57,9    |
| 12/05/17 | -           | -                         | -     | -      | 38,4      | 21,6                      | 86,7  | 1.287,9 |
| 13/05/17 | -           | -                         | -     | -      | 62,4      | 36,4                      | 122,2 | 430,1   |
| 14/05/17 | -           | -                         | -     | -      | 1,0       | 22,1                      | 36,3  | 66,3    |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 3: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |                           |       |        | Bacia Sul |                           |       |         |
|----------|-------------|---------------------------|-------|--------|-----------|---------------------------|-------|---------|
|          | P<br>(mm)   | Css (mg L <sup>-1</sup> ) |       |        | P<br>(mm) | Css (mg L <sup>-1</sup> ) |       |         |
|          |             | Mínima                    | Média | Máxima |           | Mínima                    | Média | Máxima  |
| 15/05/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,0       | 15,6                      | 40,4  | 62,6    |
| 16/05/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,0       | 13,2                      | 39,8  | 57,2    |
| 17/05/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,0       | 14,2                      | 40,4  | 65,5    |
| 18/05/17 | -           | -                         | -     | -      | 46,8      | 21,3                      | 79,2  | 266,4   |
| 19/05/17 | -           | -                         | -     | -      | 12,7      | 11,3                      | 60,0  | 299,9   |
| 20/05/17 | -           | -                         | -     | -      | 6,2       | 1,3                       | 38,6  | 56,8    |
| 21/05/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,2       | 0,6                       | 39,3  | 89,7    |
| 22/05/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,2       | 0,3                       | 47,0  | 101,9   |
| 23/05/17 | -           | -                         | -     | -      | 41,3      | 9,9                       | 83,3  | 305,8   |
| 24/05/17 | -           | -                         | -     | -      | 13,0      | 12,5                      | 76,3  | 203,1   |
| 25/05/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,2       | 9,5                       | 32,2  | 73,2    |
| 26/05/17 | -           | -                         | -     | -      | 52,6      | 11,1                      | 364,9 | 1.078,8 |
| 27/05/17 | -           | -                         | -     | -      | 48,5      | 48,9                      | 696,7 | 3.115,8 |
| 28/05/17 | -           | -                         | -     | -      | 1,7       | 48,9                      | 48,9  | 48,9    |
| 29/05/17 | -           | -                         | -     | -      | 1,0       | 48,9                      | 48,9  | 48,9    |
| 30/05/17 | -           | -                         | -     | -      | 40,3      | 48,9                      | 520,3 | 1.902,0 |
| 31/05/17 | -           | -                         | -     | -      | 22,6      | 48,9                      | 333,9 | 1.566,3 |
| 01/06/17 | -           | -                         | -     | -      | 8,4       | 48,9                      | 59,6  | 146,8   |
| 02/06/17 | -           | -                         | -     | -      | 1,2       | 48,9                      | 49,4  | 73,4    |
| 03/06/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,5       | 48,9                      | 48,9  | 48,9    |
| 04/06/17 | -           | -                         | -     | -      | 17,3      | 48,9                      | 70,4  | 265,8   |
| 05/06/17 | -           | -                         | -     | -      | 1,2       | 48,9                      | 48,9  | 48,9    |
| 06/06/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,0       | 48,9                      | 48,9  | 48,9    |
| 07/06/17 | -           | -                         | -     | -      | 101,0     | 48,9                      | 408,4 | 3.839,8 |
| 08/06/17 | -           | -                         | -     | -      | 50,4      | 137,4                     | 295,5 | 813,6   |
| 09/06/17 | -           | -                         | -     | -      | 2,4       | 77,7                      | 132,0 | 215,0   |
| 10/06/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,0       | 39,4                      | 54,2  | 78,9    |
| 11/06/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,2       | 29,9                      | 39,3  | 50,2    |
| 12/06/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,2       | 28,7                      | 35,4  | 47,8    |
| 13/06/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,0       | 25,1                      | 34,9  | 49,0    |
| 14/06/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,2       | 22,7                      | 29,3  | 37,0    |
| 15/06/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,0       | 25,1                      | 32,3  | 40,6    |
| 16/06/17 | -           | -                         | -     | -      | 0,0       | 23,9                      | 29,2  | 40,6    |
| 17/06/17 | 0,4         | 89,7                      | 126,6 | 239,2  | 0,0       | 19,6                      | 25,6  | 41,8    |
| 18/06/17 | 0,2         | 89,7                      | 111,7 | 134,5  | 2,6       | 19,6                      | 23,5  | 63,6    |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 3: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |                                       |       |        | Bacia Sul |                                       |       |        |
|----------|-------------|---------------------------------------|-------|--------|-----------|---------------------------------------|-------|--------|
|          | P<br>(mm)   | C <sub>ss</sub> (mg L <sup>-1</sup> ) |       |        | P<br>(mm) | C <sub>ss</sub> (mg L <sup>-1</sup> ) |       |        |
|          |             | Mínima                                | Média | Máxima |           | Mínima                                | Média | Máxima |
| 19/06/17 | 0,2         | 104,6                                 | 133,8 | 134,5  | 0,5       | 19,6                                  | 19,6  | 19,6   |
| 20/06/17 | 0,2         | 134,5                                 | 134,5 | 134,5  | 0,2       | 19,6                                  | 19,6  | 19,6   |
| 21/06/17 | 0,9         | 134,5                                 | 134,5 | 134,5  | 0,0       | 19,6                                  | 19,6  | 19,6   |
| 22/06/17 | 0,4         | 134,5                                 | 134,5 | 134,5  | 0,0       | 19,6                                  | 19,6  | 19,6   |
| 23/06/17 | 0,2         | 134,5                                 | 134,5 | 134,5  | 0,0       | 19,6                                  | 19,6  | 19,6   |
| 24/06/17 | 0,2         | 134,5                                 | 134,5 | 134,5  | 0,0       | 19,6                                  | 19,6  | 19,6   |
| 25/06/17 | 0,0         | 134,5                                 | 134,5 | 134,5  | 0,0       | 19,6                                  | 19,6  | 19,6   |
| 26/06/17 | 0,0         | 134,5                                 | 134,5 | 134,5  | 0,2       | 19,6                                  | 19,6  | 19,6   |
| 27/06/17 | 0,0         | 134,5                                 | 134,5 | 134,5  | 0,0       | 19,6                                  | 19,6  | 19,6   |
| 28/06/17 | 0,2         | 134,5                                 | 134,5 | 134,5  | 0,0       | 19,6                                  | 19,6  | 19,6   |
| 29/06/17 | 0,0         | 134,5                                 | 134,5 | 134,5  | 0,0       | 19,6                                  | 19,6  | 19,6   |
| 30/06/17 | 0,0         | 134,5                                 | 136,2 | 371,0  | 6,2       | 19,6                                  | 21,6  | 67,0   |
| 01/07/17 | 0,0         | 59,8                                  | 91,2  | 149,5  | 0,2       | 19,6                                  | 19,6  | 19,6   |
| 02/07/17 | 0,0         | 74,7                                  | 95,6  | 194,3  | 0,2       | 19,6                                  | 19,6  | 19,6   |
| 03/07/17 | 0,0         | 59,8                                  | 96,0  | 179,4  | 0,0       | 19,6                                  | 19,6  | 19,6   |
| 04/07/17 | 0,0         | 74,7                                  | 96,8  | 179,4  | 0,0       | 19,6                                  | 19,6  | 19,6   |
| 05/07/17 | 0,0         | 74,7                                  | 98,1  | 194,3  | 0,0       | 19,6                                  | 19,6  | 19,6   |
| 06/07/17 | 0,0         | 74,7                                  | 98,4  | 209,3  | 0,0       | 19,6                                  | 19,6  | 19,6   |
| 07/07/17 | 0,0         | 89,7                                  | 104,7 | 179,4  | 0,0       | 19,6                                  | 19,6  | 19,6   |
| 08/07/17 | 0,0         | 59,8                                  | 108,3 | 209,3  | 0,0       | 19,6                                  | 19,6  | 19,6   |
| 09/07/17 | 0,0         | 74,7                                  | 109,0 | 224,2  | 7,4       | 19,6                                  | 26,9  | 85,2   |
| 10/07/17 | 0,0         | 89,7                                  | 101,2 | 164,4  | 0,0       | 19,6                                  | 19,6  | 19,6   |
| 11/07/17 | 0,0         | 59,8                                  | 103,7 | 179,4  | 0,2       | 19,6                                  | 19,6  | 19,6   |
| 12/07/17 | 0,0         | 89,7                                  | 100,9 | 194,3  | 0,0       | 19,6                                  | 19,6  | 19,6   |
| 13/07/17 | 0,0         | 59,8                                  | 97,7  | 164,4  | 0,2       | 19,6                                  | 19,6  | 19,6   |
| 14/07/17 | 0,0         | 89,7                                  | 112,3 | 179,4  | 0,0       | 19,6                                  | 19,6  | 19,6   |
| 15/07/17 | 0,0         | 74,7                                  | 99,8  | 194,3  | 0,3       | 19,6                                  | 19,6  | 19,6   |
| 16/07/17 | 0,0         | 104,6                                 | 112,1 | 134,5  | 16,8      | 19,6                                  | 43,7  | 149,3  |
| 17/07/17 | 0,0         | 59,8                                  | 101,9 | 179,4  | 7,4       | 19,6                                  | 49,1  | 168,5  |
| 18/07/17 | 5,5         | 74,7                                  | 97,3  | 164,4  | 0,2       | 19,6                                  | 19,6  | 19,6   |
| 19/07/17 | 15,0        | 74,7                                  | 93,9  | 179,4  | 0,0       | 19,6                                  | 19,6  | 19,6   |
| 20/07/17 | 0,0         | 59,8                                  | 96,1  | 149,5  | 0,2       | 19,6                                  | 19,6  | 19,6   |
| 21/07/17 | 0,0         | 74,7                                  | 94,0  | 179,4  | 0,0       | 19,6                                  | 19,6  | 19,6   |
| 22/07/17 | 0,0         | 74,7                                  | 94,0  | 134,5  | 0,0       | 19,6                                  | 19,6  | 19,6   |
| 23/07/17 | 0,0         | 74,7                                  | 88,4  | 134,5  | 0,2       | 19,6                                  | 19,6  | 19,6   |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 3: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |                           |       |         | Bacia Sul |                           |       |        |
|----------|-------------|---------------------------|-------|---------|-----------|---------------------------|-------|--------|
|          | P<br>(mm)   | Css (mg L <sup>-1</sup> ) |       |         | P<br>(mm) | Css (mg L <sup>-1</sup> ) |       |        |
|          |             | Mínima                    | Média | Máxima  |           | Mínima                    | Média | Máxima |
| 24/07/17 | 0,0         | 74,7                      | 90,1  | 164,4   | 0,0       | 19,6                      | 19,6  | 19,6   |
| 25/07/17 | 0,0         | 44,8                      | 87,9  | 179,4   | 0,0       | 19,6                      | 19,6  | 19,6   |
| 26/07/17 | 0,0         | 59,8                      | 87,9  | 134,5   | 0,0       | 35,5                      | 35,7  | 35,8   |
| 27/07/17 | 0,0         | 14,9                      | 92,4  | 119,6   | 0,0       | 34,7                      | 35,1  | 35,5   |
| 28/07/17 | 0,0         | 74,7                      | 99,5  | 119,6   | 0,0       | 33,2                      | 33,6  | 34,0   |
| 29/07/17 | 0,0         | 59,8                      | 89,1  | 119,6   | 0,0       | 32,4                      | 32,8  | 33,2   |
| 30/07/17 | 0,0         | 59,8                      | 90,1  | 119,6   | 0,0       | 31,6                      | 32,0  | 32,4   |
| 31/07/17 | 0,0         | 59,8                      | 90,2  | 119,6   | 0,0       | 30,9                      | 31,2  | 31,6   |
| 01/08/17 | 0,0         | 59,8                      | 87,0  | 119,6   | 0,0       | 30,1                      | 30,5  | 30,9   |
| 02/08/17 | 13,4        | 74,7                      | 147,3 | 1.210,7 | 26,4      | 29,6                      | 58,2  | 215,0  |
| 03/08/17 | 25,9        | 29,9                      | 139,2 | 568,0   | 13,0      | 83,6                      | 118,8 | 216,2  |
| 04/08/17 | 0,0         | 89,7                      | 103,1 | 164,4   | 0,0       | 77,7                      | 87,9  | 96,8   |
| 05/08/17 | 0,2         | 89,7                      | 116,9 | 149,5   | 0,2       | 60,9                      | 78,3  | 96,8   |
| 06/08/17 | 0,0         | 59,0                      | 80,9  | 119,6   | 0,0       | 55,0                      | 68,0  | 96,8   |
| 07/08/17 | 0,0         | 59,8                      | 89,6  | 119,6   | 0,0       | 51,4                      | 71,3  | 95,6   |
| 08/08/17 | 7,9         | 74,7                      | 131,1 | 971,6   | 7,9       | 56,2                      | 78,5  | 152,9  |
| 09/08/17 | 0,0         | 44,8                      | 97,0  | 164,4   | 0,0       | 84,7                      | 85,0  | 85,3   |
| 10/08/17 | 3,1         | 74,7                      | 97,2  | 134,5   | 1,2       | 84,0                      | 87,4  | 163,7  |
| 11/08/17 | 0,0         | 59,8                      | 92,7  | 179,4   | 0,0       | 83,4                      | 83,7  | 84,0   |
| 12/08/17 | 40,6        | 74,7                      | 397,4 | 2.556,0 | 66,7      | 78,3                      | 160,3 | 731,2  |
| 13/08/17 | 68,4        | 134,5                     | 286,5 | 1.375,1 | 42,2      | 107,5                     | 157,0 | 731,2  |
| 14/08/17 | 0,0         | 104,6                     | 131,1 | 134,5   | 0,0       | 101,6                     | 129,2 | 149,3  |
| 15/08/17 | 0,2         | 134,5                     | 134,5 | 134,5   | 0,2       | 120,7                     | 140,8 | 160,1  |
| 16/08/17 | 0,2         | 134,5                     | 134,5 | 134,5   | 2,0       | 99,6                      | 107,5 | 143,4  |
| 17/08/17 | 0,0         | 134,5                     | 134,5 | 134,5   | 1,9       | 101,8                     | 103,3 | 104,8  |
| 18/08/17 | 0,2         | 134,5                     | 134,5 | 134,5   | 0,2       | 104,8                     | 106,3 | 107,9  |
| 19/08/17 | 2,6         | 134,5                     | 196,7 | 672,6   | 22,6      | 90,8                      | 117,8 | 526,9  |
| 20/08/17 | 21,8        | 119,6                     | 197,5 | 523,2   | 1,9       | 88,0                      | 92,4  | 102,7  |
| 21/08/17 | 0,0         | 119,6                     | 145,2 | 224,2   | 0,0       | 69,3                      | 81,9  | 100,4  |
| 22/08/17 | 0,0         | 104,6                     | 134,1 | 179,4   | 0,0       | 71,7                      | 87,9  | 96,8   |
| 23/08/17 | 0,0         | 74,7                      | 128,2 | 164,4   | 0,0       | 52,6                      | 86,9  | 96,8   |
| 24/08/17 | 0,0         | 89,7                      | 125,8 | 179,4   | 0,0       | 53,8                      | 70,7  | 89,6   |
| 25/08/17 | 0,0         | 89,7                      | 113,8 | 149,5   | 0,0       | 59,7                      | 75,2  | 95,6   |
| 26/08/17 | 0,0         | 59,8                      | 106,0 | 134,5   | 0,0       | 71,7                      | 89,3  | 98,0   |
| 27/08/17 | 22,6        | 89,7                      | 169,2 | 403,6   | 22,6      | 86,0                      | 127,3 | 280,8  |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 3: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |                           |       |         | Bacia Sul |                           |       |        |
|----------|-------------|---------------------------|-------|---------|-----------|---------------------------|-------|--------|
|          | P<br>(mm)   | Css (mg L <sup>-1</sup> ) |       |         | P<br>(mm) | Css (mg L <sup>-1</sup> ) |       |        |
|          |             | Mínima                    | Média | Máxima  |           | Mínima                    | Média | Máxima |
| 28/08/17 | 0,0         | 89,7                      | 125,9 | 149,5   | 0,0       | 55,0                      | 84,9  | 103,5  |
| 29/08/17 | 0,0         | 104,6                     | 121,3 | 149,5   | 0,0       | 45,4                      | 63,1  | 84,8   |
| 30/08/17 | 0,0         | 59,8                      | 95,6  | 119,6   | 0,0       | 38,2                      | 50,6  | 80,0   |
| 31/08/17 | 0,0         | 59,8                      | 94,2  | 134,5   | 0,0       | 37,0                      | 44,2  | 74,1   |
| 01/09/17 | 0,0         | 59,8                      | 89,9  | 119,6   | -         | -                         | -     | -      |
| 02/09/17 | 0,0         | 44,8                      | 88,5  | 119,6   | -         | -                         | -     | -      |
| 03/09/17 | 0,0         | 59,8                      | 90,4  | 119,6   | -         | -                         | -     | -      |
| 04/09/17 | 0,0         | 74,7                      | 104,4 | 164,4   | -         | -                         | -     | -      |
| 05/09/17 | 3,4         | 119,6                     | 147,5 | 254,1   | -         | -                         | -     | -      |
| 06/09/17 | 0,0         | 89,7                      | 151,2 | 179,4   | -         | -                         | -     | -      |
| 07/09/17 | 0,0         | 134,5                     | 152,3 | 209,3   | -         | -                         | -     | -      |
| 08/09/17 | 0,0         | 119,6                     | 151,6 | 194,3   | -         | -                         | -     | -      |
| 09/09/17 | 0,0         | 104,6                     | 141,4 | 209,3   | -         | -                         | -     | -      |
| 10/09/17 | 0,0         | 74,7                      | 134,6 | 209,3   | -         | -                         | -     | -      |
| 11/09/17 | 0,0         | 74,7                      | 132,4 | 194,3   | -         | -                         | -     | -      |
| 12/09/17 | 1,0         | 119,6                     | 150,4 | 448,4   | -         | -                         | -     | -      |
| 13/09/17 | 0,0         | 89,7                      | 149,2 | 209,3   | -         | -                         | -     | -      |
| 14/09/17 | 27,8        | 89,7                      | 243,3 | 1.913,2 | -         | -                         | -     | -      |
| 15/09/17 | 18,0        | 119,6                     | 269,4 | 717,5   | -         | -                         | -     | -      |
| 16/09/17 | 40,6        | 164,4                     | 508,4 | 1.763,8 | -         | -                         | -     | -      |
| 17/09/17 | 0,2         | 164,4                     | 204,7 | 254,1   | -         | -                         | -     | -      |
| 18/09/17 | 0,0         | 134,5                     | 178,3 | 239,2   | -         | -                         | -     | -      |
| 19/09/17 | 0,0         | 165,7                     | 174,0 | 182,3   | -         | -                         | -     | -      |
| 20/09/17 | 0,2         | 164,4                     | 183,8 | 194,3   | -         | -                         | -     | -      |
| 21/09/17 | 0,0         | 164,4                     | 187,7 | 224,2   | -         | -                         | -     | -      |
| 22/09/17 | 0,2         | 159,9                     | 171,0 | 182,3   | -         | -                         | -     | -      |
| 23/09/17 | 6,7         | 159,1                     | 222,8 | 459,1   | -         | -                         | -     | -      |
| 24/09/17 | 0,0         | 194,3                     | 212,2 | 239,2   | -         | -                         | -     | -      |
| 25/09/17 | 0,0         | 164,4                     | 200,5 | 254,1   | -         | -                         | -     | -      |
| 26/09/17 | 0,0         | 134,5                     | 163,2 | 194,3   | -         | -                         | -     | -      |
| 27/09/17 | 8,9         | 167,1                     | 193,9 | 463,4   | -         | -                         | -     | -      |
| 28/09/17 | 0,2         | 186,4                     | 190,1 | 186,4   | -         | -                         | -     | -      |
| 29/09/17 | 28,3        | 179,4                     | 245,9 | 612,8   | -         | -                         | -     | -      |
| 30/09/17 | 0,0         | 208,1                     | 234,8 | 373,7   | -         | -                         | -     | -      |
| 01/10/17 | 35,8        | 184,1                     | 298,5 | 1.031,4 | -         | -                         | -     | -      |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 3: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |                           |         |         | Bacia Sul |                           |       |        |
|----------|-------------|---------------------------|---------|---------|-----------|---------------------------|-------|--------|
|          | P<br>(mm)   | Css (mg L <sup>-1</sup> ) |         |         | P<br>(mm) | Css (mg L <sup>-1</sup> ) |       |        |
|          |             | Mínima                    | Média   | Máxima  |           | Mínima                    | Média | Máxima |
| 02/10/17 | 0,0         | 119,6                     | 141,1   | 179,4   | -         | -                         | -     | -      |
| 03/10/17 | 0,0         | 89,7                      | 171,3   | 239,2   | -         | -                         | -     | -      |
| 04/10/17 | 0,0         | 164,4                     | 218,9   | 239,2   | -         | -                         | -     | -      |
| 05/10/17 | 0,0         | 179,4                     | 213,5   | 254,1   | -         | -                         | -     | -      |
| 06/10/17 | 15,1        | 179,4                     | 285,4   | 1.853,5 | -         | -                         | -     | -      |
| 07/10/17 | 0,0         | 194,3                     | 212,0   | 269,1   | -         | -                         | -     | -      |
| 08/10/17 | 2,4         | 149,5                     | 222,4   | 373,7   | -         | -                         | -     | -      |
| 09/10/17 | 4,8         | 265,7                     | 285,1   | 418,5   | -         | -                         | -     | -      |
| 10/10/17 | 11,5        | 223,5                     | 372,6   | 1.882,7 | -         | -                         | -     | -      |
| 11/10/17 | 42,5        | 149,5                     | 504,0   | 2.660,6 | -         | -                         | -     | -      |
| 12/10/17 | 80,4        | 134,5                     | 833,2   | 3.512,6 | -         | -                         | -     | -      |
| 13/10/17 | 14,6        | 134,5                     | 243,6   | 911,8   | -         | -                         | -     | -      |
| 14/10/17 | 1,9         | 89,7                      | 139,6   | 194,3   | -         | -                         | -     | -      |
| 15/10/17 | 0,0         | 89,7                      | 119,6   | 149,5   | -         | -                         | -     | -      |
| 16/10/17 | 0,0         | 119,6                     | 205,6   | 284,0   | -         | -                         | -     | -      |
| 17/10/17 | 0,0         | 240,5                     | 253,3   | 266,3   | -         | -                         | -     | -      |
| 18/10/17 | 1,2         | 149,5                     | 215,4   | 240,3   | -         | -                         | -     | -      |
| 19/10/17 | 48,5        | 134,5                     | 1.086,9 | 5.321,2 | -         | -                         | -     | -      |
| 20/10/17 | 0,0         | 248,6                     | 256,2   | 263,9   | -         | -                         | -     | -      |
| 21/10/17 | 8,6         | 175,8                     | 355,6   | 926,7   | -         | -                         | -     | -      |
| 22/10/17 | 0,0         | 74,74                     | 127,32  | 175,63  | -         | -                         | -     | -      |
| 23/10/17 | 0,0         | 12,31                     | 14,00   | 14,79   | -         | -                         | -     | -      |
| 24/10/17 | 0,0         | 10,09                     | 12,71   | 14,79   | -         | -                         | -     | -      |
| 25/10/17 | 21,6        | 12,31                     | 15,84   | 40,47   | -         | -                         | -     | -      |
| 26/10/17 | 0,0         | 10,09                     | 11,54   | 12,31   | -         | -                         | -     | -      |
| 27/10/17 | 1,7         | 10,09                     | 10,85   | 12,31   | -         | -                         | -     | -      |
| 28/10/17 | 0,0         | 8,14                      | 9,45    | 10,09   | -         | -                         | -     | -      |
| 29/10/17 | 0,5         | 8,14                      | 8,69    | 10,09   | -         | -                         | -     | -      |
| 30/10/17 | 0,2         | 8,14                      | 8,14    | 8,14    | -         | -                         | -     | -      |
| 31/10/17 | 0,0         | 6,43                      | 8,11    | 8,14    | -         | -                         | -     | -      |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

Anexo 4: Precipitação (P) diária e produção de sedimentos (PS) diária nas bacias hidrográficas Norte e Sul.

| Período  | Bacia Norte |            |                           | Bacia Sul |            |                           |
|----------|-------------|------------|---------------------------|-----------|------------|---------------------------|
|          | P<br>(mm)   | PS<br>(Mg) | PS<br>(km <sup>-2</sup> ) | P<br>(mm) | PS<br>(Mg) | PS<br>(km <sup>-2</sup> ) |
| 01/06/16 | 0,2         | 0,09       | 0,09                      | 0,0       | 0,03       | 0,04                      |
| 02/06/16 | 0,2         | 0,09       | 0,08                      | 0,0       | 0,03       | 0,04                      |
| 03/06/16 | 0,0         | 0,10       | 0,09                      | 0,0       | 0,03       | 0,04                      |
| 04/06/16 | 0,2         | 0,09       | 0,08                      | 0,0       | 0,03       | 0,04                      |
| 05/06/16 | 0,2         | 0,09       | 0,08                      | 0,0       | 0,03       | 0,04                      |
| 06/06/16 | 0,0         | 0,10       | 0,09                      | 0,0       | 0,03       | 0,04                      |
| 07/06/16 | 0,0         | 0,10       | 0,09                      | 0,2       | 0,03       | 0,00                      |
| 08/06/16 | 0,2         | 0,08       | 0,08                      | 0,0       | 0,02       | 0,04                      |
| 09/06/16 | 0,2         | 0,07       | 0,07                      | 0,0       | 0,02       | 0,04                      |
| 10/06/16 | 0,0         | 0,07       | 0,06                      | 0,0       | 0,02       | 0,03                      |
| 11/06/16 | 0,2         | 0,06       | 0,05                      | 0,0       | 0,02       | 0,03                      |
| 12/06/16 | 0,2         | 0,06       | 0,05                      | 0,0       | 0,02       | 0,03                      |
| 13/06/16 | 0,0         | 0,06       | 0,05                      | 0,2       | 0,02       | 0,03                      |
| 14/06/16 | 0,0         | 0,06       | 0,05                      | 0,0       | 0,02       | 0,03                      |
| 15/06/16 | 0,0         | 0,06       | 0,05                      | 0,0       | 0,02       | 0,03                      |
| 16/06/16 | 7,3         | 0,03       | 0,02                      | 7,2       | 0,06       | 0,08                      |
| 17/06/16 | 0,4         | 0,06       | 0,05                      | 0,5       | 0,11       | 0,17                      |
| 18/06/16 | 0,2         | 0,05       | 0,05                      | 0,2       | 0,05       | 0,07                      |
| 19/06/16 | 0,2         | 0,06       | 0,05                      | 0,0       | 0,02       | 0,03                      |
| 20/06/16 | 0,2         | 0,05       | 0,05                      | 0,2       | 0,01       | 0,02                      |
| 21/06/16 | 0,9         | 0,05       | 0,05                      | 0,7       | 0,01       | 0,02                      |
| 22/06/16 | 0,4         | 0,05       | 0,05                      | 0,5       | 0,01       | 0,02                      |
| 23/06/16 | 0,2         | 0,05       | 0,04                      | 0,2       | 0,02       | 0,03                      |
| 24/06/16 | 0,2         | 0,05       | 0,05                      | 0,0       | 0,03       | 0,05                      |
| 25/06/16 | 0,0         | 0,05       | 0,04                      | 0,0       | 0,02       | 0,03                      |
| 26/06/16 | 0,0         | 0,05       | 0,04                      | 0,0       | 0,01       | 0,02                      |
| 27/06/16 | 0,0         | 0,05       | 0,04                      | 0,0       | 0,01       | 0,01                      |
| 28/06/16 | 0,2         | 0,05       | 0,04                      | 0,2       | 0,02       | 0,03                      |
| 29/06/16 | 0,0         | 0,04       | 0,04                      | 0,2       | 0,03       | 0,04                      |
| 30/06/16 | 0,0         | 0,04       | 0,04                      | 0,0       | 0,02       | 0,03                      |
| 01/07/16 | 0,2         | 0,11       | 0,11                      | 0,0       | 0,02       | 0,03                      |
| 02/07/16 | 0,0         | 0,12       | 0,11                      | 0,0       | 0,02       | 0,03                      |
| 03/07/16 | 0,0         | 0,12       | 0,11                      | 0,0       | 0,02       | 0,02                      |
| 04/07/16 | 0,0         | 0,12       | 0,11                      | 0,0       | 0,01       | 0,01                      |
| 05/07/16 | 8,8         | 0,11       | 0,11                      | 9,8       | 0,02       | 0,03                      |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 4: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |            |                           | Bacia Sul |            |                           |
|----------|-------------|------------|---------------------------|-----------|------------|---------------------------|
|          | P<br>(mm)   | PS<br>(Mg) | PS<br>(km <sup>-2</sup> ) | P<br>(mm) | PS<br>(Mg) | PS<br>(km <sup>-2</sup> ) |
| 06/07/16 | 19,6        | 0,18       | 0,16                      | 19,7      | 0,18       | 0,27                      |
| 07/07/16 | 0,2         | 0,09       | 0,08                      | 0,0       | 0,04       | 0,06                      |
| 08/07/16 | 0,2         | 0,09       | 0,09                      | 0,2       | 0,04       | 0,06                      |
| 09/07/16 | 22,2        | 0,27       | 0,25                      | 25,0      | 0,13       | 0,20                      |
| 10/07/16 | 3,7         | 0,13       | 0,12                      | 3,6       | 0,14       | 0,21                      |
| 11/07/16 | 14,3        | 0,39       | 0,36                      | 13,9      | 0,15       | 0,22                      |
| 12/07/16 | 0,0         | 0,06       | 0,06                      | 0,0       | 0,14       | 0,21                      |
| 13/07/16 | 0,7         | 0,06       | 0,05                      | 0,5       | 0,06       | 0,08                      |
| 14/07/16 | 73,3        | 19,26      | 17,80                     | 77,0      | 3,24       | 4,84                      |
| 15/07/16 | 0,0         | 0,24       | 0,22                      | 0,2       | 0,40       | 0,59                      |
| 16/07/16 | 0,0         | 0,14       | 0,13                      | 0,0       | 0,18       | 0,28                      |
| 17/07/16 | 0,0         | 0,10       | 0,09                      | 0,0       | 0,12       | 0,18                      |
| 18/07/16 | 0,2         | 0,08       | 0,08                      | 0,0       | 0,09       | 0,14                      |
| 19/07/16 | 0,0         | 0,06       | 0,05                      | 0,0       | 0,07       | 0,11                      |
| 20/07/16 | 0,0         | 0,05       | 0,05                      | 0,2       | 0,05       | 0,07                      |
| 21/07/16 | 0,2         | 0,05       | 0,05                      | 0,0       | 0,03       | 0,04                      |
| 22/07/16 | 0,2         | 0,05       | 0,04                      | 0,2       | 0,02       | 0,03                      |
| 23/07/16 | 0,2         | 0,04       | 0,04                      | 0,2       | 0,02       | 0,03                      |
| 24/07/16 | 0,0         | 0,04       | 0,04                      | 0,0       | 0,02       | 0,02                      |
| 25/07/16 | 0,2         | 0,04       | 0,03                      | 0,0       | 0,01       | 0,02                      |
| 26/07/16 | 27,7        | 0,28       | 0,26                      | 29,3      | 0,09       | 0,13                      |
| 27/07/16 | 0,2         | 0,05       | 0,04                      | 0,2       | 0,05       | 0,08                      |
| 28/07/16 | 0,2         | 0,04       | 0,04                      | 0,2       | 0,03       | 0,05                      |
| 29/07/16 | 0,2         | 0,04       | 0,03                      | 0,0       | 0,03       | 0,04                      |
| 30/07/16 | 0,0         | 0,03       | 0,03                      | 0,0       | 0,02       | 0,03                      |
| 31/07/16 | 0,0         | 0,03       | 0,03                      | 0,0       | 0,02       | 0,02                      |
| 01/08/16 | 0,2         | 0,03       | 0,03                      | 0,2       | 0,01       | 0,02                      |
| 02/08/16 | 0,0         | 0,03       | 0,03                      | 0,2       | 0,01       | 0,02                      |
| 03/08/16 | 0,9         | 0,04       | 0,04                      | 0,7       | 0,01       | 0,02                      |
| 04/08/16 | 0,0         | 0,04       | 0,04                      | 0,7       | 0,01       | 0,01                      |
| 05/08/16 | 0,2         | 0,04       | 0,04                      | 0,0       | 0,01       | 0,01                      |
| 06/08/16 | 8,1         | 0,05       | 0,04                      | 7,7       | 0,01       | 0,01                      |
| 07/08/16 | 5,7         | 0,05       | 0,05                      | 6,5       | 0,02       | 0,03                      |
| 08/08/16 | 0,0         | 0,04       | 0,03                      | 0,0       | 0,01       | 0,02                      |
| 09/08/16 | 0,2         | 0,03       | 0,03                      | 0,0       | 0,01       | 0,01                      |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 4: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |            |                           | Bacia Sul |            |                           |
|----------|-------------|------------|---------------------------|-----------|------------|---------------------------|
|          | P<br>(mm)   | PS<br>(Mg) | PS<br>(km <sup>-2</sup> ) | P<br>(mm) | PS<br>(Mg) | PS<br>(km <sup>-2</sup> ) |
| 10/08/16 | 0,2         | 0,03       | 0,03                      | 0,0       | 0,01       | 0,01                      |
| 11/08/16 | 0,0         | 0,03       | 0,03                      | 0,2       | 0,01       | 0,02                      |
| 12/08/16 | 0,2         | 0,02       | 0,02                      | 0,0       | 0,01       | 0,01                      |
| 13/08/16 | 0,2         | 0,02       | 0,02                      | 0,0       | 0,01       | 0,01                      |
| 14/08/16 | 0,2         | 0,02       | 0,02                      | 0,2       | 0,01       | 0,01                      |
| 15/08/16 | 10,6        | 0,06       | 0,06                      | 11,0      | 0,02       | 0,03                      |
| 16/08/16 | 0,2         | 0,03       | 0,02                      | 0,0       | 0,01       | 0,01                      |
| 17/08/16 | 16,3        | 0,40       | 0,37                      | 16,1      | 0,05       | 0,08                      |
| 18/08/16 | 0,2         | 0,07       | 0,06                      | 0,2       | 0,01       | 0,02                      |
| 19/08/16 | 3,7         | 0,07       | 0,06                      | 3,4       | 0,01       | 0,01                      |
| 20/08/16 | 11,9        | 0,15       | 0,14                      | 12,5      | 0,07       | 0,10                      |
| 21/08/16 | 0,2         | 0,06       | 0,05                      | 0,2       | 0,03       | 0,04                      |
| 22/08/16 | 0,2         | 0,06       | 0,05                      | 0,2       | 0,01       | 0,01                      |
| 23/08/16 | 0,0         | 0,05       | 0,05                      | 0,0       | 0,01       | 0,01                      |
| 24/08/16 | 0,2         | 0,05       | 0,05                      | 0,2       | 0,00       | 0,01                      |
| 25/08/16 | 0,0         | 0,05       | 0,05                      | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 26/08/16 | 0,0         | 0,04       | 0,04                      | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 27/08/16 | 0,0         | 0,03       | 0,02                      | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 28/08/16 | 17,8        | 0,06       | 0,06                      | 19,2      | 0,01       | 0,01                      |
| 29/08/16 | 28,4        | 0,35       | 0,32                      | 31,2      | 0,06       | 0,08                      |
| 30/08/16 | 10,6        | 0,21       | 0,19                      | 12,0      | 0,05       | 0,08                      |
| 31/08/16 | 2,2         | 0,08       | 0,08                      | 2,2       | 0,03       | 0,04                      |
| 01/09/16 | 0,2         | 0,08       | 0,08                      | 0,2       | 0,02       | 0,02                      |
| 02/09/16 | 0,0         | 0,05       | 0,05                      | 0,0       | 0,01       | 0,02                      |
| 03/09/16 | 16,9        | 0,08       | 0,07                      | 18,5      | 0,04       | 0,06                      |
| 04/09/16 | 1,1         | 0,05       | 0,05                      | 1,4       | 0,02       | 0,04                      |
| 05/09/16 | 27,3        | 0,67       | 0,62                      | 29,3      | 0,13       | 0,19                      |
| 06/09/16 | 1,3         | 0,13       | 0,12                      | 1,2       | 0,08       | 0,11                      |
| 07/09/16 | 0,0         | 0,08       | 0,07                      | 0,0       | 0,02       | 0,03                      |
| 08/09/16 | 0,0         | 0,06       | 0,06                      | 0,0       | 0,01       | 0,02                      |
| 09/09/16 | 0,0         | 0,05       | 0,05                      | 0,0       | 0,01       | 0,02                      |
| 10/09/16 | 0,2         | 0,04       | 0,04                      | 0,2       | 0,01       | 0,01                      |
| 11/09/16 | 0,0         | 0,04       | 0,03                      | 0,0       | 0,01       | 0,01                      |
| 12/09/16 | 0,0         | 0,03       | 0,03                      | 0,0       | 0,01       | 0,01                      |
| 13/09/16 | 16,3        | 0,24       | 0,22                      | 18,0      | 0,01       | 0,02                      |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 4: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |            |                           | Bacia Sul |            |                           |
|----------|-------------|------------|---------------------------|-----------|------------|---------------------------|
|          | P<br>(mm)   | PS<br>(Mg) | PS<br>(km <sup>-2</sup> ) | P<br>(mm) | PS<br>(Mg) | PS<br>(km <sup>-2</sup> ) |
| 14/09/16 | 0,0         | 0,05       | 0,04                      | 0,0       | 0,01       | 0,01                      |
| 15/09/16 | 0,0         | 0,05       | 0,04                      | 0,2       | 0,00       | 0,01                      |
| 16/09/16 | 0,0         | 0,04       | 0,03                      | 0,0       | 0,00       | 0,01                      |
| 17/09/16 | 0,2         | 0,03       | 0,03                      | 0,2       | 0,00       | 0,00                      |
| 18/09/16 | 2,2         | 0,03       | 0,03                      | 2,9       | 0,00       | 0,00                      |
| 19/09/16 | 0,0         | 0,03       | 0,03                      | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 20/09/16 | 0,0         | 0,03       | 0,03                      | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 21/09/16 | 0,0         | 0,03       | 0,02                      | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 22/09/16 | 0,0         | 0,02       | 0,02                      | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 23/09/16 | 0,0         | 0,02       | 0,02                      | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 24/09/16 | 0,4         | 0,02       | 0,02                      | 0,5       | 0,00       | 0,00                      |
| 25/09/16 | 0,0         | 0,02       | 0,02                      | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 26/09/16 | 0,2         | 0,01       | 0,01                      | 0,2       | 0,00       | 0,00                      |
| 27/09/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 28/09/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 29/09/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 30/09/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 01/10/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 02/10/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 03/10/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 04/10/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 05/10/16 | -           | -          | -                         | 27,1      | 0,01       | 0,01                      |
| 06/10/16 | -           | -          | -                         | 0,7       | 0,01       | 0,02                      |
| 07/10/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 08/10/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 09/10/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 10/10/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 11/10/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 12/10/16 | -           | -          | -                         | 7,7       | 0,00       | 0,00                      |
| 13/10/16 | -           | -          | -                         | 14,9      | 0,00       | 0,00                      |
| 14/10/16 | -           | -          | -                         | 0,2       | 0,00       | 0,00                      |
| 15/10/16 | -           | -          | -                         | 13,4      | 0,00       | 0,01                      |
| 16/10/16 | -           | -          | -                         | 19,2      | 0,02       | 0,02                      |
| 17/10/16 | -           | -          | -                         | 54,2      | 0,19       | 0,28                      |
| 18/10/16 | -           | 0,39       | 0,36                      | 81,4      | 0,37       | 0,55                      |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 4: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |            |                           | Bacia Sul |            |                           |
|----------|-------------|------------|---------------------------|-----------|------------|---------------------------|
|          | P<br>(mm)   | PS<br>(Mg) | PS<br>(km <sup>-2</sup> ) | P<br>(mm) | PS<br>(Mg) | PS<br>(km <sup>-2</sup> ) |
| 19/10/16 | -           | 3,92       | 3,62                      | 35,5      | 0,18       | 0,27                      |
| 20/10/16 | -           | 0,52       | 0,48                      | 0,7       | 0,04       | 0,06                      |
| 21/10/16 | -           | 0,32       | 0,30                      | 0,0       | 0,03       | 0,05                      |
| 22/10/16 | -           | 0,22       | 0,21                      | 0,0       | 0,02       | 0,04                      |
| 23/10/16 | -           | 0,18       | 0,17                      | 5,0       | 0,02       | 0,03                      |
| 24/10/16 | -           | 0,23       | 0,21                      | 18,2      | 0,06       | 0,10                      |
| 25/10/16 | -           | 0,11       | 0,10                      | 0,5       | 0,05       | 0,07                      |
| 26/10/16 | -           | -          | -                         | 7,4       | 0,04       | 0,06                      |
| 27/10/16 | -           | -          | -                         | 9,8       | 0,06       | 0,09                      |
| 28/10/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,01       | 0,02                      |
| 29/10/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,01       | 0,02                      |
| 30/10/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,01       | 0,02                      |
| 31/10/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,01       | 0,02                      |
| 01/11/16 | -           | -          | -                         | 27,8      | 0,04       | 0,06                      |
| 02/11/16 | -           | -          | -                         | 34,1      | 0,11       | 0,16                      |
| 03/11/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,05       | 0,08                      |
| 04/11/16 | -           | -          | -                         | 0,2       | 0,02       | 0,03                      |
| 05/11/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,01       | 0,02                      |
| 06/11/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,01       | 0,01                      |
| 07/11/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,00       | 0,01                      |
| 08/11/16 | -           | -          | -                         | 7,7       | 0,01       | 0,01                      |
| 09/11/16 | -           | -          | -                         | 26,4      | 0,16       | 0,24                      |
| 10/11/16 | -           | -          | -                         | 0,2       | 0,03       | 0,05                      |
| 11/11/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,00       | 0,01                      |
| 12/11/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,00       | 0,01                      |
| 13/11/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,00       | 0,01                      |
| 14/11/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,00       | 0,01                      |
| 15/11/16 | -           | -          | -                         | 13,4      | 0,04       | 0,06                      |
| 16/11/16 | -           | -          | -                         | 1,4       | 0,03       | 0,05                      |
| 17/11/16 | -           | -          | -                         | 0,5       | 0,01       | 0,02                      |
| 18/11/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,01       | 0,02                      |
| 19/11/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,01       | 0,02                      |
| 20/11/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,01       | 0,01                      |
| 21/11/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,01       | 0,01                      |
| 22/11/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,01       | 0,01                      |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 4: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |            |                           | Bacia Sul |            |                           |
|----------|-------------|------------|---------------------------|-----------|------------|---------------------------|
|          | P<br>(mm)   | PS<br>(Mg) | PS<br>(km <sup>-2</sup> ) | P<br>(mm) | PS<br>(Mg) | PS<br>(km <sup>-2</sup> ) |
| 23/11/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,01       | 0,01                      |
| 24/11/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,01       | 0,01                      |
| 25/11/16 | -           | -          | -                         | 2,6       | 0,01       | 0,02                      |
| 26/11/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,01       | 0,01                      |
| 27/11/16 | -           | -          | -                         | 28,1      | 0,02       | 0,03                      |
| 28/11/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,02       | 0,02                      |
| 29/11/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 30/11/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 01/12/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 02/12/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 03/12/16 | -           | -          | -                         | 11,3      | 0,03       | 0,04                      |
| 04/12/16 | -           | -          | -                         | 0,2       | 0,01       | 0,01                      |
| 05/12/16 | -           | -          | -                         | 0,2       | 0,01       | 0,01                      |
| 06/12/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,01       | 0,01                      |
| 07/12/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 08/12/16 | -           | -          | -                         | 0,5       | 0,00       | 0,00                      |
| 09/12/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 10/12/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 11/12/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 12/12/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 13/12/16 | -           | -          | -                         | 12,2      | 0,00       | 0,00                      |
| 14/12/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 15/12/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 16/12/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 17/12/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 18/12/16 | -           | -          | -                         | 14,6      | 0,00       | 0,00                      |
| 19/12/16 | -           | -          | -                         | 12,7      | 0,00       | 0,00                      |
| 20/12/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 21/12/16 | -           | -          | -                         | 4,8       | 0,00       | 0,00                      |
| 22/12/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 23/12/16 | -           | -          | -                         | 7,2       | 0,00       | 0,00                      |
| 24/12/16 | -           | -          | -                         | 0,7       | 0,00       | 0,00                      |
| 25/12/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 26/12/16 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |
| 27/12/16 | -           | -          | -                         | 7,7       | 0,00       | 0,00                      |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 4: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |            |                          | Bacia Sul |            |                          |
|----------|-------------|------------|--------------------------|-----------|------------|--------------------------|
|          | P<br>(mm)   | PS<br>(Mg) | PS<br>(km <sup>2</sup> ) | P<br>(mm) | PS<br>(Mg) | PS<br>(km <sup>2</sup> ) |
| 28/12/16 | -           | -          | -                        | 0,0       | 0,00       | 0,00                     |
| 29/12/16 | -           | -          | -                        | 19,2      | 0,00       | 0,00                     |
| 30/12/16 | -           | -          | -                        | 0,2       | 0,00       | 0,00                     |
| 31/12/16 | -           | -          | -                        | 140,2     | 12,05      | 17,98                    |
| 01/01/17 | -           | -          | -                        | 3,6       | 0,02       | 0,02                     |
| 02/01/17 | -           | -          | -                        | 25,4      | 0,03       | 0,04                     |
| 03/01/17 | -           | -          | -                        | 2,9       | 0,00       | 0,00                     |
| 04/01/17 | -           | -          | -                        | 43,0      | 0,96       | 1,43                     |
| 05/01/17 | -           | -          | -                        | 3,0       | 0,00       | 0,00                     |
| 06/01/17 | -           | -          | -                        | 11,5      | 0,00       | 0,00                     |
| 07/01/17 | -           | -          | -                        | 0,0       | 0,00       | 0,00                     |
| 08/01/17 | -           | -          | -                        | 0,0       | 0,00       | 0,00                     |
| 09/01/17 | -           | -          | -                        | 16,1      | 0,00       | 0,00                     |
| 10/01/17 | -           | -          | -                        | 31,2      | 0,02       | 0,02                     |
| 11/01/17 | -           | -          | -                        | 0,2       | 0,01       | 0,01                     |
| 12/01/17 | -           | -          | -                        | 0,0       | 0,00       | 0,01                     |
| 13/01/17 | -           | -          | -                        | 0,0       | 0,00       | 0,01                     |
| 14/01/17 | -           | -          | -                        | 0,0       | 0,00       | 0,00                     |
| 15/01/17 | -           | -          | -                        | 3,6       | 0,00       | 0,00                     |
| 16/01/17 | -           | -          | -                        | 25,7      | 0,01       | 0,01                     |
| 17/01/17 | -           | -          | -                        | 1,0       | 0,00       | 0,01                     |
| 18/01/17 | -           | -          | -                        | 0,0       | 0,00       | 0,01                     |
| 19/01/17 | -           | -          | -                        | 0,2       | 0,00       | 0,00                     |
| 20/01/17 | -           | -          | -                        | 0,0       | 0,00       | 0,01                     |
| 21/01/17 | -           | -          | -                        | 0,0       | 0,00       | 0,01                     |
| 22/01/17 | -           | -          | -                        | 0,0       | 0,00       | 0,01                     |
| 23/01/17 | -           | -          | -                        | 0,0       | 0,00       | 0,01                     |
| 24/01/17 | -           | -          | -                        | 7,4       | 0,00       | 0,01                     |
| 25/01/17 | -           | -          | -                        | 7,9       | 0,01       | 0,02                     |
| 26/01/17 | -           | -          | -                        | 0,2       | 0,01       | 0,02                     |
| 27/01/17 | -           | -          | -                        | 0,0       | 0,01       | 0,01                     |
| 28/01/17 | -           | -          | -                        | 0,0       | 0,01       | 0,01                     |
| 29/01/17 | -           | -          | -                        | 0,0       | 0,01       | 0,01                     |
| 30/01/17 | -           | -          | -                        | 0,0       | 0,03       | 0,04                     |
| 31/01/17 | -           | -          | -                        | 1,0       | 0,05       | 0,07                     |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 4: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |            |                           | Bacia Sul |            |                           |
|----------|-------------|------------|---------------------------|-----------|------------|---------------------------|
|          | P<br>(mm)   | PS<br>(Mg) | PS<br>(km <sup>-2</sup> ) | P<br>(mm) | PS<br>(Mg) | PS<br>(km <sup>-2</sup> ) |
| 01/02/17 | -           | -          | -                         | 44,2      | 0,66       | 0,99                      |
| 02/02/17 | -           | -          | -                         | 0,2       | 0,20       | 0,30                      |
| 03/02/17 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,11       | 0,16                      |
| 04/02/17 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,10       | 0,15                      |
| 05/02/17 | -           | -          | -                         | 24,0      | 0,15       | 0,23                      |
| 06/02/17 | -           | -          | -                         | 0,2       | 0,10       | 0,15                      |
| 07/02/17 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,07       | 0,10                      |
| 08/02/17 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,05       | 0,08                      |
| 09/02/17 | -           | -          | -                         | 76,6      | 8,42       | 12,57                     |
| 10/02/17 | -           | -          | -                         | 0,2       | 1,03       | 1,53                      |
| 11/02/17 | -           | -          | -                         | 27,4      | 0,38       | 0,56                      |
| 12/02/17 | -           | -          | -                         | 0,5       | 0,28       | 0,42                      |
| 13/02/17 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,29       | 0,43                      |
| 14/02/17 | -           | -          | -                         | 51,6      | 0,85       | 1,27                      |
| 15/02/17 | -           | -          | -                         | 1,0       | 0,16       | 0,23                      |
| 16/02/17 | -           | -          | -                         | 0,2       | 0,06       | 0,09                      |
| 17/02/17 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,06       | 0,09                      |
| 18/02/17 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,06       | 0,08                      |
| 19/02/17 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,05       | 0,08                      |
| 20/02/17 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,09       | 0,14                      |
| 21/02/17 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,08       | 0,11                      |
| 22/02/17 | -           | -          | -                         | 0,5       | 0,03       | 0,05                      |
| 23/02/17 | -           | -          | -                         | 3,4       | 0,04       | 0,06                      |
| 24/02/17 | -           | -          | -                         | 5,3       | 0,06       | 0,10                      |
| 25/02/17 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,04       | 0,06                      |
| 26/02/17 | -           | -          | -                         | 0,2       | 0,04       | 0,06                      |
| 27/02/17 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,04       | 0,05                      |
| 28/02/17 | -           | -          | -                         | 1,4       | 0,05       | 0,07                      |
| 01/03/17 | -           | -          | -                         | 2,2       | 0,09       | 0,13                      |
| 02/03/17 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,07       | 0,10                      |
| 03/03/17 | -           | -          | -                         | 0,5       | 0,07       | 0,10                      |
| 04/03/17 | -           | -          | -                         | 16,6      | 0,36       | 0,53                      |
| 05/03/17 | -           | -          | -                         | 1,0       | 0,04       | 0,01                      |
| 06/03/17 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,08       | 0,11                      |
| 07/03/17 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,08       | 0,11                      |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 4: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |            |                          | Bacia Sul |            |                          |
|----------|-------------|------------|--------------------------|-----------|------------|--------------------------|
|          | P<br>(mm)   | PS<br>(Mg) | PS<br>(km <sup>2</sup> ) | P<br>(mm) | PS<br>(Mg) | PS<br>(km <sup>2</sup> ) |
| 08/03/17 | -           | -          | -                        | 0,0       | 0,11       | 0,16                     |
| 09/03/17 | -           | -          | -                        | 0,0       | 0,04       | 0,06                     |
| 10/03/17 | -           | -          | -                        | 57,1      | 4,52       | 6,75                     |
| 11/03/17 | -           | -          | -                        | 0,2       | 0,26       | 0,39                     |
| 12/03/17 | -           | -          | -                        | 67,9      | 12,46      | 18,60                    |
| 13/03/17 | -           | -          | -                        | 0,2       | 0,21       | 0,32                     |
| 14/03/17 | -           | -          | -                        | 0,0       | 0,12       | 0,19                     |
| 15/03/17 | -           | -          | -                        | 0,2       | 0,07       | 0,10                     |
| 16/03/17 | -           | -          | -                        | 37,9      | 2,19       | 3,27                     |
| 17/03/17 | -           | -          | -                        | 0,0       | 0,04       | 0,06                     |
| 18/03/17 | -           | -          | -                        | 0,2       | 0,04       | 0,05                     |
| 19/03/17 | -           | -          | -                        | 0,0       | 0,04       | 0,06                     |
| 20/03/17 | -           | -          | -                        | 0,0       | 0,03       | 0,04                     |
| 21/03/17 | -           | -          | -                        | 0,0       | 0,03       | 0,05                     |
| 22/03/17 | -           | -          | -                        | 0,0       | 0,04       | 0,06                     |
| 23/03/17 | -           | -          | -                        | 0,0       | 0,05       | 0,07                     |
| 24/03/17 | -           | -          | -                        | 0,0       | 0,05       | 0,07                     |
| 25/03/17 | -           | -          | -                        | 0,0       | 0,03       | 0,05                     |
| 26/03/17 | -           | -          | -                        | 0,0       | 0,04       | 0,06                     |
| 27/03/17 | -           | -          | -                        | 0,0       | 0,06       | 0,08                     |
| 28/03/17 | -           | -          | -                        | 0,0       | 0,04       | 0,06                     |
| 29/03/17 | -           | -          | -                        | 0,0       | 0,04       | 0,04                     |
| 30/03/17 | -           | -          | -                        | -         | -          | -                        |
| 31/03/17 | -           | -          | -                        | -         | -          | -                        |
| 01/04/17 | -           | -          | -                        | -         | -          | -                        |
| 02/04/17 | -           | -          | -                        | -         | -          | -                        |
| 03/04/17 | -           | -          | -                        | -         | -          | -                        |
| 04/04/17 | -           | -          | -                        | -         | -          | -                        |
| 05/04/17 | -           | -          | -                        | -         | -          | -                        |
| 06/04/17 | -           | -          | -                        | -         | -          | -                        |
| 07/04/17 | -           | -          | -                        | -         | -          | -                        |
| 08/04/17 | -           | -          | -                        | -         | -          | -                        |
| 09/04/17 | -           | -          | -                        | -         | -          | -                        |
| 10/04/17 | -           | -          | -                        | -         | -          | -                        |
| 11/04/17 | -           | -          | -                        | -         | -          | -                        |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 4: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |            |                           | Bacia Sul |            |                           |
|----------|-------------|------------|---------------------------|-----------|------------|---------------------------|
|          | P<br>(mm)   | PS<br>(Mg) | PS<br>(km <sup>-2</sup> ) | P<br>(mm) | PS<br>(Mg) | PS<br>(km <sup>-2</sup> ) |
| 12/04/17 | -           | -          | -                         | -         | -          | -                         |
| 13/04/17 | -           | -          | -                         | -         | -          | -                         |
| 14/04/17 | -           | -          | -                         | -         | -          | -                         |
| 15/04/17 | -           | -          | -                         | -         | -          | -                         |
| 16/04/17 | -           | -          | -                         | -         | -          | -                         |
| 17/04/17 | -           | -          | -                         | -         | -          | -                         |
| 18/04/17 | -           | -          | -                         | -         | -          | -                         |
| 19/04/17 | -           | -          | -                         | -         | -          | -                         |
| 20/04/17 | -           | -          | -                         | -         | -          | -                         |
| 21/04/17 | -           | -          | -                         | -         | -          | -                         |
| 22/04/17 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,03       | 0,04                      |
| 23/04/17 | -           | -          | -                         | 0,2       | 0,03       | 0,04                      |
| 24/04/17 | -           | -          | -                         | 21,8      | 0,21       | 0,00                      |
| 25/04/17 | -           | -          | -                         | 143,5     | 13,28      | 19,82                     |
| 26/04/17 | -           | -          | -                         | 3,6       | 2,65       | 3,96                      |
| 27/04/17 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,09       | 0,14                      |
| 28/04/17 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,06       | 0,10                      |
| 29/04/17 | -           | -          | -                         | 0,2       | 0,05       | 0,07                      |
| 30/04/17 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,05       | 0,08                      |
| 01/05/17 | -           | -          | -                         | 0,2       | 0,04       | 0,06                      |
| 02/05/17 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,03       | 0,04                      |
| 03/05/17 | -           | -          | -                         | 0,2       | 0,00       | 0,04                      |
| 04/05/17 | -           | -          | -                         | 7,0       | 0,00       | 0,12                      |
| 05/05/17 | -           | -          | -                         | 0,2       | 0,05       | 0,07                      |
| 06/05/17 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,07       | 0,07                      |
| 07/05/17 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,04       | 0,06                      |
| 08/05/17 | -           | -          | -                         | 3,4       | 0,04       | 0,06                      |
| 09/05/17 | -           | -          | -                         | 1,0       | 0,03       | 0,05                      |
| 10/05/17 | -           | -          | -                         | 0,2       | 0,04       | 0,05                      |
| 11/05/17 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,04       | 0,06                      |
| 12/05/17 | -           | -          | -                         | 38,4      | 1,44       | 2,14                      |
| 13/05/17 | -           | -          | -                         | 62,4      | 2,31       | 3,44                      |
| 14/05/17 | -           | -          | -                         | 1,0       | 0,08       | 0,12                      |
| 15/05/17 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,04       | 0,00                      |
| 16/05/17 | -           | -          | -                         | 0,0       | 0,04       | 0,06                      |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 4: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |            |                          | Bacia Sul |            |                          |
|----------|-------------|------------|--------------------------|-----------|------------|--------------------------|
|          | P<br>(mm)   | PS<br>(Mg) | PS<br>(km <sup>2</sup> ) | P<br>(mm) | PS<br>(Mg) | PS<br>(km <sup>2</sup> ) |
| 17/05/17 | -           | -          | -                        | 0,0       | 0,04       | 0,06                     |
| 18/05/17 | -           | -          | -                        | 46,8      | 0,89       | 1,32                     |
| 19/05/17 | -           | -          | -                        | 12,7      | 0,99       | 1,48                     |
| 20/05/17 | -           | -          | -                        | 6,2       | 0,05       | 0,07                     |
| 21/05/17 | -           | -          | -                        | 0,2       | 0,04       | 0,06                     |
| 22/05/17 | -           | -          | -                        | 0,2       | 0,05       | 0,07                     |
| 23/05/17 | -           | -          | -                        | 41,3      | 1,25       | 1,87                     |
| 24/05/17 | -           | -          | -                        | 13,0      | 0,98       | 1,46                     |
| 25/05/17 | -           | -          | -                        | 0,2       | 0,03       | 0,05                     |
| 26/05/17 | -           | -          | -                        | 52,6      | 8,33       | 12,43                    |
| 27/05/17 | -           | -          | -                        | 48,5      | 13,94      | 20,80                    |
| 28/05/17 | -           | -          | -                        | 1,7       | 0,73       | 1,08                     |
| 29/05/17 | -           | -          | -                        | 1,0       | 0,70       | 1,05                     |
| 30/05/17 | -           | -          | -                        | 40,3      | 2,92       | 4,36                     |
| 31/05/17 | -           | -          | -                        | 22,6      | 2,35       | 3,51                     |
| 01/06/17 | -           | -          | -                        | 8,4       | 0,20       | 0,30                     |
| 02/06/17 | -           | -          | -                        | 1,2       | 0,14       | 0,21                     |
| 03/06/17 | -           | -          | -                        | 0,5       | 0,13       | 0,19                     |
| 04/06/17 | -           | -          | -                        | 17,3      | 0,22       | 0,34                     |
| 05/06/17 | -           | -          | -                        | 1,2       | 0,12       | 0,19                     |
| 06/06/17 | -           | -          | -                        | 0,0       | 0,11       | 0,17                     |
| 07/06/17 | -           | -          | -                        | 101,0     | 9,34       | 13,94                    |
| 08/06/17 | -           | -          | -                        | 50,4      | 4,37       | 6,53                     |
| 09/06/17 | -           | -          | -                        | 2,4       | 0,51       | 0,76                     |
| 10/06/17 | -           | -          | -                        | 0,0       | 0,19       | 0,28                     |
| 11/06/17 | -           | -          | -                        | 0,2       | 0,12       | 0,18                     |
| 12/06/17 | -           | -          | -                        | 0,2       | 0,10       | 0,15                     |
| 13/06/17 | -           | -          | -                        | 0,0       | 0,10       | 0,15                     |
| 14/06/17 | -           | -          | -                        | 0,2       | 0,08       | 0,13                     |
| 15/06/17 | -           | -          | -                        | 0,0       | 0,09       | 0,14                     |
| 16/06/17 | -           | -          | -                        | 0,0       | 0,08       | 0,02                     |
| 17/06/17 | 0,4         | 0,06       | 0,05                     | 0,0       | 0,06       | 0,09                     |
| 18/06/17 | 0,2         | 0,05       | 0,05                     | 2,6       | 0,04       | 0,07                     |
| 19/06/17 | 0,2         | 0,06       | 0,05                     | 0,5       | 0,04       | 0,05                     |
| 20/06/17 | 0,2         | 0,05       | 0,05                     | 0,2       | 0,03       | 0,05                     |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 4: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |            |                           | Bacia Sul |            |                           |
|----------|-------------|------------|---------------------------|-----------|------------|---------------------------|
|          | P<br>(mm)   | PS<br>(Mg) | PS<br>(km <sup>-2</sup> ) | P<br>(mm) | PS<br>(Mg) | PS<br>(km <sup>-2</sup> ) |
| 21/06/17 | 0,9         | 0,05       | 0,05                      | 0,0       | 0,03       | 0,05                      |
| 22/06/17 | 0,4         | 0,05       | 0,05                      | 0,0       | 0,03       | 0,04                      |
| 23/06/17 | 0,2         | 0,05       | 0,04                      | 0,0       | 0,02       | 0,04                      |
| 24/06/17 | 0,2         | 0,05       | 0,05                      | 0,0       | 0,02       | 0,03                      |
| 25/06/17 | 0,0         | 0,05       | 0,04                      | 0,0       | 0,03       | 0,03                      |
| 26/06/17 | 0,0         | 0,05       | 0,04                      | 0,2       | 0,02       | 0,03                      |
| 27/06/17 | 0,0         | 0,05       | 0,04                      | 0,0       | 0,02       | 0,03                      |
| 28/06/17 | 0,2         | 0,05       | 0,04                      | 0,0       | 0,02       | 0,03                      |
| 29/06/17 | 0,0         | 0,04       | 0,04                      | 0,0       | 0,02       | 0,02                      |
| 30/06/17 | 0,0         | 0,04       | 0,04                      | 6,2       | 0,02       | 0,03                      |
| 01/07/17 | 0,0         | 0,22       | 0,20                      | 0,2       | 0,02       | 0,02                      |
| 02/07/17 | 0,0         | 0,22       | 0,20                      | 0,2       | 0,01       | 0,02                      |
| 03/07/17 | 0,0         | 0,21       | 0,19                      | 0,0       | 0,01       | 0,02                      |
| 04/07/17 | 0,0         | 0,20       | 0,19                      | 0,0       | 0,01       | 0,02                      |
| 05/07/17 | 0,0         | 0,20       | 0,19                      | 0,0       | 0,01       | 0,02                      |
| 06/07/17 | 0,0         | 0,18       | 0,17                      | 0,0       | 0,01       | 0,02                      |
| 07/07/17 | 0,0         | 0,19       | 0,17                      | 0,0       | 0,01       | 0,02                      |
| 08/07/17 | 0,0         | 0,19       | 0,18                      | 0,0       | 0,01       | 0,02                      |
| 09/07/17 | 0,0         | 0,20       | 0,18                      | 7,4       | 0,01       | 0,02                      |
| 10/07/17 | 0,0         | 0,17       | 0,16                      | 0,0       | 0,01       | 0,01                      |
| 11/07/17 | 0,0         | 0,16       | 0,15                      | 0,2       | 0,01       | 0,01                      |
| 12/07/17 | 0,0         | 0,15       | 0,14                      | 0,0       | 0,01       | 0,01                      |
| 13/07/17 | 0,0         | 0,15       | 0,14                      | 0,2       | 0,01       | 0,01                      |
| 14/07/17 | 0,0         | 0,17       | 0,16                      | 0,0       | 0,01       | 0,01                      |
| 15/07/17 | 0,0         | 0,15       | 0,14                      | 0,3       | 0,01       | 0,01                      |
| 16/07/17 | 0,0         | 0,17       | 0,16                      | 16,8      | 0,02       | 0,03                      |
| 17/07/17 | 0,0         | 0,17       | 0,15                      | 7,4       | 0,03       | 0,05                      |
| 18/07/17 | 5,5         | 0,15       | 0,14                      | 0,2       | 0,01       | 0,01                      |
| 19/07/17 | 15,0        | 0,13       | 0,12                      | 0,0       | 0,01       | 0,01                      |
| 20/07/17 | 0,0         | 0,13       | 0,12                      | 0,2       | 0,01       | 0,01                      |
| 21/07/17 | 0,0         | 0,12       | 0,11                      | 0,0       | 0,01       | 0,01                      |
| 22/07/17 | 0,0         | 0,12       | 0,11                      | 0,0       | 0,01       | 0,01                      |
| 23/07/17 | 0,0         | 0,11       | 0,10                      | 0,2       | 0,01       | 0,01                      |
| 24/07/17 | 0,0         | 0,10       | 0,09                      | 0,0       | 0,01       | 0,01                      |
| 25/07/17 | 0,0         | 0,06       | 0,05                      | 0,0       | 0,00       | 0,00                      |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 4: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |            |                           | Bacia Sul |            |                           |
|----------|-------------|------------|---------------------------|-----------|------------|---------------------------|
|          | P<br>(mm)   | PS<br>(Mg) | PS<br>(km <sup>-2</sup> ) | P<br>(mm) | PS<br>(Mg) | PS<br>(km <sup>-2</sup> ) |
| 26/07/17 | 0,0         | 0,05       | 0,05                      | 0,0       | 0,01       | 0,01                      |
| 27/07/17 | 0,0         | 0,06       | 0,05                      | 0,0       | 0,01       | 0,02                      |
| 28/07/17 | 0,0         | 0,05       | 0,05                      | 0,0       | 0,01       | 0,02                      |
| 29/07/17 | 0,0         | 0,04       | 0,04                      | 0,0       | 0,01       | 0,02                      |
| 30/07/17 | 0,0         | 0,04       | 0,04                      | 0,0       | 0,01       | 0,01                      |
| 31/07/17 | 0,0         | 0,04       | 0,04                      | 0,0       | 0,01       | 0,01                      |
| 01/08/17 | 0,0         | 0,04       | 0,04                      | 0,0       | 0,01       | 0,01                      |
| 02/08/17 | 13,4        | 0,15       | 0,14                      | 26,4      | 0,03       | 0,04                      |
| 03/08/17 | 25,9        | 0,17       | 0,15                      | 13,0      | 0,11       | 0,17                      |
| 04/08/17 | 0,0         | 0,02       | 0,05                      | 0,0       | 0,04       | 0,05                      |
| 05/08/17 | 0,2         | 0,05       | 0,05                      | 0,2       | 0,03       | 0,04                      |
| 06/08/17 | 0,0         | 0,04       | 0,03                      | 0,0       | 0,02       | 0,03                      |
| 07/08/17 | 0,0         | 0,04       | 0,04                      | 0,0       | 0,02       | 0,03                      |
| 08/08/17 | 7,9         | 0,07       | 0,06                      | 7,9       | 0,03       | 0,04                      |
| 09/08/17 | 0,0         | 0,04       | 0,04                      | 0,0       | 0,03       | 0,05                      |
| 10/08/17 | 3,1         | 0,04       | 0,04                      | 1,2       | 0,02       | 0,04                      |
| 11/08/17 | 0,0         | 0,04       | 0,04                      | 0,0       | 0,01       | 0,02                      |
| 12/08/17 | 40,6        | 5,02       | 4,64                      | 66,7      | 0,37       | 0,56                      |
| 13/08/17 | 68,4        | 2,98       | 2,76                      | 42,2      | 0,76       | 1,13                      |
| 14/08/17 | 0,0         | 0,23       | 0,21                      | 0,0       | 0,15       | 0,22                      |
| 15/08/17 | 0,2         | 0,16       | 0,15                      | 0,2       | 0,05       | 0,08                      |
| 16/08/17 | 0,2         | 0,13       | 0,12                      | 2,0       | 0,04       | 0,04                      |
| 17/08/17 | 0,0         | 0,11       | 0,10                      | 1,9       | 0,04       | 0,06                      |
| 18/08/17 | 0,2         | 0,10       | 0,09                      | 0,2       | 0,04       | 0,06                      |
| 19/08/17 | 2,6         | 0,56       | 0,52                      | 22,6      | 0,09       | 0,13                      |
| 20/08/17 | 21,8        | 0,21       | 0,19                      | 1,9       | 0,04       | 0,05                      |
| 21/08/17 | 0,0         | 0,11       | 0,10                      | 0,0       | 0,03       | 0,05                      |
| 22/08/17 | 0,0         | 0,09       | 0,08                      | 0,0       | 0,03       | 0,05                      |
| 23/08/17 | 0,0         | 0,07       | 0,06                      | 0,0       | 0,03       | 0,05                      |
| 24/08/17 | 0,0         | 0,06       | 0,05                      | 0,0       | 0,03       | 0,04                      |
| 25/08/17 | 0,0         | 0,05       | 0,05                      | 0,0       | 0,03       | 0,04                      |
| 26/08/17 | 0,0         | 0,05       | 0,04                      | 0,0       | 0,00       | 0,05                      |
| 27/08/17 | 22,6        | 0,10       | 0,09                      | 22,6      | 0,05       | 0,07                      |
| 28/08/17 | 0,0         | 0,06       | 0,05                      | 0,0       | 0,03       | 0,05                      |
| 29/08/17 | 0,0         | 0,05       | 0,05                      | 0,0       | 0,02       | 0,04                      |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 4: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |            |                           | Bacia Sul |            |                           |
|----------|-------------|------------|---------------------------|-----------|------------|---------------------------|
|          | P<br>(mm)   | PS<br>(Mg) | PS<br>(km <sup>-2</sup> ) | P<br>(mm) | PS<br>(Mg) | PS<br>(km <sup>-2</sup> ) |
| 30/08/17 | 0,0         | 0,03       | 0,03                      | 0,0       | 0,02       | 0,03                      |
| 31/08/17 | 0,0         | 0,03       | 0,03                      | 0,0       | 0,02       | 0,03                      |
| 01/09/17 | 0,0         | 0,03       | 0,03                      | -         | -          | -                         |
| 02/09/17 | 0,0         | 0,03       | 0,03                      | -         | -          | -                         |
| 03/09/17 | 0,0         | 0,03       | 0,03                      | -         | -          | -                         |
| 04/09/17 | 0,0         | 0,03       | 0,03                      | -         | -          | -                         |
| 05/09/17 | 3,4         | 0,05       | 0,05                      | -         | -          | -                         |
| 06/09/17 | 0,0         | 0,05       | 0,04                      | -         | -          | -                         |
| 07/09/17 | 0,0         | 0,04       | 0,04                      | -         | -          | -                         |
| 08/09/17 | 0,0         | 0,04       | 0,03                      | -         | -          | -                         |
| 09/09/17 | 0,0         | 0,04       | 0,03                      | -         | -          | -                         |
| 10/09/17 | 0,0         | 0,03       | 0,03                      | -         | -          | -                         |
| 11/09/17 | 0,0         | 0,03       | 0,03                      | -         | -          | -                         |
| 12/09/17 | 1,0         | 0,04       | 0,03                      | -         | -          | -                         |
| 13/09/17 | 0,0         | 0,04       | 0,03                      | -         | -          | -                         |
| 14/09/17 | 27,8        | 0,14       | 0,13                      | -         | -          | -                         |
| 15/09/17 | 18,0        | 0,11       | 0,10                      | -         | -          | -                         |
| 16/09/17 | 40,6        | 1,22       | 1,13                      | -         | -          | -                         |
| 17/09/17 | 0,2         | 0,14       | 0,13                      | -         | -          | -                         |
| 18/09/17 | 0,0         | 0,09       | 0,08                      | -         | -          | -                         |
| 19/09/17 | 0,0         | 0,07       | 0,06                      | -         | -          | -                         |
| 20/09/17 | 0,2         | 0,06       | 0,06                      | -         | -          | -                         |
| 21/09/17 | 0,0         | 0,06       | 0,05                      | -         | -          | -                         |
| 22/09/17 | 0,2         | 0,04       | 0,04                      | -         | -          | -                         |
| 23/09/17 | 6,7         | 0,06       | 0,06                      | -         | -          | -                         |
| 24/09/17 | 0,0         | 0,05       | 0,05                      | -         | -          | -                         |
| 25/09/17 | 0,0         | 0,05       | 0,05                      | -         | -          | -                         |
| 26/09/17 | 0,0         | 0,04       | 0,04                      | -         | -          | -                         |
| 27/09/17 | 8,9         | 0,07       | 0,07                      | -         | -          | -                         |
| 28/09/17 | 0,2         | 0,06       | 0,05                      | -         | -          | -                         |
| 29/09/17 | 28,3        | 0,10       | 0,09                      | -         | -          | -                         |
| 30/09/17 | 0,0         | 0,06       | 0,06                      | -         | -          | -                         |
| 01/10/17 | 35,8        | 0,32       | 0,30                      | -         | -          | -                         |
| 02/10/17 | 0,0         | 0,09       | 0,08                      | -         | -          | -                         |
| 03/10/17 | 0,0         | 0,07       | 0,06                      | -         | -          | -                         |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.

## Anexo 4: (Continuação)

| Período  | Bacia Norte |            |                           | Bacia Sul |            |                           |
|----------|-------------|------------|---------------------------|-----------|------------|---------------------------|
|          | P<br>(mm)   | PS<br>(Mg) | PS<br>(km <sup>-2</sup> ) | P<br>(mm) | PS<br>(Mg) | PS<br>(km <sup>-2</sup> ) |
| 04/10/17 | 0,0         | 0,08       | 0,07                      | -         | -          | -                         |
| 05/10/17 | 0,0         | 0,06       | 0,06                      | -         | -          | -                         |
| 06/10/17 | 15,1        | 0,13       | 0,12                      | -         | -          | -                         |
| 07/10/17 | 0,0         | 0,05       | 0,05                      | -         | -          | -                         |
| 08/10/17 | 2,4         | 0,06       | 0,05                      | -         | -          | -                         |
| 09/10/17 | 4,8         | 0,08       | 0,07                      | -         | -          | -                         |
| 10/10/17 | 11,5        | 0,13       | 0,12                      | -         | -          | -                         |
| 11/10/17 | 42,5        | 3,28       | 3,03                      | -         | -          | -                         |
| 12/10/17 | 80,4        | 31,23      | 28,86                     | -         | -          | -                         |
| 13/10/17 | 14,6        | 0,82       | 0,76                      | -         | -          | -                         |
| 14/10/17 | 1,9         | 0,29       | 0,27                      | -         | -          | -                         |
| 15/10/17 | 0,0         | 0,18       | 0,16                      | -         | -          | -                         |
| 16/10/17 | 0,0         | 0,26       | 0,24                      | -         | -          | -                         |
| 17/10/17 | 0,0         | 0,28       | 0,26                      | -         | -          | -                         |
| 18/10/17 | 1,2         | 0,23       | 0,21                      | -         | -          | -                         |
| 19/10/17 | 48,5        | 3,77       | 3,48                      | -         | -          | -                         |
| 20/10/17 | 0,0         | 0,39       | 0,36                      | -         | -          | -                         |
| 21/10/17 | 8,6         | 0,48       | 0,45                      | -         | -          | -                         |
| 22/10/17 | 0,0         | 0,15       | 0,14                      | -         | -          | -                         |
| 23/10/17 | 0,0         | 0,25       | 0,23                      | -         | -          | -                         |
| 24/10/17 | 0,0         | 0,31       | 0,29                      | -         | -          | -                         |
| 25/10/17 | 21,6        | 0,70       | 0,64                      | -         | -          | -                         |
| 26/10/17 | 0,0         | 0,30       | 0,28                      | -         | -          | -                         |
| 27/10/17 | 1,7         | 0,28       | 0,26                      | -         | -          | -                         |
| 28/10/17 | 0,0         | 0,24       | 0,22                      | -         | -          | -                         |
| 29/10/17 | 0,5         | 0,21       | 0,19                      | -         | -          | -                         |
| 30/10/17 | 0,2         | 0,17       | 0,16                      | -         | -          | -                         |
| 31/10/17 | 0,0         | 0,15       | 0,14                      | -         | -          | -                         |

Onde: P: precipitação; Q: vazão, (-): período não monitorado.