

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS DE
SUSTENTABILIDADE HÍDRICA DA ORIZICULTURA
NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO
GRANDE ATRAVÉS DA IMPLANTAÇÃO DE
BARRAGENS TEMPORÁRIAS**

TESE DE DOUTORADO

Adriana Gindri Salbego

Santa Maria, RS, Brasil

2010

**SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS DE SUSTENTABILIDADE
HÍDRICA DA ORIZICULTURA NA SUB-BACIA
HIDROGRÁFICA DO ARROIO GRANDE ATRAVÉS DA
IMPLANTAÇÃO DE BARRAGENS TEMPORÁRIAS**

por

Adriana Gindri Salbego

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração Engenharia de Água e Solos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Engenharia Agrícola

Orientador: Prof. Dr. Adroaldo Dias Robaina

**Santa Maria, RS, Brasil
2010**

S159s Salbego, Adriana Gindri, 1971-

Simulação de cenários de sustentabilidade hídrica da orizicultura na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande através da implantação de barragens temporárias / por Adriana Gindri Salbego ; orientador Adroaldo Dias Robaina. – Santa Maria, RS, 2010.
155 f. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Ciências Rurais. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, 2010.

1. Engenharia Agrícola. 2. Orizicultura. 3. Bacia hidrográfica. 4. Sustentabilidade. 5. Irrigação. 6. Arroio Grande. 7. Legislação ambiental. I. Robaina, Adroaldo Dias. II. Título.

CDU: 631
633.18

Ficha catalográfica elaborada por
Denise Barbosa dos Santos - CRB10/1456

©2010

Todos os direitos autorais reservados a Adriana Gindri Salbego. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.

Endereço Eletrônico: adrisalbego@gmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

A Comissão Examinadora , abaixo assinada,
aprova a Tese de Doutorado

**SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA DA
ORIZICULTURA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO
GRANDE ATRAVÉS DA IMPLANTAÇÃO DE BARRAGENS
TEMPORÁRIAS**

elaborada por
Adriana Gindri Salbego

como requisito parcial para a obtenção de grau de
Doutor em Engenharia Agrícola

COMISSÃO EXAMINADORA:

**Adroaldo Dias Robaina, Dr. (UFSM)
Presidente / Orientador**

**Paulo Roberto da Costa
Dr. (CTISM - UFSM)**

**Liane de Souza Weber
Dra. (UFSM)**

**Ana Rita Costenaro Parizi
Dra. (IFFarroupilha)**

**Fábio Charão Kurtz
Dr. (UFRPE)**

Santa Maria, 03 de setembro de 2010.

Aprender é a única coisa de que a mente nunca se cansa,
nunca tem medo e nunca se arrepende.

Leonardo da Vinci

AGRADECIMENTOS

À Deus, por iluminar-me nesta longa caminhada.

À Universidade Federal de Santa Maria, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA), pela oportunidade de realização do presente curso.

Ao Prof. Adroaldo Dias Robaina pela oportunidade concedida, sabedoria transmitida, amizade e confiança na orientação deste trabalho.

Aos Professores membros da banca examinadora, Liane de Souza Weber, Ana Rita Costenaro Parizi, Paulo Roberto da Costa e Fábio Charão Kurtz, pelas valiosas contribuições.

Aos Professores Márcia Xavier Peiter e Luciano Farinha Watzlawick, pelas contribuições na ocasião do exame de qualificação.

Aos funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, em especial, ao Luiz e Estevão, pela amizade e colaboração.

Ao IRGA – Unidade Santa Maria, através do Eng. Agrônomo Glênio Picada, pela colaboração no esclarecimento de dúvidas.

Ao Eng. Ivo José de Souza, consultor da empresa NSO Borrachas, de Rio Grande/RS, pela colaboração no relato de experiências com barragens temporárias.

Ao colega, mestrando em Eng. Agrícola Fabiano Braga, bolsista do Laboratório de Física do Solo – UFSM, pela colaboração na realização das análises de solo, necessárias neste estudo.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, em especial do Laboratório de Engenharia de Irrigação – Marcela Vilar Sampaio, Ana Carla Gomes, Ana Rita Costenaro Parizi, Fátima Cibeli Soares, Karine Lançanova, Luiz Telechea, Ricardo Schons, Paulo Roberto da Costa, Mário Nunes, Alessandro Vielmo, Giseli Noal e Giseli Vivan, pela amizade e convívio.

À minha família, em especial aos meus pais Sadi e Neusa, minha irmã Luciana, meu irmão Sandro e cunhada Cinthia, meus sobrinhos Gabriel e Letícia, meus filhos de coração Roberta e Renan, pelo carinho e apoio em todos os momentos.

Ao meu querido e amado Pedro Roberto de Azambuja Madruga, pelo incentivo diário em busca desta conquista e pelo constante carinho e companheirismo, essencial em todos os momentos.

A minha Vó Tereza, pelo carinho e por sempre acreditar no alcance dos nossos sonhos.

Aos meus tios (as), primos (as) e afilhados (as), pela torcida no alcance desta meta de vida.

A minha querida Professora e amiga de longa data Itália Toscani, pelo apoio e carinho transmitido em todas as fases da minha vida.

Aos meus queridos colegas e amigos canoenses, em especial, ao Francisco Feiten e Sílvia Olinda Aurélio, pelo apoio e carinho nesta fase final da realização do trabalho.

A todos os meus amigos que fazem parte da minha vida, que torceram por esta conquista.

Enfim, a todos aqueles que, de uma forma ou outra, colaboraram no decorrer desta longa jornada.

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil

SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA DA ORIZICULTURA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO GRANDE ATRAVÉS DA IMPLANTAÇÃO DE BARRAGENS TEMPORÁRIAS

Autora: Adriana Gindri Salbego
Orientador: Adroaldo Dias Robaina
Santa Maria, 03 de setembro de 2010.

A escassez de água em determinados períodos vem provocando sérios conflitos sociais, econômicos e ambientais, decorrentes da agricultura irrigada, especialmente da cultura orizícola, que apresenta alta demanda hídrica. Desta forma, o presente estudo propõe uma metodologia para analisar a sustentabilidade hídrica da cultura orizícola através da implantação de barragens temporárias no álveo de cursos d'água, tendo como área de estudo a sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, que apresenta uma crescente necessidade de compatibilizar as condições de oferta e demanda. A análise das condições de oferta e demanda hídrica foi realizada no contexto da sub-bacia e por ponto de controle (PC), sendo compostos três cenários: cenário 1 - situação existente; cenário 2: considera o atendimento a legislação ambiental, com a eliminação de áreas de cultivo orizícola em Áreas de Preservação Permanente (APP) e destinação da parcela de vazão ambiental ($30\%Q_{90}$) e; cenário 3: considera o atendimento a legislação ambiental e propõe a implantação de barragens temporárias no álveo de cursos d'água, a montante dos locais que indica escassez, como forma de ampliar o suprimento hídrico da cultura orizícola. Os resultados mostraram que no cenário 1 a demanda é atendida, embora para os pontos de controle 5 e 6, equivale de 89% a 97% da disponibilidade hídrica, além de não atender a legislação ambiental. Para o cenário 2, os pontos de controle 5 e 6 apontam escassez hídrica para os meses analisados (novembro a fevereiro), indicando assim os locais em que a oferta hídrica deverá ser ampliada. No cenário 3, conclui-se que as barragens temporárias propostas poderão atender parcialmente a demanda hídrica do PC 5 e, no PC 6, os resultados indicam não haver conformidade entre oferta e demanda. Desta forma, conclui-se que os conflitos pelo uso da água na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande decorrentes da agricultura irrigada poderão ser minimizados com a implantação das barragens temporárias. Entretanto, os resultados indicam que a sustentabilidade hídrica da cultura orizícola somente poderá ser alcançada com a redução da área irrigada, especificamente, entre os PC 3 - 5 e, 4 - 6.

Palavras-chave: demanda hídrica; cultura orizícola; geoprocessamento; estruturas de armazenamento.

ABSTRACT

Doctorate Thesis
Graduate Program in Agricultural Engineering
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

SIMULATION OF SCENARIOS OF WATER SUSTAINABILITY OF RICE GROWING IN THE ARROIO GRANDE WATERSHED THROUGH THE IMPLEMENTATION OF TEMPORARY DAMS

Author: Adriana Gindri Salbego
Advisor: Adroaldo Dias Robaina
Santa Maria, September 03rd, 2010

Water shortages in certain periods have led to serious social conflicts, as well as economic and environmental impacts resulting from irrigated agriculture, especially of rice growing, which represents a high demand of water. The present study proposes a methodology for analyzing the water sustainability of rice growing through the implementation the temporary dams at the river-bed of water courses, with the study area the watershed of Arroio Grande, which has a growing need to match the conditions of supply and demand. The analysis of water supply and demand conditions was made in the context of the watershed and by control point, three scenarios are composed: scenarios 1 - the existing situation; scenario 2: considers compliance to environmental legislation, with elimination of rice growing areas in areas of permanent preservation and destination of the portion of environmental flow ($30\%Q_{90}$) an; scenario 3: considers compliance to environmental legislation and implementation the temporary dam at the river-beds of water courses upstream of where the shortage was indicated, as a way to expand and ensure water supply for rice growing. The results show that the in the scenario 1 the demand is met, although for control points 5 and 6 it is equivalent to 89% to 97% of its availability, besides not meet environmental legislation. For the scenario 2, control points 5 and 6 indicate water scarcity for the months analyzed (November – February), indicating the places where water supply should be expanded. In scenario 3, it is concluded that the temporary dams proposed have the may partially meet the water requirements and PC 5, PC 6, the results indicate no compliance between supply and demand. Therefore, concluded that the conflicts over water use in the watershed of the Arroio Grande resulting from irrigated agriculture can be minimized with the installation of temporary dams. However, the results indicate that the water sustainability of rice growing can only be achieved by reducing the irrigated area, specifically between the PC 3-5 and 4-6.

Keywords: water demand; rice growing, geoprocessing, storage structures.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA 2.1 - Evolução da área plantada e produção de arroz no Rio Grande do Sul - Período 1921/22 – 2007/08 | 30 |
| FIGURA 2.2 - Mapa das regiões orizícolas do Rio Grande do Sul | 31 |
| FIGURA 2.3 - Tipos de pranchões e de painéis..... | 38 |
| FIGURA 2.4 - Stop-logs (a) e agulhas (b) | 39 |
| FIGURA 2.5 - Comporta telhado | 40 |
| FIGURA 2.6 - Barragens temporárias: flexíveis (a), (b), (c); basculantes (d), (e), (f), (g) | 41 |
| FIGURA 2.7 - Esquema de trecho de curso d'água com estruturas de barramento flexíveis | 42 |
| FIGURA 2.8 - Barragens flexíveis. (a) Inflável. (b) Injetada com água | 43 |
| FIGURA 2.9 - Esquema de transbordamento de uma barragem flexível | 45 |
| FIGURA 2.10 - Membrana reforçada com 3 camadas | 47 |
| FIGURA 2.11 - Sistema de ancoragem de barragens flexíveis - linha dupla e simples | 48 |
| FIGURA 2.12 - Esquema de ancoragem de barragens flexíveis | 48 |
| FIGURA 2.13 - Corte transversal da estrutura da seção para instalação de barragem flexível | 50 |
| FIGURA 2.14 - Barragens flexíveis em operação. (a) Oh River - Japão (2m H x 28,50m L); (b) Russian River, Califórnia - EUA; (c) Noruega; (d) Hong Kong (4m H); (e) Oh River - Japão (6m H x 34,50m L) | 51 |
| FIGURA 2.15 - Barramento inflável em Veneza, Itália | 53 |
| FIGURA 3.1 - Fluxograma da metodologia adotada | 65 |
| FIGURA 3.2 - Localização da sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande | 66 |
| FIGURA 3.3 - Curva de permanência | 82 |
| FIGURA 3.4 - Parcelas que compõem uma barragem temporária flexível | 87 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 3.5 - Características de uma seção transversal para barragens flexíveis infláveis | 88 |
| FIGURA 4.1 - Sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande e respectivas microbacias | 94 |
| FIGURA 4.2 - Modelo numérico do terreno (MNT) na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande | 95 |
| FIGURA 4.3 - Uso da terra na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande..... | 96 |
| FIGURA 4.4 - Classe de solos na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande .. | 98 |
| FIGURA 4.5 - Espacialização da agricultura irrigada na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande | 101 |
| FIGURA 4.6 - Reservatórios na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande: (a) cartas topográficas – 1975; (b) imagem de satélite - 2008 | 104 |
| FIGURA 4.7 - Vazões médias e mínimas diárias observadas - Sub-bacia do Arroio Grande (período: 1979 - 2005) | 108 |
| FIGURA 4.8 - Curvas de permanência de vazões médias - intervalo confiança de 95% (novembro a fevereiro) | 110 |
| FIGURA 4.9 - Disponibilidade hídrica (Q_{95}) e vazão ambiental dos cursos d'água ($30\%Q_{90}$) – vazões médias e intervalo de confiança de 95% | 111 |
| FIGURA 4.10 – Sub-bacia hidrográficado Arroio Grande: (a) Áreas de Preservação Permanente; (b) Uso da Terra nas Áreas de Preservação Permanente | 113 |
| FIGURA 4.11 - Espacialização dos Pontos de Controle (PC) no contexto da sub-bacia do Arroio Grande | 115 |
| FIGURA 4.12 - Diagrama unifilar da sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande | 116 |
| FIGURA 4.13 - Variabilidade da vazão remanescente na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, por ponto de controle: cenário 1 | 122 |
| FIGURA 4.14 - Variabilidade da vazão remanescente na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, por ponto de controle (PC): cenário 2..... | 124 |
| FIGURA 4.15 – Sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande: (a) Localização das barragens temporárias infláveis; (b) Diagrama unifilar..... | 125 |
| FIGURA 4.16 - Frequência do coeficiente de escoamento superficial das microbacias que compõem a sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande (%) ... | 131 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| TABELA 2.1 - Características dos principais solos de várzea do Rio Grande do Sul | 33 |
| TABELA 2.2 - Consumo d'água estimado por balanço hídrico | 36 |
| TABELA 3.1 – Composição dos cenários de disponibilidade hídrica x demanda hídrica | 85 |
| TABELA 4.1 - Área de contribuição das microbacias hidrográficas do Arroio Grande | 93 |
| TABELA 4.2 - Uso da terra na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande | 96 |
| TABELA 4.3 - Unidades de mapeamento dos solos na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande | 97 |
| TABELA 4.4 - Quantificação da agricultura irrigada na sub-bacia do Arroio Grande, por microbacia | 100 |
| TABELA 4.5 - Demanda da cultura orizícola na sub-bacia do Arroio Grande, por microbacia..... | 103 |
| TABELA 4.6 - Agrupamento da superfície de alagúe dos reservatórios em intervalo de classes | 105 |
| TABELA 4.7 - Estimativa da disponibilidade hídrica dos reservatórios, por microbacia | 106 |
| TABELA 4.8 - Vazões naturais médias, com um intervalo de confiança de 95%, por microbacia | 109 |
| TABELA 4.9 - Áreas de preservação permanente (APP) e respectivo uso da terra na sub-bacia do Arroio Grande | 112 |
| TABELA 4.10 - Áreas de Preservação Permanente (APP) ocupada pela agricultura irrigada na sub-bacia do Arroio Grande | 113 |
| TABELA 4.11 - Demanda e disponibilidade hídrica na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, para o período de novembro a fevereiro - cenário 1 | 117 |

| | |
|---|-----|
| TABELA 4.12 – Demanda e disponibilidade hídrica na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, relação demanda para irrigação e disponibilidade hídrica e disponibilidade hídrica e freqüência de atendimento a demanda – com base nas curvas de permanência, para o período de novembro a fevereiro – cenário 2 | 117 |
| TABELA 4.13 - Vazões naturais médias mensais na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, por Ponto de Controle | 118 |
| TABELA 4.14 - Disponibilidade hídrica dos reservatórios e cursos d'água na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, por Ponto de Controle | 119 |
| TABELA 4.15 - Demanda hídrica mensal sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, por Ponto de Controle (incluindo reservatórios e cursos d'água) | 120 |
| TABELA 4.16 - Demanda x disponibilidade hídrica na sub-bacia, por ponto de controle: cenário 1 | 121 |
| TABELA 4.17 - Demanda x disponibilidade hídrica na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, por ponto de controle: cenário 2 | 123 |
| TABELA 4.18 - Caracterização das seções propostas para instalação das barragens temporárias infláveis | 126 |
| TABELA 4.19 - Freqüência de classe de solo e grupo hidrológico, por microbacia (%) | 127 |
| TABELA 4.20 - Freqüência de uso do solo na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, por microbacia (%) | 128 |
| TABELA 4.21 - Parâmetros de escoamento superficial por microbacia na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande | 129 |
| TABELA 4.22 - Escoamento superficial para diferentes precipitações, por microbacia, na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande | 130 |
| TABELA 4.23 - Escoamento superficial para diferentes precipitações estimadas na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, por Ponto de Controle | 130 |
| TABELA 4.24 - Capacidade de acumulação das barragens infláveis, escoamento superficial com base em precipitações simuladas, demanda hídrica para o período de novembro a fevereiro, atendimento a demanda, em dias, para o período de novembro a fevereiro e, freqüência de atendimento a demanda hídrica, para o período de novembro a fevereiro, expresso em % - para os pontos de controle 5 e 6 | 132 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|----------|--|
| α | fator de proporcionalidade |
| γ | peso específico da água (9810 N/m ³) |
| η | parâmetro de Schoklisch |
| μ | intervalo de confiança |
| σ | desvio padrão |

| | |
|-----------------------|---|
| IBAMA | Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| Ic | índice de colheita (%) |
| IFOV | Instantaneous Field Of View |
| IICA | Instituto Americano de Cooperação para a Agricultura |
| IRGA | Instituto Riograndense do Arroz |
| K | coeficiente de permeabilidade do solo (m/dia) |
| Kc | coeficiente de cultura |
| kg | quilograma |
| km ² | quilometro quadrado |
| ko | condutividade hidráulica saturada |
| L | largura |
| Lif | largura do leito fluvial (m) |
| Ls | lâmina formada sobre a superfície |
| m _t | fator de transpiração (m ³ /kg de matéria seca) |
| m | metros |
| MNT | modelo numérico do terreno |
| n | porosidade do solo (%) |
| N | tamanho da amostra |
| NC | número de classes |
| NH _{cultura} | necessidade hídrica da cultura (m ³ /ha) |
| OS | orla de segurança (m) |
| p | freqüência de excedência |
| P | precipitação (mm) |
| PC | Ponto de Controle |
| Pci | profundidade da camada impermeável (m) |
| Pe | produtividade estimada de grãos (kg/ha) |
| PERAI | Plano Estadual de Regularização da Atividade de Irrigação |
| Pi | período de irrigação da cultura (dias) |
| pi | pressão interna (N/m ²); |
| PNRH | Plano Nacional de Recursos Hídricos |
| Pp | percolação profunda |
| Q | escoamento superficial (mm) |
| Q _{7,10} | vazão com 7 dias de duração e 10 anos de tempo de retorno |
| Q ₉₀ | vazão disponível em 90% do tempo (m ³ /s) |
| Q ₉₅ | vazão disponível em 95% do tempo (m ³ /s) |
| Q _{alvo} | vazão no local de interesse (m ³ /s) |
| Q _{amb} | vazão ambiental (m ³ /s) |
| Q _{fonte} | vazão na seção com dados (m ³ /s) |
| Q _{irrig} | vazão consumida pela irrigação (m ³ /s) |
| Q _m | vazão média diária (m ³ /s) |
| Q _{natural} | vazão diária natural (m ³ /s) |
| Q _{obs} | vazão diária observada (m ³ /s) |
| Q _{rem} | vazão remanescente (m ³ /s) |
| Q _{reserv} | vazão consumida pela irrigação atendida pelos reservatórios (m ³ /s) |
| RH | Região Hidrográfica |
| S | armazenamento potencial máximo do solo (mm) |
| SCS | Soil Conservation Service |

| | |
|------------------------|--|
| SEMA | Secretaria Estadual de Meio Ambiente |
| SHR | Seção Hidrológica de Referência |
| SIG | Sistema de Informação Geográfica |
| TCA | Termo de Compromisso Ambiental |
| ton | tonelada |
| U | índice de umidade (%) |
| U _{atual} | umidade atual do solo (%) |
| U _g | umidade dos grãos (%) |
| U _{saturação} | umidade de saturação do solo (%) |
| USDA | United States Department of Agriculture (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos) |
| UTM | Universal Transversa de Mercator |
| V | volume de água armazenado (m ³) |
| V1 | volume necessário para saturar o solo (m ³ /ha) |
| V2 | volume necessário para formar a lâmina na lavoura (m ³ /ha) |
| V3 | volume necessário para compensar as perdas por evaporação (m ³ /ha) |
| V4 | volume necessário para compensar as perdas por infiltração (m ³ /ha) |
| V5 | volume necessário para atender a transpiração da cultura (m ³ /ha) |
| Vabi | volume acumulado pela barragem inflável (m ³) |
| Vt | volume de escoamento superficial (m ³) |
| VT | volume necessário para atender a demanda da cultura (m ³ /ha) |
| VT _{mi} | necessidade hídrica da cultura por microbacia (m ³ /ha) |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|----------------------|---|
| AIA | Avaliação de Impacto Ambiental |
| A_{fonte} | área de contribuição da bacia hidrográfica (m^2) |
| A_{sa} | área da superfície de alague (m^2) |
| A_{alvo} | área da bacia hidrográfica de contribuição (m^2) |
| A_{irrigmi} | área irrigada na microbacia 'i' (ha) |
| ANA | Agência Nacional de Águas |
| APP | Áreas de Preservação Permanente |
| BI | barragem inflável |
| BT | barragem temporária |
| C | coeficiente de escoamento superficial (%) |
| C_{irrig} | capacidade de irrigação (ha) |
| CN | curva número |
| CONAMA | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| CONSEMA | Conselho Estadual do Meio Ambiente |
| dp | densidade de partícula (g/cm^3) |
| DRH | Departamento de Recursos Hídricos |
| DSG | Diretoria de Serviço Geográfico |
| ds | densidade do solo (g/cm^3) |
| EIA | Estudo de Impacto Ambiental |
| Eci | espessura da camada impermeável (m) |
| Embrapa | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |
| ET | evapotranspiração |
| ETr | evapotranspiração real |
| EUA | Estados Unidos da América |
| f | fator de conversão |
| FAO | Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação) |
| FI | fluxo através dos limites da lavoura |
| H | altura da barragem (m) |
| ha | hectares |
| $H_{\text{bi max}}$ | altura máxima da barragem inflável (m) |
| H_{bi} | altura da barragem inflável (m) |
| H_{calha} | altura da calha do curso d'água (m) |
| he | altura de lâmina evaporada (m/dia) |
| hl | altura da lâmina d'água na lavoura (m) |
| H_{max} | altura máxima da lâmina d'água (m) |
| I | irrigação |
| la | perdas iniciais (mm) |

LISTA DE ANEXOS

| | |
|---|-----|
| ANEXO I - Tempo necessário para inflar uma barragem flexível e diâmetro da tubulação (Savatech, 2009)..... | 147 |
| ANEXO II - Tempo necessário para injeção de água em uma barragem flexível e diâmetro da tubulação (Savatech, 2009)..... | 148 |
| ANEXO III - Valores do parâmetro CN para áreas agrícolas (SCS, 1975)..... | 149 |
| ANEXO IV - Valores do parâmetro CN para áreas de ocupação urbana (SCS, 1975)..... | 149 |

LISTA DE APÊNDICES

| | |
|---|-----|
| APÊNDICE I – Caracterização físico-hídrica do solo..... | 151 |
| APÊNDICE II – Vazões naturais na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, para o meses de novembro e dezembro, com base nos dados da estação fluviométrica Restinga Seca (85438000)..... | 152 |
| APÊNDICE III – Vazões naturais na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, para o meses de janeiro e fevereiro, com base nos dados da estação fluviométrica Restinga Seca (85438000)..... | 153 |
| APÊNDICE IV – Seções transversais (Arroio do Meio) | 154 |
| APÊNDICE V – Seções transversais (Arroio Grande)..... | 155 |

SUMÁRIO

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 21 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA | 24 |
| 2.1 | Aspectos legais e institucionais de recursos hídricos | 24 |
| 2.2 | Os usos múltiplos da água | 26 |
| 2.3 | A agricultura irrigada | 27 |
| 2.4 | O cultivo do arroz irrigado no Brasil | 28 |
| 2.4.1 | Os solos de várzea | 32 |
| 2.4.2 | Demanda hídrica da cultura orizícola | 34 |
| 2.5 | Estruturas de armazenamento hídrico para a agricultura | 37 |
| 2.5.1 | Estruturas de represamento de água temporárias | 38 |
| 2.5.1.1 | Barragens Flexíveis | 42 |
| 2.5.1.1.1 | Características técnicas | 44 |
| 2.5.1.1.2 | Aspectos construtivos | 46 |
| 2.5.1.1.3 | Sistemas de controle | 50 |
| 2.5.1.1.4 | Uso e implicações | 51 |
| 2.5.1.1.5 | Custos de implantação | 54 |
| 2.6 | A agricultura irrigada e a questão ambiental | 55 |
| 2.6.1 | O Plano Estadual de Regularização da Atividade de Irrigação (PERAI) no Rio Grande do Sul | 55 |
| 2.6.2 | Ações de regularização na irrigação | 57 |
| 2.6.3 | A legislação ambiental e a agricultura | 59 |
| 2.7 | Modelos precipitação-vazão | 60 |
| 2.8 | Geoprocessamento | 61 |
| 2.8.1 | Sistemas de Informação Geográfica | 62 |
| 2.8.2 | Sensoriamento Remoto | 63 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS | 65 |
| 3.1 | Localização geográfica da área de estudo | 66 |
| 3.2 | Caracterização da área de estudo | 67 |
| 3.2.1 | Caracterização física | 67 |
| 3.2.3 | Análise do comportamento hidrológico | 70 |
| 3.3 | Estimativa da demanda hídrica | 71 |
| 3.3.1 | Irrigação | 71 |
| 3.3.1.1 | Cadastro de irrigantes | 71 |
| 3.3.1.2 | Demanda hídrica da cultura orizícola | 72 |
| 3.3.1.3 | Demanda hídrica da cultura por microbacia | 75 |
| 3.4 | Estimativa da disponibilidade hídrica | 76 |
| 3.4.1 | Capacidade de irrigação dos reservatórios | 76 |
| 3.4.2 | Vazões médias e mínimas | 78 |
| 3.4.3 | Vazões naturais | 79 |
| 3.4.4 | Vazões de referência | 80 |
| 3.5 | Determinação das Áreas de Preservação Permanente (APP) | 83 |
| 3.6 | Composição dos cenários de oferta e demanda hídrica | 84 |
| 3.6.1 | Análise da vazão remanescente | 85 |
| 3.6.1.1 | No contexto da sub-bacia hidrográfica | 85 |
| 3.6.1.2 | Vazão remanescente por Ponto de Controle (PC) | 86 |
| 3.7 | Armazenamento de água no álveo - Barragens Temporárias Flexíveis | 86 |
| 3.7.1 | Dimensionamento de Barragens Temporárias Flexíveis Infláveis | 88 |
| 3.8 | Determinação do escoamento superficial | 89 |
| 3.9 | Análise da sustentabilidade hídrica | 91 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 93 |
| 4.1 | Estruturação do Sistema de Informação Geográfica (SIG) | 93 |
| 4.1.1 | Delimitação hidrográfica | 93 |
| 4.1.2 | Caracterização do relevo na sub-bacia | 94 |
| 4.1.3 | Uso e ocupação da terra | 95 |
| 4.1.5 | Classes de solos | 97 |
| 4.2 | Demanda hídrica | 99 |
| 4.2.1 | Irrigação | 99 |
| 4.2.1.1 | Cadastro de irrigantes | 99 |

| | |
|--|------------|
| 4.2.1.2 Necessidade hídrica da cultura orizícola | 101 |
| 4.2.1.3 Demanda hídrica da cultura orizícola | 102 |
| 4.3 Disponibilidade hídrica | 103 |
| 4.3.1 Reservatórios | 103 |
| 4.3.2 Vazões médias e mínimas | 107 |
| 4.3.3 Vazões naturais..... | 108 |
| 4.3.4 Vazões de referência..... | 109 |
| 4.4 Áreas de Preservação Permanente – APP | 112 |
| 4.5 Cenários de oferta e demanda hídrica..... | 114 |
| 4.5.1 No contexto da sub-bacia hidrográfica | 116 |
| 4.5.2 Por Ponto de Controle | 118 |
| 4.5.2.1 Cenário 1 | 120 |
| 4.5.2.2 Cenário 2..... | 122 |
| 4.6 Caracterização das Barragens Temporárias..... | 125 |
| 4.7 Escoamento superficial | 127 |
| 4.8 Sustentabilidade hídrica da orizicultura..... | 132 |
| 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 134 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 137 |
| ANEXOS..... | 146 |
| APÊNDICES..... | 150 |

1 INTRODUÇÃO

O aumento da demanda pelo uso da água evidenciado ao longo do tempo, sobretudo nas últimas décadas, vem causando sérios conflitos entre os usuários em muitas regiões da Terra, fazendo com que a água se torne um fator limitante do desenvolvimento sustentável.

As elevadas demandas do setor agrícola constituem o principal vetor de conflitos potenciais por usos múltiplos da água no País. A importância da discussão acerca da sustentabilidade agrícola intensifica-se, à medida que a demanda por alimentos no mundo aumenta, causada pelo crescimento populacional e também pelas mudanças nos padrões de consumo, acelerado pela utilização da matéria-prima para geração de biocombustíveis.

A cultura orizícola desempenha um papel estratégico, tanto no aspecto econômico quanto social. De acordo com a Embrapa (2005), a produção mundial de arroz não vem acompanhando o crescimento do consumo, havendo grande preocupação em relação à estabilização da produção mundial. O Brasil se destaca como o maior produtor fora do continente Asiático, sendo responsável por cerca de 50% da América Latina. O Rio Grande do Sul, onde é cultivado o arroz irrigado, é responsável por cerca de 60,2% da produção nacional, sendo considerado o maior produtor de arroz do Brasil.

O avanço da agricultura sobre as Áreas de Preservação Permanente (APP), em especial da orizicultura irrigada as margens de cursos d'água, deve-se as condições favoráveis destes locais ao desenvolvimento da cultura, associado aos aspectos econômicos e culturais dos produtores. Entretanto, esta ocupação vem ocasionando pressões ambientais que tendem a intensificarem-se cada vez mais, tendo em vista a crescente necessidade de produção de alimentos.

No Rio Grande do Sul, a implementação do Plano Estadual de Regularização da Atividade de Irrigação (PERAI), instituído pela Resolução CONSEMA nº 100/2005, culminou da necessidade de regulamentação e gestão de culturas irrigadas, como a orizicultura, maior usuária da água no Estado. A referida legislação prevê ações diretas de recuperação das APP, condicionando o produtor a aderir ao Termo de Compromisso Ambiental (TCA), necessário a concessão de novas

licenças e renovação da Licença de Operação (LO) de empreendimentos de irrigação.

A escassez de água em determinados períodos vem provocando sérios conflitos sociais, econômicos e ambientais, decorrentes da agricultura irrigada, especialmente da cultura orizícola, que apresenta alta demanda hídrica.

Em situações onde ocorre escassez de água sazonal, uma alternativa para garantir a produção agrícola, consiste em ampliar a oferta, através do armazenamento de água em períodos com precipitações normais. A forma mais comum de reservação de água consiste na construção de barragens de terra. Entretanto, algumas características devem ser avaliadas, como por exemplo, as condições topográficas da área. A implantação de reservatórios com pouca profundidade demanda uma maior área de alague, além de apresentar alta demanda evaporativa, ocasionando também redução na área de cultivo.

Outra forma de aumentar a disponibilidade hídrica consiste no armazenamento de água no álveo de cursos d'água, através de barragens temporárias. Estas estruturas são instaladas em determinados períodos em que a demanda é superior a oferta, como por exemplo, nos períodos de irrigação, tendo como principal vantagem a possibilidade de desobstruir o escoamento quando esvaziada. Esta tecnologia vem sendo utilizada em diversos países há mais de meio século, como Japão, Estados Unidos, Austrália e França (OTA, 1991).

Além de permitir a reservação de água, as barragens temporárias possibilitam a regularização do fluxo do curso d'água, compatível com as necessidades ambientais de períodos críticos e, utilização na lavoura orizícola.

A principal atividade consumidora de água na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande está na agricultura irrigada, através da cultura orizícola, considerado o principal setor produtivo da região, responsável pelos maiores conflitos de uso da água. A irrigação é praticada no período de novembro a fevereiro, a partir de captações superficiais de cursos d'água e inúmeros reservatórios existentes.

O cultivo do arroz irrigado coincide com a época de menor disponibilidade de água, gerando o principal conflito de uso da região. Em períodos de estiagem, é comum a prática de desvios de cursos d'água pelos irrigantes, infringindo a legislação ambiental.

Considerando que a sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande apresenta uma crescente necessidade de compatibilizar as condições de oferta e demanda, o

presente estudo visa propor uma metodologia para analisar a sustentabilidade hídrica da cultura orizícola, através da implantação de estruturas temporárias no álveo de determinados cursos d'água, considerando as variáveis quantificadas no espaço e no tempo.

Neste sentido, o estudo tem como objetivos específicos:

- Realizar a caracterização das condições físicas da sub-bacia hidrográfica;
- Avaliar o uso e ocupação da terra na sub-bacia hidrográfica, considerando a legislação ambiental;
- Caracterizar a disponibilidade e a demanda hídrica, no tempo e no espaço;
- Avaliar as condições entre oferta e demanda hídrica, através da simulação de cenários.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos legais e institucionais de recursos hídricos

O Código de Águas de 1934 foi o primeiro instrumento legal a tratar efetivamente de recursos hídricos no Brasil, cujo objetivo era de harmonizar o uso das águas, principalmente para geração de energia elétrica e agricultura (BRASIL, 1934).

A Constituição Federal de 1988 definiu as águas como bens públicos e colocou os corpos d'água sob os domínios Federal e Estadual (BRASIL, 1988).

Com a evidente escassez de água mundial, a questão adquiriu grande relevância no país despertando a necessidade de um arcabouço jurídico-institucional para se tratar o tema recursos hídricos, que culminou com a promulgação da Lei nº 9.433/97, instituindo a Política Nacional de Recursos Hídricos, tendo como preceitos básicos: I) adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento; II) consideração dos usos múltiplos da água; III) o reconhecimento da água como bem finito e vulnerável; IV) o reconhecimento do valor econômico desse recurso (BRASIL, 1997).

O princípio dos múltiplos usos dos recursos hídricos estabelece que todos os setores usuários tem igual direito de acesso ao uso da água. Entretanto, em situação de escassez, o uso prioritário desse recurso fica restrito ao consumo humano e à dessedentação de animais.

O reconhecimento da água como um bem finito e vulnerável serve de alerta para a necessidade de conservação desse bem natural, enquanto o valor econômico da água induz o uso racional desse recurso e serve de base para a instituição da cobrança pela sua utilização.

Quanto ao princípio da gestão descentralizada refere-se a uma proposta de que tudo que puder ser decidido no âmbito dos governos regionais ou mesmo locais, não deve ser tratado em nível de governo federal, devendo a gestão participativa envolver usuários, a sociedade civil organizada, as ONGs e outras entidades interessadas no processo de tomada de decisão.

Problemas advindos dos conflitos pelo uso da água, como os já evidenciados em diversas bacias brasileiras, remetem a necessidade de um adequado programa de gestão de recursos hídricos. Segundo Setti et al. (2001), gestão de recursos hídricos é a forma pela qual se pretende equacionar e resolver as questões de escassez relativa dos recursos hídricos, bem como fazer o seu uso adequado, visando a otimização dos recursos em benefício da sociedade.

A Política Nacional de Recursos Hídricos - Lei Federal nº 9.433/97 (BRASIL, 1997) ressalta a importância de cinco instrumentos essenciais de gestão dos recursos hídricos, quais sejam: I) outorga de direito de uso dos recursos hídricos; II) cobrança pelo uso da água; III) enquadramento dos corpos d'água em classes de uso; IV) Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos; V) Plano Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997).

A outorga de direito de uso da água, é um mecanismo pelo qual o usuário recebe uma autorização, ou uma concessão, para fazer uso da água. Constitui em um relevante elemento para o controle do uso dos recursos hídricos, contribuindo, também para a disciplina desse uso. O estabelecimento dos critérios de Outorga de Direito de Uso das Águas, além de estar vinculado à disponibilidade hídrica, é dependente dos sistemas jurídicos e econômicos locais.

No Brasil, cada Estado tem adotado critérios específicos para o estabelecimento das vazões mínimas de referência para outorga, sem haver, muitas vezes, justificativas para a adoção desses valores (CRUZ, 2001). Analisando os critérios para análise das solicitações de outorga utilizados pelos órgãos gestores de recursos hídricos, verifica-se uma grande diversidade de vazões de referência adotadas, bem como dos percentuais considerados outorgáveis (ANA, 2002).

No Rio Grande do Sul, a outorga de direitos de uso da água foi regulamentada pelo Decreto nº 37.033/96, não fixando uma vazão de referência, apenas estipulando que os parâmetros técnicos que orientarão as outorgas serão definidos pelo Departamento de Recursos Hídricos (DRH).

2.2 Os usos múltiplos da água

O uso sustentável da água é motivo de grande preocupação, pois esta é considerada como uma das bases do desenvolvimento da sociedade moderna. Muitos são os desafios que se relacionam à busca de soluções sustentáveis para problemas como: escassez e/ou excesso de água, deterioração da qualidade da água e, principalmente, com a percepção inadequada da sociedade para com os recursos hídricos. Até a década de 1970, os resultados da ação humana sobre o meio ambiente eram vistos sob a ótica estrita da escala global.

De acordo com o disposto no Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), datado de 2006, o consumo mundial de água cresceu mais de seis vezes entre 1900 e 1995, o que corresponde mais do que o dobro da taxa de crescimento da população, e continua a crescer rapidamente com a elevação de consumo dos setores agrícola, industrial e residencial. Cerca de um bilhão de habitantes não tem acesso ao abastecimento de água de boa qualidade, ressaltando-se que 40% da população mundial vivem em regiões onde a disponibilidade de água já impõe restrições para o seu uso, percentual este que poderá atingir 65% nos próximos 50 anos.

Com o crescimento populacional, a humanidade se vê compelida a usar a maior quantidade possível de solo agricultável, o que vem impulsionando o uso da irrigação, não só para complementar as necessidades hídricas das regiões úmidas, como para tornar produtivas as áreas áridas e semi-áridas do globo, que constituem cerca de 55% de sua área continental total. Cerca de 50% da população mundial depende de produtos irrigados (CHRISTOFIDIS et al.,2004).

Dos 120 milhões de hectares potencialmente agricultáveis no País, apenas cerca de 3 milhões são atualmente irrigados. O potencial irrigável do Brasil é estimado em 29 milhões de hectares. Na realidade, o desenvolvimento do subsetor de irrigação é recente no Brasil. Em 1970, havia menos de 800 mil hectares irrigados, usados, em sua grande maioria, para irrigação do arroz por inundação no Rio Grande do Sul e, em menor intensidade, em alguns perímetros de irrigação pública no Nordeste (ANA, 2002).

A exemplo de outros países, a maior demanda por água no País é exercida pela agricultura, especialmente a irrigação, com quase 63% de toda demanda.

Seguem-se as demandas para uso doméstico (urbano e rural -18%), a indústria (14%) e da dessedentação de animais, com 5% (ANA, 2002).

As elevadas demandas do setor agrícola constituem o principal vetor de conflitos potenciais por usos múltiplos da água no País. Neste cenário, entende-se como fundamental a busca pela otimização do uso da água na agricultura irrigada mediante a reformulação do sistema de produção e adoção de práticas adequadas de manejo, e mais objetivamente pela utilização de equipamentos e de tecnologias mais eficientes (PNRH, 2006).

2.3 A agricultura irrigada

A história da irrigação começou há aproximadamente 5.000 anos atrás, no Egito Antigo, nas margens do Rio Nilo. Ali também ocorreu a primeira obra de engenharia relacionada a irrigação, quando o Faraó Ramsés III ordenou a construção de diques, represas e canais, que melhoravam o aproveitamento das águas do Rio Nilo. Muitos outros exemplos antigos existem, visto que as grandes civilizações de outrora se desenvolviam nos vales dos grandes rios, sempre com o intuito de se aproveitar de suas águas (CASTRO, 2003).

Segundo o mesmo autor, a irrigação no Brasil começou a ter expressão em 1950, com uma área irrigada de 64 mil hectares e evoluiu de forma contínua, alcançando em 1980 cerca de 1.600.000 hectares, chegando ao final da década de 90 a uma área irrigada de 2.870.000 hectares.

Conforme Itaborahy (2004), a partir do início da década de 90, houve uma redução na taxa de crescimento da área irrigada no Brasil em decorrência da retirada de algumas linhas de crédito específicas para irrigação.

De acordo com Telles (2006), a irrigação no Brasil desenvolve-se a partir de diferentes modelos de exploração. Nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste predomina a irrigação privada, com ênfase no arroz irrigado (nas regiões hidrográficas costeiras do Sul e do Uruguai) e em cereais (regiões hidrográficas do Paraná, alto Paraguai, alto São Francisco e regiões hidrográficas costeiras do Sudeste).

Segundo Christofidis (2005), o Brasil possui cerca de 3.440.470 hectares irrigados. A região Sul se destaca como a mais irrigada com cerca de 1.301.660 hectares (38%), seguida da Sudeste com mais de 988.080 hectares (29%), a Nordeste com mais de 732.840 hectares (21%), depois a Centro-Oeste com aproximadamente 318.210 hectares (9%) e, finalmente a região Norte com 99.680 hectares (3%) irrigados.

O mesmo autor comenta que no Rio Grande do Sul, a irrigação por superfície predomina em 94% da área irrigada, seguido pelo pivô central com 3%, aspersão convencional com menos de 3% e, a irrigação localizada com área inferior a 1%.

Os principais fatores que influenciarão o futuro da agricultura irrigada nos países de terceiro mundo são: aumento da demanda de alimentos a nível nacional e mundial, incapacidade de competição tecnológica de ponta, globalização e criação de mercados comuns, acesso à tecnologia de ponta na irrigação, estímulo internacional na preservação do meio ambiente, cenário político e econômico mundial, cenário político e econômico interno, clima, qualidade do meio ambiente, infra-estrutura básica e aplicação tecnológica (LÉO; HERNANDEZ, 2001).

Segundo os mesmos autores, as perspectivas de desenvolvimento econômico e social mundial apontam ao crescimento da população e do consumo de alimentos, o que deve gerar aumento de preços destes produtos. E isto é uma grande oportunidade de crescimento para muitos países de terceiro mundo, principalmente aqueles com características naturais parecidas com as do Brasil: espaço disponível suficiente, solos apropriados, abundância de recursos hídricos, infra-estrutura razoável, mão-de-obra disponível, dentre muitas outras características favoráveis ao desenvolvimento deste setor.

2.4 O cultivo do arroz irrigado no Brasil

A cultura orizícola desempenha um papel estratégico, tanto no aspecto econômico quanto social. Cerca de 150 milhões de hectares de arroz são cultivados anualmente no mundo, produzindo 590 milhões de toneladas, sendo que mais de 75% desta produção é oriunda do sistema de cultivo irrigado (EMBRAPA, 2005).

O arroz é considerado o cultivo alimentar de maior importância em muitos países em desenvolvimento, principalmente na Ásia e Oceania, onde vivem 70% da população total dos países em desenvolvimento e cerca de 2/3 da população subnutrida mundial. Cerca de 90% de todo o arroz do mundo é cultivado e consumido na Ásia. A América Latina ocupa o segundo lugar em produção e o terceiro em consumo.

De acordo com a Embrapa (2005), a produção mundial de arroz não vem acompanhando o crescimento do consumo, havendo grande preocupação em relação à estabilização da produção mundial. O Brasil se destaca como o maior produtor de fora do continente Asiático. Em 2001, a produção brasileira representou 1,8% do total mundial, e cerca de 50% da América Latina.

A lavoura orizícola tem grande importância econômica para o Brasil. No ano 2000, por exemplo, a produção no valor de R\$ 3,34 bilhões, representou 6,7% do valor bruto da produção agrícola nacional (R\$ 49,75 bilhões). Apenas a soja, milho, café e cana-de-açúcar têm valor bruto maior do que a orizicultura (EMBRAPA, 2005).

O Brasil está entre os dez principais produtores mundiais de arroz, com cerca de 12,2 milhões de toneladas em uma área cultivada equivalente a 2.860.140 ha (IBGE, 2008). Essa produção é oriunda de dois sistemas de cultivo: irrigado e de sequeiro. A orizicultura irrigada é responsável por 65% da produção nacional, porém, com baixa rentabilidade, devido ao alto custo de produção e distorções de mercado (EMBRAPA, 2005).

O arroz irrigado é produzido em dezesseis Estados de todas as regiões do Brasil, destacando-se a Região Sul que é responsável, atualmente, por 69,95% da produção total deste cereal (IBGE, 2008). Nas demais regiões as produções de arroz irrigado não são expressivas.

O Rio Grande do Sul é responsável por 60,2% da produção nacional de arroz irrigado, sendo considerado o maior produtor brasileiro (IBGE, IRGA, 2008). Os últimos dados divulgados pelo IRGA (2008) confirmam que a produção do cereal chegou a 7,5 milhões de toneladas, um recorde absoluto.

De acordo com a série histórica do IRGA (área, produção e rendimento) com registros a partir de 1921, o cultivo do cereal no Rio Grande do Sul evoluiu significativamente, tanto em relação a área de plantio como na produtividade. Na safra 1921/22, por exemplo, a área plantada equivalia a 79.120 ha e uma produção

de 173.260 ton, enquanto que na safra 1981/82 a área plantada atingiu 612.774 ha para uma produção de 2.808.140 ton. Para a safra 2007/08, a produção atingiu 7.334.038 ton e uma área plantada de 1.066.337 ha. Observa-se claramente que, a área de plantio cresceu significativamente, em especial nas últimas 4 décadas, onde praticamente triplicou, enquanto que a produção cresceu a uma taxa de cinco vezes. A Figura 2.1 ilustra estes dados.

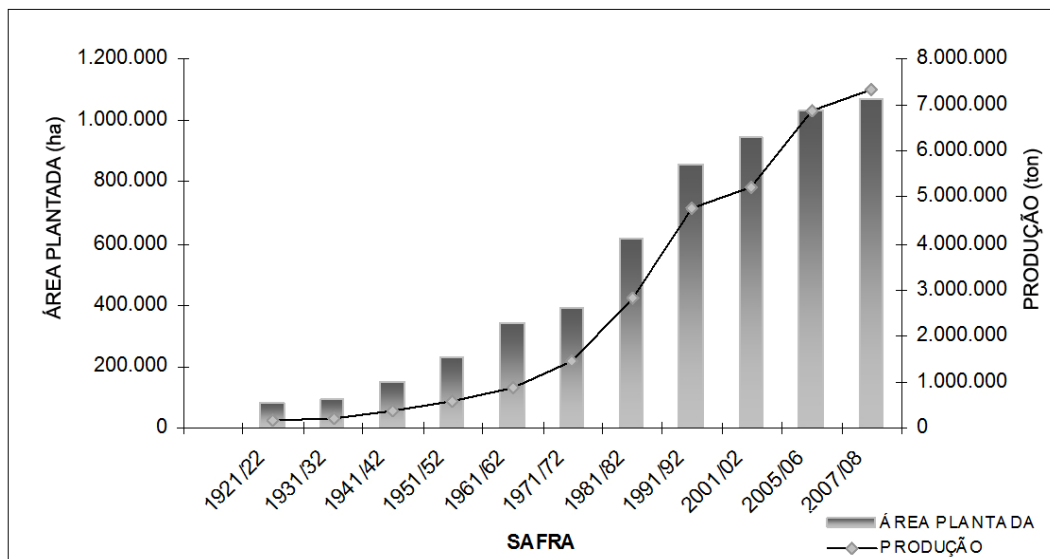


Figura 2.1 - Evolução da área plantada e produção de arroz no Rio Grande do Sul - Período 1921/22 – 2007/08.

Fonte: organizado a partir de dados compilados do IRGA e IBGE (2008).

No Rio Grande do Sul o arroz irrigado é cultivado em 138 municípios, localizados nas seguintes regiões: Fronteira Oeste, Depressão Central, Campanha, Litoral Sul, Planície Costeira Externa e Planície Costeira Interna (Figura 2.2). Essas regiões apresentam diferenças quanto a topografia, clima, solos, disponibilidade de água para irrigação, tamanho de lavoura, etc, determinando variações em termos de produção e produtividade média (EMBRAPA, 2005).

A região Fronteira-Oeste é a responsável pela maior produção do cereal no Estado, com 32,3%, seguido pela Depressão Central, que representa 17,6% (IRGA, 2008). A produtividade do arroz no Rio Grande do Sul na safra 2007/08 apresentou uma média de 6.878 kg/ha, sendo que na região da Depressão Central o rendimento médio ficou em 5.526,6 kg/ha.

No contexto estadual, as áreas irrigadas com superfície de 1 a 25 hectares predominam na região da Depressão Central, representando 63%. Já as áreas superiores a 150 hectares passam a prevalecer na região Fronteira-Oeste (IRGA, 2008).

Dentre os fatores de prejuízos em lavouras de arroz no Rio Grande do Sul apontados por produtores, em uma pesquisa realizada pelo IRGA (2002), predomina as estiagens (33%), seguido pelo fator frio com 30%, vendaval (16%), granizo (10%), pássaro preto (6%), enchentes (3%) e brusone (2%). Na região da Depressão Central, os prejuízos com estiagem representam 25%, seguidos pelo fator vendaval (24%), frio (23%), brusone e enchente (10%), pássaro preto (5%) e, granizo com 2%.



Figura 2.2 - Mapa das regiões orizícolas do Rio Grande do Sul.
Fonte: IRGA (2007).

Quanto aos sistemas de cultivo adotados para a cultura do arroz no Rio Grande do Sul predomina o convencional em linhas em 36% das áreas, seguido pelo cultivo mínimo (32%), convencional a lanço (18%), pré-germinado (8%) e direto/outros (6%). Na região da Depressão Central, em 42,5% da área é adotado o sistema convencional em linhas, seguido pelo cultivo mínimo em 26,2%, pré-

germinado (15,6%), convencional a lanço (11,3%) e, direto/outros, em 4,3% da área (IRGA, 2002).

Conforme Santos (2005), na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande a cultura orizícola é desenvolvida através de três sistemas de cultivo, predominado o sistema convencional em linha em 82% da área, seguido pelo cultivo mínimo (12%) e pré-germinado, 6%.

Quanto ao método de irrigação, é adotado a irrigação por superfície, através da inundação contínua estática, na qual é mantida uma lâmina d'água estagnada nos quadros de arroz, do início até a maturação da cultura (MARCOLIM, 2000).

2.4.1 Os solos de várzea

Os solos de várzea no Sul do Brasil apresentam como principal característica a drenagem natural deficiente (hidromorfismo), normalmente motivada pelo relevo predominantemente plano, freqüentemente associado a um perfil cuja camada superficial é pouco profunda e a subsuperficial é praticamente impermeável (GOMES et al., 1992).

No Rio Grande do Sul, os solos de várzea ocupam extensas áreas, com relevo variando de plano a suavemente ondulado, sendo encontrados principalmente nas regiões do Litoral, Encosta do Sudeste, Depressão Central, Campanha e Campanha/Missões, abrangendo uma área de aproximadamente 5.400.000 hectares (GOMES; PAULETTO, 1999).

Segundo os mesmos autores, as principais classes em que estão incluídos os solos de várzea são: Planossolos, Gleissolos, Chernossolos Ebânicos e Chernossolos Argilúvicos, Plintossolos, Vertissolos e Neossolos Flúvicos e Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos. Nas partes mais altas das áreas de várzea e/ou patamares mais elevados, podem ocorrer solos hidromórficos de drenagem imperfeita/moderada até boa, incluídos nas classes Argissolos, Alissolos e Luvisolos, desmembradas dos antigos Podzólicos, além de Chernossolos Háplicos e Neossolos Quartzarênicos Órticos.

As principais características físicas do solo que influenciam no consumo são aquelas direta ou indiretamente relacionadas ao movimento d'água (infiltração,

armazenamento, condutividade hidráulica, etc). O fluxo de água no solo pode ser reduzido através da alteração de algumas destas características, o que pode ocorrer, por exemplo, através de diferentes formas de preparo. No entanto, estas alterações podem prejudicar o desenvolvimento de culturas de sequeiro subseqüentes ao cultivo do arroz irrigado (Côrrea et al., 1997).

A Tabela 2.1 apresenta alguns valores médios de características físicas dos principais solos de várzea do Rio Grande do Sul, determinados por Beltrame (1996).

Tabela 2.1 - Características dos principais solos de várzea do Rio Grande do Sul.

| UNIDADE DE SOLO | REGIÃO | Ko (m/dia) | n (%) | Pci (m) | N |
|--------------------|--------------------|------------|-------|---------|-----|
| Planossolo Vacacaí | Depressão Central | 0,133 | 39,5 | 0,94 | 141 |
| | Campanha | 0,108 | 40,5 | 0,91 | 70 |
| | Litoral | 0,168 | 39,5 | 0,89 | 44 |
| Planossolo Pelotas | Encosta do Sudeste | 0,199 | 34,5 | 0,65 | 111 |

Ko: condutividade hidráulica saturada; Pci: profundidade da camada de impedimento; n: porosidade; N: número de determinações.

Fonte: Beltrame, 1996.

Estudos conduzidos por Gomes et al.(1992) de determinação da condutividade hidráulica saturada (Ko) de quatro unidades de mapeamento de solos de várzea do Rio Grande do Sul, verificou-se que os horizontes B de todos os solos apresentam uma condutividade hidráulica saturada de nula a baixa, evidenciando a baixa permeabilidade desses solos.

A condutividade hidráulica do solo está relacionada com o movimento da água no perfil do solo que depende da umidade. Esses dois processos estão relacionados com as características do solo (principalmente textura, estrutura, distribuição do tamanho dos poros e tipo de argila) e com as características da água, como viscosidade (GOMES et al.,1992).

De acordo com Beltrame (1996) a existência de uma camada impermeável a profundidade aproximada de 1000 mm é característica da unidade Vacacaí, que faz parte da chamada várzea arroeira do Estado. Resultados obtidos pelo mesmo autor, em solos da unidade Vacacaí, confirmam a existência de uma camada adensada a partir de 15 cm de profundidade, cujos valores de densidade oscilam

entre 1,6 e 1,8 g/cm³. Valores de densidade de solo em torno de 1,8 g/cm³ (ou superiores), são restritivos a culturas de sequeiro.

2.4.2 Demanda hídrica da cultura orizícola

O volume de água requerido pelo arroz irrigado representa o somatório de água necessária para atender às demandas decorrentes da saturação do solo, formação da lâmina de água, evapotranspiração (ET) e repor as perdas por infiltração lateral e por percolação. Fatores como a variedade cultivada, o relevo, o tipo de solo, o clima, e a forma de manejo da água, afetam a quantidade de água necessária para a irrigação do arroz (GOMES et al., 1999).

A água consumida na lavoura de arroz por inundação pode ser estimada por um balanço hídrico, que consiste em estabelecer num determinado intervalo de tempo os volumes de entrada e saída (CORREA et al., 1997). Desconsiderando as perdas entre o ponto de captação e a entrada na lavoura, a representação matemática deste balanço é feita através da seguinte equação, segundo Beltrame e Louzada (1991):

$$P + I - ET_r - S - L_s - P_p - F_l = 0 \quad [2.1]$$

Onde:

P: precipitação;

I: irrigação;

ET_r: evapotranspiração real;

S: lâmina necessária para saturação do perfil do solo;

L_s: lâmina formada sobre a superfície;

P_p: percolação profunda;

F_l: fluxo através dos limites da lavoura.

Segundo os mesmos autores, a consideração ou não das precipitações depende fundamentalmente do manejo adotado. Esta variável geralmente é desprezada devido à incerteza da ocorrência e a dificuldade em estimar a parcela

efetiva. A ET_r é função da cultura, do seu estágio de desenvolvimento e de uma conjugação de fatores climáticos.

A altura da lâmina d'água deve ser compatível com a variedade e condições topográficas. A manutenção de uma lâmina de água sobre a superfície do solo exerce uma função termorreguladora e dificulta a proliferação de plantas daninhas, além dos efeitos benéficos diretos da saturação do solo para a cultura do arroz. A função termorreguladora da lâmina de inundação é essencial nos dias em que ocorram temperaturas abaixo de 15°C , durante a fase reprodutiva da cultura, reduzindo sua fertilidade (CASTRO, 2003).

Segundo Gomes et al. (1992), no Rio Grande do Sul as lâminas adotadas para a lavoura orizícola variam de 5 a 15cm e são selecionadas em função das variedades cultivadas, equidistância entre taipas e grau de infestação de ervas daninhas na lavoura. Lâminas de água maiores que 10 cm reduzem o número de perfilhos, as plantas de arroz se tornam mais altas, o que facilita o acamamento, aumentam as perdas de água por percolação e infiltração lateral e, em consequência de maior armazenamento de energia térmica, provocando maior evaporação durante a noite.

A saturação do perfil e os fluxos vertical e horizontal dependem das condições iniciais (umidade do solo no início da irrigação), das características físicas do solo, da altura da lâmina d'água e de algumas características geométricas da lavoura (CORREA et al., 1997).

Outros modelos desta natureza são encontrados na literatura, com algumas variantes na forma de quantificar uma ou outra das variáveis envolvidas, como os propostos por Beltrame e Gondim (1982), Fietz et al. (1986) e Robaina (2007). Todos os modelos seguem a equação do balanço hídrico, baseada no princípio da conservação de massa.

A preocupação com o consumo de água no sistema de irrigação por inundação no Rio Grande do Sul existe desde meados da década de 50, sendo que o IRGA passou a recomendar vazões entre 1,7 e 3,0 l/s.ha (LOUZADA, 2004). A partir da década de 90, com o avanço da tecnologia e a conscientização do agricultor, passaram a ser recomendadas vazões entre 1,5 a 2,0 l/s.ha, para períodos de irrigação entre 80 e 100 dias (CORREA et al., 1997).

No Rio Grande do Sul, tradicionalmente, a necessidade máxima de água para a lavoura orizícola estimada pelos orizicultores, corresponde a 2 l/s.ha (17.280

m³/ha). Todavia, informações mais recentes indicam que esta necessidade pode ser inferior, variando em torno de 1 l/s.ha (8.640 m³/ha), no sistema convencional, a 0,72 l/s.ha (6.220 m³/ha), no sistema pré-germinado (LOUZADA, 2004).

Côrrea et al. (1997) apresentam uma relação de estudos realizados por diversos autores em solos de várzea (planossolos) de diferentes regiões do Estado do Rio Grande do Sul, conforme mostra a Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Consumo d'água estimado por balanço hídrico.

| Fonte | Vazão média (l/s.ha) | Unidade de Solo |
|---------------------------|----------------------|--|
| Preussler et al. (1982) | 1,15 | Planossolo Pelotas |
| | 0,77* | Planossolo Pelotas |
| Beltrame e Gondim (1982) | 1,44 | Planossolo Vacacaí - Depressão Central |
| | 1,02* | Planossolo Pelotas |
| Fietz et al. (1986) | 1,61 | Planossolo Pelotas |
| Pereira (1989) | 0,96* | Planossolo em Portugal |
| Beltrame e Louzada (1991) | 1,51 | Planossolo Pelotas |
| Beltrame e Louzada (1991) | 1,72 | Planossolo Vacacaí - Depressão Central |
| Beltrame e Louzada (1991) | 1,56 | Planossolo Vacacaí - Litoral |
| Beltrame e Louzada (1991) | 1,76 | Planossolo Vacacaí - Campanha |

*considerando a precipitação

Fonte: Correa et al., 1997.

Para os solos da região de estudo, ou seja, unidade Planossolo Vacacaí - Depressão Central, Beltrame e Gondim (1982), estimam a vazão média da lavoura orizícola no sistema de irrigação por inundação em 1,44 l/s.ha (12.441,60 m³/ha), enquanto que para Beltrame e Louzada (1991) o consumo é de 1,72 l/s.ha (14.860,80 m³/ha).

Observa-se que, segundo estes autores, o consumo da lavoura orizícola é mais elevado, quando comparado com os solos da região da Depressão Central, apenas na região da Campanha, sendo que nas demais regiões, o consumo é inferior.

2.5 Estruturas de armazenamento hídrico para a agricultura

No Rio Grande do Sul, tradicionalmente o armazenamento hídrico para os sistemas de irrigação foi sendo implantado pelo setor privado, diferentemente da região Nordeste do Brasil, onde grande parte foi custeado com recursos públicos.

Segundo Lavoura Arrozeira (2008), é preciso melhorar o aporte de recursos para irrigação no Rio Grande do Sul, pois apesar do Estado dispor de 37% da área irrigada no País, nos últimos seis anos recebeu investimentos na ordem de 0,078% do que foi investido no Brasil em irrigação. Complementa ainda que, cerca de 60% do arroz produzido no Estado é proveniente de águas de reservatórios construídos pelos orizicultores, com recursos próprios.

Um reservatório de acumulação serve para reter excesso de água dos períodos de grandes vazões para ser utilizado nas épocas de seca ou de maior demanda, por exemplo. Qualquer que seja o tamanho dos reservatórios ou a finalidade das águas acumuladas, sua principal função é a de um regulador, visando a regularização da vazão dos cursos d'água ou atendendo as variações de demanda dos usuários (LINSLEY; FRANZINI, 1978).

Segundo os autores acima, as barragens podem ser classificadas pelo tipo de construção e materiais empregados: de gravidade, em arco, de contrafortes e de terra. Os três primeiros tipos são construídos geralmente em concreto. A escolha do melhor tipo de barragem para uma determinada seção é um problema tanto de viabilidade técnica como de custo. A solução técnica depende do relevo, da geologia e do clima.

Entretanto, as barragens acima mencionadas consistem em estruturas fixas, que contém dispositivos de saída que permite a passagem de água para jusante – extravasores. Os extravasores são necessários para descarregar as cheias sem prejudicar a barragem ou qualquer uma de suas estruturas auxiliares e, ao mesmo tempo, permitir que se mantenha o nível das águas no reservatório abaixo de um certo nível máximo pré-fixado.

Todavia, a instalação de estruturas fixas pode muitas vezes ser inviável em determinadas regiões, onde por exemplo, a escassez de água é uma característica sazonal, em função da demanda. Neste contexto, surgem então as estruturas represadoras de água temporárias ou móveis, discutidas a seguir.

2.5.1 Estruturas de represamento de água temporárias

Linsley e Franzini (1978) apresentam diversas estruturas represadoras de água que permitem ampliar a capacidade de armazenamento de reservatórios, através da instalação destes dispositivos, de forma temporária, acima da crista do vertedor. A seguir discorre-se sobre os Pranchões, Stop-logs e Agulhas e, Comporta Telhado.

a) Pranchões: consistem em painéis de madeira apoiados em pinos verticais, colocados sobre a soleira do vertedor (Figura 2.3.a). Esses painéis são usados temporariamente e são concebidos de modo a serem removidos quando as águas no reservatório atinjam um nível pré-determinado. Este tipo de vedação temporária tem sido usado em alturas de até 1,20 a 1,50 m. Há também os painéis de madeira permanentes, que podem ser operados de uma ponte, ou por meio de sistema teleférico sobre a barragem (Figura 2.3.b).

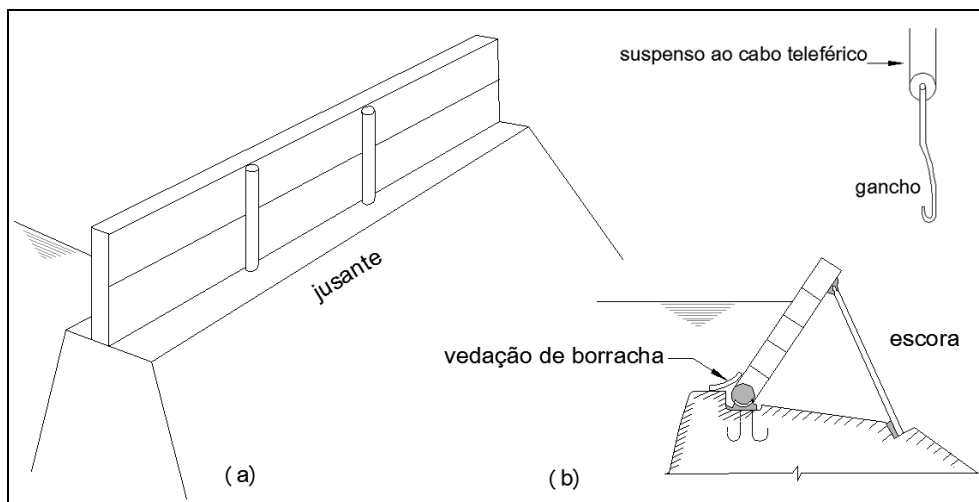


Figura 2.3 - Tipos de pranchões e de painéis.

Fonte: adaptado de Linsley e Franzini (1978).

b) Stop-logs e agulhas: consistem em toras, pranchões ou vigas em posição horizontal, vedando vãos entre pilares colocados em ranhuras feitas nestes (Figura 2.4.a). Os pranchões podem ser levantados manualmente ou com o auxílio de um guincho. Os stop-logs são utilizados em geral em pequenas estruturas, onde instalações mais complexas são inviáveis economicamente ou onde não seja

necessário a remoção e vedação com muita freqüência. As agulhas são pranchas com seus bordos inferiores apoiados em chanfro aberto na soleira do extravasor e tendo seus bordos superiores apoiados em uma passarela em concreto (Figura 2.5.b).

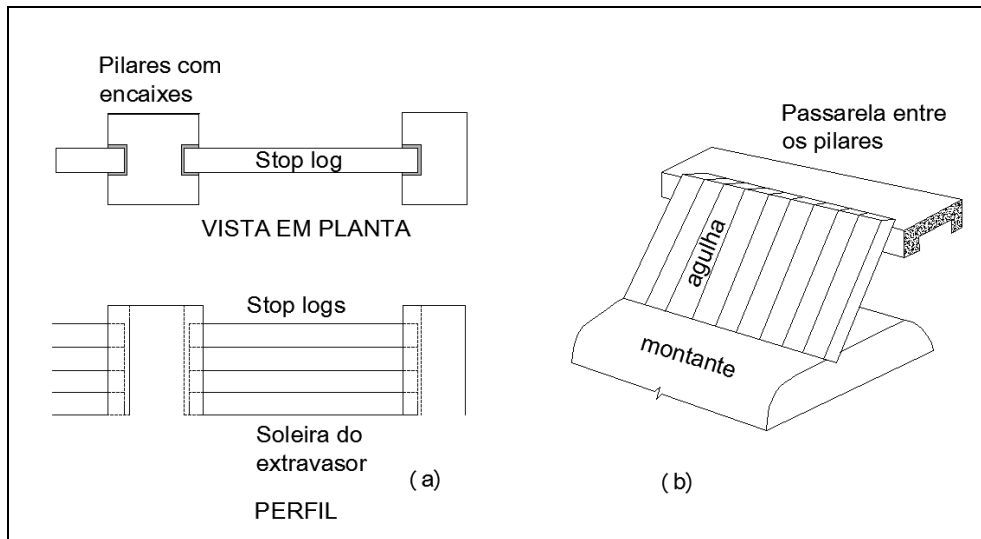


Figura 2.4 - Stop-logs (a) e agulhas (b).
Fonte: adaptado de Linsley e Franzini (1978).

c) Comporta telhado: consiste em duas folhas de madeira ou aço fixadas a barragem por charneiras estanques (Figura 2.5). Quando a água entra no vão sob as folhas, são forçadas para cima. A folha de jusante, em geral, é oca e assim sua flutuabilidade ajuda no erguimento. Esse tipo de barragem é usado com a finalidade de aumentar a profundidade para navegação, pois em época de cheias o conjunto pode ser escamoteado de modo a não interferir com a navegação.

De acordo com Linsley e Franzini (1978), os dispositivos temporários ou móveis também podem ser instalados acima da crista do vertedor, possibilitando a ampliação do volume de água armazenado (alçamento de barragens).

Para os mesmos autores, este aumento de nível dos reservatórios é admissível apenas durante a estiagem, quando é possível escoar vazões sobre estes dispositivos e, ocorrendo uma grande cheia, pode-se restituir a capacidade total do extravasor, removendo-os. Esses dispositivos devem ser utilizados com

cautela no caso de extravasores de barragens de terra, pois um erro de operação pode resultar em transbordamento sobre o aterro.

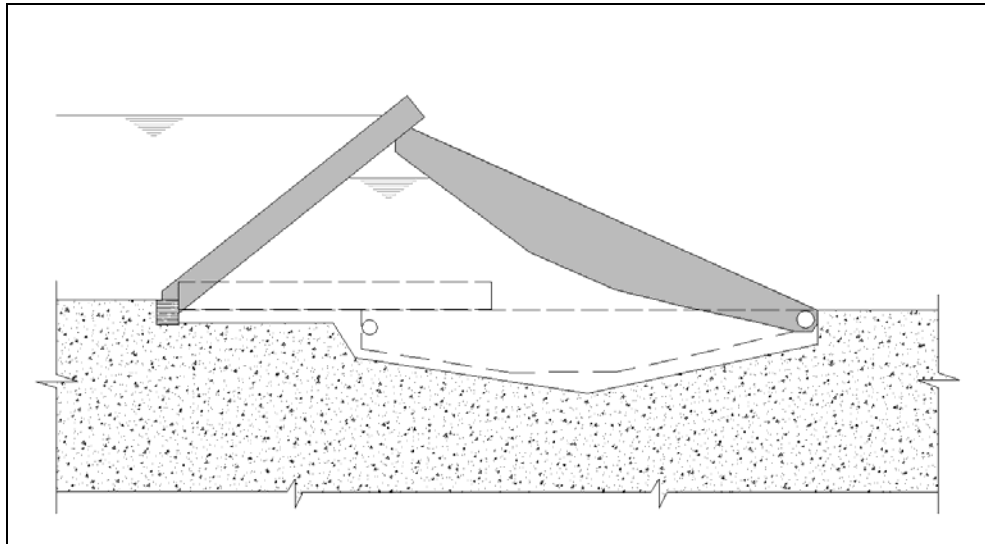


Figura 2.5 - Comporta telhado.
Fonte: adaptado de Linsley e Franzini (1978).

Os Pranchões e a Comporta Telhado, por exemplo, consiste em uma estrutura basculante que podem ser facilmente removidas. Já os Stop-logs e Agulhas exigem operações totalmente manuais para o processo de colocação e remoção, embora possam apresentar custos de implantação relativamente inferiores as demais.

Os dispositivos móveis apresentados por Linsley e Franzini (1978), podem ser uma alternativa para instalação no álveo de cursos d'água, com ligeiras adaptações, a exemplo das barragens flexíveis. A utilização de dispositivos temporários (barragens móveis) no álveo de cursos d'água vem sendo amplamente utilizadas desde a década de 50 em diversos países. Tiago Filho (2007) classifica as barragens temporárias em:

- a) Flexíveis: mantas impermeáveis infladas com ar ou injetadas com água, formando a barragem de pequena altura (Figura 2.6: a, b, c);
- b) Basculantes: contém uma estrutura móvel semelhante a uma comporta que bascula, mantendo o nível da água (Figura 2.6: d, e, f, g);
- c) Flutuantes: composta por módulos, que contém os grupos geradores em seu interior que flutuam a medida que ocorre mudanças nos níveis dos cursos

d'água, de forma a manter as variações do nível de montante dentro do regime natural das vazões.

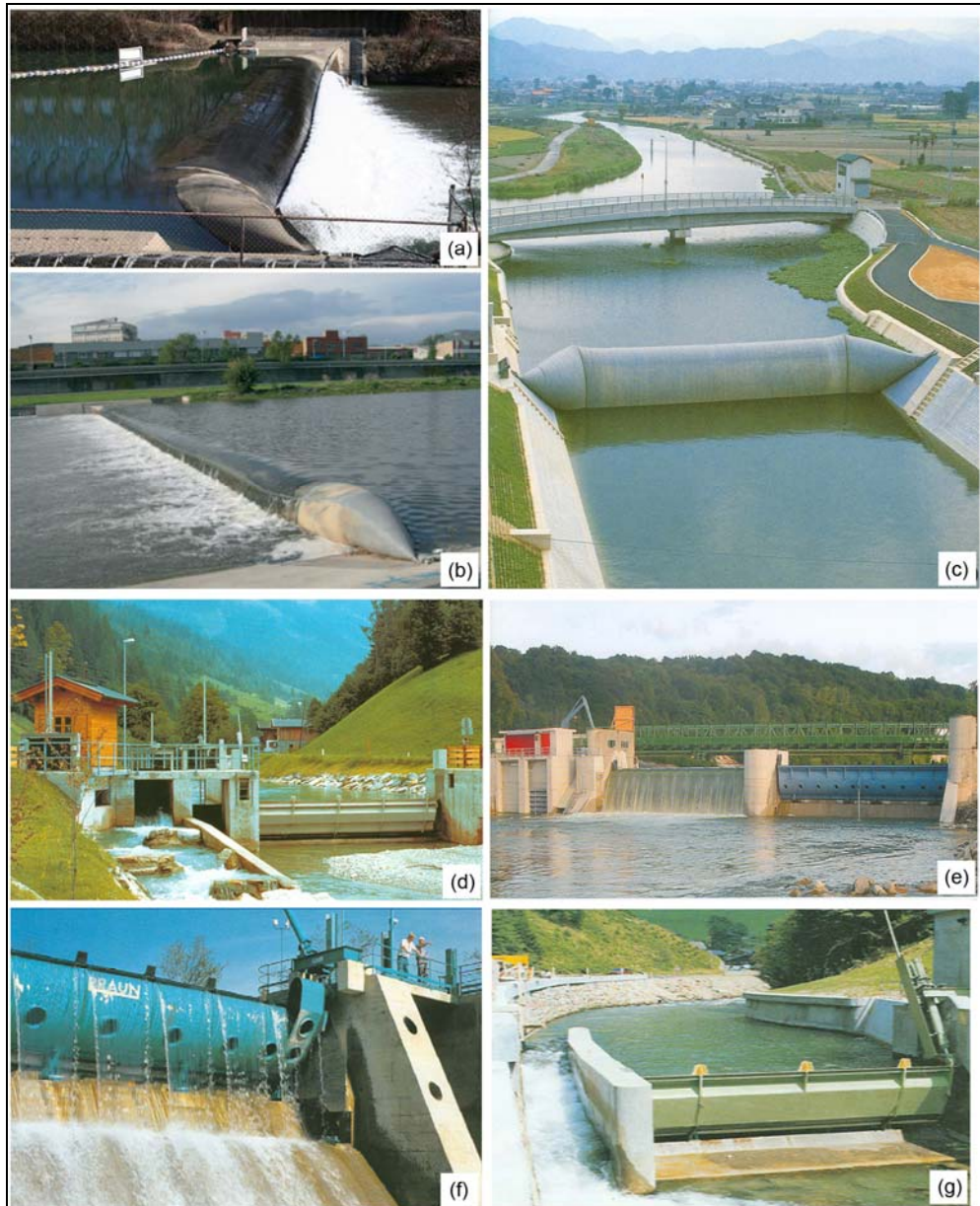


Figura 2.6 – Barragens temporárias: flexíveis (a), (b), (c); basculantes (d), (e), (f), (g).
Fonte: Tiago Filho (2007).

2.5.1.1 Barragens Flexíveis

As barragens flexíveis consistem em uma estrutura cilíndrica, pré-fabricadas de lonas tratadas com borracha sintética, fixadas a uma base rígida de concreto, que são instaladas transversalmente ao leito de cursos d'água, em intervalos planejados, transformando o rio em uma série de patamares, aumentando assim a reservação de água (MYSORE, 1997). A Figura 2.7 ilustra um esquema de estruturas flexíveis implantadas em trecho de curso d'água.

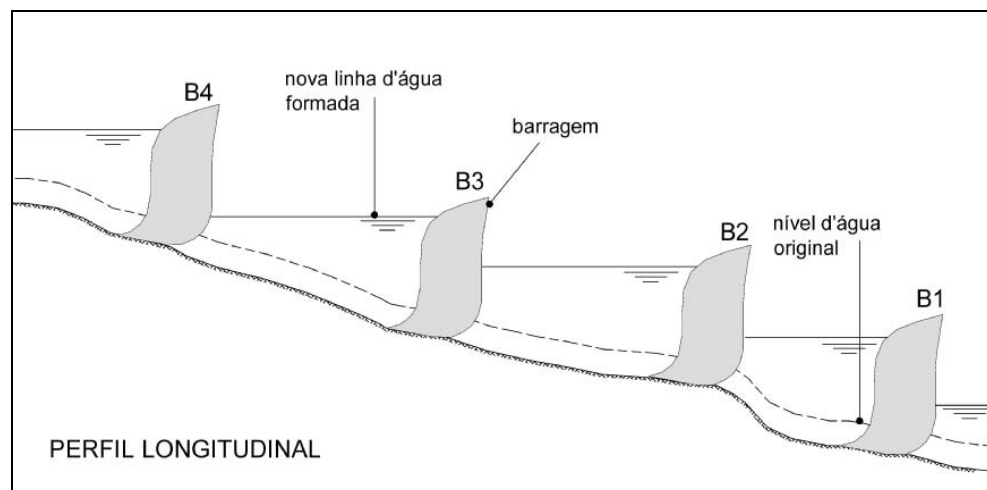


Figura 2.7 - Esquema de trecho de curso d'água com estruturas de barramento flexíveis.
Fonte: adaptado de Souza (2008).

A principal característica atribuída às barragens flexíveis é a possibilidade de desobstruir o escoamento quando esvaziada, ou seja, a estrutura é móvel. As barragens flexíveis apresentam limitações à altura, permitindo o barramento de cursos d'água de baixa declividade (OTA, 1991).

As barragens flexíveis foram desenvolvidas por N. M. Imbertson em 1950 com o nome de Fabridam e tem sido utilizada no mundo todo (MYSORE, 1997). Na literatura internacional vem sendo denominadas de rubber dam e inflatable dam.

Embora esta tecnologia não seja muito conhecida no Brasil, vem sendo utilizada há mais de 50 anos em outros países como Japão, Estados Unidos, Austrália e França (OTA, 1991). A primeira barragem flexível foi construída nos EUA em 1959 para abastecer Los Angeles, com 39,6m de comprimento e 1,5m de altura.

Posteriormente, inúmeras outras barragens flexíveis com finalidades distintas foram instaladas em diversos países e o seu uso esta cada vez mais intenso (CHANSON, 1998).

No Japão, a primeira barragem flexível foi instalada em 1965. Em 1991, o país já contava com mais de 1.400 unidades instaladas (OTA, 1991). No Brasil, a empresa NSO Borrachas vem desenvolvendo um protótipo de barragem flexível, para controle do sistema de drenagem urbana do município de Joinville/SC (SOUZA, 2009).

De acordo com o mesmo autor, as barragens flexíveis podem ser infladas com ar ou injetadas com água ou, água e ar combinado, conforme apresentado nas Figuras 2.8 (a) e (b).

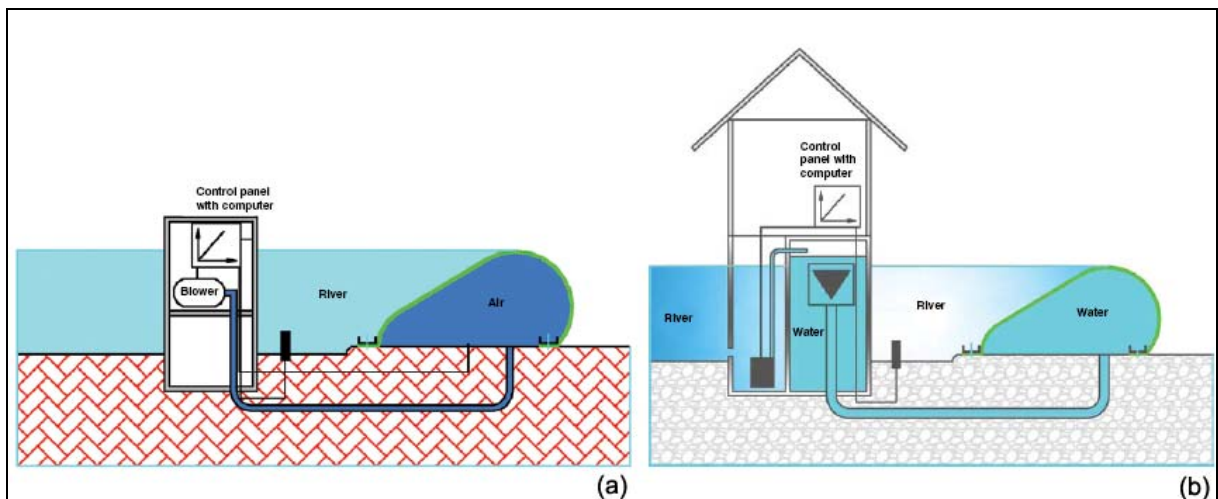


Figura 2.8 – Barragens flexíveis. (a) Inflável. (b) Injetada com água.
Fonte: adaptado de Savatech (2009).

Um fator a ser considerado na instalação de uma barragem flexível refere-se ao tempo necessário para o processo de acionamento da estrutura, ou seja, para o processo de inflar ou injetar água na membrana. O catálogo técnico da fabricante Savatech (2009) indica o tempo necessário para esta operação, variando de acordo com o volume da membrana. Também é indicado o diâmetro da tubulação para o processo de inflar ou injetar água. Como exemplo, cita-se o tempo necessário para acionar uma barragem de 2 m de altura e 10 m de largura, sendo necessários 6,36 minutos para uma estrutura inflável e 36,19 minutos, para uma membrana injetada com água.

De acordo com Dparra (2001), o uso de barragens infláveis é mais freqüente devido a maior velocidade de operação (inflar e desinflar) e por praticamente não transmitir cargas à fundação. Conforme Satujo (2008) - fabricante francesa, o ar é normalmente mais utilizado, porque não há risco de congelamento e o processo de montagem é mais rápido.

Segundo Ota (1991), a barragem injetada com água necessita de bomba, tubulação e reservatório de água de grandes dimensões e a operação de injeção e esvaziamento da barragem é mais demorada. Já a estrutura inflada dispensa o reservatório e a operação é bastante rápida e simples, razão pela qual o custo é menor.

Ainda segundo o mesmo autor, ao ser esvaziada gradativamente, a barragem injetada com água diminui a altura mantendo a horizontalidade da crista; a barragem inflada só exerce controle com características bem definidas na faixa de 100% a aproximadamente 80% da altura de projeto. Abaixo disso, a pressão interna não é suficiente para manter a forma em toda a extensão, devido ao desequilíbrio de forças, surgindo conseqüentemente, pontos baixos na crista onde o escoamento tende a se concentrar. É o colapso da forma conhecido pelos japoneses como *V-notch*, porque a linha da crista toma a forma da letra V. Outro fator desfavorável das barragens infláveis é a maior facilidade de sofrer vibrações devido a pequena inércia do fluido interno.

Em casos em que a barragem tem por finalidade controlar a vazão efluente, a barragem injetada com água é mais eficiente. Se a faixa de controle pode ser reduzida ou se a operação de esvaziamento não é freqüente, a barragem inflada é mais vantajosa por ser mais econômica (OTA, 1991).

2.5.1.1.1 Características técnicas

a) Comprimento e altura da barragem: as limitações quanto ao comprimento são apenas de ordem construtiva. A tensão atuante na lona independe ou depende muito pouco desse parâmetro (OTA, 1991). As dimensões das membranas podem variar dependendo do fabricante. A empresa Satujo – fabricante francesa, por exemplo, fabrica membranas com altura nominal (H) máxima de 6 m, não havendo

limite na largura (L), podendo ser conectadas em série para formar uma longa barreira, conforme desejado.

A grande maioria das estruturas utilizadas são compostas por módulos de 2 a 4 m de altura (H) e, entre 20 e 50 m de largura (L). Na prática, o máximo fica entre 2 m (H) X 10 m (L) e 6 m (H) X 20 m (L), para cada módulo. Segundo Satujo (2008), uma limitação destas estruturas está na altura máxima do transbordamento de água, sendo: $0,20.H$ para estrutura inflada com ar e; $0,50.H$ para estrutura injetada com água.

A Figura 2.9 a seguir, apresenta um esquema de transbordamento de uma barragem flexível. Ota (1991) comenta que existem materiais que possibilitariam a construção de barragens de até 15 m de altura, mas são raros os casos com mais de 3 m.

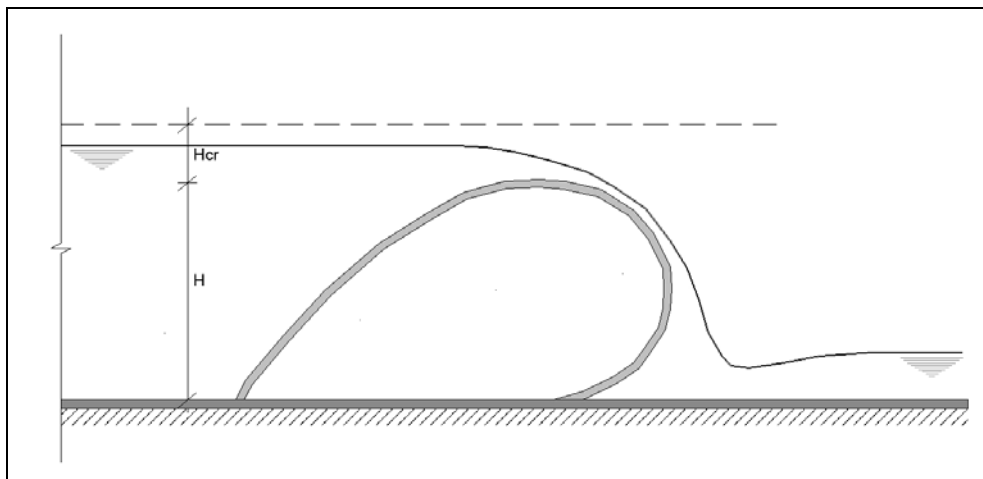


Figura 2.9 - Esquema de transbordamento de uma barragem flexível.
Fonte: adaptado de Chanson, 1998.

b) Escoamento sobre a barragem – carga de projeto: no caso de barragens infladas com ar, as vibrações aumentam sensivelmente com a carga de operação (h) acima de 25% da altura da barragem (H). Portanto, recomenda-se limitar a carga dentro da faixa $h < 0,2.H$. No caso de barragem injetada com água, esse limite pode ser ampliado para $0,5.H$.

c) Pressão interna: não há muita vantagem em se adotar pressão interna de projeto muito elevada, pois a tensão atuante na lona aumenta proporcionalmente

com a pressão, sem aumento sensível da altura da barragem. A pressão corresponde que atua no fundo do canal é suficiente para manter a forma da barragem. É comum relacionar a pressão interna com a altura da barragem, como abaixo:

$$p_i = \alpha \cdot \gamma \cdot H \quad [2.2]$$

Onde:

p_i : pressão interna (N/m^2);

α : fator de proporcionalidade (adimensional) - valores recomendáveis de projeto situam-se na faixa $1,0 < \alpha < 3,0$;

γ : peso específico da água (9810 N/m^3);

H: altura da barragem (m).

d) Distância entre as fixações na base: a definição da distância entre as fixações é definida com base em dados de projeto, isto é, pressão interna, carga de projeto e altura.

2.5.1.1.2 Aspectos construtivos

Para a implantação de barragens flexíveis transversalmente em um curso d'água é necessário a definição de alguns critérios de projeto, como as características da membrana a ser utilizada, forma de ancoragem, sistema de operação e também de aspectos construtivos relativos à obra civil. Na definição dos locais de implantação das barragens infláveis é importante verificar a disponibilidade de energia e as condições de acesso, uma vez que implica em custos para a implantação. A seguir discorre-se sobre alguns aspectos construtivos:

a) Membrana: de acordo Trelleborg (2008) – fabricante australiana, as membranas são construídas utilizando diferentes compostos de borracha, dependendo da aplicação. Os componentes da borracha possuem diferentes propriedades, como resistência à tração e resistência à luz solar, produtos químicos,

ozônio, à temperatura e à abrasão. A composição adequada da membrana, de acordo com o uso, maximiza a vida útil. As membranas são projetadas em uma grande variedade de espessuras e camadas de reforços, variando de acordo com a concepção da altura da barragem e a tensão de jusante. De acordo com Trelleborg (2008), a espessura da membrana varia de 8 a 20 mm, composta por 2 a 4 camadas (Figura 2.10). A empresa Satujo fabrica membranas com espessura variando de 5 a 32 mm.



Figura 2.10 - Membrana reforçada com 3 camadas.
Fonte: Trelleborg (2008).

As membranas são concebidas com um fator mínimo de segurança equivalente a 1:8 na direção do curso d'água. A face superior da barragem possui resistência mecânica suficiente para uma pessoa caminhar sobre a mesma (CHANSON, 1998).

b) Sistema de ancoragem: a membrana de borracha pode ser fixada a base de concreto, em linha única ou dupla de ancoragem (Figura 2.11). O sistema de linha dupla de ancoragem aumenta a estabilidade da membrana e reduz a possibilidade de vibração. Já o sistema de linha simples é adequado para baixas condições de transbordamento e escape mínimo. Em locais onde a vazão reversa é esperada, deve ser utilizado o sistema de linha dupla.

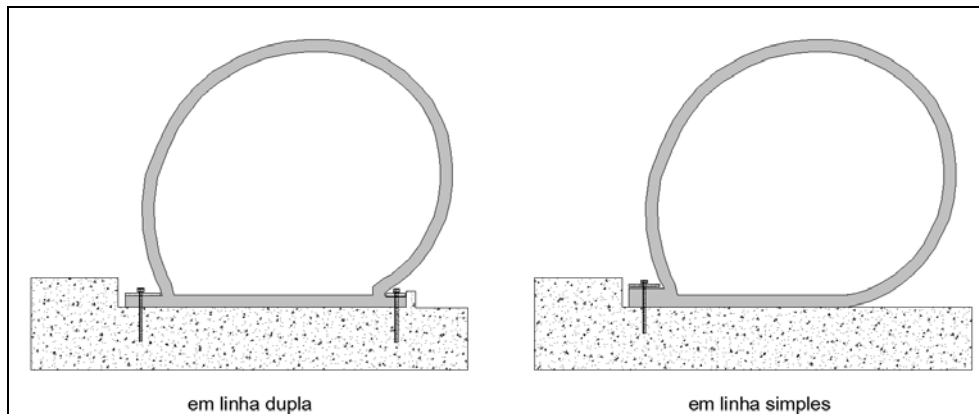


Figura 2.11 - Sistema de ancoragem de barragens flexíveis - linha dupla e simples.
Fonte: adaptado de Sumigate (2008).

Quanto ao sistema de fixação, a membrana é presa à base de concreto através de chapas grampeadas. Essas chapas são grampeadas a membrana através de âncoras parafusadas que são fixadas em novas bases (construídas) ou incorporadas em bases existentes, como por exemplo, utilizando resina epóxi (Figura 2.12).

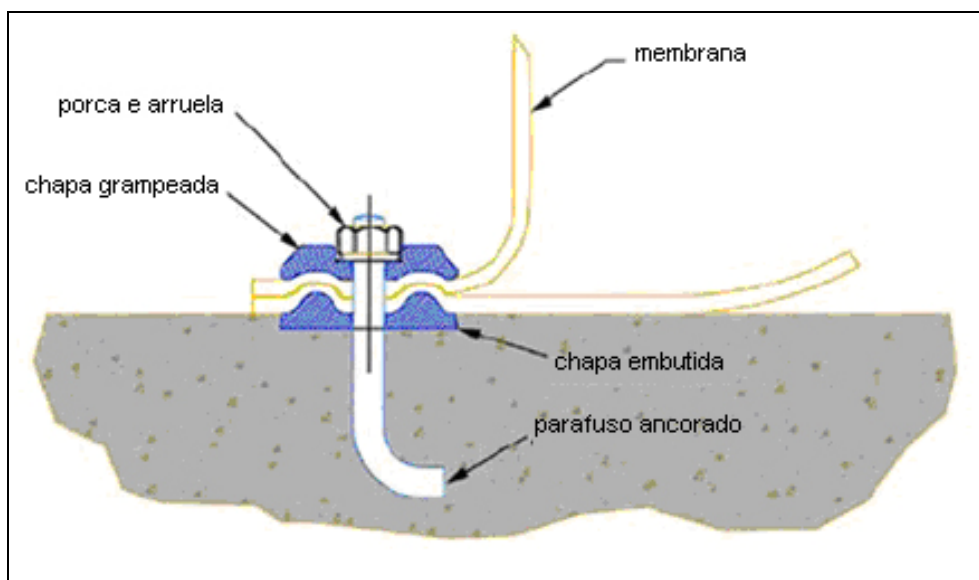


Figura 2.12 - Esquema de ancoragem de barragens flexíveis.
Fonte: Trelleborg (2008).

Trelleborg (2008) recomenda o uso de ferragens (trilhos e parafusos) em ferro fundido ou aço inox, para fixação da membrana a estrutura de concreto (base e

laterais). As características de concepção do sistema de ancoragem são as seguintes:

- facilidade de instalação em estruturas novas ou em cristas existentes;
- anteparos de concreto para proteção de grandes destroços flutuantes;
- a ancoragem com ferro fundido galvanizado é projetada com proteção catódica;
- aço inoxidável, fibra de carbono ou de vidro reforçam as fixações em plástico que podem ser instaladas para aumentar a resistência à corrosão, a água salgada e de tratamento de águas residuais;
- são projetados para suportar carga máxima de tensão que atuam na membrana e cargas induzidas ao mesmo tempo.

Segundo Trelleborg (2008), a ancoragem e os parafusos são projetados com um fator mínimo de segurança de 3:1.

Chanson (1998) comenta que no sistema de ancoragem em linha dupla, quanto maior for o espaçamento entre as linhas ancoradas de montante e jusante, menores são os efeitos da vibração. De acordo com Mysore (1997), as vibrações com ancoragem dupla foram analisadas por Hsieh e Plaut (1990), Dakshina Moorthy et al. (1995) e, Wu e Plaut (1996).

c) Laje de fundo: a laje de fundo da barragem flexível deverá ser em concreto, devendo ser previsto um rebaixamento que permita a acomodação da membrana quando desinflada, suficiente para permitir que a estrutura não obstrua o fluxo de água natural do manancial. A base de concreto deverá ser dimensionada de acordo com as características locais. Os taludes também deverão ser em concreto, moldado 'in loco' ou pré-moldado. O uso de estrutura pré-moldada facilita o processo construtivo. Os taludes deverão ser construídos com inclinação de 45°, permitindo assim que ao desinflar a membrana se ajuste perfeitamente a base de fundo e a lateral. A Figura 2.13 apresenta um detalhamento da estrutura para instalação de barragens flexíveis.

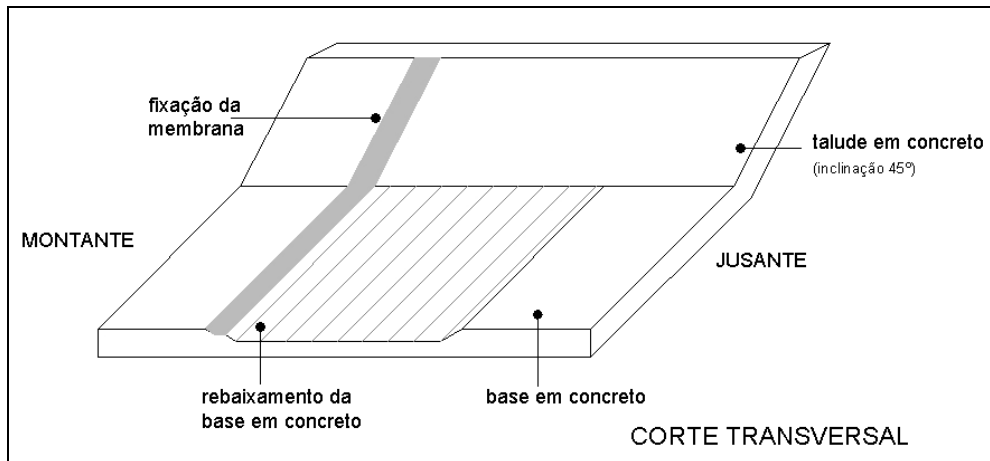


Figura 2.13 - Corte transversal da estrutura da seção para instalação de barragem flexível.
Fonte: adaptado de Souza (2008).

2.5.1.1.3 Sistemas de controle

Existem vários sistemas de controle de barragens flexíveis disponíveis, variando de um simples controle manual a avançados sistemas de controle de nível da água a montante. Trelleborg (2008), em seu catálogo técnico, propõe a adoção do sistema automático, operando com uma unidade eletrônica telemétrica, orientada através de sensores do tipo: nível - linímetro digital de montante; sensor da pressão interna da membrana; comandos das válvulas operacionais e; comando liga/desliga do motor/ventilador.

A operação de uma ou mais barragens, integrando um sistema pode ser realizada através de telemetria, comandada por uma central. A comunicação entre as barragens (estação remota) e a central pode ser via satélite ou telefonia. É fundamental que o controle operacional das barragens flexíveis seja eficiente, uma vez que excedida as condições previstas em projeto, ou seja, a altura máxima da lâmina de transbordamento prevista poderá comprometer a membrana, uma vez que é a principal sobrecarga que atua sobre a estrutura inflável (Trelleborg, 2008).

2.5.1.1.4 Uso e implicações

Segundo Ota (1991), as barragens flexíveis são mais utilizadas em pequenos cursos d'água, embora alguns estudos estão sendo feitos para tornarem viáveis as aplicações em obras de maior porte. As principais aplicações correntes de barragens flexíveis estão em: barragens para captação de água; vertedouros para controle de cheias; barragens para desembocadura de rios, para impedir o refluxo de água salgada do mar; barragens para esgoto; barragens para recreação e piscicultura; barragens para pequenos aproveitamentos hidrelétricos; soleiras móveis para controle de níveis de água. As Figuras 2.14 (a, b, c, d, e) ilustram alguns exemplos de barragens flexíveis em operação, exemplificadas por diversos fabricantes, em seus catálogos técnicos.

Outro uso bastante comum de elementos flexíveis consiste no alteamento de barragens existentes, através da instalação da estrutura na crista da barragem. As barragens flexíveis são elementos represadores pré-fabricados, podendo atuar como vertedor para o controle de vazão (CHUQUIMUNI, 2005).

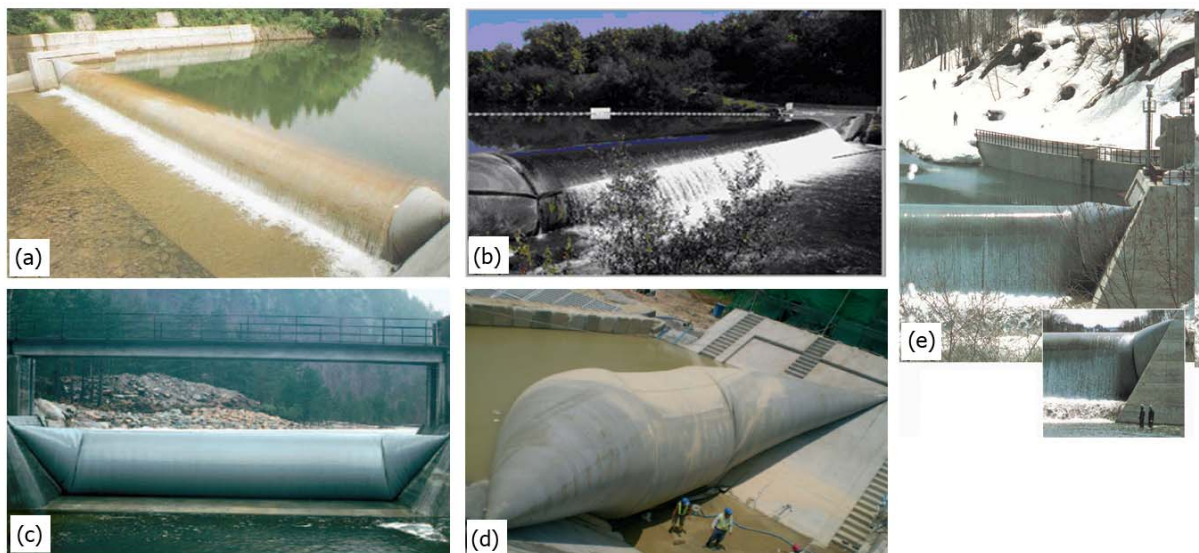


Figura 2.14 – Barragens flexíveis em operação. (a) Oh River – Japão (2m H X 28,50m L); (b) Russian River, Califórnia – EUA; (c) Noruega; (d) Hong Kong (4m H); (e) Oh River - Japão (6m H X 34,50m L).

Fonte: (a) Sumigate, 2008; (b) Constantz, 2008; (c) Dyrhoff (2009); (d) Dyrhoff (2009); (e) Sumigate (2008).

De acordo com Chuquimuni (2005), na Austrália as barragens flexíveis vêm sendo utilizadas desde a década de 60, sendo que nas estruturas implantadas mais recentemente foi acoplado o sistema de acionamento automático. Alguns desses exemplos são listados a seguir:

a) Barragem Koomboomba, Queensland: instalada em 1965, inflada com água, possui altura de 1,22 e 1,50m e largura de 60 m (1 módulo). O sistema de inflar é mecânico;

b) Barragem Lyell, New South Wales: instalada em 1996, inflada com ar, possui altura de 3,50 m e largura de 40 m (02 módulos). O sistema de inflar é automático;

c) Barragem Dumbleton: instalada em 1997, inflada com ar, possui altura de 2,00 m e largura de 75 m (2 módulos). O sistema de inflar é mecânico/ automático.

Em Veneza, na Itália, está sendo implantado o projeto denominado MOSE (Modulo Sperimentale Elettromeccanico), que consiste em uma série de 79 barragens temporárias para o controle de cheias, evitando assim as freqüentes inundações provenientes do mar (Figura 2.15). Essas barragens são compostas de módulos rígidos. As estruturas móveis irão separar a lagoa do mar Adriático, em situações de ocorrência de maré alta. Veneza é uma cidade edificada sobre estacas, construída sobre 117 ilhotas no meio de uma lagoa que deságua no mar Adriático, sofrendo inundações freqüentemente.

Durante as marés normais, as barragens móveis devem ficar acomodadas no fundo do mar, inativas e cheias de água. Quando for prevista uma maré acima de determinado nível, será injetado ar nas barragens, o que vai retirar a água de dentro das membranas, fazendo-as subir. Quando a maré baixar, as barragens serão enchidas novamente de água e voltarão a descansar no fundo do mar (BROTTO, 2009).

Segundo o mesmo autor, estas barragens móveis foram propostas pela primeira vez no início da década de 90. Entretanto, o projeto teve de superar muitas objeções ambientais. A previsão de conclusão das obras é para final de 2014.

Este mesmo sistema móvel de controle de inundações está sendo estudado para implantação na cidade de New Orleans, nos EUA (MARRA, 2009).



Figura 2.15 – Barramento móvel em Veneza, Itália.
Fonte: Brotto (2009).

As barragens flexíveis apresentam certas desvantagens inerentes à sua própria constituição, como por exemplo, a vulnerabilidade ao vandalismo, possibilidade de serem danificadas por flutuantes de grandes dimensões e a necessidade de bombas de ar ou água e tubulação para serem infladas (CHUQUIMUNI, 2005).

Ota (1991) aponta como desvantagem também a ocorrência de vibrações em caso de operação com sobrecarga, falta de conhecimento quanto à durabilidade, carência de informações concretas sobre o seu comportamento e, como todas as barragens móveis, possui riscos de causar enchentes a jusante no caso de operação imprópria.

Entretanto, as vantagens em relação às comportas metálicas são numerosas, segundo Ota (1991) e Dparra (2001): custo relativamente baixo; excelente estanqueidade; peso próprio reduzido; possibilidade de desobstruir o escoamento quando esvaziada, permitindo, inclusive, a passagem de sedimentos; não possui partes móveis sujeitas ao atrito e à ferrugem, conduzindo a um baixo custo de manutenção; dispensa pilares intermediários, não há limitação teórica do comprimento da barragem (é desprezível a tensão transmitida neste sentido); o material constituinte (borracha) é resistente ao ataque de diversos elementos químicos, permitindo o seu contato com esgoto e água salgada, por exemplo; dependendo da forma de fixação da lona, pode receber esforços tanto no sentido de montante para jusante, como de jusante para montante. Dessa forma, pode ser utilizada como órgão divisório de reservatórios, permitindo o esvaziamento de qualquer um dos lados do reservatório.

Para Mysore (1997), embora muitas das barragens fiquem permanentemente infladas, têm a vantagem de poderem ser desinfladas quando necessário e, em seguida, infladas em um curto período de tempo quando exigido. As barragens infláveis são relativamente fáceis de instalar, não corrói, requer pouca manutenção, e tem a capacidade de resistir a temperaturas extremas.

Dparra (2001) comenta o relato de Hamel et al. (1993) em relação a intenção de utilização desta solução na barragem de Plane Nine (Altoona, EUA) para elevar o nível do reservatório, aumentando a capacidade de armazenamento de água.

Dentre as principais causas de danificações em barragens flexíveis são apontados o vandalismo, a instabilidade hidrodinâmica e passagem de destroços. Alguns cuidados devem ser tomados no momento de desinflar/esvaziar a barragem, como por exemplo, a membrana flexível deve ser acomodada no chão (solo), para minimizar os distúrbios do fluxo inicial (CHANSON, 1998).

Em relação à durabilidade, existem barragens flexíveis com mais de 20 anos de uso, sem apresentar problemas. Segundo Mysore (1997), a vida útil fica em torno de 30-40 anos. Chanson (1998) comenta que a primeira barragem inflável instalada na Califórnia sofreu problemas relacionados aos elastômeros utilizados.

2.5.1.1.5 Custos de implantação

Segundo Souza (2008), os custos de implantação de barragens flexíveis normalmente alcançam um patamar em torno de 50% de uma estrutura fixa em concreto. O mesmo autor comenta que no Brasil as membranas ainda não são fabricadas, sendo necessário importá-las, o que se torna mais oneroso.

De acordo com Brotto (2009), as 79 barragens flexíveis que estão sendo instaladas em Veneza (Itália), como medida de controle de cheias, apresenta um custo aos cofres italianos de cerca de US\$ 3 bilhões.

2.6 A agricultura irrigada e a questão ambiental

A seguir discorre-se sobre as ações que vem sendo desenvolvidas para a regularização do setor de irrigação, o processo de licenciamento e, os possíveis impactos que ocasionará o atendimento integral a legislação ambiental vigente.

2.6.1 O Plano Estadual de Regularização da Atividade de Irrigação (PERAI) no Rio Grande do Sul

As alterações nos padrões de consumo e o aumento da produção de alimentos vêm resultando, nos últimos anos, num elevado crescimento da área ocupada por grandes culturas, avançando sobre áreas impróprias, como nas Áreas de Preservação Permanente (APP).

Diante desta realidade e em busca de recuperação dessas áreas, foi instituído no Rio Grande do Sul, através da Resolução CONSEMA nº100, datada de 15/abril/2005, o Plano Estadual de Regularização da Atividade de Irrigação (PERAI), que prevê a recuperação das APP ocupadas pela produção primária, especialmente lavouras de arroz.

A partir da Resolução nº 100/2005, a concessão de novas licenças, bem como a renovação de Licença de Operação de empreendimentos de irrigação passou a estar condicionado a adesão do produtor ao Termo de Compromisso Ambiental (TCA), que constará, no mínimo:

- a) A delimitação e, quando necessário, a recuperação das APP na(s) propriedades(s) onde está inserido o empreendimento, devendo atender um mínimo anual de 25% dos parâmetros fixados nas Resoluções CONAMA nº 302/2002 e nº 303/2002, respeitados os acordos previamente estabelecidos em cada bacia hidrográfica;
- b) Que os empreendimentos, localizados até 10 Km de Unidade de Conservação, deverão obter parecer do Gestor da Unidade de Conservação;

- c) A outorga, que será exigida num prazo máximo de 05 (cinco) anos, iniciando pelas bacias críticas e também pelos portes grande e excepcional (para todas as bacias);
- d) Penalidades pelo descumprimento do Termo de Compromisso Ambiental – TCA.

Os critérios referentes às APP foram estabelecidos com base no Código Florestal Federal (Lei nº 4.771/1965) e posteriores alterações (Lei nº 7.803/89 e Medida Provisória nº 1.956/00), bem como nas Resoluções CONAMA nºs. 302 e 303/2002. A referida legislação define APP como “área protegida por lei, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem estar das populações humanas”. Portanto, são áreas que devem ser preservadas da ação antrópica, ou seja, livres de exploração econômica.

De acordo com a Resolução nº 303 (CONAMA, 2002), constitui APP, as áreas situadas ao longo de cursos d’água, ao redor de lagos e lagoas naturais, nascentes, topo de morros, encostas com declividade superior a 45° ou 100% na linha de maior declive, dentre outros. A faixa de proteção ao longo de cursos d’água varia de acordo com a largura do manancial.

Para o entorno de reservatórios artificiais, as APP são definidas pela Resolução nº 302 (CONAMA, 2002). A faixa de APP varia de acordo com a superfície de alagado, uso a que se destina, bem como a área (urbana ou rural) em que estão situados.

Segundo o Código Florestal Federal (Lei nº 4.771/1965), a supressão total ou parcial de florestas de preservação permanentes somente será admitido com autorização prévia do Poder Público Federal, quando for necessário a execução de obras, planos, atividades ou projetos de utilidade pública ou de interesse social.

De acordo com a referida legislação, as APP possuem diversas funções ambientais, devendo respeitar uma extensão específica de acordo com a largura do rio, lago, represa ou nascente. A formação vegetal localizada nas margens dos rios, córregos, lagos, represas e nascentes, são chamadas de mata ciliar, mata de galeria, floresta ripária, etc.

O avanço da agricultura, pecuária, loteamentos, construção de hidrelétricas, etc, contribuíram para a redução da vegetação original, chegando em muitos casos na ausência da mata ciliar. A mata ciliar desempenha funções relacionadas à geração do escoamento direto na microbacia, à contribuição ao aumento da capacidade de armazenamento da água, à manutenção da qualidade da água na microbacia, através da filtragem superficial de sedimentos, e à retenção, pelo sistema radicular da mata ripária, de nutrientes liberados dos ecossistemas terrestres (efeito tampão), além de proporcionar estabilidade das margens, equilíbrio térmico da água e formação de corredores ecológicos (FELIPE, 2007).

2.6.2 Ações de regularização na irrigação

Alguns setores usuários de recursos hídricos são estratégicos no âmbito do PNRH e devem ser objeto de ações específicas de regularização. Dentre esses setores destacam-se o de saneamento, o de transporte hidroviário, o industrial, o energético, a irrigação e a aqüicultura (PNRH, 2006).

Conforme discorrido no item 2.2 (usos múltiplos da água), a irrigação é o uso de recursos hídricos com maior demanda de água em termos consuntivos. Em várias áreas no País com predominância de agricultura irrigada podem ser percebidos conflitos pelo uso da água entre usuários do próprio setor ou com usuários de outros setores como o de geração de energia hidrelétrica, abastecimento público, etc. Sendo assim, torna-se de grande relevância que os usuários de recursos hídricos desse setor tenham suas captações regularizadas por meio da outorga (PNRH, 2006).

De acordo com IBAMA (2006), uma boa parte dos usuários de irrigação não possui, ainda, conhecimento acerca da necessidade e dos pontos positivos de buscar a sua outorga de direito de uso das águas.

O estabelecimento da Política e do Plano Nacional de Irrigação são demandas essenciais para orientar o desenvolvimento desse setor. A elaboração de um Cadastro Nacional de Irrigantes e de censos de irrigação de forma sistemática são também instrumentos relevantes para o setor (PNRH, 2006).

O PNRH (2006) recomenda ainda a busca de alternativas, como parcerias com as concessionárias de energia elétrica no sentido de que, ao instalar pontos de energia para a utilização de sistemas de bombeamento no meio rural, seja solicitado documento de outorga autorizando o uso da água. Outro parceiro importante das autoridades outorgantes deve ser o órgão de financiamento bancário. Os usuários de irrigação necessitam, em grande parte das vezes, financiar os sistemas de irrigação ou mesmo o seu plantio. Sendo assim, é recomendada a articulação entre essas entidades com a finalidade de determinar uma metodologia em que, ao solicitar o financiamento bancário, os usuários de recursos hídricos sejam impelidos a regularizar seu uso de recursos hídricos. Esse ponto é de grande relevância também para o órgão de financiamento, pois com a obtenção da outorga, o usuário aumenta a sua garantia de pagamento do empréstimo, decorrente da garantia do suprimento de água para uma determinada área do empreendimento.

O setor orizícola é um dos que mais tem se preocupado com a adequação das atividades à normatização e as regras ambientais (PIRES, 2008). No Rio Grande do Sul, uma das primeiras medidas tomadas para a regularização do setor, teve início em agosto/2007, com o cadastramento dos irrigantes.

A partir de 2003, por determinação do Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA), os produtores de arroz passaram a ter que obter o licenciamento ambiental para exercerem atividades de cultivo, o que contribuiu para conscientizar o produtor das preocupações com o meio ambiente. No Rio Grande do Sul, a única cultura licenciada ambientalmente é o arroz (Lavoura Arrozeira, 2008).

Em 2005, com a instituição do PERAI, a emissão da licença ambiental passou a ser condicionada a aceitação do TCA pelo produtor, o qual impõe restrições como a necessidade de manutenção das APP e de obtenção da outorga de direito de uso da água. Também prevê penalidades para o descumprimento das medidas.

Diversas ações vêm sendo recomendadas e implantadas para a regularização das atividades de irrigação no Rio Grande do Sul. O IRGA vem desenvolvendo ações no sentido de promover a conscientização dos produtores, na tentativa de compatibilizar as atitudes na propriedade com a legislação ambiental vigente, com a realização de cursos como Adequação Ambiental da lavoura de Arroz, certificação de propriedades com o Selo Ambiental da lavoura de arroz, dentre outras (Lavoura Arrozeira, 2008).

2.6.3 A legislação ambiental e a agricultura

Embora o Código Florestal Federal (Lei Federal nº 4.771/1965) esteja vigente há mais de 40 anos, somente com a regulamentação da Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9605/98), através do Decreto nº 6514/08 é que passou a ser objeto de muita polêmica, tendo em vista as dificuldades que produtores vêm enfrentando para adequar-se a legislação vigente, em especial a manutenção das APP.

Pires (2008) comenta que possivelmente o pequeno produtor tenha maiores dificuldades de desocupação das áreas próximas aos cursos d'água (APP), implicando em uma drástica redução da sua área produtiva.

Monteiro et al. (2007) realizou um estudo no município de Uruguai/RS, considerado o maior produtor de arroz irrigado do Brasil (4% da produção nacional), visando a quantificação das APP por barragens, rios e córregos, conforme previsto pela legislação. Foi possível constatar que as APP correspondem a 20,68% e 40,94%, respectivamente, da área de lavoura do município. Observa-se que o percentual de área, em relação a superfície ocupada por lavouras, é bastante significativo. Isto deve-se principalmente a faixa de proteção ao longo do Rio Uruguai (largura superior a 600 m), com faixa de APP corresponde a 500 m e, ao número significativo de reservatórios existentes: 446 (com área superior a 5 hectares). Para os reservatórios, como predomina áreas de alague superior a 20 hectares, a faixa de proteção é de 100 m.

O atendimento a legislação em vigor – PERAI reduzirá substancialmente as áreas de cultivo orizícola, conforme verificado no exemplo acima. Devido as dificuldades que os produtores vem enfrentando no atendimento a legislação, o prazo para adesão ao TCA, instituído pelo PERAI, havia sido prorrogado para abril/2010 (LAVOURA ARROZEIRA, 2008). Entretanto, este prazo foi ampliado novamente por mais 4 anos.

De acordo com Fischer (2008), é preciso estabelecer um tratamento diferenciado em relação a legislação ambiental, de região para região, devido aos limitantes que traz à atividade arrozeira, como a implantação de APP ao longo dos cursos d'água, o estabelecimento das áreas de Reserva legal nas propriedades e a dificuldade de construção de novos açudes para irrigação. Salienta ainda que, caso a legislação seja cumprida na plenitude, o Rio Grande do Sul sofrerá uma redução

de 20% a 30% nas áreas de cultivo orizícola. Por essa razão o IRGA, através da Comissão de Recursos Hídricos e Meio Ambiente, encaminhou uma série de propostas ao Ministério da Agricultura para que sejam adequadas a legislação (LAVOURA ARROZEIRA, 2008).

No Rio Grande do Sul, o Decreto Estadual nº 47.137/2010 concedeu aos produtores rurais um prazo de 13 anos para recuperação das áreas de preservação permanente, de forma gradativa, sendo que após 2 anos de adesão, terão de recuperado 1/3 da área. Passados 8 anos, o decreto determina a recuperação de 2/3, além de apresentação de proposta de Reserva Legal e, ao final dos 13 anos, toda a área deverá estar recuperada.

2.7 Modelos precipitação-vazão

Os modelos precipitação-vazão representam a parte do ciclo hidrológico entre a precipitação e a vazão. Estes modelos devem descrever a distribuição espacial da precipitação, as perdas por interceptação, evaporação, depressão do solo, o fluxo através do solo pela infiltração, percolação e água subterrânea, escoamento superficial, sub-superficial e no rio (TUCCI, 2002).

Segundo o mesmo autor, os aspectos mais importantes no uso e na estrutura dos modelos hidrológicos são: os objetivos nos quais o modelo será utilizado; as limitações do modelo na representação dos processos para os objetivos definidos e; a qualidade e quantidade das informações utilizadas em conjunto com o modelo.

Os modelos utilizam critérios de subdivisão espacial para representar a bacia, adotando uma das seguintes estruturas para discretização (MENDES; CIRILO, 2001):

- Concentrado: toda a bacia é representada por uma precipitação média e os processos hidrológicos por variáveis concentradas no espaço;
- Distribuído por sub-bacias: o modelo permite a subdivisão da bacia em sub-bacias, de acordo com a drenagem principal. A sub-divisão é realizada com base na disponibilidade de dados, locais de interesse e variabilidade de parâmetros físicos da bacia;

- Distribuído por módulos: esta discretização é realizada por formas geométricas como quadrados, retângulos, sem relação direta com a forma da bacia, mas caracterizando internamente os componentes dos processos.

A escassez de dados observados de vazão constitui uma realidade que dificulta o trabalho de hidrólogos e projetistas de obras hidráulicas. Nestes casos, a solução muitas vezes empregada é a utilização de modelos de simulação do comportamento hidrológico em uma bacia hidrográfica com base em dados de precipitação, como o modelo de transformação precipitação-vazão desenvolvido pelo Soil Conservation Service (SCS), vinculado ao Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), a partir de dados de um grande número de bacias experimentais (SCS, 1973).

O modelo SCS determina o escoamento superficial a partir de uma equação empírica que requer como entrada a precipitação e um coeficiente relacionado às características da bacia, conhecido como curva número (CN). Esse coeficiente representa o escoamento superficial das características do tipo e uso do solo na bacia (SHARMA; SINGH, 1992). A precipitação é totalmente convertida em abstrações iniciais que correspondem a toda precipitação que ocorre antes do início do escoamento superficial, englobando, além da interceptação e do armazenamento superficial, toda a infiltração ocorrida durante esses dois processos.

2.8 Geoprocessamento

Segundo Hasenack et al.(1998), as técnicas de análise espacial introduzidas com o geoprocessamento facilitam a integração e a espacialização dos dados e de um grande número de variáveis, reduzindo a subjetividade nos procedimentos de análise e possibilitando a visualização dos dados e a espacialização dos resultados na forma de mapas. A possibilidade de combinar informação cartográfica e tabular, bem como inserir conhecimento específico e/ou subjetivo em uma análise, torna um sistema de geoprocessamento uma ferramenta especialmente útil para fins de planejamento.

O geoprocessamento tem por finalidade fornecer ferramentas computacionais para que os diferentes analistas avaliem a evolução espacial e temporal, bem como as inter-relações entre os diferentes fenômenos geográficos. Dentre as ferramentas estão os SIG's (Sistemas de Informação Geográfica) que permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e criar banco de dados referenciados geograficamente (CÂMARA; MEDEIROS,1996).

2.8.1 Sistemas de Informação Geográfica

Os SIG apresentam como principais características a possibilidade de inserir e integrar numa única base de dados (banco de dados), informações espaciais provenientes de várias fontes, como: dados cartográficos, imagens de satélite, dados censitários, dados de cadastro urbano e rural, dados de redes e de modelos numéricos do terreno (CÂMARA; MEDEIROS,1996). Além dessas características, proporcionam mecanismos para combinar diversas informações por meio de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e imprimir o conteúdo da base de dados georreferenciados.

De acordo com os mesmos autores, os principais tipos de dados representados num SIG são: mapas temáticos, mapas cadastrais, redes, imagens de sensoriamento remoto (satélite e de aerofotogrametria) e modelos numéricos do terreno.

Existem basicamente duas formas de representação dos elementos espaciais em ambiente SIG: a raster e a vetorial. A estrutura matricial descreve o espaço geográfico na forma de uma matriz de células, a cada uma das quais é atribuído um valor, composto por elementos denominados pixels. A resolução da célula matriz é entendida como o tamanho e pode variar de submétrico a muitos quilômetros. Cada pixel ou célula está associado com uma medida quadrática de terreno. A representação matricial é mais adequada a manipulação de dados provenientes de imagens de sensoriamento remoto, no tratamento do produto de operações de interpolação espacial, aplicações integradas a modelos matemáticos e ainda na operação algébrica entre mapas (MENDES; CIRILO, 2001).

Entretanto, segundo os mesmos autores, este tipo de representação exige maior capacidade de armazenamento de dados e a precisão na representação dos elementos espaciais esta intimamente relacionada ao tamanho da célula (resolução da célula), tornando menos precisa a representação de entidades lineares com rios, rodovias, linhas férreas, etc. No modo vetorial, o espaço é considerado contínuo, não segmentado como no espaço raster, permitindo que todas as posições, comprimentos e dimensões sejam definidos precisamente. A representação vetorial é uma composição de três elementos básicos: o ponto, a linha e a área. A cada figura é atribuído um número identificador que pode ser associado à seus atributos.

2.8.2 Sensoriamento Remoto

Nos últimos anos, houve uma grande inovação nas imagens orbitais para uso comercial. A partir do desenvolvimento de satélites com sensores de alta resolução espacial surgiram novos paradigmas na área do sensoriamento remoto. O desenvolvimento de novos sistemas sensores, como o Ikonos-II e o Quickbird abriu um novo campo no sensoriamento remoto (TANAKA; SUGIMURA, 2001).

Segundo Menezes e Netto (2001), o sucesso resultante do uso dessa tecnologia tem estimulado aperfeiçoamentos crescentes, e as aplicações do sensoriamento remoto multiplicam-se. Produtos com elementos adicionais de informações são oferecidos a comunidade de usuários a cada ano, aprimorando-se as resoluções espectrais e espaciais. Desta forma, os produtos gerados a partir das técnicas de sensoriamento remoto se constituem em importantes ferramentas para elaborar trabalhos, não individualizados, mas integrados, de forma que se possa manusear e atingir os objetivos esperados.

De acordo com Crosta (1992), as imagens de sensoriamento remoto servem de fontes de dados para estudos e levantamentos geológicos, ambientais, agrícolas, cartográficos, florestais, urbanos, oceanográficos, entre outros, representando uma das únicas formas viáveis de monitoramento ambiental em escalas locais e globais, devido a rapidez, eficiência, periodicidade e visão sinóptica que as caracterizam.

As imagens são constituídas por um arranjo de elementos sob a forma de uma malha ou *grid*. Cada cela deste *grid* tem sua localização definida em um

sistema de coordenadas do tipo 'linha e coluna', representadas por x e y, respectivamente. O nome dado a essas celas é pixel – picture element. O pixel é a unidade mínima da imagem que representa a reflectância média de uma área da superfície, dentro do campo de visada instantânea (IFOV) do sensor colocado a bordo do satélite. As características de cada pixel variam em função das diferentes plataformas orbitais. Os valores médios da reflectância, coletados em diferentes comprimentos de onda, dependem do alvo e dos detectores de cada sensor. Nas imagens de satélite, esses valores são representados por níveis de cinza, os quais variam do preto ao branco (NOVO, 1998).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para atingir os objetivos propostos no presente estudo, foi adotado o procedimento metodológico apresentado a seguir (Figura 3.1).

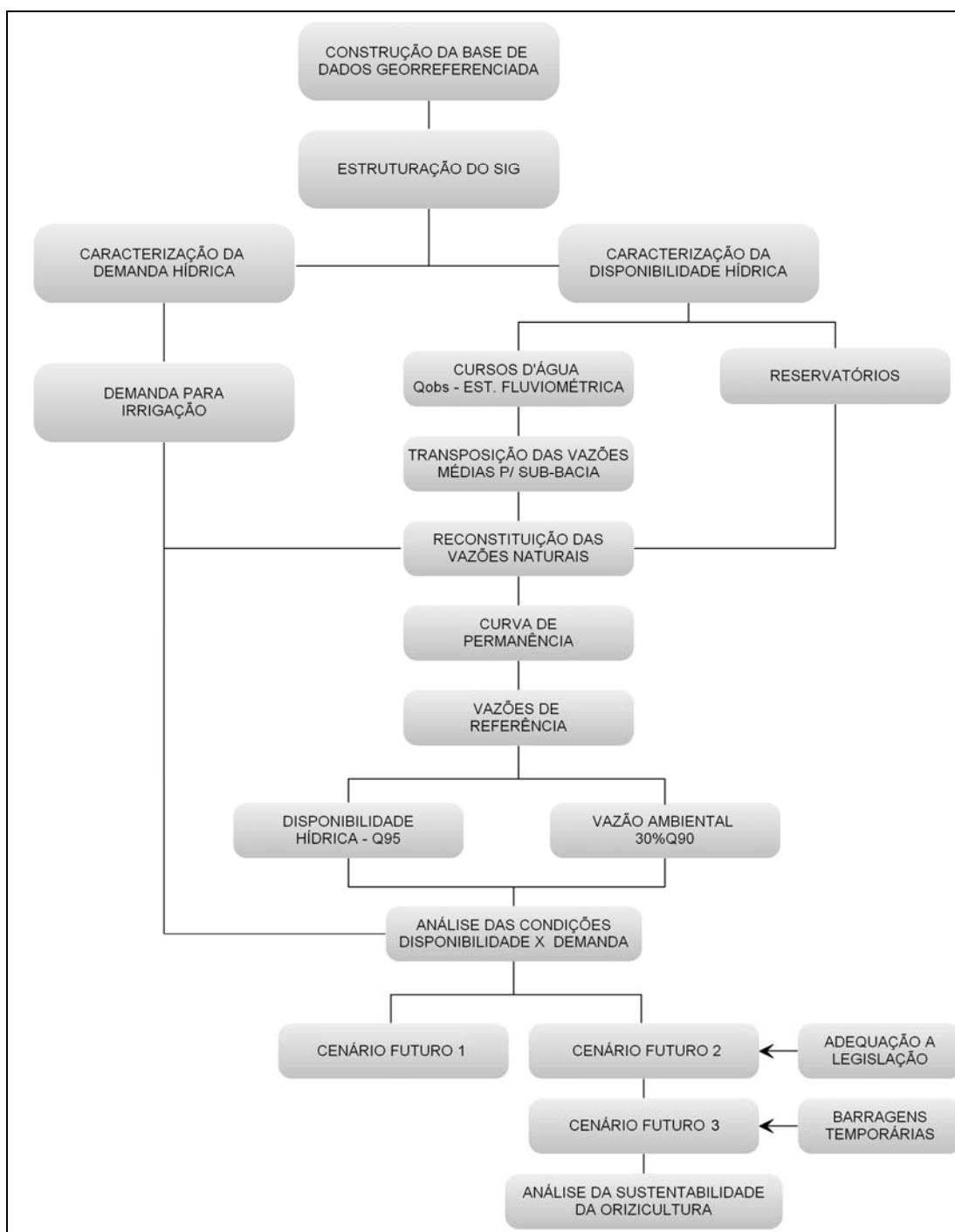


Figura 3.1: Fluxograma da metodologia adotada.

3.1 Localização geográfica da área de estudo

A sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande está situada na região Central do Estado do Rio Grande do Sul, entre o Planalto Meridional Brasileiro e a Depressão Periférica Sul Riograndense.

No contexto hidrológico, a área de estudo insere-se na Região Hidrográfica do Atlântico Sul (RH do Guaíba, segundo divisão estadual), especificamente na Bacia Hidrográfica Vacacaí – Vacacaí Mirim, abrangendo uma superfície territorial de 40.298,54 ha (402,9854 km²). Os principais cursos d'água que formam a sub-bacia são: Arroio Grande, Arroio do Meio, Arroio do Veado, Arroio Lobato, Arroio Manoel Alves e Rio Vacacaí-Mirim - afluentes do rio Vacacaí. A Figura 3.2 apresenta a localização da sub-bacia do Arroio Grande no contexto da bacia hidrográfica Vacacaí – Vacacaí Mirim.

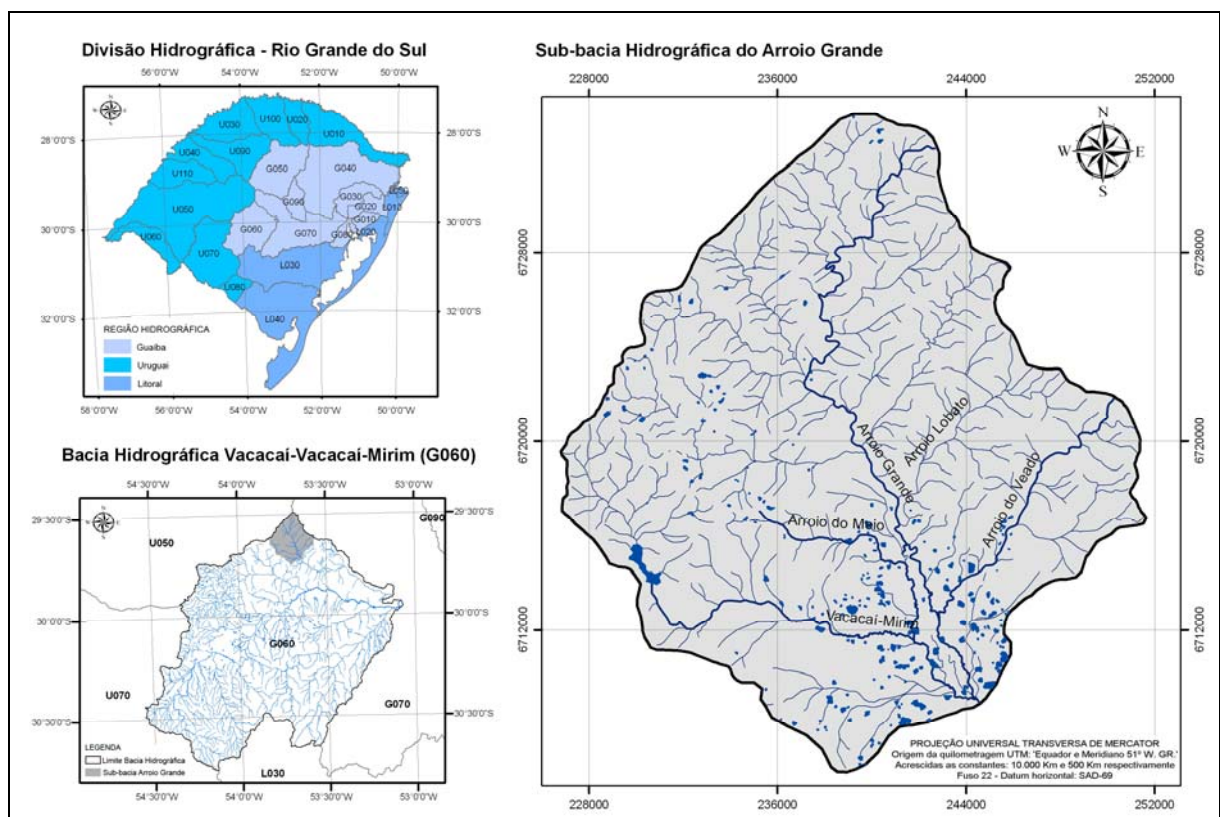


Figura 3.2: Localização da sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande.

A ocupação da sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande teve início a partir de meados do século XIX, com a chegada de imigrantes italianos, sendo intensificada a partir de 1890, com o aumento das atividades agrícolas e comerciais, ligadas a extração de madeira e cultivo agrícola. As principais culturas desenvolvidas na região são o feijão, milho, soja e arroz irrigado. A estrutura fundiária da sub-bacia está caracterizada por pequenas propriedades (FERRO; BEZZI, 2009).

3.2 Caracterização da área de estudo

3.2.1 Caracterização física

Com a finalidade de caracterizar fisicamente a sub-bacia do Arroio Grande com informações espaciais vinculadas a um banco de dados, foi estruturado um SIG (Sistema de Informação Geográfica) composto por diversos planos de informação. Um SIG possibilita também a determinação de informações derivadas do cruzamento de planos de informação.

Os planos de informação foram construídos a partir de diferentes fontes de dados, permitindo assim a manipulação de dados espaciais. Primeiramente, foi definido o sistema de referência espacial (coordenadas e Datum) a ser adotado, visando a compatibilização entre os planos de informação provenientes de diferentes sistemas de referência, sendo adotado o sistema de coordenadas planas – UTM, fuso 22 e Datum horizontal SAD-69.

A partir das cartas topográficas da Diretoria de Serviço Geográfico (DSG), de nomenclatura SH.22-V-C-IV-1/MI-2965/1 (Santa Maria) e SH.22-V-C-IV-2/MI-2965/2 (Camobi), projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum Horizontal Córrego Alegre, zona 22, em escala 1:50.000, foram extraídos os planos de informação referentes ao limite da sub-bacia e microbacias, hidrografia e curvas de nível (eqüidistantes 20 m). O material cartográfico foi convertido do formato analógico para o digital, através do processo de digitalização raster, utilizando-se equipamento de varredura ótica. Posteriormente, foi feito a montagem do mosaico

das cartas topográficas e procedido ao georreferenciamento, utilizando o aplicativo ArcGIS.

a) Delimitação da sub-bacia hidrográfica e hidrografia

Primeiramente, foi definido o divisor de águas da sub-bacia do Arroio Grande, a partir da vetorização em tela sobre o mosaico georreferenciado das cartas topográficas. O plano de informação relativo à hidrografia foi obtido pelo mesmo processo de vetorização.

Tendo em vista a data de elaboração das cartas topográficas (1975), bem como o histórico da área de estudo, que sofreu desvios de cursos d'água ao longo do tempo e que teve a construção de inúmeras obras de reservação, em decorrência da expansão das atividades de irrigação na sub-bacia, utilizou-se imagens do satélite QuickBird, resolução espacial de 0,60 m, datadas de fevereiro/2008, como forma de verificação e atualização destas informações, expressando a rede hidrográfica existente, incluindo cursos d'água e reservatórios. Os limites municipais foram obtidos a partir da base cartográfica georreferenciada, disponibilizada através do endereço eletrônico <http://www.mma.gov.br>.

b) Caracterização do relevo da sub-bacia

Com base no plano de informação curvas de nível (eqüidistantes 20 m) e pontos de cume, foi gerado o Modelo Numérico do Terreno (MNT), através de interpolação matemática, para estimar valores de altitude do terreno nos locais não amostrados, empregando-se a metodologia de redes de triangulação irregular, tamanho de células 10x10, disponibilizada no módulo TIN do aplicativo ArcGIS.

A partir do MNT foi gerado o perfil dos cursos d'água de interesse, através do módulo 3D Analyst, devendo primeiramente ser convertido o plano de informação do curso d'água, individualmente, para representação 3D. Posteriormente, a geração do perfil do curso d'água foi realizada através do comando Create Profile Graph.

Quanto as classes hipsométricas, que representam as altitudes do terreno em intervalos de classes estabelecidos, foi obtido através da reclassificação do MNT, em intervalos de 20 m. Para tanto, utilizou-se aplicativo ArcGIS 9.2, módulo Properties – Classify – Defined Interval.

c) Uso e ocupação da terra

Para o estudo sobre o uso e ocupação da terra da sub-bacia do Arroio Grande foram selecionadas as bandas multiespectrais do sensor CCD, 3, 4 e 5 do satélite CBERS II, com resolução espacial de 20 m, imageadas em 16/10/2006, disponibilizadas através do endereço eletrônico <http://www.dgi.inpe.br>. Posteriormente foi efetuada uma composição colorida RGB (543), uma vez que proporciona uma boa caracterização e diferenciação dos usos e coberturas da terra, facilitando a análise visual sobre a imagem para extração de informações. Na análise visual foram considerados aspectos referentes às características da área de estudo.

Com base nestas informações, foram definidas as classes de uso e ocupação das terras: floresta, campo, agricultura, área urbanizada, sombra, lâmina d'água. Para a classificação destas classes, utilizou-se a supervisionada, que consiste na seleção de amostras de treinamento representativas de cada classe de uso. Para a coleta das amostras foram realizadas vetorizações em tela, de padrões de uso das terras sobre a composição RGB (543).

Na delimitação das amostras, além do conhecimento prévio da área, foram considerados critérios de interpretação de imagens, tais como: padrões de associação de objetos, textura, tonalidade, cor e forma. O passo seguinte consistiu na criação de assinaturas espectrais para cada classe de uso, por meio do módulo Makesig do aplicativo Idrisi. Para a classificação automática utilizou-se o método de Máxima Verossimilhança, disponibilizado no módulo Maxlike, com a opção de igual probabilidade de ocorrência para cada assinatura e uma proporção de exclusão dos pixels de 0% classificando, desta forma, todos os pixels da imagem.

Para a identificação da área urbana, utilizou-se o método de interpretação visual sobre imagens QuickBird, disponibilizadas no aplicativo computacional Google Earth. Visando eliminar resíduos da classificação digital, utilizou-se operações com o filtro mediana 5x5. Em uma última etapa, foi realizada uma reamostragem dos pixels do mapa de classes temáticas de uso da terra, alterando a grade de 20x20 para 10x10. Para tanto, utilizou-se o aplicativo Idrisi, através do comando *expand*. Este procedimento de reamostragem de pixel foi realizado tendo em vista os cruzamentos que serão feitos com outros mapas temáticos que foram elaborados com esta resolução.

A partir da classificação automática dos temas de uso da terra, foi determinada a classe temática agricultura. Para a identificação das áreas ocupadas por culturas irrigadas, foi efetuado levantamento *in loco*, com o auxílio de GPS e imagem Quickbird, possibilitando assim o reconhecimento a campo e interpretação visual da imagem, para quantificação em laboratório. Nesta etapa, também foi utilizado o cadastro de irrigantes realizado por Marcolim (2000) – item 3.3.1.1. A superfície ocupada pela agricultura irrigada foi quantificada por microbacia, através do cruzamento dos respectivos planos de informação.

d) Classes de solos

A determinação das classes de solos da sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande baseou-se na caracterização proposta por Streck et al. (2002). Entretanto, devido à escala do mapa disponível (1:750.000), o qual permite identificar uma área mínima mapeável de 2.250 ha, fez-se necessário a coleta de amostras de solo a campo, visando a determinação das características físicas dos solos da área de cultivo orizícola, conforme descrito no item 3.3.1.2.

3.2.3 Análise do comportamento hidrológico

Considerando que a sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande não possui estação fluviométrica em operação, no presente estudo foram utilizados dados hidrológicos da estação Restinga Seca (85438000), localizada a jusante da área de estudo, pertencente a rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA), disponível no endereço eletrônico <http://www.ana.gov.br>. A estação fluviométrica Restinga Seca apresenta uma superfície de drenagem equivalente a 914 km², enquanto que a sub-bacia do Arroio Grande, 402,99 km².

3.3 Estimativa da demanda hídrica

A categoria de uso consuntivo considerada neste estudo foi basicamente a irrigação, tendo em vista as características da área de estudo, bem como a representatividade desta categoria frente às demais, no que se refere ao uso da água. A cultura irrigada predominante está no cultivo orizícola, embora também seja desenvolvida a olericultura. Entretanto, devido a representatividade da lavoura orizícola em relação a olericultura, tanto em área de cultivo como em vazão consumida, considerar-se-á apenas a demanda da lavoura orizícola.

A irrigação da lavoura orizícola é praticada por aproximadamente 100 dias no ano, normalmente entre os meses de novembro a fevereiro.

3.3.1 Irrigação

3.3.1.1 Cadastro de irrigantes

Primeiramente, buscou-se junto ao Instituto Riograndense do Arroz (IRGA), Unidade Regional de Santa Maria, informações relativas ao cadastro de irrigantes da área de estudo. Foram disponibilizadas informações cadastrais levantadas no Censo 2003/04, relativas à identificação do produtor (código), área de cultivo, sistema de cultivo, método de irrigação, manancial utilizado para a irrigação, energia para o sistema de bombeamento e localidade (distrito).

A área de cultivo orizícola indicada no Censo, refere-se aquela declarada pelo produtor, baseado muitas vezes em estimativas.

Posteriormente, procedeu-se a uma pesquisa junto ao Departamento de Recursos Hídricos (DRH), órgão gestor estadual que concede as outorgas de uso da água, onde foram fornecidos dados relativos ao nome do usuário, localização (coordenadas geográficas), vazão concedida, período de vigência e manancial de captação.

Também buscou-se informações relativas a pesquisas na sub-bacia junto a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), sendo encontrado um estudo realizado por Marcolim (2000), contendo um cadastro dos irrigantes, com informações relativas a localização (coordenadas geográficas) do ponto de tomada d'água para irrigação, cultura irrigada, manancial de captação, dentre outras informações pertinentes ao estudo.

3.3.1.2 Demanda hídrica da cultura orizícola

No presente estudo, a determinação da necessidade hídrica da cultura orizícola na sub-bacia do Arroio Grande baseou-se na metodologia proposta por Robaina (2007). Os parâmetros necessários foram obtidos conforme apresentado a seguir:

A caracterização físico-hídrica dos solos da área de cultivo orizícola da sub-bacia do Arroio Grande foi obtida a partir da coleta de amostras a campo em diferentes profundidades e ensaios de laboratório. O ponto amostrado, com coordenadas geográficas 29°40'35" de latitude Sul e 53°38'35" de longitude Oeste, está localizado em uma área de cultivo orizícola, distante da área de transição entre os tipos de solos.

A partir dos ensaios, realizados no Laboratório de Física de Solos do Centro de Ciências Rurais da UFSM, obteve-se para cada amostra analisada, em diferentes profundidades, a textura, densidade do solo e da partícula, permeabilidade, condutividade hidráulica saturada e porosidade. Também foi identificada a profundidade e a espessura da camada impermeável, bem como as características do perfil do solo.

Os dados de evapotranspiração utilizados basearam-se em determinações efetuadas por Corrêa (2007), a partir de leituras diárias de evaporação em tanque Classe A, da estação meteorológica da Universidade Federal de Santa Maria, no período compreendido entre 11 de outubro de 2005 a 31 de março de 2006 (correspondente a fase compreendida entre a semeadura e o término do ciclo do arroz). Foi determinado uma média de evaporação nesse período de 0,006 m/dia,

considerando os coeficientes de cultura (K_c) médios para o período referente a fase vegetativa e reprodutiva da cultura.

Quanto à altura da lâmina d'água na lavoura, foi adotada uma lâmina média de 10 cm, conforme preconizado por Gomes et al. (1992).

Para a variável relacionada a produtividade estimada de grãos (P_e), considerou-se a média apresentada pelo IRGA para a safra 2008/2009 para a região da Depressão Central, ou seja, em torno de 5.500 kg/ha.

Os parâmetros relacionados ao índice de colheita (I_c : 44%), umidade dos grãos (U_g : 13%) e fator de transpiração (m_t : 0,38 m³/Kg de matéria seca), basearam-se em experimentos conduzidos por Weber (2000) na região.

A partir de dados compilados do Censo do IRGA, o início da irrigação na região da Depressão Central concentra-se na faixa de 15 a 30 dias após a semeadura, sendo que esta vem sendo realizada por grande parte dos produtores na primeira quinzena de novembro (SANTOS, 2005). O período de irrigação da cultura orizícola estende-se, em média, por 100 dias, considerado no presente estudo.

A caracterização dos dados de oferta e demanda hídrica engloba o período de novembro a fevereiro, tendo em vista a possível variabilidade da demanda em função da época de semeadura, sabendo-se também que o IRGA vem recomendando a antecipação da semeadura para o mês de outubro, devido a fatores climáticos.

Para a quantificação da área irrigada na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande e respectivas microbacias, utilizou-se técnicas de geoprocessamento, conforme descrito no item 3.2.2. A demanda orizícola na sub-bacia foi obtida através do produto dos coeficientes necessidade hídrica da cultura e respectiva área irrigada.

A seguir é apresentado a metodologia adotada no presente estudo para a determinação da necessidade hídrica da cultura orizícola na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, onde o consumo de água da lavoura de arroz é o somatório dos volumes necessários para: saturação do solo (V_1), formar a lâmina na lavoura (V_2), compensar as perdas por evaporação (V_3), compensar as perdas por infiltração (V_4) e, para atender a transpiração da cultura (V_5), expressos em m³/ha.

a) Volume de água necessário para saturação do solo (V_1)

$$V_1 = \left(\frac{U_{\text{saturação}} - U_{\text{atual}}}{100} \right) \cdot Pci \cdot ds \cdot f \quad [3.1]$$

Onde:

$U_{\text{saturação}}$: umidade de saturação do solo (%);

U_{atual} : umidade atual do solo (%);

Pci : profundidade da camada impermeável (m);

ds : densidade do solo (g/cm^3);

f : 10.000 (fator de conversão: m^3/ha).

A $U_{\text{saturação}}$ é determinada através da seguinte expressão:

$$U_{\text{saturação}} = \frac{n}{ds} \quad [3.2]$$

Onde n é a porosidade do solo, dada pela expressão:

$$n = 1 - \frac{ds}{dp} \quad [3.3]$$

Onde:

dp : densidade de partícula (g/cm^3).

b) Volume de água necessário para formar a lâmina na lavoura (V_2)

$$V_2 = hl * f \quad [3.4]$$

Onde:

hl : altura da lâmina d'água na lavoura (m);

f : 10.000 (fator de conversão: m^3/ha).

c) Volume de água necessário para compensar as perdas por evaporação (V_3)

$$V_3 = he \cdot Pi \cdot f \quad [3.5]$$

Onde:

he : altura de lâmina evaporada (m/dia);

Pi: período de irrigação da cultura (dias);
 f: 10.000 (fator de conversão para m³/ha).

d) Volume de água necessário para compensar as perdas por infiltração (V₄)

$$V_4 = K \cdot \left(\frac{P_{ci} + h}{E_{ci}} \right) \cdot P_i \cdot f \quad [3.6]$$

Onde:

K: coeficiente de permeabilidade do solo (m/dia);
 E_{ci}: espessura da camada impermeável (m);
 f: 10.000 (fator de conversão: m³/ha).

e) Volume necessário para atender a transpiração da cultura (V₅)

$$V_5 = \left(\frac{P_e \cdot \left(1 - \frac{U}{100} \right)}{I_c} \right) \cdot m_t \quad [3.7]$$

Onde:

P_e: produtividade estimada de grãos (kg/ha);
 U: índice de umidade (%);
 I_c: índice de colheita (%);
 m_t: fator de transpiração (m³/kg de matéria seca).

f) Volume total de água necessário para atender a demanda da cultura (V_T)

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 \quad [3.8]$$

3.3.1.3 Demanda hídrica da cultura por microbacia

A quantificação da demanda hídrica da cultura orizícola por microbacia foi obtida através da expressão:

$$V_{Tmi} = V_T \cdot A_{irrigmi} \quad [3.9]$$

Onde:

V_{Tmi} : necessidade hídrica da cultura por microbacia (m^3/ha);

V_T : necessidade hídrica da cultura (m^3/ha);

$A_{irrigmi}$: área irrigada na microbacia i (ha).

3.4 Estimativa da disponibilidade hídrica

3.4.1 Capacidade de irrigação dos reservatórios

Primeiramente, buscou-se fazer uma análise multitemporal da oferta de água em reservatórios na sub-bacia, através da análise comparativa entre os planos de informação derivados das cartas topográficas – escala 1:50.000, com informações que datam de fotografias aéreas de 1975 e, com base em imagem de satélite de alta resolução (0,60m), datado de 2008.

A estimativa da disponibilidade hídrica de reservatórios foi obtida através da fórmula de Schoklisch, representado pela seguinte expressão:

$$V = \eta \cdot A_{sa} \cdot H_{max} \quad [3.10]$$

Onde:

V : volume de água armazenado (m^3);

η : parâmetro de *Schoklisch*;

A_{sa} : área da superfície de alague (m^2);

H_{max} : altura máxima da lâmina d'água (m).

O parâmetro Schoklisch η está relacionado com o fator de forma dos reservatórios. De acordo com Robaina et al. (2009), o IRGA adota o parâmetro $\eta = 4/9$, ficando a expressão conhecida no Rio Grande do Sul como fórmula do IRGA.

A área da superfície de alague dos reservatórios foi determinada através do plano de informação reservatórios, extraído de imagem de satélite de alta resolução (0,60m), utilizando o aplicativo ArcGIS.

Em seguida, foi realizado o agrupamento da área da superfície de alague dos reservatórios, através de amostragem estratificada, em intervalos de classes, de modo a se ter uma melhor compreensão do padrão de variabilidade da variável em questão. A definição do número de classes (NC) baseou-se na expressão proposta por Kottegoda e Rosso (1977), sugerindo que NC pode ser aproximado pelo inteiro mais próximo de \sqrt{N} , onde N representa o tamanho da amostra.

Após a definição do NC, foi determinado a amplitude de cada agrupamento. A partir da definição dos intervalos de cada classe, buscou-se informações referente a altura máxima da lâmina d'água dos reservatórios, a qual foi fornecida pelos orizicultores da região.

A capacidade de irrigação dos reservatórios foi determinada através da relação entre o volume de água armazenado e a necessidade hídrica da cultura (item 2.8.3), representado pela expressão:

$$C_{irrig} = \frac{V}{NH_{cultura}} \quad [3.11]$$

Onde:

C_{irrig} : capacidade de irrigação (ha);

V: volume de água armazenado (m³);

$NH_{cultura}$: necessidade hídrica da cultura (m³/ha).

Posteriormente, foi determinado a capacidade de irrigação dos reservatórios, por microbacia, através da extratificação dos dados da sub-bacia, utilizando-se operações de cruzamento entre os planos de informação para determinar a superfície de alague e respectiva área individualizada.

3.4.2 Vazões médias e mínimas

Devido à fraca densidade de estações fluviométricas monitoradas no Brasil, principalmente para bacias com pequena drenagem, dificilmente as seções de referência podem ser definidas coincidentes com a existência de um posto de monitoramento fluviométrico.

Existem diversos métodos para estimar a disponibilidade hídrica de locais com ausência de dados, a partir da transposição de informações de seções hidrológicas tomadas como referência, para as quais se dispõe de avaliação de disponibilidade hídrica (vazões médias diárias, curva de permanência, vazões mínimas).

Entre as possibilidades, há a aplicação de técnicas interpolativas, de regionalização, de ajustes de modelos hidrológicos e técnicas com pequenas amostragens locais. Neste estudo, é utilizado o modelo de proporção de áreas.

O modelo de proporção de áreas é um método interpolativo de uso freqüente (RIBEIRO, 2000; RAMALHO et al., 1997). Este modelo tem como princípio básico a hipótese de que o escoamento por unidade de área (vazão específica) em uma seção de rio sem monitoramento seja o mesmo para uma seção próxima monitorada, utilizada como referência, e que esteja em uma região hidrologicamente homogênea, sujeita a regimes pluviométricos semelhantes. Neste método, a vazão na seção de interesse é obtida por:

$$Q_{alvo} = Q_{fonte} \cdot \frac{A_{alvo}}{A_{fonte}} \quad [3.12]$$

Onde:

Q_{alvo} : vazão no local de interesse (m^3/s);

Q_{fonte} : vazão na seção com dados (m^3/s);

A_{alvo} : área da bacia hidrográfica de contribuição à seção de interesse (m^2);

A_{fonte} : área da bacia hidrográfica de contribuição à seção com dados (m^2).

O modelo de proporção de áreas foi adotado para a transposição de dados da estação fluviométrica Restinga Seca (área de drenagem: 914 km^2) para a sub-bacia do Arroio Grande (área de drenagem: 402,99 km^2) e, respectivas microbacias,

determinando assim a série de vazões médias e mínimas diárias para o período de 1979 – 2005.

3.4.3 Vazões naturais

Considerando que na área de estudo a demanda hídrica da cultura orizícola é intensiva no período de novembro-fevereiro, ou seja, as vazões são afetadas sazonalmente pelo uso, os dados fluviométricos não expressam as vazões naturais.

Tendo em vista a necessidade de estimar as vazões naturais na sub-bacia, com vistas à determinação de vazões de referência (vazão ambiental, Q_{90}), bem como analisar as condições de oferta e demanda por microbacia e PC – Ponto de Controle, foi determinado a vazão natural, sendo considerado aquelas observadas na estação fluviométrica (obtida pelo método de proporção de áreas), acrescida da vazão consumida pela irrigação (definida com base na área irrigada e respectiva demanda da cultura), para os meses de demanda da cultura, ou seja, novembro a fevereiro.

Considerando que parte da demanda da irrigação é atendida através de reservatórios existentes na sub-bacia, foi determinada esta parcela de vazão, sendo subtraído da vazão consumida pela irrigação. A determinação das vazões naturais baseou-se na seguinte expressão:

$$Q_{natural} = Q_{obs} + Q_{irrig} - Q_{reserv} \quad [3.13]$$

Onde:

$Q_{natural}$: vazão diária natural (m^3/s);

Q_{obs} : vazão diária observada (m^3/s);

Q_{irrig} : vazão consumida pela irrigação (m^3/s);

Q_{reserv} : vazão consumida pela irrigação atendida pelos reservatórios (m^3/s).

Devido à questão de incertezas presente na estimativa pontual dos parâmetros de vazões naturais médias diárias, devido a variabilidade inerente às amostras aleatórias que lhe deram origem, nos remete a construção de intervalos de

confiança. Para tanto, será utilizado o Teorema do Limite Central, para determinar o intervalo de confiança de 95% das vazões naturais médias diárias, para os meses de novembro a fevereiro, através da seguinte expressão:

$$P\left(Q_m - 1,96 \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{N}} < \mu < Q_m + 1,96 \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{N}}\right) = 0,95 \quad [3.14]$$

Onde:

Q_m : vazão média diária (m^3/s);

σ : desvio padrão (vazões médias diárias);

N : tamanho da amostra;

μ : intervalo de confiança.

O intervalo de confiança de 95% representa a probabilidade de que, em um ano qualquer, a vazão de permanência tenha valores dentro deste intervalo, ou, há 2,5% de probabilidade de que o valor da vazão de permanência seja maior que o limite superior e, da mesma forma, 2,5% de probabilidade que o valor seja menor que o limite inferior.

3.4.4 Vazões de referência

As vazões de referência utilizadas neste estudo foram determinadas a partir da construção da curva de permanência, com o objetivo de caracterizar:

- a) a vazão ambiental;
- b) a vazão disponível em 95% do tempo (Q_{95}), indicativo da disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica;
- c) o percentual de atendimento a demanda, para os cenários atual (demanda para irrigação) e futuro 1 (demanda para irrigação e ambiental), no contexto da sub-bacia.

A curva de permanência da sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande foi construída com base nas vazões naturais médias diárias, com um intervalo de confiança de 95%, para cada mês analisado (novembro – fevereiro). Os intervalos

de confiança em torno da média constituem uma medida da variabilidade das permanências das vazões.

A curva de permanência de vazões é utilizada para caracterizar a distribuição temporal probabilística da disponibilidade hídrica. A permanência de uma vazão representa a probabilidade de excedência dessa vazão no tempo, ou seja, é definida como a probabilidade de ocorrência da vazão média diária do curso d'água ser maior ou igual a um determinado valor, no período de sua amostra. O método consiste em atribuir a cada vazão q uma probabilidade de excedência associada p :

$$p = 1 - P\{Q \leq q\} \quad [3.15]$$

Onde:

p : freqüência de excedência;

q : vazão;

P : função de probabilidade.

A vazão $Q_{x\%}$ é freqüentemente chamada de função empírica e pode ser estimada a partir de uma função empírica de percentis (probabilidades acumuladas), a partir da escolha de uma posição de plotagem. Uma das mais utilizadas para a determinação das curvas de permanência é a equação de Weibull, como nos estudos de Jacobs e Voguel (1998).

Sendo i o número de ordem do $i^{\text{ésimo}}$ valor ordenado de vazão $q(i)$, e n o número de dados ordenados, tem-se que a probabilidade de excedência p_i de $q(i)$ é dada por:

$$p_i = 1 - F_Q[q(i)] \quad [3.16]$$

Onde a posição de plotagem de *Weibull* correspondente é dada por:

$$p_i = \frac{i}{n+1} \quad [3.17]$$

As Figuras 3.3 (a) e (b) exemplificam a forma de representação da curva de permanência.

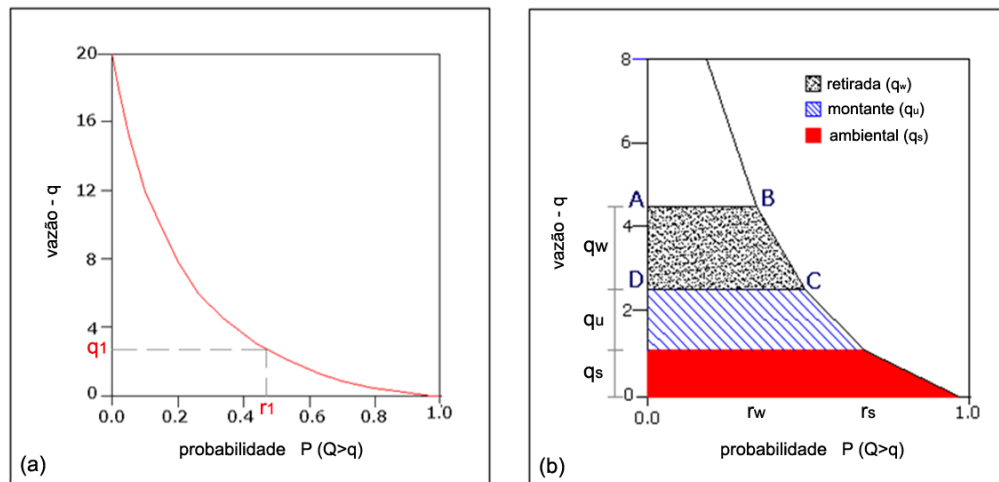


Figura 3.3 - Curva de permanência.
Fonte: adaptado de Jacobs e Vogel (1998).

De modo a contemplar os aspectos de sazonalidade de vazões presentes na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, as curvas de permanência foram construídas para intervalos mensais, abrangendo o período de novembro a fevereiro, com base na série histórica das vazões médias naturais, no período compreendido entre os anos de 1979 a 2005.

a) Vazão ambiental

Os critérios referentes à definição da vazão ambiental no Brasil ainda encontra-se em fase de definição pelos Planos de Bacia. Cada Estado vem adotando critérios específicos, como a $Q_{7,10}$ (vazão com 7 dias de duração e 10 anos de tempo de retorno) e um determinado percentual da Q_{90} (vazão de permanência de 90%).

No Estado do Rio Grande do Sul ainda não estão definidos pela legislação os critérios para a vazão ambiental, embora em diversos estudos realizados tenha sido adotado 30% da Q_{90} , como o citado por Silveira et al. (2003).

Neste estudo foi adotado o critério de demanda ambiental equivalente a 30% da Q_{90} , incluindo assim na análise das condições de oferta e demanda hídrica da sub-bacia a parcela de preservação, ou seja, de manutenção de níveis mínimos em um curso d'água. A vazão ambiental foi determinada para cada mês (novembro – fevereiro), de modo a contemplar os aspectos de sazonalidade.

b) Vazão disponível em 95% do tempo (Q_{95}): indicativo da disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica, retratando a parcela de tempo que determinada vazão é igualada ou superada durante o período analisado (Tucci, 2002).

3.5 Determinação das Áreas de Preservação Permanente (APP)

A determinação das APP na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande seguiu o estabelecido no Código Florestal Federal (Lei nº 4.771/65) e nas Resoluções CONAMA nº 302 e 303/2002, conforme descrito no item 2.7.1.

Para a hidrografia, a legislação estabelece faixas de proteção, que variam de acordo com a largura do leito dos cursos d'água e; para as nascentes é estabelecido um raio de proteção de 50 m (Resolução CONAMA nº 303/2002). No caso dos reservatórios artificiais, a Resolução CONAMA nº 302/2002, determina faixas diferenciadas, conforme o uso a que se destina, a área em que esta localizado, bem como a superfície de alague.

Na elaboração do presente estudo, foram considerados os seguintes critérios, de acordo com as características apresentadas pela área:

- a) Cursos d'água: largura inferior a 10 m e entre 10 e 50 m - faixa de proteção de 30 e 50m, respectivamente;
- b) Nascentes: raio de proteção de 50 m;
- c) Reservatórios artificiais: reservatório situado em área urbana: faixa de proteção de 30 m; reservatório com até 20 ha (não utilizados em abastecimento público ou geração de energia elétrica), situado em área rural: faixa de proteção de 15m.

Tendo em vista que o estudo visa identificar as áreas com cultivo irrigado em APP, não foram considerados outros critérios previstos na legislação brasileira vigente, como por exemplo, declividade superior a 100%, topo de morro e linha de cumeada, uma vez que não é desenvolvido tal cultura em áreas com estas características.

As APP, ao longo de cursos d'água, nascentes e reservatórios artificiais, foram determinadas com base na análise buffer (zona tampão), utilizando-se

técnicas de geoprocessamento, através do aplicativo ArcGIS, ferramenta ArcToolbox – Analysis Tools – Proximity – Buffer. A partir da sobreposição dos planos de informação obteve-se as APP da sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande.

Visando identificar o cenário do uso da terra das APP na sub-bacia, em especial, das áreas ocupadas pela agricultura irrigada, as quais deverão ser suprimidas, foi realizado o cruzamento dos planos de informação APP x uso da terra. Para tanto, foi utilizado o aplicativo ArcGIS - ferramenta Spatial Analyst – Raster Calculation.

Com o objetivo de quantificar e espacializar a necessidade de redução da área irrigada na sub-bacia, os dados foram novamente extratificados, por microbacia.

3.6 Composição dos cenários de oferta e demanda hídrica

A análise das condições de disponibilidade hídrica x demanda da área de estudo foram realizadas no contexto da sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande e por PC, para o período de novembro a fevereiro, com o objetivo de identificar as condições em nível de sub-bacia e pontuais.

Os PC foram posicionados estrategicamente, permitindo avaliar os conflitos entre as ofertas e demandas hídricas, dando uma visão sistemática e integrada. Através da análise dos diferentes cenários, obteve-se a vazão remanescente na sub-bacia e por PC.

A demanda hídrica considerada para as análises refere-se aquela preponderante na área de estudo – orizicultura irrigada e, a demanda ambiental, tendo como resultante a vazão remanescente (Q_{rem}), que refere-se aquela disponível para novos usos. Para a disponibilidade hídrica dos cursos d'água, foram consideradas as vazões naturais disponíveis em 95% do tempo (Q_{95}), determinada através da curva de permanência.

Para a análise das condições de disponibilidade hídrica X demanda da área de estudo foram compostos cenários, conforme apresentado na Tabela 3.1 a seguir:

Tabela 3.1 – Composição dos cenários de disponibilidade x demanda hídrica.

| CENÁRIO | DEMANDA HÍDRICA | DISPONIBILIDADE HÍDRICA |
|----------------|---|--|
| 1 | cultura orizícola existente | cursos d'água e reservatórios |
| 2 | cultura orizícola (excluindo as áreas de cultivo em APP) vazão ambiental (30%Q ₉₀) | cursos d'água e reservatórios |
| 3 | cultura orizícola (excluindo as áreas de cultivo em APP) vazão ambiental (30%Q ₉₀) | cursos d'água e reservatórios barragens temporárias |

Conforme apresentado na Tabela 3.1, o cenário 1 expressa a realidade atual na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, ou seja, considera a demanda hídrica da cultura orizícola existente e a disponibilidade dos cursos d'água e reservatórios.

Para o cenário 2, é considerado o atendimento a legislação ambiental, ou seja, exclui-se a demanda hídrica necessária para as áreas de cultivo orizícola em APP e, inclui a necessidade de manutenção de níveis mínimos de vazão nos cursos d'água, denominada vazão ambiental (30%Q₉₀).

O cenário 3 considera o atendimento a legislação ambiental (mesmos critérios do cenário 2), acrescido da disponibilidade hídrica ofertada pelas barragens temporárias, instaladas no álveo de determinados cursos d'água, como forma de armazenamento de água para suprir a demanda.

3.6.1 Análise da vazão remanescente

3.6.1.1 No contexto da sub-bacia hidrográfica

Para o contexto da sub-bacia, a análise da vazão remanescente foi realizada com base na curva de permanência, que indica o percentual do tempo em que determinada vazão está disponível. A análise foi realizada para os cenários 1 e 2.

3.6.1.2 Vazão remanescente por Ponto de Controle (PC)

A análise da vazão remanescente por PC indica os locais com maior vulnerabilidade hídrica da sub-bacia, devido às condições de disponibilidade X demanda. Foram analisados a proporção da demanda para irrigação e ambiental em relação à vazão disponível (Q_{95}).

Considerando a análise do cenário 2 bem como os demais critérios estabelecidos, foram definidos os locais para implantação das barragens temporárias infláveis. Após esta definição, foi caracterizada cada seção, através de perfis transversais e longitudinais, determinando a capacidade de acumulação de cada estrutura móvel implantada e, respectiva capacidade de irrigação da cultura orizícola.

A análise da elevação do nível de garantia de disponibilidade hídrica propiciado pelas estruturas temporárias (barragens infláveis) para a cultura orizícola, foi realizado para o período de novembro a fevereiro, quando ocorre a irrigação.

A partir da quantificação da capacidade de armazenamento das barragens temporárias, localizadas estrategicamente com a finalidade de atender a demanda, procedeu-se a simulação do cenário 3.

Neste cenário foi avaliado a sustentabilidade hídrica da cultura orizícola na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, através de um conjunto de medidas estruturais (implantação de barragens infláveis) e não-estruturais (eliminação da área de cultivo em APP, vazão ambiental) propostas.

3.7 Armazenamento de água no álveo - Barragens Temporárias Flexíveis

A implantação de barragens flexíveis infláveis para fins de armazenamento de água no leito fluvial baseou-se na análise espaço-temporal das condições de oferta e demanda na sub-bacia, que indicou os locais que possuem conflitos pelo uso da água, bem como a demanda necessária. Também foram considerados fatores como condições de acesso para construção e manutenção das barragens e densidade da vegetação as margens do manancial.

O volume acumulado por cada reservatório formado no álveo com a instalação das barragens temporária foi determinado a partir de perfis topográficos longitudinais e transversais elaborado para cada seção de curso d'água. O perfil transversal foi elaborado através de levantamento *in loco*, com o uso de estação total, trena métrica e GPS, para cada seção do curso d'água onde está sendo proposto a instalação de barragens temporárias, caracterizando assim a calha do curso d'água. O perfil longitudinal dos cursos d'água de interesse na sub-bacia, foi elaborado com base no MNT, através do aplicativo ArcGIS. Os níveis (altitudes) dos trechos dos cursos d'água também foram levantados com receptor GPS, devidamente calibrado, para fins de conferência de informações.

Na determinação da capacidade de irrigação das barragens temporárias é necessário a destinação de uma parcela de vazão a manutenção de níveis mínimos no manancial (vazão ambiental - Q_{amb}). A outra parcela de armazenamento de água no reservatório é o chamado volume útil, ou seja, a porção destinada ao atendimento das demandas dos usuários, exceto a demanda ambiental.

Esse tipo de estrutura deve também prever uma altura para a chamada borda livre, nível este que pode ser considerado balizador para o processo de remoção automática da estrutura móvel. As barragens temporárias flexíveis infláveis instaladas no álveo de cursos d'água possuem a mesma função de um vertedor. A Figura 3.4 apresenta a parcelas que compõem a estrutura.

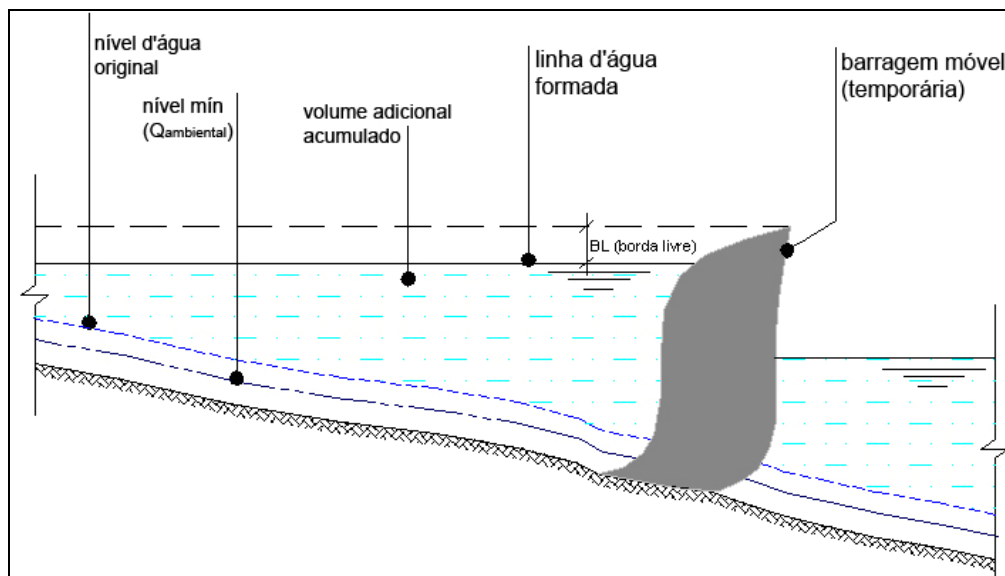


Figura 3.4 - Parcelas que compõem uma barragem temporária flexível.
Fonte: adaptado de Souza (2008).

3.7.1 Dimensionamento de Barragens Temporárias Flexíveis Infláveis

A altura máxima da membrana de uma barragem inflável a ser instalada é definida em função das características de cada seção, ou seja (Figura 3.5):

$$H_{bi_{\max}} = \frac{(H_{calha} - OS)}{1,20} \quad [3.18]$$

Onde:

$H_{bi_{\max}}$: altura máxima da barragem inflável (m);

H_{calha} : altura da calha do curso d'água (m);

OS: orla de segurança (m).

A altura máxima da calha do curso d'água considerada refere-se aquela das pontes existentes e, a altura máxima de transbordamento para as *barragens infláveis com ar* equivale a $H_o = 0,20 \cdot H_{bi}$. Para a orla de segurança, foi adotado 0,50 m.

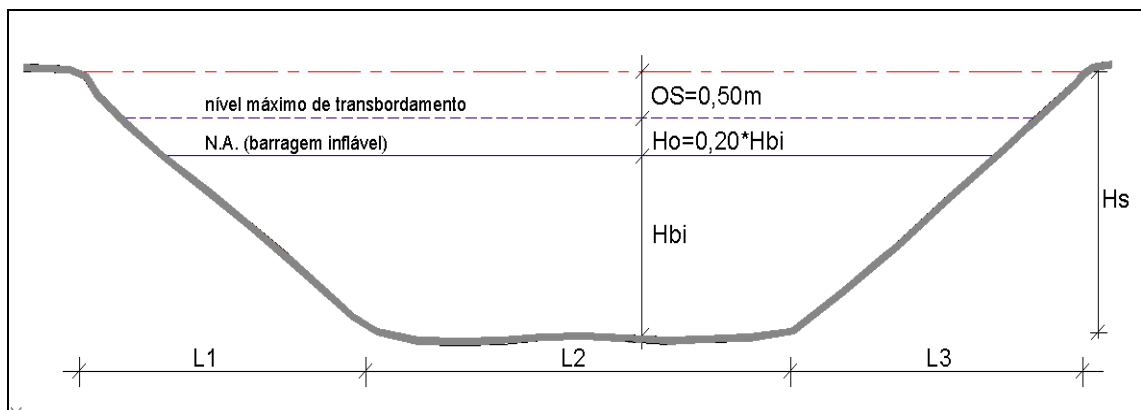


Figura 3.5 - Características de uma seção transversal para barragens flexíveis infláveis.
Fonte: adaptado de Souza (2008).

O tempo de acionamento da estrutura flexível varia em função do volume da membrana e do tipo de enchimento: ar ou água. A indicação do tempo para acionamento das barragens infláveis propostas neste estudo baseou-se em catálogos técnicos da fabricante Savatech (2009).

3.8 Determinação do escoamento superficial

Para a determinação do escoamento superficial direto na sub-bacia do Arroio Grande foi utilizado o método da Curva-Número (CN) do Serviço de Conservação de Solos do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (SCS, 1964). A equação do escoamento utilizada no método foi desenvolvida por Victor Mockus e outros por volta de 1947 (SCS, 1973). Foi concebida, sobretudo, para utilização em pequenas bacias, através de dados de bacias experimentais com vários tipos e uso do solo e técnicas de plantio. Como a equação foi desenvolvida a partir de dados de chuva diária, o método é adequado para estimativa do escoamento superficial direto para o período de 1 dia ou menos (TUCCI, 1998).

O escoamento superficial direto (Q) é obtido através da seguinte equação:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad [3.19]$$

Onde:

Q : escoamento superficial (mm);

P : precipitação (mm);

S : armazenamento potencial máximo do solo (mm);

I_a : perdas iniciais incluindo por armazenamento na superfície, interceptação e infiltração até a saturação da camada inicial do solo (mm).

As perdas iniciais, representadas por I_a na equação 3.19, são bastante variáveis, mas geralmente podem ser relacionadas com o tipo de solo e a cobertura vegetal. A partir de um estudo envolvendo pequenas bacias hidrográficas dos EUA, I_a foi determinado como função do armazenamento potencial máximo do solo (S). A relação, apresentada na equação 3.20, remove a necessidade da estimativa de I_a para uso comum ou para locais sem a disponibilidade de dados.

$$I_a = 0,2 \cdot S \quad [3.20]$$

Desta forma, não existe precipitação em excesso até que a precipitação P seja maior que as perdas iniciais $I_a=0,2.S$. Depois de superado o valor de I_a , a vazão

resultante Q é o resíduo da subtração entre a infiltração na bacia e a precipitação P . O volume máximo retido tende ao armazenamento potencial máximo S , conforme o tempo tende a infinito. Assim, tem-se:

$$Q = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{P + 0,8 \cdot S} \quad [3.21]$$

Onde S (armazenamento potencial máximo do solo) pode ser determinado através da equação:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad [3.22]$$

O parâmetro CN varia de 0 a 100. Esta escala retrata as condições de cobertura do solo e capacidade de infiltração e, escoamento superficial em função do tipo de solo, sendo tabeladas de acordo com esses parâmetros, variando desde uma cobertura muito permeável (limite inferior) até uma cobertura completamente impermeável (limite superior). A Tabela contendo o parâmetro CN é apresentado nos Anexos III e IV.

Com relação aos tipos de solo e condições de ocupação, o SCS distingue quatro grupos hidrológicos de solos, que variam desde areias com grande capacidade de infiltração a solos argilosos com capacidade de infiltração extremamente baixa. As características dos grupos do solo apresentadas pelo SCS, segundo Mockus apud Sartori *et al.* (2006), são apresentadas a seguir:

- Grupo A: solos com baixo potencial de escoamento e alta taxa de infiltração uniforme quando completamente molhados, consistindo principalmente de areias e cascalhos, ambos profundos e excessivamente drenados (Taxa Mínima de Infiltração: >7,62 mm/h);
- Grupo B: solos contendo moderada taxa de infiltração quando molhados, consistindo principalmente de solos moderadamente profundos, moderadamente bem drenados e com textura moderadamente fina e moderadamente grossa (Taxa Mínima de Infiltração: 3,81 a 7,62 mm/h);
- Grupo C: solos contendo baixa taxa de infiltração quando completamente molhados, consistindo principalmente com camadas que dificultam o movimento da água de camadas superiores para inferiores, com textura moderadamente fina e baixa taxa de infiltração (Taxa Mínima de Infiltração: 1,27 a 3,81 mm/h);

- Grupo D: solos que possuem alto potencial de escoamento, tendo uma taxa de infiltração muito baixa quando completamente molhados, principalmente solos argilosos (Taxa Mínima de Infiltração: <1,27 mm/h).

Para a obtenção do parâmetro CN foram utilizadas operações de cruzamento dos mapas temáticos relacionados ao tipo e uso e ocupação do solo, determinado assim a média ponderada por microbacia.

O coeficiente de escoamento (C) da bacia é definido como a razão entre o volume de água escoado superficialmente (Q) e o volume de água precipitado (P):

$$C = \frac{Q}{P} \quad [3.23]$$

O volume de escoamento superficial gerado pela precipitação total é determinado através da expressão:

$$V_t = Q \cdot A \quad [3.24]$$

Onde:

V_t : volume de escoamento superficial (m^3);

Q: escoamento superficial (m);

A: área da bacia (m^2).

O escoamento superficial na sub-bacia foi avaliado com base em diferentes precipitações estimadas ($P > I_a = 0,2 \cdot S$): 20, 30, 50 e 100 mm, sendo quantificadas por microbacia e PC.

3.9 Análise da sustentabilidade hídrica

A análise da sustentabilidade hídrica da cultura orizícola na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande considera as condições de escoamento superficial na sub-bacia, a partir de diferentes precipitações estimadas; a demanda hídrica, ou seja, a vazão remanescente necessária para atender as condicionantes propostas

no cenário 3, que inclui vazão para irrigação e ambiental e; a capacidade de acumulação das barragens temporárias infláveis propostas com base no cenário 2.

A partir das variáveis acima expostas, foi determinado o atendimento a demanda hídrica na sub-bacia, para os PC 5 e 6, localizados a jusante das barragens infláveis (BI), indicando o número de dias em que o armazenamento proporcionado pelos barramentos temporários supre a demanda (vazão remanescente), bem como a frequência de atendimento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estruturação do Sistema de Informação Geográfica (SIG)

A seguir é apresentado a caracterização física da sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, composto pelos seguintes planos de informação: limite da sub-bacia hidrográfica e respectivas microbacias; irrigantes; MNT; uso da terra; classes de solos. O SIG possibilitou também a determinação de informações derivadas do cruzamento de planos de informação.

4.1.1 Delimitação hidrográfica

De acordo com a delimitação efetuada com base nas cartas topográficas, a sub-bacia do Arroio Grande apresenta uma superfície territorial equivalente a 40.298,54 ha. A sub-bacia foi dividida em microbacias, conforme quantificado na Tabela 4.1 e espacializado na Figura 4.1.

Tabela 4.1 – Área de contribuição das microbacias hidrográficas do Arroio Grande.

| Nº | MICROBACIA | ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO (ha) | FREQUÊNCIA (%) |
|--------------|---------------------|---------------------------|----------------|
| 1 | Arroio Manoel Alves | 3.679,65 | 9,13 |
| 2 | Arroio Lobato | 3.307,41 | 8,21 |
| 3 | Arroio Grande | 14.105,44 | 35,00 |
| 4 | Arroio do Meio | 2.367,04 | 5,87 |
| 5 | Arroio do Veado | 5.203,09 | 12,91 |
| 6 | Rio Vacacaí-Mirim | 10.482,68 | 26,01 |
| 7 | Sem Denominação | 1.153,23 | 2,86 |
| TOTAL | | 40.298,54 | 100,00 |

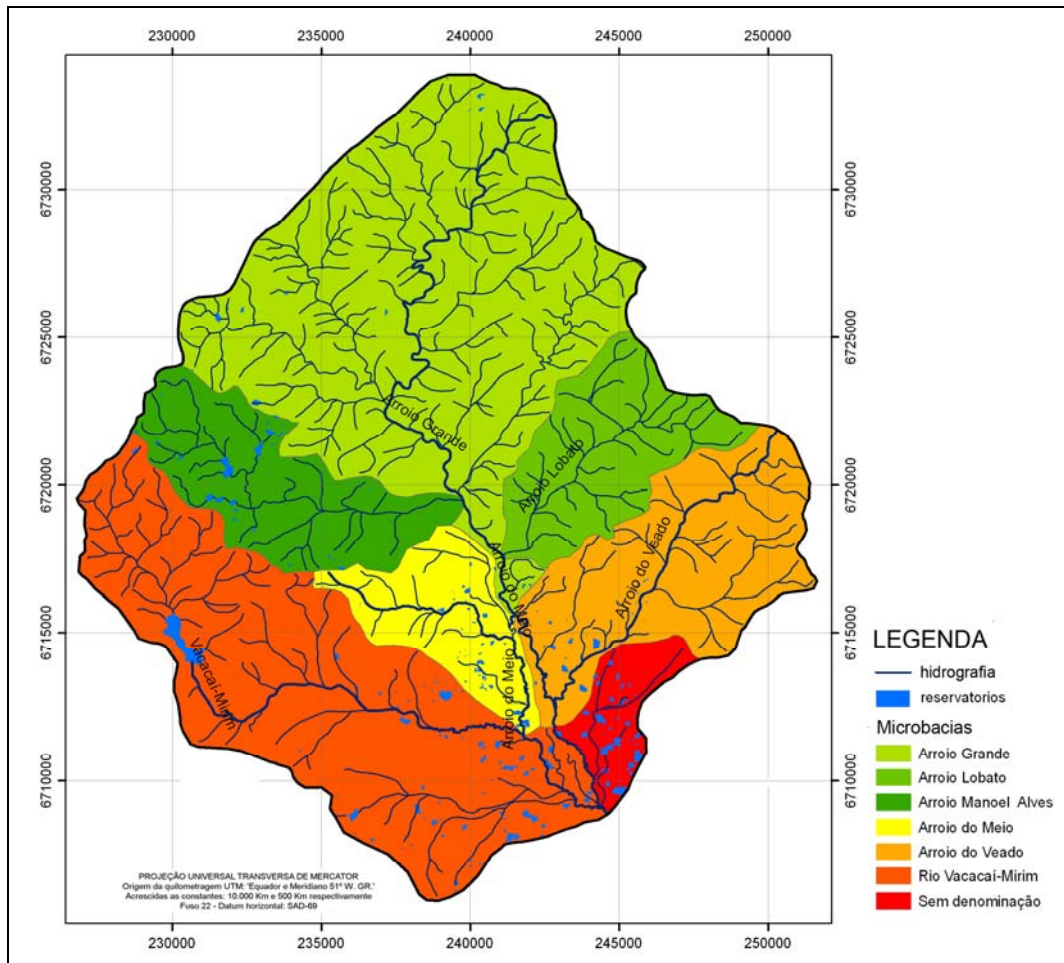


Figura 4.1 - Sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande e respectivas microbacias.

Em análise a Figura 4.1, observa-se que a microbacia do Arroio Grande, está localizada a montante da sub-bacia, estendendo-se até o centro, apresentando a maior área de contribuição, com cerca de 35%; seguido pela microbacia do Rio Vacacaí-Mirim (26,01%), que ocupa da porção oeste a sul da sub-bacia. As demais microbacias contribuem em menor proporção.

4.1.2 Caracterização do relevo na sub-bacia

O MNT expressa às altitudes nos locais não amostrados, caracterizando o relevo da sub-bacia (Figura 4.2). Observa-se que as altitudes da região variam entre 66 a 506 m. O MNT também serviu de base para a geração dos perfis longitudinais dos cursos d'água de interesse.

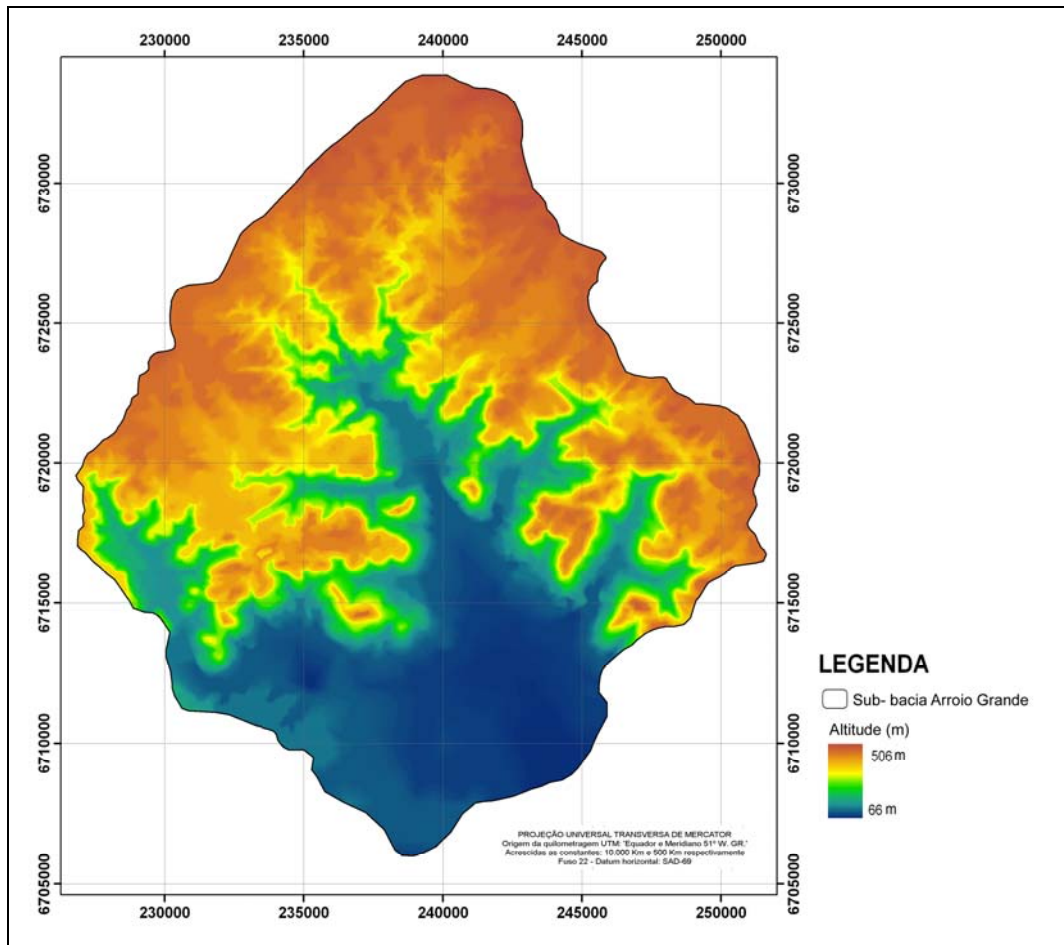


Figura 4.2 – Modelo Numérico do Terreno (MNT) da sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande.

Em cerca de 31% da área total da sub-bacia predominam as altitudes que variam de 66 a 160 m; as altitudes superiores a 160 m e inferiores a 400 m são encontradas em 33% da área, enquanto as superiores a 400 m correspondem a 36%.

4.1.3 Uso e ocupação da terra

A classificação digital de imagens de satélite da sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande permitiu a identificação das seguintes classes de uso e ocupação da terra: floresta, lâmina d'água, agricultura, agricultura irrigada, campo e área urbanizada. A Tabela 4.2 apresenta a quantificação das classes de uso e ocupação da terra na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande e a Figura 4.3, a espacialização.

Tabela 4.2 - Uso da terra na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande.

| USO DA TERRA | ÁREA (ha) | FREQUÊNCIA (%) |
|----------------------|------------------|----------------|
| Floresta | 21.915,40 | 54,38 |
| Lâmina d'água | 444,62 | 1,10 |
| Agricultura | 4.592,81 | 11,40 |
| Agricultura irrigada | 2.391,45 | 5,93 |
| Campo | 9.342,90 | 23,18 |
| Área urbanizada | 1.611,36 | 4,00 |
| | 40.298,54 | 100,00 |

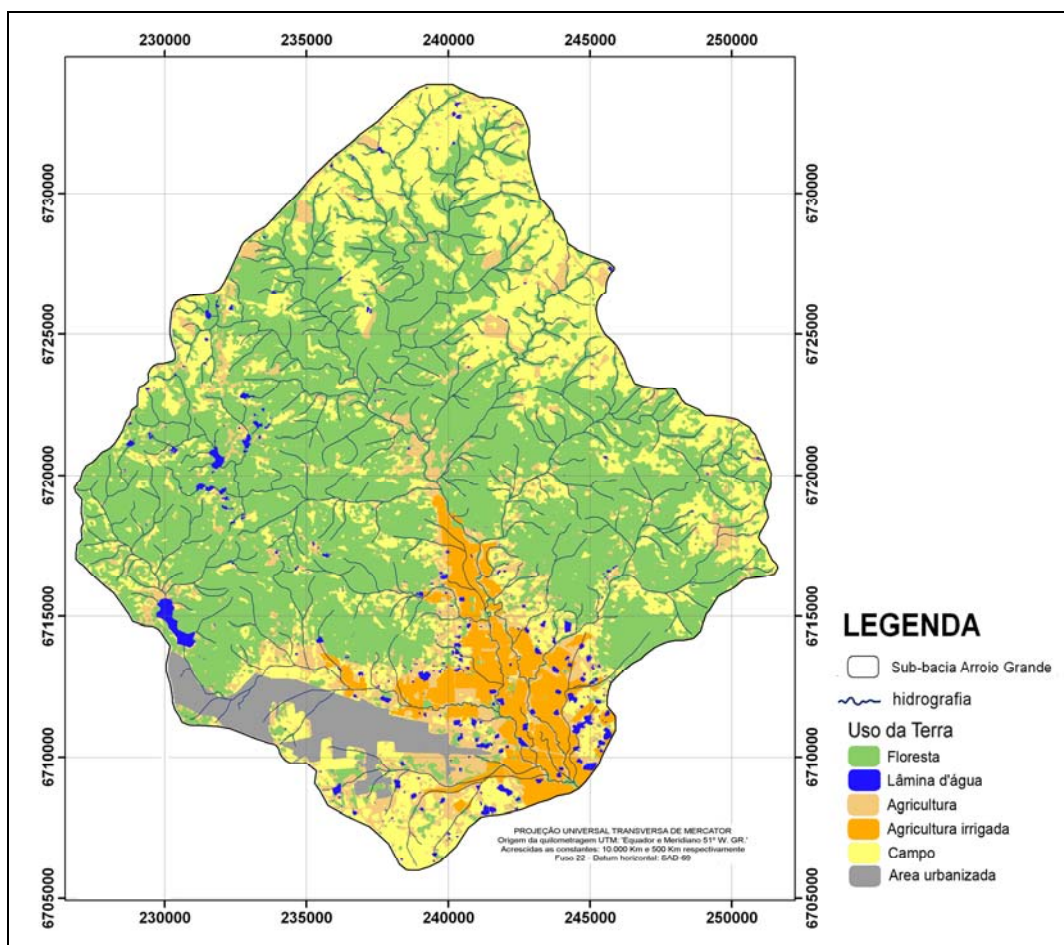


Figura 4.3 - Uso da terra na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande.

A classe mais expressiva de uso e ocupação da terra é representada pelas áreas cobertas por florestas, com 54,38%. Os campos estão presentes em 23,18% da área e, as lâminas d'água em 1,10%. A classificação digital indicou ainda 2,89% da área como sombra, devido às condições do relevo. Entretanto, este tema foi

reclassificado, a partir de interpretação visual sobre imagem Quickbird, sendo incluído no tema floresta. A área urbana corresponde a 4% da superfície da sub-bacia. Quanto à área ocupada pela agricultura, a quantificação de áreas com cultivos irrigado foi individualizado, sendo que a agricultura irrigada é desenvolvida em 5,93% da área da sub-bacia e, em 11,40% da superfície, a agricultura sem irrigação.

4.1.5 Classes de solos

Segundo a classificação de solos do Rio Grande do Sul caracterizada por Streck et al (2002), foram encontrados na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, os seguintes solos: Associação Chernossolo Argiluvico Férrico – Neossolo Litólico Eutrófico (MTf – RLe1); Argissolo Vermelho Distrófico (PVd2); Planossolo Hidromórfico Eutrófico (SGe1) e, Alissolo Hipocrômico Argilúvico (APt2).

A Tabela 4.3 apresenta a quantificação das unidades de mapeamento dos solos na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande e a Figura 4.4, a espacialização.

Tabela 4.3 - Unidades de mapeamento dos solos na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande.

| SOLO | Símbolo | SUB-BACIA | | ÁREA IRRIGADA | |
|---|----------|------------------|---------------|-----------------|---------------|
| | | Área (ha) | Freq.(%) | Área (ha) | Freq. (%) |
| Associação Chernossolo argilúvico férrico - Neossolo litólico eutrófico | MTf-RLe1 | 16.058,34 | 39,85 | — | — |
| Argissolo vermelho distrófico | PVd2 | 18.154,54 | 45,05 | 1369,24 | 57,26 |
| Planossolo hidromórfico eutrófico | SGe1 | 4.723,72 | 11,72 | 1022,21 | 42,74 |
| Alissolo hipocrômico argilúvico | APt2 | 1.361,94 | 3,38 | — | — |
| | | 40.298,54 | 100,00 | 2.391,45 | 100,00 |

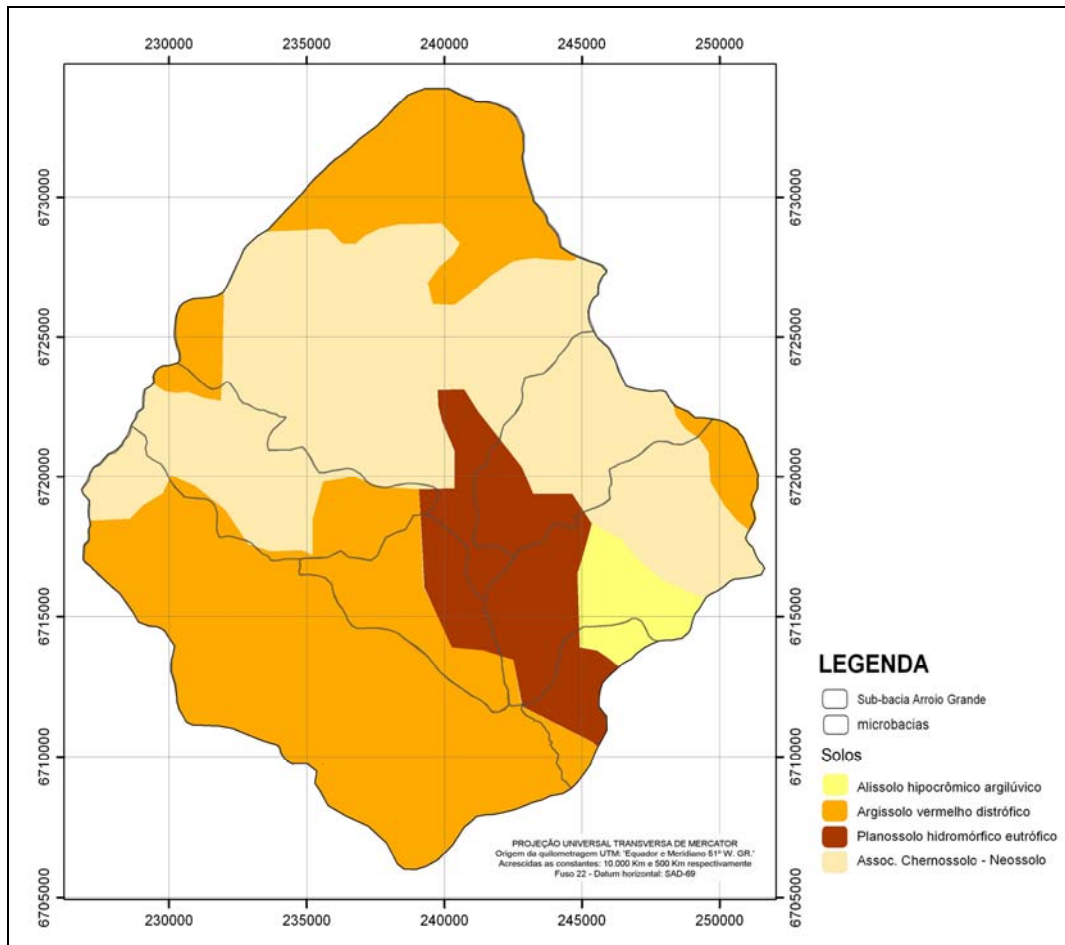


Figura 4.4 - Classe de solos na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande.
 Fonte: adaptado da base cartográfica - escala 1:750.000.

Em análise a Tabela 4.3 e Figura 4.4, observa-se que predomina na sub-bacia os solos classificados como Argissolo Vermelho Distrófico (PVd2), ocupando cerca de 45,05% da área de estudo, apresentando 57,26% da área com agricultura irrigada. Esses solos estão presentes nas porções norte, leste e sudoeste da bacia.

Os solos que pertencem a Associação Chernossolo Argilúvico Férrico – Neossolo Litólico Eutrófico (MTf – RLe1), estão presentes em 39,85% da área, localizados na porção sul, em uma faixa que atravessa a sub-bacia, no sentido leste-oeste. Os solos classificados como Planossolo Hidromórfico Eutrófico (SGe1), existentes na porção central da sub-bacia, respondem por 11,72% da área, sendo que 42,74% da superfície é ocupado pela cultura irrigada. Em menor proporção, presente a sudeste da sub-bacia, estão os solos denominados Alissolo Hipocrômico Argilúvico (APt2), com 3,38% da área.

Conforme exposto, foi verificada a presença de duas classes de solo na área com cultivo irrigado. Tendo em vista a escala utilizada para a caracterização dos solos da sub-bacia - 1:750.000, a qual não presta para o nível de detalhamento proposto no presente estudo, foi considerado que a agricultura irrigada (cultura orizícola) na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande é desenvolvida nos solos denominados Planossolo Hidromórfico Eutrófico (SGe1), pertencente a unidade de mapeamento Vacacaí (antiga classificação -1973).

4.2 Demanda hídrica

4.2.1 Irrigação

4.2.1.1 Cadastro de irrigantes

O cadastro de irrigantes realizado pelo IRGA (censo) englobou diversas informações do irrigante, como: área plantada, cultivar, método de irrigação empregado, energia utilizada, produtividade média, manancial de captação, distrito orizícola, titularidade da terra, dentre outras. Essas informações foram baseadas na declaração do produtor, deixando uma lacuna principalmente em relação à área cultivada.

Quanto à localização do irrigante, o cadastro fornecido não contém referência espacial (coordenadas geográficas), indicando apenas o distrito orizícola, que não segue uma divisão hidrográfica, dificultando assim a análise espacial das informações.

Nas informações obtidas junto ao DRH das outorgas concedidas para a área de estudo, constatou-se que as mesmas são insignificantes se comparado ao montante de irrigantes existentes, conforme levantado por Marcolim (2000) e verificado *in loco*. Até dezembro/2008, havia apenas 09 (nove) concessões de outorga pelo DRH para a sub-bacia, todas para a cultura orizícola.

O cadastro de irrigantes realizado por Marcolim (2000) aponta diversas informações, como a referência espacial dos pontos de tomada d'água, cultura irrigada, manancial de captação, etc. O levantamento revelou a existência de 124 irrigantes na sub-bacia, sendo que 103 desenvolvem a cultura orizícola, 8 a olericultura e 13, as duas culturas, demonstrando que a atividade preponderante na sub-bacia esta na orizicultura.

Tomando como base a interpretação visual de imagem de satélite, classificação digital do uso da terra (tema agricultura) e o cadastro de irrigantes (Marcolim, 2000), foi determinado a área irrigada na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, conforme apresentado na Tabela 4.4 e Figura 4.5.

Tabela 4.4 – Quantificação da agricultura irrigada na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, por microbacia.

| MICROBACIA | | | | |
|---------------------|------------------|---------------|----------------------|---------------|
| DENOMINAÇÃO | ÁREA TOTAL | FREQUÊNCIA | AGRICULTURA IRRIGADA | |
| | (ha) | % | Área (ha) | Freq. (%) |
| Arroio Manoel Alves | 3.679,65 | 9,13 | 8,37 | 0,35 |
| Arroio Lobato | 3.307,41 | 8,21 | 6,41 | 0,27 |
| Arroio Grande | 14.105,44 | 35 | 126,25 | 5,28 |
| Arroio do Meio | 2.367,04 | 5,87 | 644,68 | 26,96 |
| Arroio do Veado | 5.203,09 | 12,91 | 358,34 | 14,98 |
| Rio Vacacaí-Mirim | 10.482,68 | 26,01 | 901,88 | 37,71 |
| Sem Denominação | 1.153,23 | 2,86 | 345,52 | 14,45 |
| | 40.298,54 | 100,00 | 2.391,45 | 100,00 |

Conforme apresentado na Tabela 4.4, a microbacia do Rio Vacacaí-Mirim apresenta a maior área irrigada na sub-bacia, com 37,71%, seguido pela microbacia do Arroio do Meio (26,96%), Arroio do Veado (14,98%), Sem Denominação (14,45%), Arroio Grande (5,28%). Já as microbacias do Manoel Alves e Arroio Lobato, a área irrigada é reduzida, representando, respectivamente, 0,35% e 0,27%.

A área total irrigada na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande equivale a 2.391,45 ha, que representa 5,93% da área em estudo, localizadas na porção centro-sul da sub-bacia.

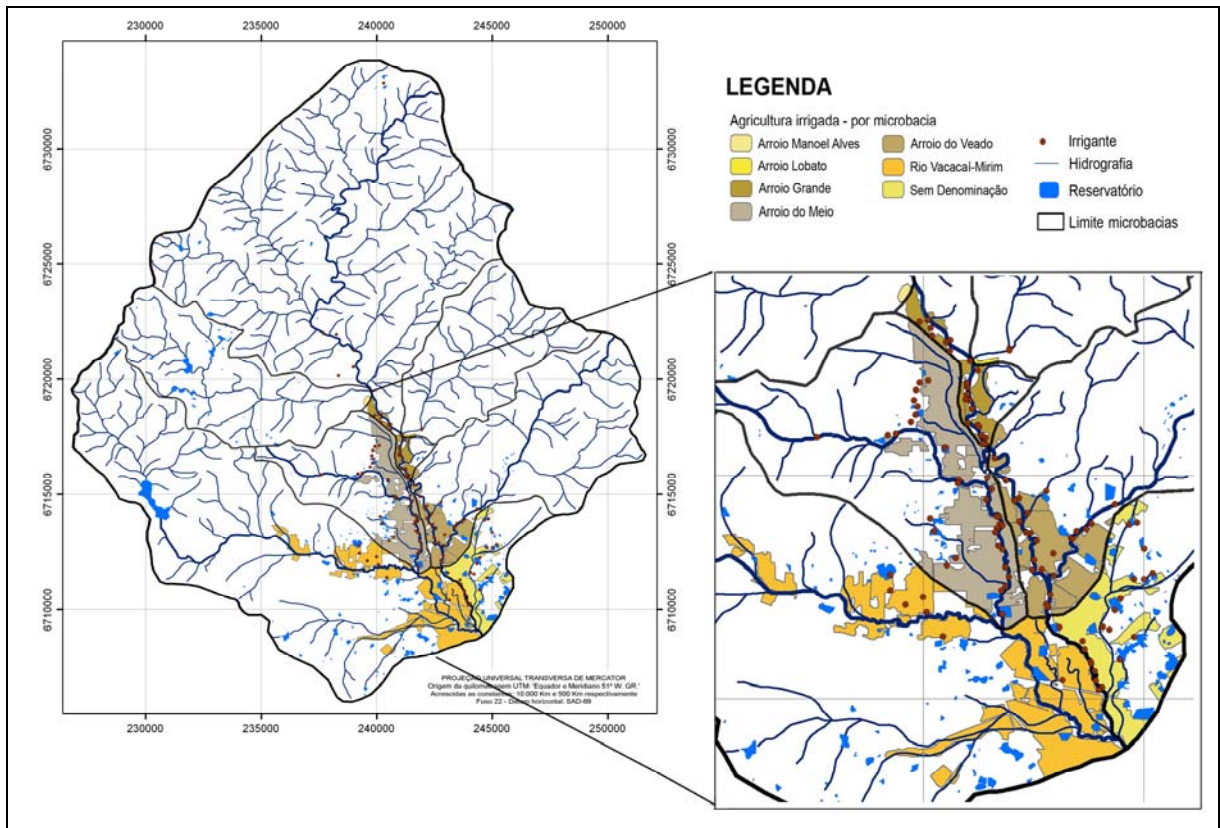


Figura 4.5 – Espacialização da agricultura irrigada na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande.

4.2.1.2 Necessidade hídrica da cultura orizícola

A seguir são apresentados os parâmetros utilizados para a determinação da necessidade hídrica da cultura orizícola na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, obtidos a partir de ensaios de laboratório (características físico-hídricas dos solos) e dados de literatura:

- Pci (profundidade da camada impermeável): 0,25 m;
- ds (densidade do solo): 1,414 g/cm³;
- dp (densidade da partícula): 2,363 g/cm³;
- hl (altura da lâmina d'água na lavoura): 10 cm;
- he (altura de lâmina evaporada): 0,006 m/dia;
- Pi (período de irrigação da cultura): 100 dias;
- k (coeficiente de permeabilidade do solo): 0,00036 m/dia;
- Eci (espessura da camada impermeável): 0,15 m;
- Pe (produtividade estimada de grãos): 5.500 Kg/ha;

- U (índice de umidade): 13%;
- Ic (índice de colheita): 44 %;
- m (fator de transpiração): 0,38 m³/kg de matéria seca.

Desta forma, obtiveram-se os seguintes volumes de água:

- V₁ (para saturação do solo): 600,40 m³/ha
- V₂ (para formar a lâmina na lavoura): 1.000 m³/ha
- V₃ (para compensar as perdas por evaporação): 6.000 m³/ha
- V₄ (para compensar as perdas por infiltração): 840 m³/ha
- V₅ (para atender a transpiração da cultura): 4.132,50 m³/ha
- V_{TOTAL} (para atender a demanda da cultura): 12.572,90 m³/ha

A necessidade hídrica da cultura orizícola determinada neste estudo, equivalente a 12.572,90 m³/ha, volume este muito próximo a determinações efetuadas por outros autores para a região de estudo. Beltrame e Gondim (1982) estimaram a vazão média da lavoura orizícola no sistema de irrigação por inundação em 12.441,60 m³/ha, enquanto que para Beltrame e Louzada (1991) o consumo é um pouco mais elevado, em 14.860,80 m³/ha. Os resultados dos ensaios de laboratório são apresentados no Apêndice I.

4.2.1.3 Demanda hídrica da cultura orizícola

A Tabela 4.5 apresenta a quantificação da demanda hídrica da cultura orizícola da sub-bacia do Arroio Grande, por microbacia, obtida através do produto necessidade hídrica da cultura (estimada em 12.572,90 m³/ha.safra) e área irrigada.

Tabela 4.5 - Demanda da cultura orizícola na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, por microbacia.

| MICROBACIA HIDROGRÁFICA | | | | | | |
|-------------------------|------------------|---------------|-----------------|---------------|----------------------|-------------|
| DENOMINAÇÃO | ÁREA TOTAL | FREQ. | ÁREA IRRIGADA | | DEMANDA ORIZÍCOLA * | |
| | (ha) | (%) | Área (ha) | Freq. (%) | m³/safra | m³/s |
| Arroio Manoel Alves | 3.679,65 | 9,13 | 8,37 | 0,35 | 105.235,17 | 0,0122 |
| Arroio Lobato | 3.307,41 | 8,21 | 6,41 | 0,27 | 80.592,29 | 0,0093 |
| Arroio Grande | 14.105,44 | 35 | 126,25 | 5,28 | 1.587.328,63 | 0,1837 |
| Arroio do Meio | 2.367,04 | 5,87 | 644,68 | 26,96 | 8.105.497,17 | 0,9381 |
| Arroio do Veado | 5.203,09 | 12,91 | 358,34 | 14,98 | 4.505.372,99 | 0,5215 |
| Rio Vacacaí-Mirim | 10.482,68 | 26,01 | 901,88 | 37,71 | 11.339.247,05 | 1,3124 |
| Sem Denominação | 1.153,23 | 2,86 | 345,52 | 14,45 | 4.344.188,41 | 0,5028 |
| | 40.298,54 | 100,00 | 2.391,45 | 100,00 | 30.067.461,71 | 3,48 |

*Necessidade hídrica da cultura: 12.572,90 m³/ha/safra

Conforme mostra a Tabela 4.5, a microbacia do Rio Vacacaí-Mirim apresenta maior percentual de demanda hídrica (37,71%), seguido pela microbacia do Arroio do Meio (26,96%), microbacias do Arroio do Veado e Sem Denominação, com 14,98% e 14,45%, respectivamente. Para as demais microbacias (Arroio Grande, Arroio Manoel Alves e Arroio Lobato), a demanda hídrica é inferior, indicando, respectivamente, 5,28%, 0,35% e 0,27%.

A demanda hídrica total na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, considerando a área irrigada de 2.391,45 ha, correspondente a 3,48 m³/s.

4.3 Disponibilidade hídrica

4.3.1 Reservatórios

As Figuras 4.6 (a, b) mostram a espacialização dos reservatórios na sub-bacia, nos anos de 1975 e 2008, respectivamente, podendo ser observado que a implantação ocorreu nas áreas em que é desenvolvido a orizicultura, comprovando a

ampliação da oferta de água em reservatórios frente à expansão de atividades irrigadas.

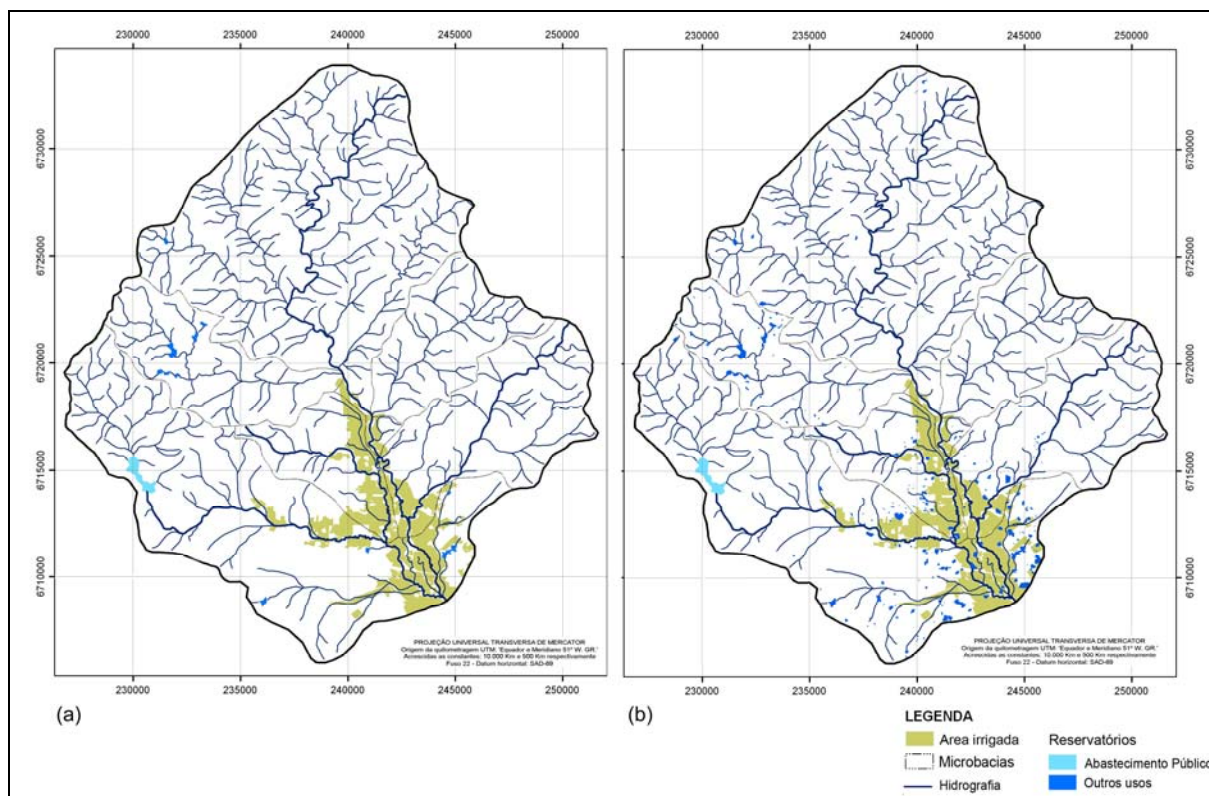


Figura 4.6 - Reservatórios na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande: (a) cartas topográficas – 1975; (b) imagem de satélite - 2008.

Os reservatórios extraídos das cartas topográficas (1975) totalizaram uma superfície de 153,93 ha de lâmina d'água (abastecimento público: 76,71 ha e demais usos: 77,22 ha), enquanto que os dados advindos da imagem de satélite (2008), resultaram em uma área de 444,62 ha de lâmina d'água, evidenciando a ampliação de reservas hídricas na região, no período 1975 – 2008.

Dos reservatórios existentes na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, cerca de 246,47 ha de superfície de lâmina d'água destinam-se a suprir as necessidades da cultura orizícola e, em pequena proporção, para a olericultura e dessedentação de animais.

O agrupamento da superfície de alague dos reservatórios em intervalos de classes é apresentado na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Agrupamento da superfície de alague dos reservatórios em intervalo de classes.

| CLASSE | ÁREA DE ALAGUE (ha) | | FREQUÊNCIA | H estimada | ÁREA TOTAL |
|--------|---------------------|-------|------------|--------------|---------------|
| | mín | máx | | (m) | (ha) |
| 1 | 0,03 | 1,37 | 113 | 1,5 | 48,38 |
| 2 | 1,37 | 2,71 | 25 | 2,5 | 51,64 |
| 3 | 2,71 | 4,05 | 15 | 3,5 | 47,55 |
| 4 | 4,05 | 5,39 | 5 | 4,5 | 23,39 |
| 5 | 5,39 | 6,73 | 1 | 5,0 | 6,36 |
| 6 | 6,73 | 8,07 | 2 | 5,5 | 14,42 |
| 7 | 8,07 | 9,41 | 1 | 6,0 | 18,26 |
| 8 | 9,41 | 10,75 | 3 | 6,5 | 20,35 |
| 9 | 10,75 | 12,09 | 0 | s/ocorrência | - |
| 10 | 12,09 | 13,44 | 0 | s/ocorrência | - |
| 11 | 13,44 | 14,78 | 0 | s/ocorrência | - |
| 12 | 14,78 | 16,12 | 1 | 6,5 | 16,12 |
| | | | 166 | | 246,47 |

Em análise a Tabela 4.6, observa-se que existem 166 reservatórios na sub-bacia do Arroio Grande, agrupados em 12 classes. Cerca de 68% dos reservatórios (113 unidades) possuem superfície de alague entre 0,03 e 1,37 ha (classe 1). Quanto à altura máxima da lâmina d'água dos reservatórios ($H_{estimada}$), verifica-se que variam de 1,5 m a 6,5 m, de acordo com a superfície de alague.

A quantificação da superfície de lâmina d'água dos reservatórios utilizados para as atividades irrigadas e respectiva capacidade de irrigação, por microbacia, é apresentado na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Estimativa da disponibilidade hídrica dos reservatórios da sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, por microbacia.

| MICROBACIA | ALAGUE (ha) | | ALAGUE TOTAL (ha) | | H _{máx} | VOLUME | VAZÃO | CAPACIDADE IRRIGAÇÃO |
|-------------------|-------------|-------|-------------------|---------------|------------------|-------------------|-------------------|----------------------|
| | mín | máx | ÁREA | FREQ. (%) | (m) | (m ³) | m ³ /s | (ha) |
| Arroio Grande | 0,03 | 1,37 | 2,55 | | 1,5 | 16.993 | | |
| | | | 2,55 | 1,03 | | 16.993 | 0,002 | 1,35 |
| Arroio do Meio | 0,03 | 1,37 | 12,96 | | 1,5 | 86.400 | | |
| | 1,37 | 2,71 | 9,57 | | 2,5 | 106.333 | | |
| | 2,71 | 4,05 | 9,01 | | 3,5 | 140.156 | | |
| | 4,05 | 5,39 | 4,7 | | 4,5 | 94.000 | | |
| | | | 36,24 | 14,7 | | 426.889 | 0,0494 | 33,95 |
| Arroio do Veado | 0,03 | 1,37 | 5,49 | | 1,5 | 36.600 | | |
| | 1,37 | 2,71 | 6,43 | | 2,5 | 71.444 | | |
| | 2,71 | 4,05 | 3,78 | | 3,5 | 58.800 | | |
| | 4,05 | 5,39 | 4,47 | | 4,5 | 89.400 | | |
| | 6,73 | 8,07 | 7,26 | | 5,5 | 177.467 | | |
| | | | 27,43 | 11,13 | | 433.711 | 0,0502 | 34,5 |
| Rio Vacacaí-Mirim | 0,03 | 1,37 | 17,49 | | 1,5 | 116.600 | | |
| | 1,37 | 2,71 | 17,08 | | 2,5 | 189.778 | | |
| | 2,71 | 4,05 | 19,55 | | 3,5 | 304.111 | | |
| | 4,05 | 5,39 | 14,21 | | 4,5 | 284.200 | | |
| | 5,39 | 6,73 | 6,36 | | 5 | 141.333 | | |
| | 8,07 | 9,41 | 9,32 | | 6 | 248.533 | | |
| | 9,41 | 10,75 | 10,51 | | 6,5 | 303.622 | | |
| | | | 94,52 | 38,35 | | 1.588.178 | 0,1838 | 126,32 |
| Sem Denominação | 0,03 | 1,37 | 9,69 | | 1,5 | 64.600 | | |
| | 1,37 | 2,71 | 18,55 | | 2,5 | 206.111 | | |
| | 2,71 | 4,05 | 15,2 | | 3,5 | 236.444 | | |
| | 6,73 | 8,07 | 7,16 | | 5,5 | 175.022 | | |
| | 8,07 | 9,41 | 8,94 | | 6 | 238.400 | | |
| | 9,41 | 10,75 | 10,07 | | 6,5 | 290.911 | | |
| | 14,78 | 16,12 | 16,12 | | 6,5 | 465.689 | | |
| | | | 85,73 | 34,78 | | 1.677.178 | 0,1941 | 133,4 |
| TOTAL | | | 246,47 | 100,00 | | 4.142.949 | 0,4795 | 329,51 |

Conforme apresentado na Tabela 4.7, a microbacia do Rio Vacacaí-Mirim (38,43%) é a que apresenta maior superfície de lâmina d'água, seguido pela microbacia Sem Denominação, com 34,69%, Arroio do Meio (14,71%), Arroio do Veado (11,14%) e Arroio Grande (1,03%). As microbacias dos Arroios Manoel Alves e Lobato não possuem reservatórios.

Quanto à disponibilidade hídrica dos reservatórios e respectiva capacidade de irrigação, a maior capacidade de armazenamento de água está na microbacia do Rio Vacacaí-Mirim, representando 38,35%, seguido pela microbacia Sem Denominação (34,78%), Arroio do Meio (14,70%), Arroio do Veado (11,13%) e, em menor proporção, a microbacia do Arroio Grande (1,03%).

Os reservatórios utilizados para atividades irrigadas na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande apresentam uma capacidade de irrigação para a lavoura orizícola equivalente a 329,51 ha, considerando a necessidade hídrica da cultura de 12.572,90 m³/ha.safra.

4.3.2 Vazões médias e mínimas

As vazões médias e mínimas diárias mensais observadas na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande são apresentadas na Figura 4.7, com base na série histórica da estação fluviométrica Restinga Seca, disponibilizadas pela Agência Nacional de Águas (ANA). Os dados foram transpostos para a sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, que apresenta 44,09% da área de drenagem da estação fluviométrica Restinga Seca.

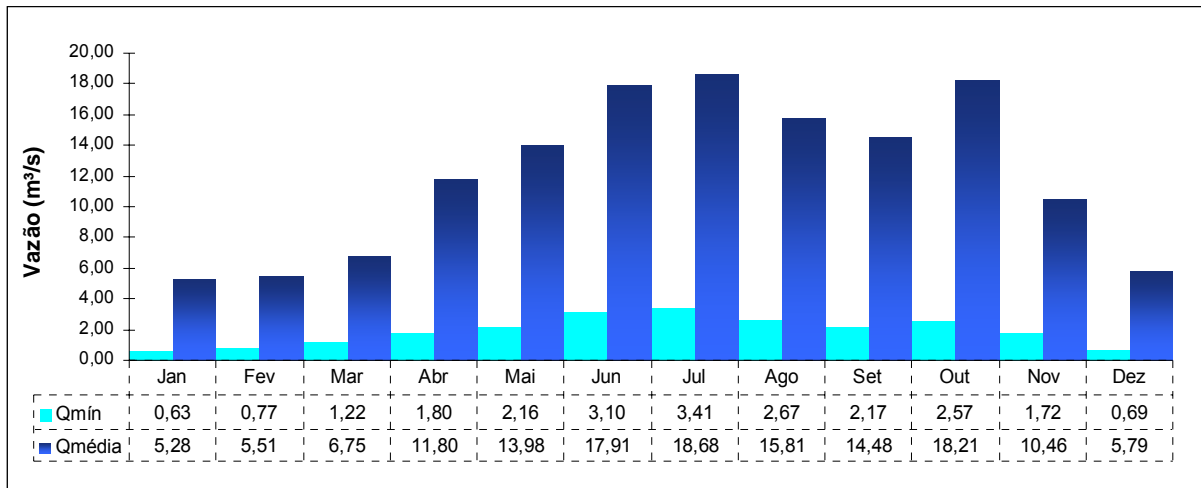


Figura 4.7 - Vazões médias e mínimas diárias observadas – Sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande (período: 1979 – 2005).

Em análise aos dados constantes na Figura 4.7, observa-se que as vazões médias e mínimas decrescem a partir do mês de novembro, mantendo-se em um patamar aproximado entre dezembro e fevereiro, retornando a crescer a partir de março, período este que a irrigação finda.

Tendo em vista os objetivos deste estudo, foram analisados os dados mensais de vazão para o período compreendido entre novembro e fevereiro, quando ocorre a irrigação da lavoura orizícola, principal demanda presente na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande.

4.3.3 Vazões naturais

A estimativa da vazão natural (médias e intervalo de confiança de 95%) na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, para o período de novembro a fevereiro, é apresentado na Tabela 4.8, a seguir:

Tabela 4.8 – Vazões naturais médias na sub-bacia do Arroio Grande, com um intervalo de confiança de 95%, por microbacia.

| MICROBACIA | Vazão natural (m³/s) | | | | | | | | | | | |
|-----------------|----------------------|----------------|----------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|----------------|
| | Nov | | | Dez | | | Jan | | | Fev | | |
| | Q (95-) | Qm | Q (95+) | Q (95-) | Qm | Q (95+) | Q (95-) | Qm | Q (95+) | Q (95-) | Qm | Q (95+) |
| Manoel Alves | 0,7121 | 0,9673 | 1,2225 | 0,3269 | 0,5404 | 0,7539 | 0,3196 | 0,4942 | 0,6687 | 0,3720 | 0,5152 | 0,6773 |
| Arroio Lobato | 0,6387 | 0,8682 | 1,0977 | 0,2923 | 0,4843 | 0,6763 | 0,2858 | 0,4427 | 0,5997 | 0,3329 | 0,4616 | 0,6074 |
| Arroio Grande | 2,8663 | 3,8446 | 4,8229 | 1,3897 | 2,2081 | 3,0266 | 1,3617 | 2,0309 | 2,7001 | 1,5627 | 2,1115 | 2,7328 |
| Arroio do Meio | 1,3758 | 1,5399 | 1,7039 | 1,1281 | 1,2654 | 1,4027 | 1,1234 | 1,2357 | 1,3479 | 1,1571 | 1,2492 | 1,3534 |
| Arroio do Veado | 1,4986 | 1,8594 | 2,2203 | 0,9539 | 1,2558 | 1,5577 | 0,9436 | 1,1904 | 1,4373 | 1,0177 | 1,2202 | 1,4493 |
| Vacacaí Mirim | 3,2604 | 3,9874 | 4,7144 | 2,1631 | 2,7713 | 3,3795 | 2,1423 | 2,6395 | 3,1368 | 2,2916 | 2,6994 | 3,1612 |
| Sem Denom. | 0,6743 | 0,7545 | 0,8347 | 0,5532 | 0,6203 | 0,6874 | 0,5509 | 0,6058 | 0,6607 | 0,5674 | 0,6124 | 0,6633 |
| | 11,0262 | 13,8213 | 16,6165 | 6,8074 | 9,1456 | 11,4841 | 6,7274 | 8,6392 | 10,5512 | 7,3015 | 8,8695 | 10,6448 |

Em análise a Tabela 4.8, observa-se que as vazões naturais médias para o mês de novembro são superiores aos demais meses analisados. As vazões naturais decrescem de 13,8213 m³/s em novembro para 9,1456 m³/s em dezembro, onde reduz em menor proporção para o mês seguinte - janeiro, para 8,6392 m³/s. Para o mês de fevereiro, ocorre uma elevação para 8,8695 m³/s.

As microbacias do Vacacaí-Mirim e Arroio Grande respondem por cerca de 55% das vazões naturais da sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande. Em menor proporção, estão as microbacias Sem Denominação, Arroio Lobato e Manoel Alves.

4.3.4 Vazões de referência

As curvas de permanência foram utilizadas para a determinação das vazões de referência, ou seja, a vazão ambiental ($30\%Q_{90}$) e a disponibilidade hídrica (Q_{95}) da sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande.

A Figura 4.8 apresenta as curvas de permanência de vazões médias, para os meses de novembro a fevereiro, respectivamente, em um intervalo de confiança de 95%. As planilhas contendo os dados são apresentadas nos Apêndices II e III.

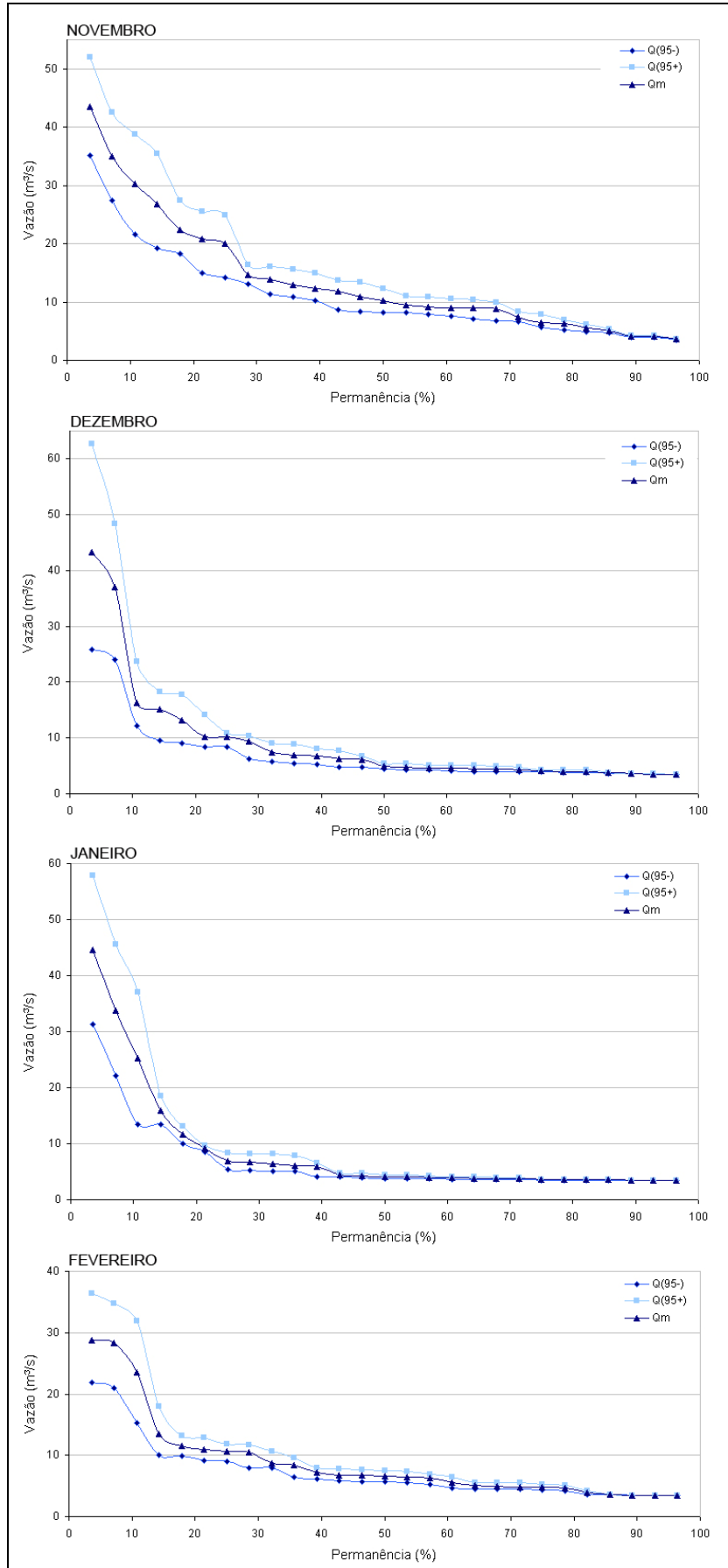


Figura 4.8 – Curvas de permanência de vazões médias para os meses de novembro a fevereiro, com um intervalo de confiança de 95%.

Em análise a Figura 4.8, observa-se que o comportamento da curva de permanência para os meses de novembro e fevereiro é diferenciado dos demais meses analisados (dezembro e janeiro), indicando disponibilidade hídrica superior, principalmente para vazões com permanência inferior a 80% do tempo.

Para os meses de dezembro e janeiro, as curvas de permanência apresentam um comportamento semelhante, sendo que as vazões com permanência superior a 40% do tempo mantêm-se em um mesmo patamar.

As vazões de referência média e com intervalo de confiança de 95%, definidas através das curvas de permanência, são apresentadas na Figura 4.9.

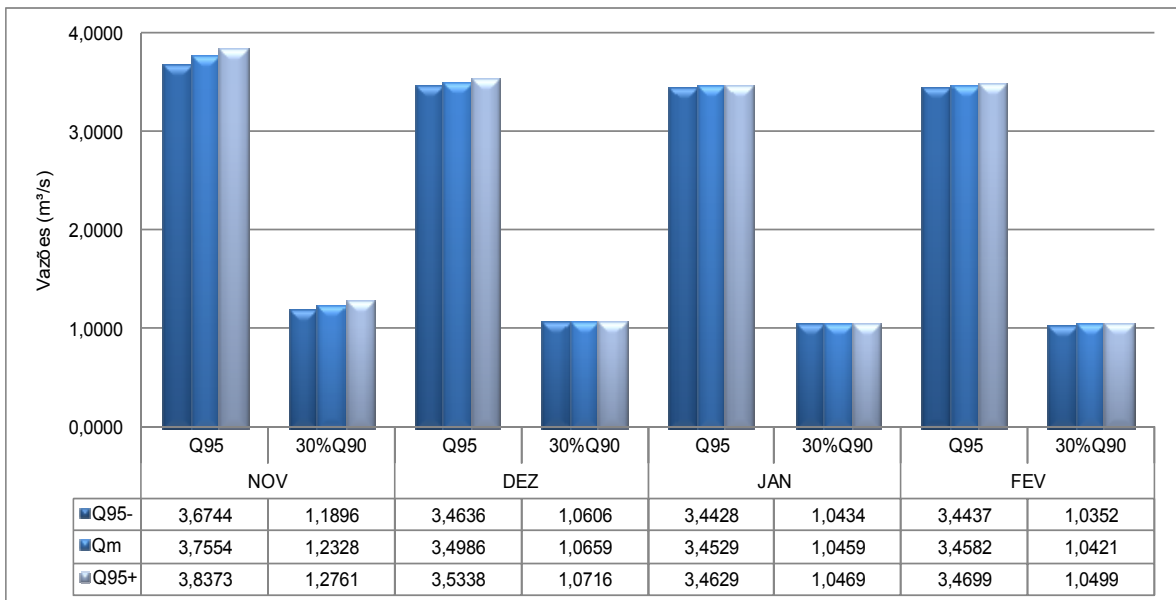


Figura 4.9 – Disponibilidade hídrica (Q_{95}) e vazão ambiental dos cursos d'água ($30\%Q_{90}$) – vazões médias com intervalo de confiança de 95%.

Em análise a Figura 4.9, observa-se que a disponibilidade hídrica da sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande (Q_{95}) no mês de novembro é superior aos demais meses analisados, os quais não apresentam variabilidade. Quanto a vazão ambiental - $30\%Q_{90}$, observa-se que repete-se a situação acima mencionada, ou seja, é superior no mês de novembro, mantendo-se nos demais meses.

4.4 Áreas de Preservação Permanente – APP

A Tabela 4.9 apresenta a composição das APP e respectivo uso da terra na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande. As Figuras 4.10 (a, b) apresentam, respectivamente, a espacialização das APP e o uso da terra nestas áreas.

Tabela 4.9 - Áreas de preservação permanente (APP) e respectivo uso da terra na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande.

| USO DA TERRA | ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (ha) | | | | |
|------------------------|-------------------------------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|
| | hidrografia | nascentes | reservatórios | TOTAL | FREQ. (%) |
| Floresta | 2.580,60 | 149,68 | 42,00 | 2.772,28 | 66,10 |
| Agricultura | 502,87 | 31,11 | 85,00 | 618,98 | 14,76 |
| Agricultura irrigada | 211,23 | 1,91 | 22,75 | 235,90 | 5,62 |
| Campo | 401,19 | 69,48 | 32,00 | 502,67 | 11,98 |
| Área urbanizada | 60,52 | 4,01 | 0,00 | 64,53 | 1,54 |
| ÁREA TOTAL (ha) | 3.756,41 | 256,19 | 181,75 | 4.194,36 | 100,00 |
| FREQ. (%) | 89,56 | 6,11 | 4,33 | 100,00 | |

Em análise aos dados contidos na Tabela 4.9, observa-se que as margens dos cursos d'água (hidrografia) respondem por grande parte das APP na sub-bacia, representando 89,56% da área e, em menor proporção, o entorno de nascentes (6,11%) e reservatórios (4,33%).

Quanto à situação de ocupação, observa-se que a área de estudo apresenta 4.194,36 ha de APP, equivalente a 10,41% da superfície da sub-bacia. Cerca de 66,10% destas áreas são ocupadas por florestas. Entretanto, a agricultura, incluindo a irrigada, ocupa 20,38% da área, desenvolvida principalmente as margens dos cursos d'água.

Em relação à ocupação das APP por culturas irrigadas, observa-se que 235,90 ha, que corresponde a 9,86% da área irrigada, estão em desconformidade com a legislação ambiental. A Figura 4.10 (b) mostra que as áreas que apresentam conflito de uso estão concentradas na porção sul da sub-bacia, devido principalmente as condições favoráveis do relevo e solo.

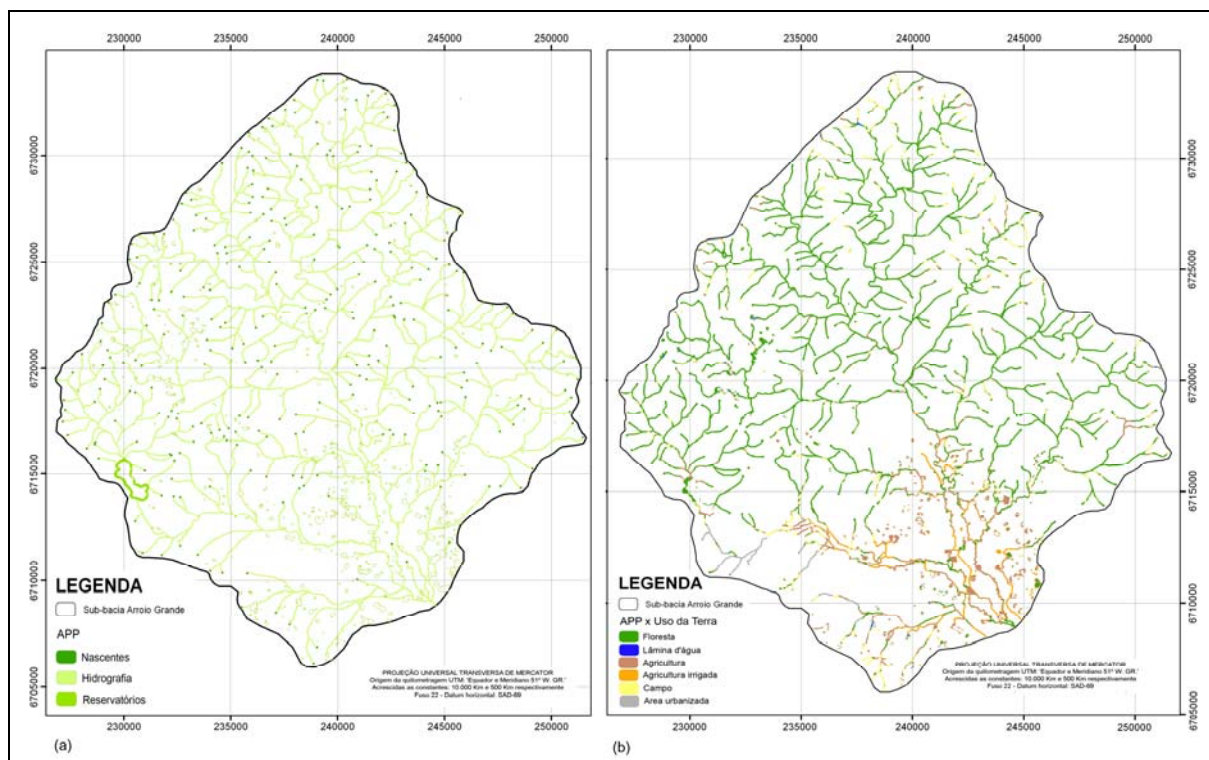


Figura 4.10 – Sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande: (a) Áreas de Preservação Permanente; (b) Uso da Terra nas Áreas de Preservação Permanente.

Para avaliar a redução da demanda hídrica da cultura orizícola por microbacia, com a eliminação da área de cultivo em APP, procedeu-se a quantificação destas áreas, as quais são apresentadas na Tabela 4.10.

Tabela 4.10 – Áreas de Preservação Permanente (APP) ocupada pela agricultura irrigada na sub-bacia do Arroio Grande.

| USO DA TERRA | ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (ha) | | | | |
|------------------------|--------------------------------------|-------------|---------------|---------------|---------------|
| | hidrografia | nascentes | reservatórios | TOTAL | FREQ. (%) |
| Arroio Manoel Alves | - | - | - | - | - |
| Arroio Lobato | 0,25 | - | - | 0,25 | 0,11 |
| Arroio Grande | 13,27 | - | 0,11 | 13,38 | 5,67 |
| Arroio do Meio | 34,99 | 0,85 | 3,71 | 39,55 | 16,77 |
| Arroio do Veado | 20,27 | 0,64 | 2,97 | 23,88 | 10,12 |
| Rio Vacacaí-Mirim | 114,87 | 0,42 | 6,68 | 121,97 | 51,70 |
| Sem Denominação | 27,58 | - | 9,29 | 36,87 | 15,63 |
| ÁREA TOTAL (ha) | 211,23 | 1,91 | 22,76 | 235,90 | 100,00 |
| FREQ. (%) | 89,54 | 0,81 | 9,65 | 100,00 | - |

Conforme mostra a Tabela 4.10, a microbacia do Rio Vacacaí-Mirim é a que apresenta maior ocupação de APP com cultura irrigada, com 51,70%, notadamente as margens de cursos d'água. Em seguida, tem-se a microbacia do Arroio do Meio (16,77%,) e, Sem Denominação (15,63%), sendo as demais em menor proporção.

O PERAI prevê a recuperação das APP de forma gradual, permitindo ao agricultor a eliminação da área de cultivo em 25% ao ano, bem como a obtenção da outorga do uso da água.

Entretanto, devido às dificuldades que os produtores vêm enfrentando no atendimento à legislação, o prazo para cumprimento do TCA, previsto pelo PERAI, foi prorrogado para abril/2010 (Lavoura Arrozeira, 2008) e, novamente foi ampliado por mais 4 anos.

4.5 Cenários de oferta e demanda hídrica

A análise das condições de disponibilidade X demanda hídrica da área de estudo foram realizadas no contexto da sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande e por PC, para o período de novembro a fevereiro, com o objetivo de identificar as condições em nível de sub-bacia e pontuais. A Figura 4.11 apresenta a espacialização da sub-bacia e dos PC.

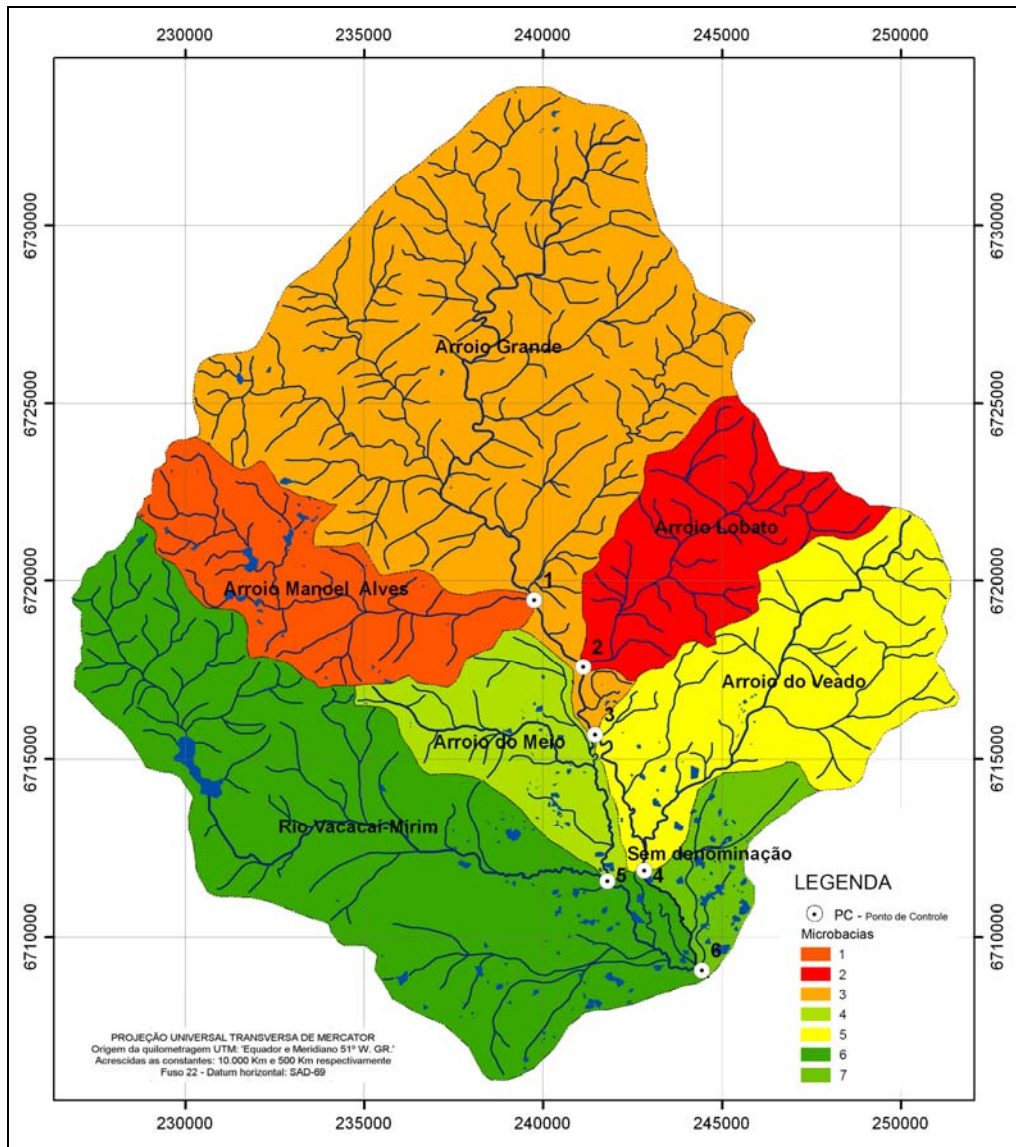


Figura 4.11 - Espacialização dos Pontos de Controle (PC) no contexto da sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande.

Como forma de representar esquematicamente a hidrografia da área de estudo, bem como a localização dos PC, foi elaborado um diagrama unifilar (Figura 4.12). Os PC foram distribuídos de forma a caracterizar a sub-bacia, ou seja, quantificar no tempo e no espaço. Segue especificado as microbacias contribuintes para cada PC, sendo:

- PC1: microbacia 1; PC2: microbacia 2;
- PC3: microbacias 1, 2 e 3;
- PC4: microbacia 5 e 50% do volume de contribuição das microbacias 1, 2 e 3;
- PC5: microbacia 4 e 50% do volume de contribuição das microbacias 1, 2 e 3.
- PC6: localizado a jusante da sub-bacia, acumula todas as microbacias.

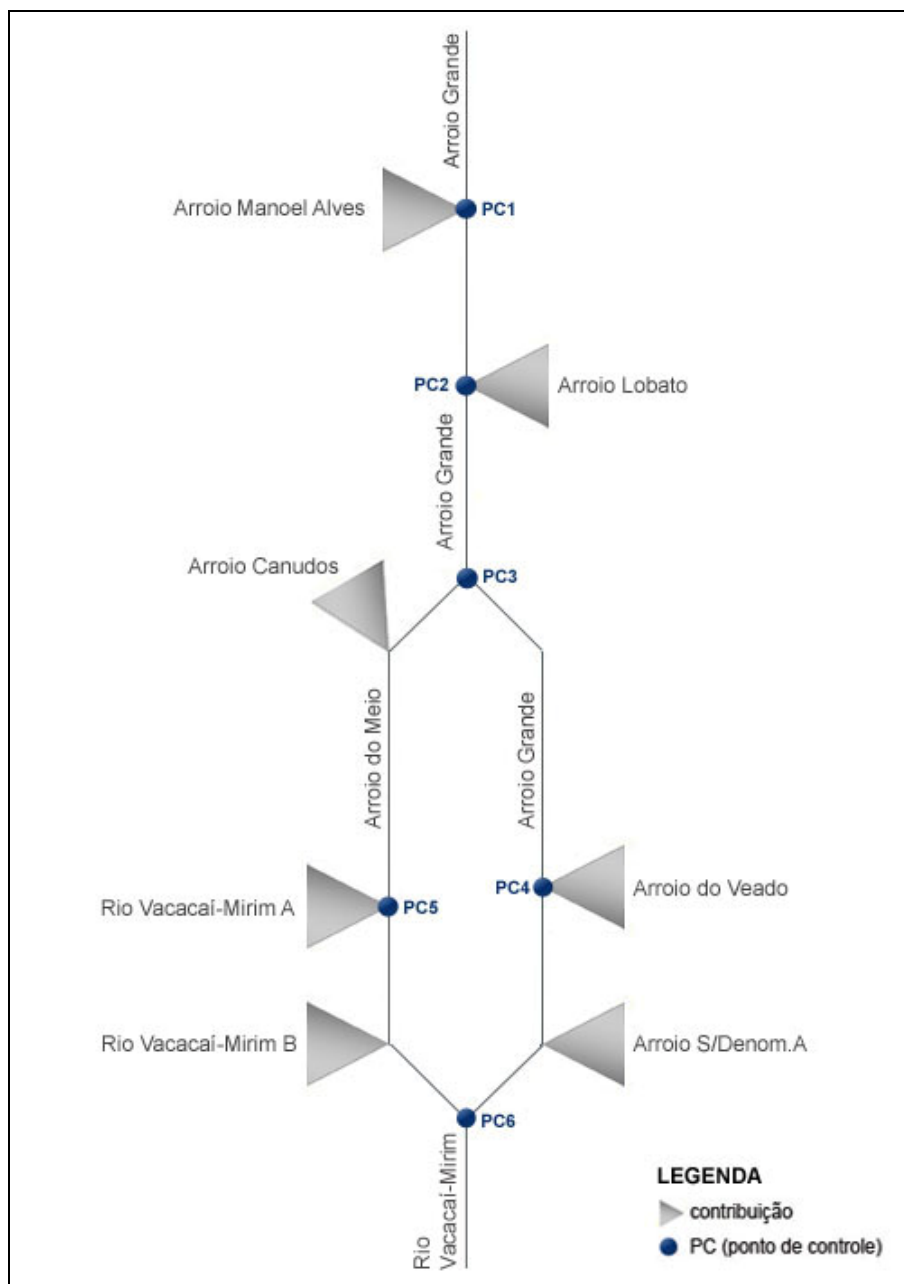


Figura 4.12 - Diagrama unifilar da sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande.

4.5.1 No contexto da sub-bacia hidrográfica

As Tabelas 4.11 e 4.12 apresentam, respectivamente, os cenários 1 e 2 das condições de disponibilidade x demanda hídrica no contexto da sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, para o período novembro - fevereiro.

Tabela 4.11 – Demanda e disponibilidade hídrica na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, para o período de novembro a fevereiro - cenário 1.

| MÊS | DEMANDA (m ³ /s) | | DISPONIBILIDADE (m ³ /s) | | $\frac{Q_{irrig}}{Q_{95}}$ |
|-----------|-----------------------------|--|-------------------------------------|-----------|----------------------------|
| | Q_{irrig}^1 | | Q_{95} | Q_{rem} | Freq. (%) |
| Novembro | 3,3602 | | 3,7554 | 0,3952 | 89 |
| Dezembro | 3,3602 | | 3,4986 | 0,1384 | 96 |
| Janeiro | 3,3602 | | 3,4529 | 0,0927 | 97 |
| Fevereiro | 3,3602 | | 3,4582 | 0,0980 | 97 |

¹a demanda para irrigação refere-se à atendida pelos cursos d'água, excetuando-se a atendida pelos reservatórios.

Conforme mostrado na Tabela 4.11, no cenário 1, a disponibilidade hídrica na sub-bacia (Q_{95}) é superior a demanda para irrigação (Q_{irrig}) para todos os meses analisados (novembro a fevereiro). A demanda para irrigação apresenta a seguinte proporção, em relação a disponibilidade da sub-bacia (Q_{irrig}/Q_{95}): Nov: 89%; Dez: 96%; Jan: 97%; Fev: 97%. Observa-se que, embora a demanda seja atendida no contexto da sub-bacia, a utilização da água para a irrigação encontra-se no estado limite, agravado para os meses de dezembro a fevereiro.

Para o cenário 2, conforme indicado na Tabela 4.12, a demanda para irrigação representa de 80 a 87% da disponibilidade hídrica (Q_{95}). Esta proporção reduziu quando comparada ao cenário 1, tendo em vista que foi excluído a áreas com cultivo orizícola em APP.

Tabela 4.12 – Demanda e disponibilidade hídrica na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, relação demanda para irrigação e disponibilidade hídrica e frequência de atendimento a demanda - com base nas curvas de permanência, para o período de novembro a fevereiro - cenário 2.

| MÊS | DEMANDA | | DISPONIBILIDADE | | $\frac{Q_{irrig}}{Q_{95}}$ | CURVA DE PERMANÊNCIA |
|-----------|---------------------|-----------|---------------------|-----------|----------------------------|--------------------------------------|
| | (m ³ /s) | | (m ³ /s) | | | (atendimento $Q_{irrig} + Q_{amb}$) |
| | Q_{irrig} | Q_{amb} | Q_{95} | Q_{rem} | Freq. (%) | Freq. (%) |
| Novembro | 3,0169 | 1,2328 | 3,7554 | -0,4943 | 80 | 89 |
| Dezembro | 3,0169 | 1,0659 | 3,4986 | -0,5842 | 86 | 76 |
| Janeiro | 3,0169 | 1,0459 | 3,4529 | -0,6099 | 87 | 55 |
| Fevereiro | 3,0169 | 1,0421 | 3,4582 | -0,6008 | 87 | 81 |

¹a demanda para irrigação refere-se a atendida pelos cursos d'água, excetuando-se a atendida pelos reservatórios.

Entretanto, ao incluir a demanda ambiental (Q_{amb}) na composição, observa-se que excede a disponibilidade hídrica da sub-bacia, ou seja, a demanda ambiental e irrigada não é atendida na totalidade.

Com base nas curvas de permanência de vazões médias da sub-bacia, foi determinado o percentual em que a referida demanda está disponível. Para o mês de novembro, a vazão requerida ($Q_{amb} + Q_{irrig}$) está disponível em 89% do tempo; dezembro 76%; janeiro 55% e; fevereiro 81%.

4.5.2 Por Ponto de Controle

A Tabela 4.13 apresenta as vazões naturais por ponto de controle (PC), para análise dos cenários de oferta e demanda hídrica na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande.

Tabela 4.13 – Vazões naturais médias mensais na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, por Ponto de Controle.

| PC | VAZÃO NATURAL MÉDIA (m ³ /s) | | | |
|----|---|--------|--------|--------|
| | Nov | Dez | Jan | Fev |
| 1 | 0,9673 | 0,5404 | 0,4942 | 0,5152 |
| 2 | 0,8682 | 0,4843 | 0,4427 | 0,4616 |
| 3 | 5,6801 | 3,2328 | 2,9678 | 3,0883 |
| 4 | 4,6995 | 2,8722 | 2,6743 | 2,7643 |
| 5 | 4,3799 | 2,8818 | 2,7196 | 2,7933 |
| 6 | 13,8213 | 9,1456 | 8,6392 | 8,8695 |

Conforme mostra a Tabela 4.13, no mês de novembro, cerca de 41% da vazão natural média é acumulada no PC 3, apresentando uma menor proporção para os demais meses analisados, em torno de 35%.

Para o mês de novembro, a vazão natural média é superior aos demais meses analisados, ocorrendo uma maior redução de novembro para dezembro, sendo que para os demais meses a variabilidade é menor.

A Tabela 4.14 apresenta a disponibilidade hídrica dos reservatórios e cursos d'água na sub-bacia, por ponto de controle (PC). Para os reservatórios, a disponibilidade indicada é mensal, sendo que a total equivale a 0,4796 m³/s.

Tabela 4.14 – Disponibilidade hídrica dos reservatórios e cursos d'água na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, por Ponto de Controle.

| PC | DISPONIBILIDADE HÍDRICA (m ³ /s) | | | | |
|----|---|---|--------|--------|--------|
| | Reservatórios* | Cursos d'água - Q ₉₅ (m ³ /s) | | | |
| | | Nov | Dez | Jan | Fev |
| 1 | - | 0,3429 | 0,3194 | 0,3152 | 0,3157 |
| 2 | - | 0,3083 | 0,2872 | 0,2835 | 0,2839 |
| 3 | 0,0005 | 1,9656 | 1,8312 | 1,8072 | 1,81 |
| 4 | 0,0128 | 1,4676 | 1,3673 | 1,3494 | 1,3515 |
| 5 | 0,0126 | 1,2032 | 1,121 | 1,1063 | 1,108 |
| 6 | 0,1199 | 3,7554 | 3,4986 | 3,4529 | 3,4582 |

* disponibilidade mensal

Os dados contidos na Tabela 4.14 indicam que a disponibilidade hídrica mensal dos reservatórios no PC 6 equivale a 0,1199 m³/s, sendo que para os meses de novembro a fevereiro, totaliza 0,4796 m³/s. Observa-se que a disponibilidade hídrica dos reservatórios a montante do PC 6, são pouco representativos, com cerca de 21% apenas das reservas, estando concentrado nas microbacias contribuintes localizadas a jusante dos PC 4 e 5. Nos PC 1 e 2 não há reservatórios para as atividades irrigadas.

Quanto a disponibilidade hídrica dos cursos d'água, observa-se que as maiores vazões estão disponíveis no mês de novembro, com 3,7554 m³/s, reduzindo no mês de dezembro para 3,4986 m³/s e, mantendo-se com pouca variação para os demais meses, janeiro (3,4529 m³/s) e fevereiro (3,4582 m³/s).

A Tabela 4.15 apresenta a demanda hídrica mensal da irrigação, por PC, para os cenários 1 e 2. A demanda para irrigação no cenário 1 considera a área irrigada existente, ou seja, 2.391,45 ha.

Para o cenário 2, é computado a área irrigada excetuando-se aquelas cultivadas em APP (2.155,55 ha), em atendimento a legislação ambiental. Também

é indicado a vazão ambiental para cada mês do período analisado, referente a 30%Q₉₀.

Tabela 4.15 – Demanda hídrica mensal na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, por Ponto de Controle (incluindo reservatórios e cursos d'água).

| PC | DEMANDA HÍDRICA (m ³ /s) | | | | | |
|----|-------------------------------------|-----------|--------------------------------|--------|--------|--------|
| | Irrigação | | Ambiental - 30%Q ₉₀ | | | |
| | Cenário 1 | Cenário 2 | Nov | Dez | Jan | Fev |
| 1 | 0,0118 | 0,0106 | 0,1126 | 0,0973 | 0,0955 | 0,0951 |
| 2 | 0,0091 | 0,0081 | 0,1012 | 0,0875 | 0,0859 | 0,0856 |
| 3 | 0,1988 | 0,1785 | 0,6452 | 0,5579 | 0,5474 | 0,5454 |
| 4 | 0,6153 | 0,5537 | 0,4818 | 0,4166 | 0,4087 | 0,4073 |
| 5 | 1,0176 | 0,915 | 0,395 | 0,3415 | 0,3351 | 0,3339 |
| 6 | 3,4801 | 3,1368 | 1,2328 | 1,0659 | 1,0459 | 1,0421 |

Em análise a Tabela 4.15, observa-se que a demanda hídrica mensal para irrigação na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande (PC 6), considerando o cenário 1, equivale a 3,4801 m³/s. Para o cenário 2, a demanda hídrica reduz em 9,86%, devido a exclusão das áreas de cultivo irrigado em APP.

Cerca de 30% da demanda hídrica na sub-bacia provém de áreas de cultivo nas microbacias contribuintes para os PC 1 ao 5 e, o restante (70%), das áreas localizadas a jusante dos PC 5 e 6.

Quanto à vazão ambiental mensal, no mês de novembro é superior aos demais meses analisados, com 1,2328 m³/s. No período de dezembro a fevereiro, a vazão ambiental varia de 1,0659 m³/s (dezembro) a 1,0421 m³/s (fevereiro).

4.5.2.1 Cenário 1

A Tabela 4.16 apresenta a situação atual (cenário 1), ou seja, as condições de disponibilidade x demanda hídrica na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, por ponto de controle. A demanda hídrica para irrigação indicada na Tabela 4.15 exclui a parcela atendida pelos reservatórios, que representam 13,78% da demanda.

Tabela 4.16 – Demanda x disponibilidade hídrica na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, por ponto de controle: cenário 1.

| Mês | PC | DEMANDA HÍDRICA (m³/s) | DISPONIBILIDADE HÍDRICA (m³/s) | | Q_{irrig}/Q_{95} |
|-----------|----|------------------------|--------------------------------|-------------|--------------------|
| | | Q_{irrig}^1 | Q_{95}^2 | Q_{rem}^3 | Freq. (%) |
| NOVEMBRO | 1 | 0,0118 | 0,3429 | 0,3311 | 3 |
| | 2 | 0,0091 | 0,3083 | 0,2992 | 3 |
| | 3 | 0,1983 | 1,9656 | 1,7673 | 10 |
| | 4 | 0,6025 | 1,4676 | 0,8651 | 41 |
| | 5 | 1,005 | 1,2032 | 0,1982 | 84 |
| | 6 | 3,3602 | 3,7554 | 0,3952 | 89 |
| DEZEMBRO | 1 | 0,0118 | 0,3194 | 0,3077 | 4 |
| | 2 | 0,0091 | 0,2872 | 0,2782 | 3 |
| | 3 | 0,1983 | 1,8312 | 1,6329 | 11 |
| | 4 | 0,6025 | 1,3673 | 0,7648 | 44 |
| | 5 | 1,005 | 1,121 | 0,116 | 90 |
| | 6 | 3,3602 | 3,4986 | 0,1384 | 96 |
| JANEIRO | 1 | 0,0118 | 0,3152 | 0,3034 | 4 |
| | 2 | 0,0091 | 0,2835 | 0,2744 | 3 |
| | 3 | 0,1983 | 1,8072 | 1,6089 | 11 |
| | 4 | 0,6025 | 1,3494 | 0,7469 | 45 |
| | 5 | 1,005 | 1,1063 | 0,1013 | 91 |
| | 6 | 3,3602 | 3,4529 | 0,0927 | 97 |
| FEVEREIRO | 1 | 0,0118 | 0,3157 | 0,304 | 4 |
| | 2 | 0,0091 | 0,2839 | 0,2748 | 3 |
| | 3 | 0,1983 | 1,81 | 1,6117 | 11 |
| | 4 | 0,6025 | 1,3515 | 0,749 | 45 |
| | 5 | 1,005 | 1,108 | 0,103 | 91 |
| | 6 | 3,3602 | 3,4582 | 0,098 | 97 |

¹ Demanda hídrica da irrigação; ² Disponibilidade hídrica dos reservatórios; ³ Vazão remanescente.

No cenário 1, observa-se que a demanda hídrica é atendida na totalidade em todos os pontos de controle, no período novembro - fevereiro. Entretanto, embora a demanda esteja sendo atendida do PC 1 ao 3, a demanda para irrigação representa de 3 a 11% da disponibilidade hídrica, variando em função do mês analisado; para o PC 4, de 41 a 45% e, para os pontos de controle 5 e 6, equivale de 84 a 97% da disponibilidade, ou seja, encontra-se no limite. A Figura 4.13 ilustra a variabilidade de vazão remanescente na sub-bacia, por PC.

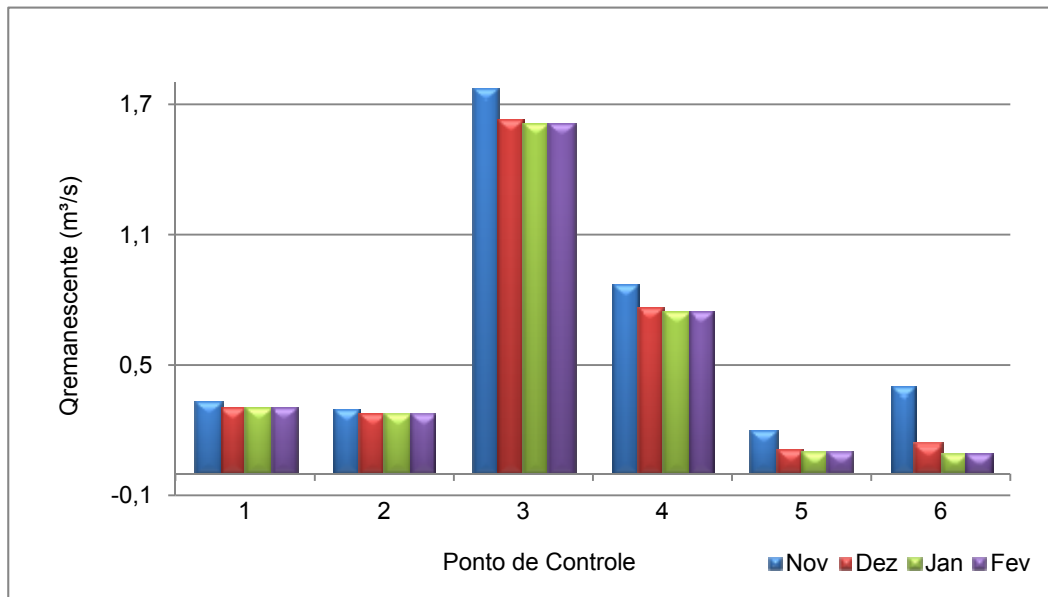


Figura 4.13 – Variabilidade da vazão remanescente na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, por ponto de controle: cenário 1.

A análise do cenário 1, relativo às vazões remanescentes na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, indica que a demanda hídrica é atendida em todos os PC para os meses analisados. Entretanto, observa-se que os PC 3 e 4 são os que apresentam maior disponibilidade hídrica e, nos PC 5 e 6, as menores. O mês de novembro apresenta maiores vazões quando comparados aos demais (dezembro a fevereiro), os quais não apresentam variabilidade.

4.5.2.2 Cenário 2

Para o cenário 2, foi considerado o atendimento a legislação relativa às APP, ou seja, o cumprimento ao PERAI, com a eliminação das áreas com cultivo irrigado em APP e; a manutenção de níveis mínimos de vazão nos cursos d'água (vazão ambiental – 30% Q_{90}).

A Tabela 4.17 apresenta o cenário 2 de disponibilidade x demanda hídrica na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, por PC. A demanda hídrica para irrigação indicada excluiu a parcela atendida pelos reservatórios, que representam 15,29% da demanda.

Tabela 4.17 – Demanda x disponibilidade hídrica na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, por ponto de controle: cenário 2.

| Mês | PC | DEMANDA HÍDRICA (m³/s) | | DISPONIBILIDADE HÍDRICA (m³/s) | | $Q_{(irrig + amb)}/Q_{95}$ Freq. (%) |
|-----------|----|------------------------|-------------|--------------------------------|-------------|---|
| | | Q_{irrig}^1 | Q_{amb}^2 | Q_{95}^3 | Q_{rem}^4 | |
| NOVEMBRO | 1 | 0,0106 | 0,1126 | 0,3429 | 0,2198 | 36 |
| | 2 | 0,0081 | 0,1012 | 0,3083 | 0,199 | 35 |
| | 3 | 0,178 | 0,6452 | 1,9656 | 1,1424 | 42 |
| | 4 | 0,5409 | 0,4818 | 1,4676 | 0,4449 | 70 |
| | 5 | 0,9024 | 0,395 | 1,2032 | -0,0942 | 108 |
| | 6 | 3,0169 | 1,2328 | 3,7554 | -0,4943 | 113 |
| DEZEMBRO | 1 | 0,0106 | 0,0973 | 0,3194 | 0,2115 | 34 |
| | 2 | 0,0081 | 0,0875 | 0,2872 | 0,1916 | 33 |
| | 3 | 0,178 | 0,5579 | 1,8312 | 1,0953 | 40 |
| | 4 | 0,5409 | 0,4166 | 1,3673 | 0,4098 | 70 |
| | 5 | 0,9024 | 0,3415 | 1,121 | -0,1229 | 111 |
| | 6 | 3,0169 | 1,0659 | 3,4986 | -0,5842 | 117 |
| JANEIRO | 1 | 0,0106 | 0,0955 | 0,3152 | 0,2092 | 34 |
| | 2 | 0,0081 | 0,0859 | 0,2835 | 0,1895 | 33 |
| | 3 | 0,178 | 0,5474 | 1,8072 | 1,0818 | 40 |
| | 4 | 0,5409 | 0,4087 | 1,3494 | 0,3998 | 70 |
| | 5 | 0,9024 | 0,3351 | 1,1063 | -0,1312 | 112 |
| | 6 | 3,0169 | 1,0459 | 3,4529 | -0,6099 | 118 |
| FEVEREIRO | 1 | 0,0106 | 0,0951 | 0,3157 | 0,21 | 33 |
| | 2 | 0,0081 | 0,0856 | 0,2839 | 0,1902 | 33 |
| | 3 | 0,178 | 0,5454 | 1,81 | 1,0866 | 40 |
| | 4 | 0,5409 | 0,4073 | 1,3515 | 0,4033 | 70 |
| | 5 | 0,9024 | 0,3339 | 1,108 | -0,1283 | 112 |
| | 6 | 3,0169 | 1,0421 | 3,4582 | -0,6008 | 117 |

¹ Demanda hídrica da irrigação; ² Demanda hídrica ambiental; ³ Disponibilidade hídrica dos cursos d'água; ⁴ Vazão remanescente.

No cenário 2 a demanda hídrica (irrigação e ambiental) não é atendida na totalidade nos PC 5 e 6, para todos os meses analisados (novembro – fevereiro), evidenciando a necessidade de ampliar as condições de armazenamento em nível local. Observa-se que dos PC 1 ao 3, a demanda hídrica (irrigação e ambiental) representa de 33 a 42% da disponibilidade hídrica, variando em função do mês analisado; para o PC 4, representa 70% e, para os PC 5 e 6, a demanda excede a

disponibilidade. A Figura 4.14 ilustra a variabilidade de vazão remanescente no cenário 2, por PC.

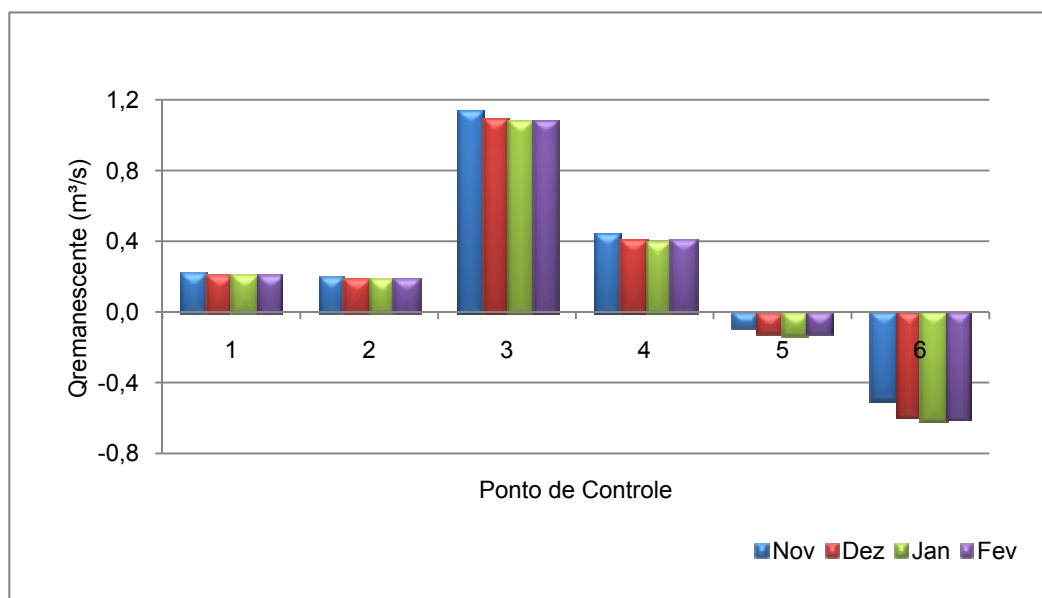


Figura 4.14 – Variabilidade da vazão remanescente na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, por ponto de controle: cenário 2.

A partir da análise do cenário 2 (Figura 4.14), que apontou as áreas com conflitos pelo uso da água, ou seja, em que a demanda excede a disponibilidade, propôs-se a instalação de barragens temporárias infláveis no álveo de cursos d'água situados a montante dos PC 5 e 6, como forma de ampliar a sustentabilidade hídrica da cultura orizícola na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande.

Desta forma, foi analisado outro cenário, aqui denominado de cenário 3, onde foi verificada a garantia de sustentabilidade hídrica da cultura orizícola na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, através de um conjunto de medidas estruturais (implantação de barragens temporárias infláveis) e não-estruturais (eliminação da área de cultivo em APP, vazão ambiental) propostas.

4.6 Caracterização das Barragens Temporárias

Considerando a análise da oferta e demanda hídrica na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande para o cenário 2, em que foi identificado escassez hídrica para suprir a demanda para irrigação e ambiental, nos PC 5 e 6, foram definidos locais para implantação de barragens temporárias infláveis, a montante destes pontos, sendo 03 (três) unidades ao longo do Arroio do Meio e 03 (três), no Arroio Grande.

A Figura 4.15(a) apresenta a espacialização dos locais selecionados para a implantação das barragens infláveis na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande e, na Figura 4.15(b), é apresentado o diagrama unifilar. Os perfis transversais das seções dos locais onde propôs-se a instalação das barragens infláveis são apresentados nos Apêndices IV e V.

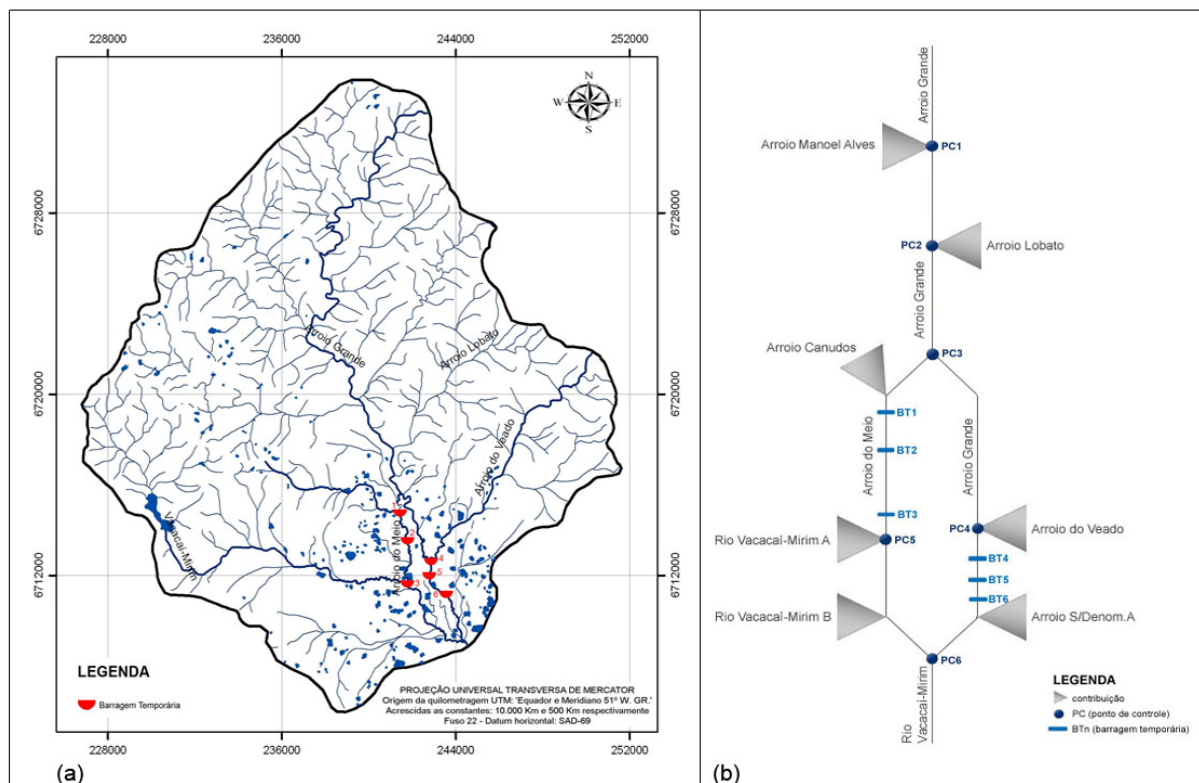


Figura 4.15 – Sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande: (a) Localização das barragens temporárias infláveis. (b) Diagrama unifilar.

A Tabela 4.18 a seguir apresenta as características das seções propostas para a instalação das barragens temporárias infláveis.

Tabela 4.18 – Caracterização das seções propostas para instalação das barragens temporárias infláveis.

| SEÇÃO | CURSO D'ÁGUA | COORD. UTM | | H_{calha}^1 (m) | $H_{bi\ máx}^2$ (m) | H_{bi}^3 (m) | L_{if}^4 (m) | V_{abi}^5 (m ³) |
|-------|----------------|------------|---------|----------------------|------------------------|-------------------|-------------------|----------------------------------|
| | | E (m) | N (m) | | | | | |
| 1 | Arroio do Meio | 241443 | 6714750 | 5,5 | 4,17 | 4,0 | 20,62 | 57.489 |
| | | | | | | 3,0 | 17,98 | 37.596 |
| | | | | | | 2,0 | 15,42 | 21.495 |
| | | | | | | 1,0 | 12,85 | 8.956 |
| 2 | Arroio do Meio | 241780 | 6713534 | 4,3 | 3,17 | 3,0 | 14,83 | 34.139 |
| | | | | | | 2,0 | 11,85 | 18.190 |
| | | | | | | 1,0 | 9,07 | 6.966 |
| 3 | Arroio do Meio | 241787 | 6711632 | 4,1 | 3,00 | 3,0 | 14,05 | 49.863 |
| | | | | | | 2,0 | 11,40 | 26.972 |
| | | | | | | 1,0 | 8,76 | 10.363 |
| 4 | Arroio Grande | 242858 | 6712616 | 4,25 | 3,13 | 3,0 | 14,27 | 18.151 |
| | | | | | | 2,0 | 11,08 | 9.396 |
| | | | | | | 1,0 | 7,60 | 3.222 |
| 5 | Arroio Grande | 242782 | 6711974 | 4,8 | 3,58 | 3,5 | 13,70 | 19.468 |
| | | | | | | 3,0 | 12,63 | 15.383 |
| | | | | | | 2,0 | 10,42 | 8.461 |
| | | | | | | 1,0 | 8,24 | 3.345 |
| 6 | Arroio Grande | 243562 | 6711158 | 3,9 | 2,83 | 2,5 | 11,52 | 21.830 |
| | | | | | | 2,0 | 10,60 | 16.070 |
| | | | | | | 1,0 | 8,80 | 6.670 |

¹ Altura da calha do curso d'água; ² Altura máxima da barragem inflável; ³ Altura da barragem inflável; ⁴ Largura do leito fluvial; ⁵ Volume acumulado pela barragem inflável.

Conforme apresentado na Tabela 4.18, as barragens temporárias infláveis propostas para serem instaladas no Arroio do Meio apresentam maior capacidade de armazenamento do que as do Arroio Grande, devido às características locais. Os reservatórios formados pelas barragens infláveis propostas apresentam capacidade estática de irrigação equivalente a 15,98 ha, considerando o nível máximo de armazenamento.

Em relação ao tempo necessário para acionamento das barragens infláveis, que varia em função do volume da membrana (largura e altura), o catálogo técnico da fabricante Savatech (2009) indica: 28 minutos para a barragem 1; 21 minutos para as barragens 2 a 5 e; 16 minutos para a barragem 6. Para barragens flexíveis injetadas com água, o tempo de acionamento aumenta significativamente (até 6 vezes mais).

4.7 Escoamento superficial

A Tabela 4.19, a seguir, apresentam a ocorrência de classes de solos e respectivo grupo hidrológico na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, utilizadas como referência para a determinação do parâmetro CN (curva número) ponderado, por microbacia.

Tabela 4.19 – Frequência de classe de solo e grupo hidrológico, por microbacia, na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande (%).

| MICROBACIA | CLASSE DE SOLO/ GRUPO HIDROLÓGICO | | | |
|---------------------|-----------------------------------|----------|----------|----------|
| | MTf-RLe1 / B | PVd2 / B | SGe1 / D | APt2 / B |
| Arroio Manoel Alves | 65,99 | 32,66 | 1,35 | – |
| Arroio Lobato | 71,24 | 2,07 | 26,69 | – |
| Arroio Grande | 61,23 | 32,33 | 6,43 | – |
| Arroio do Meio | – | 67,99 | 32,01 | – |
| Arroio do Veado | 39,91 | 10,89 | 28,39 | 20,81 |
| Rio Vacacaí-Mirim | 5,87 | 94,13 | – | – |
| Sem denominação | – | 21,54 | 55,10 | 23,36 |

Na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, os solos pertencem aos grupos hidrológicos B e D, na proporção, 88,28% e 11,72%, respectivamente. No grupo B estão incluídos os seguintes solos: Associação Chernossolo Argiluvico Férrico – Neossolo Litólico Eutrófico (MTf – RLe1), Argissolo Vermelho Distrófico (PVd2) e, Alissolo Hipocrômico Argilúvico (APt2). São caracterizados por apresentar moderada taxa de infiltração, consistindo de solos profundos e bem drenados. Este grupo hidrológico caracteriza 100% dos solos da microbacia do Rio Vacacaí-Mirim e os seguintes percentuais das demais microbacias: Arroio Manoel Alves (98,65%), Arroio Grande (93,57%), Arroio Lobato (73,31%), Arroio do Veado (71,61%), Arroio do Meio (67,99%) e, em menor proporção, na microbacia Sem Denominação (44,90%).

Já os solos que pertencem ao grupo hidrológico D (Planossolo Hidromórfico Eutrófico - SGe1), que se caracterizam por apresentar alto potencial de escoamento, com uma baixa taxa de infiltração, predominam na microbacia Sem Denominação, em 55,10% da área, seguido pelas microbacias do Arroio do Meio, Arroio Veado e

Arroio Lobato, com 32,01%, 28,39% e 26,69%, respectivamente. Em menor proporção, este grupo hidrológico está presente nas microbacias do Arroio Grande e Arroio Manoel Alves, com 6,43% e 1,35%, respectivamente.

A Tabela 4.20, a seguir, apresenta a ocorrência de classes de uso do solo na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, por microbacia.

Tabela 4.20 - Frequência de uso do solo na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, por microbacia (%).

| MICROBACIA HIDROGRÁFICA | USO DO SOLO | | | | |
|----------------------------|-------------|--------|-------|-------------|---------------|
| | FLORESTA | AGRIC. | CAMPO | AREA URBANA | AGRIC. IRRIG. |
| Arroio Manoel Alves | 78,32 | 7,87 | 13,59 | – | 0,22 |
| Arroio Lobato | 69,38 | 6,07 | 24,37 | – | 0,18 |
| Arroio Grande | 57,59 | 8,41 | 33,18 | – | 0,82 |
| Arroio do Meio | 44,20 | 15,17 | 13,82 | – | 26,81 |
| Arroio do Veado | 59,91 | 10,77 | 22,54 | – | 6,79 |
| Rio Vacacaí-Mirim | 42,56 | 16,83 | 16,55 | 15,50 | 8,57 |
| Sem denominação | 30,72 | 20,98 | 18,79 | – | 29,51 |

Os dados contidos na Tabela 4.20 indicam que o uso do solo predominante nas microbacias que compõem a sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande é floresta. Os demais usos do solo variam em função da microbacia, sendo que a agricultura irrigada é mais expressiva nas microbacias Sem Denominação (29,51%) e do Arroio do Meio (26,81%), seguido pelas microbacias do Rio Vacacaí-Mirim (8,57%) e Arroio do Veado (6,79%). Em menor proporção, ocorre nas microbacias do Arroio Grande (0,82), Arroio Manoel Alves (0,22%) e Arroio Lobato (0,18%).

A Tabela 4.21 apresenta o parâmetro CN ponderado por microbacia, o armazenamento potencial máximo do solo (S) e, as perdas iniciais (I_a) - que representa o limite para iniciar o escoamento superficial.

Tabela 4.21 – Parâmetros de escoamento superficial por microbacia, na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande (%).

| MICROBACIA | ÁREA (ha) | CN | S (mm) | I_a (mm) |
|---------------------|----------------------|-----------|-------------------|-------------------------------|
| Arroio Manoel Alves | 3.679,65 | 76,04 | 80,02 | 16,00 |
| Arroio Lobato | 3.307,41 | 84,37 | 47,05 | 9,41 |
| Arroio Grande | 14.105,44 | 72,35 | 97,06 | 19,41 |
| Arroio do Meio | 2.367,04 | 86,45 | 39,81 | 7,96 |
| Arroio do Veado | 5.203,09 | 85,12 | 44,39 | 8,88 |
| Rio Vacacaí-Mirim | 10.482,68 | 77,12 | 75,38 | 15,08 |
| Sem denominação | 1.153,23 | 87,09 | 37,65 | 7,53 |

Considerando que o parâmetro CN varia de 0 a 100 (muito permeável a impermeável), verifica-se que a microbacia do Arroio Grande apresenta melhores condições de permeabilidade e menor escoamento superficial, apresentando CN 72,35. Em contraponto, a microbacia Sem Denominação é a que possui menor permeabilidade e maior escoamento superficial, com CN 87,09.

Quanto aos parâmetros relativos ao armazenamento potencial máximo do solo (S), varia de 97,06 mm na microbacia do Arroio Grande a 37,65 mm, na microbacia Sem Denominação.

Quanto as perdas iniciais (I_a) verificadas, constata-se que as maiores ocorrem na microbacia do Arroio Grande (19,41 mm) e, as menores, na microbacia Sem Denominação (7,53 mm).

A Tabela 4.22 apresenta a resposta de escoamento superficial a diferentes precipitações estimadas ($P > I_a = 0,2 * S$): 20, 30, 50 e 100 mm, considerando as características das microbacias, sintetizadas na Tabela 4.21. O escoamento superficial (Q) e respectivo volume (Vt) foram quantificados em nível de microbacia (Tabela 4.22) e por PC (Tabela 4.23).

Tabela 4.22 - Escoamento superficial para diferentes precipitações estimadas na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, por microbacia.

| MICROBACIA | PRECIPITAÇÃO (mm) | | | | | | | |
|---------------------|-------------------|---------|--------|---------|--------|-----------|--------|-----------|
| | 20 | | 30 | | 50 | | 100 | |
| | Q (mm) | Vt (m³) | Q (mm) | Vt (m³) | Q (mm) | Vt (m³) | Q (mm) | Vt (m³) |
| Arroio Manoel Alves | 0,19 | 6.994 | 2,08 | 76.671 | 10,14 | 372.996 | 43,02 | 1.582.857 |
| Arroio Lobato | 1,95 | 64.347 | 6,27 | 207.290 | 18,80 | 621.746 | 59,62 | 1.971.959 |
| Arroio Grande | 0,00 | 500 | 1,04 | 146.899 | 7,33 | 1.033.903 | 36,56 | 5.156.671 |
| Arroio do Meio | 2,80 | 66.170 | 7,85 | 185.898 | 21,59 | 511.108 | 64,25 | 1.520.838 |
| Arroio do Veado | 2,23 | 115.933 | 6,81 | 354.315 | 19,77 | 1.028.891 | 61,27 | 3.188.034 |
| Rio Vacacaí-Mirim | 0,30 | 31.658 | 2,47 | 258.571 | 11,06 | 1.159.183 | 44,99 | 4.716.294 |
| Sem denominação | 3,10 | 35.780 | 8,40 | 96.850 | 22,51 | 259.620 | 65,71 | 757.832 |

Observa-se que para precipitações na ordem de 20 mm, a microbacia do Arroio do Veado apresenta maior volume de escoamento superficial (115.933 m³), devido às características da área de drenagem (microbacia). O menor volume escoado é observado na microbacia do Arroio Grande (500 m³). Para precipitações de 30 mm, o maior volume escoado é observado na microbacia do Arroio do Veado (354.315 m³) e o menor, na microbacia do Arroio Manoel Alves (76.671 m³). A microbacia do Rio Vacacaí-Mirim apresenta o maior volume de escoamento para precipitações na ordem de 50 mm e, a microbacia do Arroio Grande, para precipitações de 100 mm.

A Tabela 4.23, a seguir, apresenta o escoamento superficial para precipitações estimadas na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, por PC.

Tabela 4.23 - Escoamento superficial para precipitações estimadas na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, por Ponto de Controle.

| PC | PRECIPITAÇÃO (mm) | | | | | | | |
|----|-------------------|---------|--------|-----------|--------|-----------|--------|------------|
| | 20 | | 30 | | 50 | | 100 | |
| | Q (mm) | Vt (m³) | Q (mm) | Vt (m³) | Q (mm) | Vt (m³) | Q (mm) | Vt (m³) |
| 1 | 0,19 | 6.994 | 2,08 | 76.671 | 10,14 | 372.996 | 43,02 | 1.582.857 |
| 2 | 1,95 | 64.347 | 6,27 | 207.290 | 18,80 | 621.746 | 59,62 | 1.971.959 |
| 3 | 2,14 | 71.841 | 9,39 | 430.860 | 36,27 | 2.028.644 | 139,2 | 8.711.487 |
| 4 | 3,30 | 151.853 | 11,51 | 569.745 | 37,91 | 2.043.214 | 130,87 | 7.543.778 |
| 5 | 3,87 | 102.090 | 12,55 | 401.328 | 39,73 | 1.525.430 | 133,85 | 5.876.582 |
| 6 | 10,57 | 321.381 | 34,92 | 1.326.494 | 111,2 | 4.987.447 | 375,42 | 18.894.486 |

Observa-se que a resposta da sub-bacia hidrográfica a precipitações de 20 mm, equivale a 321.381 m³ de escoamento superficial. O menor volume é observado nas microbacias do Arroio Grande, Arroio Manoel Alves e Rio Vacacaí-Mirim, tendo em vista que apresentam perdas iniciais (I_a) próximas a 20 mm (Tabela 4.21). Para precipitações de 30 mm, 50 mm e 100 mm, o volume escoado equivale a 1.326.494 m³, 4.987.447 m³ e 18.894.486 m³, respectivamente.

Na análise do escoamento superficial por PC, observa-se que para precipitações de 20 mm, 30 mm, 50 mm e 100 mm, o volume acumulado no PC 3, equivale a 22%, 32%, 40% e 46%, respectivamente, do total escoado.

A Figura 4.16 apresenta o coeficiente de escoamento superficial por microbacia, ou seja, o percentual de escoamento gerado em relação ao total precipitado, com base nas precipitações estimadas (20, 30, 50 e 100 mm).

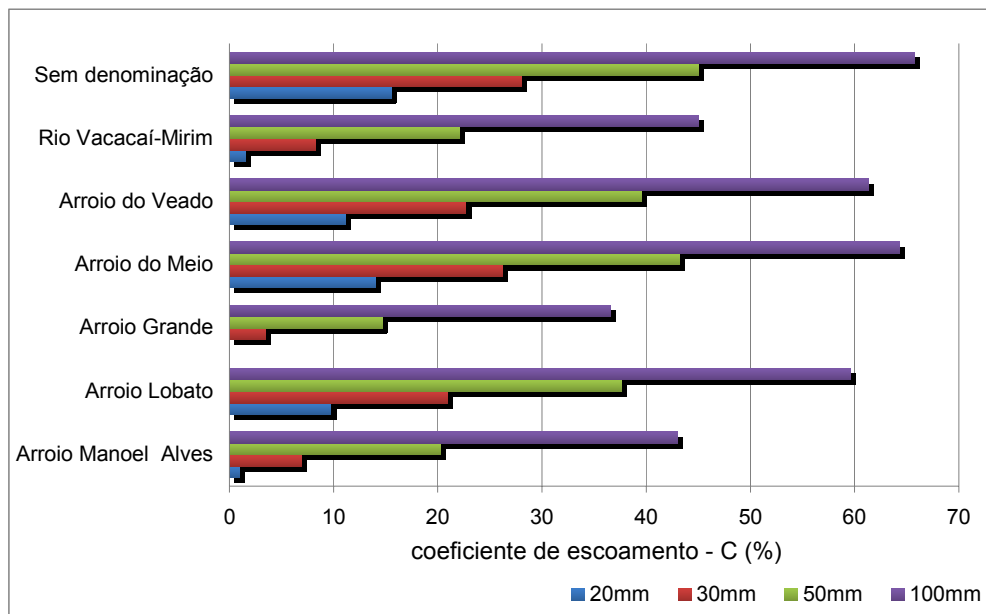


Figura 4.16 – Frequência do coeficiente de escoamento superficial das microbacias hidrográficas que compõem a sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande (%).

Em análise a Figura acima, observa-se que para precipitações de 20 mm, grande parte do escoamento superficial é retido, devido às perdas iniciais (I_a). As microbacias do Arroio Lobato, Arroio do Meio, Arroio do Veado e Sem Denominação são as que apresentam maior coeficiente de escoamento superficial, devido às condições de permeabilidade, que dependem do tipo e uso do solo.

4.8 Sustentabilidade hídrica da orizicultura

A Tabela 4.24, a seguir, sintetiza as condições de sustentabilidade hídrica da orizicultura na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, considerando o cenário 3. A análise é efetuada para os PC 5 e 6, localizados a jusante das barragens temporárias infláveis propostas.

Tabela 4.24 – Capacidade de acumulação das barragens infláveis, escoamento superficial com base em precipitações estimadas, demanda hídrica para o período de novembro a fevereiro, atendimento a demanda, em dias, para o período de novembro a fevereiro e, frequência de atendimento a demanda hídrica, para o período de novembro a fevereiro, expresso em % - para os pontos de controle 5 e 6.

| | | PONTO DE CONTROLE/ BARRAGEM INFLÁVEL | |
|--|---------|--------------------------------------|--------------------------------|
| | | PC 5 – BI ¹ 1, 2, 3 | PC 6 – BI ¹ 4, 5, 6 |
| CAPAC. DE ACUMULAÇÃO (m³) | | 141.491 | 59.450 |
| ESCOAMENTO SUPERFICIAL (m³) | P 20mm | 102.090 | 321.381 |
| | P 30mm | 401.328 | 1.326.494 |
| | P 50mm | 1.525.430 | 4.987.447 |
| | P 100mm | 5.876.582 | 18.894.486 |
| DEMANDA HÍDRICA² (m³/dia) | NOV | 8.139 | 42.708 |
| | DEZ | 10.619 | 50.475 |
| | JAN | 11.336 | 52.695 |
| | FEV | 11.085 | 51.909 |
| ATENDIMENTO A DEMANDA (dias) | NOV | 17,4 | 1,4 |
| | DEZ | 13,3 | 1,2 |
| | JAN | 12,5 | 1,1 |
| | FEV | 12,8 | 1,2 |
| ATENDIMENTO A DEMANDA (%) | NOV | 58 | 5 |
| | DEZ | 44 | 4 |
| | JAN | 42 | 4 |
| | FEV | 43 | 4 |

¹BI: barragem inflável; ²demanda hídrica(vazão remanescente).

Conforme mostra a Tabela 4.24, a demanda hídrica no PC 5 varia de 8.139 m³/dia a 11.336 m³/dia, em função do mês analisado. As BI 1, 2 e 3 possuem capacidade de acumulação hídrica equivalente a 141.491 m³, suficientes para atender a demanda hídrica por um período de 17,4 dias para o mês de novembro; 13,3 dias em dezembro; 12,5 dias em janeiro e; 12,8 dias, em fevereiro. A totalidade da capacidade de acumulação destas barragens infláveis (BI) é atingida a partir de precipitações na ordem de 22 mm.

Quanto à frequência de atendimento a demanda hídrica mensal, considerando a capacidade estática dos barramentos, as BI 1, 2 e 3, localizadas a montante do PC 5, apresentam maior viabilidade, suprimindo a demanda em 58% para o mês de novembro; 44% em dezembro, 42% em janeiro e; 43% em fevereiro.

No PC 6, a demanda hídrica varia de 42.708 m³ a 52.695 m³, em função do mês analisado. Precipitações na ordem de 20 mm são suficientes para enchimento das BI. As BI 4, 5 e 6, possuem capacidade de acumulação hídrica equivalente a 59.450 m³. Entretanto, para o atendimento a demanda hídrica, faz-se necessário a ocorrência de precipitações praticamente diárias, não havendo conformidade entre oferta e demanda.

Para as BI 4, 5 e 6, localizadas a montante do PC 6, os resultados indicam um percentual bem inferior de atendimento, sendo 5% em novembro e 4% para os demais meses (dezembro a fevereiro), demonstrando inviabilidade.

As BI 1, 2 e 3 (PC5), apresentam capacidade estática de irrigação de 11,25 ha/safra, considerando o nível máximo de armazenamento, enquanto o volume acumulado pelas BI 4, 5 e 6 (PC6) possibilitam a irrigação de 4,73 ha/safra.

Os resultados evidenciam que as BI são apropriadas para ocorrência de precipitações distribuídas ao longo do período de irrigação, com frequência decenal a quinzenal, conforme demonstrado para o caso das BI 1, 2 e 3. Também observou-se que baixas precipitações são suficientes para gerar escoamento superficial para atender as BI.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

De acordo com os objetivos propostos, resultados obtidos e condições em que a pesquisa foi realizada, conclui-se que:

- a) A estruturação do SIG da área de estudo permitiu a caracterização física da sub-bacia, constatando que as geotecnologias utilizadas foram ferramentas fundamentais, destacando-se a redução significativa no tempo do levantamento dos dados espaciais, bem como a possibilidade de integração de dados provenientes de diversas fontes;
- b) As informações da área irrigada na sub-bacia, disponibilizadas pelos órgãos gestor (DRH) e de extensão (IRGA), não foram suficientes para compor o cenário orizícola da área de estudo, mostrando claramente a precariedade dos dados oficiais, em especial, quanto ao componente espacial área de cultivo;
- c) A determinação do uso da terra nas APP permitiu identificar a necessidade de redução da área irrigada na sub-bacia, tendo em vista o atendimento a legislação ambiental vigente (PERAI), implicando em uma redução de 9,86% da área de cultivo;
- d) As APP despertam interesses conflitantes, tendo em vista que os agricultores a vêem com potencial produtivo, embora a sua preservação e restauração, visando proteger suas funções hidrológicas, ecológicas e geomorfológicas, são essenciais na busca da sustentabilidade. Esta questão, quando analisada em nível de pequena propriedade, como é o caso na sub-bacia do Arroio Grande, o impacto poderá ser ainda maior, principalmente naquelas localizadas próximo a cursos d'água, reduzindo drasticamente a área produtiva;

- e) A caracterização da disponibilidade e demanda hídrica, realizado para o contexto da sub-bacia e por Ponto de Controle (PC), permitiu a localização no tempo e no espaço, das condições hídricas, servindo de elemento norteador para propor alternativas de suprimento à demanda;
- f) Os resultados obtidos através da análise dos cenários de sustentabilidade hídrica na sub-bacia permitiram concluir que no cenário 1, a sub-bacia encontra-se na situação limite de uso da água no período em que é desenvolvida a irrigação, além de estar em desacordo com a legislação ambiental. No cenário 2, com o atendimento a legislação ambiental, verifica-se que a demanda excede a disponibilidade hídrica nos PC 5 e 6, localizados a jusante da sub-bacia. Para o cenário 3, a implantação de barragens temporárias a montante dos PC 5 e 6, que apresentaram déficit hídrico, indicam que no PC 5, a demanda poderá ser atendida parcialmente, indicando viabilidade. Já para o PC 6, os resultados apontam não haver conformidade entre oferta e demanda hídrica;
- g) Os conflitos pelo uso da água na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande decorrentes da agricultura irrigada poderão ser minimizados com a implantação das barragens temporárias. Entretanto, os resultados indicam que a sustentabilidade hídrica da cultura orizícola somente poderá ser alcançada com a redução da área irrigada, especificamente, entre os PC 3 - 5 e, 4 - 6;
- h) As estruturas de barramento propostas apresentam restrições no que tange ao licenciamento ambiental. Entretanto, com a Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) e elaboração de Estudos de Impacto Ambiental (EIA), estas restrições podem ser analisadas e avaliadas, demonstrando os impactos ocasionados ao meio ambiente;
- i) Considerando que as membranas das barragens temporárias flexíveis não são fabricadas no Brasil, o que implica em custos mais onerosos, a metodologia proposta no presente estudo poderá ser aplicada para barramentos com

materiais convencionais, embora sejam necessárias algumas adaptações na concepção;

- j) A busca de soluções para os conflitos pelo uso da água consiste em um desafio a ser enfrentado nas próximas décadas, tendo em vista a implantação dos instrumentos de planejamento e gestão de recursos hídricos no Brasil, bem como a necessidade crescente de adequação a legislação ambiental.

Como sugestões para futuras pesquisas, recomenda-se:

- a) A realização de uma grade de amostragem na área com cultivo orizícola irrigado, para caracterizar as condições físico-hídricas dos solos, tendo em vista que estes parâmetros são importantes na determinação da necessidade hídrica da cultura orizícola;
- b) Analisar as séries históricas de precipitação diária na sub-bacia, verificando a frequência de ocorrência de precipitações que atendam o volume a ser armazenado pelas barragens temporárias, objetivando avaliar o risco de atendimento a demanda hídrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA - Agência Nacional de Águas. A Evolução da Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil / The Evolution of Water Resources Management in Brazil. Brasília; ANA, 2002. Disponível em: <http://www.ana.gov.br>. Acesso em: 02 abr. 2007.

_____. ANA. Agência Nacional de Águas. Divisão hidrográfica nacional. Disponível em: <http://www.ana.gov.br>. Acesso em: 02 jul. 2008.

BELTRAME, L. F. S. Caracterização físico-hídrica dos solos formadores da várzea arrozeira do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, RS: IPH/UFRGS, 1996, 31 p. (Recursos Hídricos 32).

BELTRAME, L. F. S., GONDIM, L. A. O. Estudo hidrológico do consumo de água em lavoura de arroz. Lavoura arrozeira, Porto Alegre, v. 35, n. 333, p. 22-28, jan./fev. 1982.

BELTRAME, L. S.; LOUZADA, J. A. Water use rationalization in rice irrigation by flooding. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON EFFICIENT WATER USE, 1., 1991, Cidade do México. Anais... Cidade do México: IWRA, 1991. p.337-345.

BRASIL. Decreto Federal n. 24.643, de 10 de julho de 1934. Decreta o Código de Águas. Disponível em <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em 5 jul. 2007.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil: promulgada em 5 de outubro de 1988. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 5 jul. 2007.

BRASIL. Lei Federal n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 5 jul. 2007.

BRASIL. Lei Federal n. 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/conama>>. Acesso em: 5 jul. 2007.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 302, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação

Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/conama>>. Acesso em 15 jul. 2007.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/conama>>. Acesso em 15 jul. 2007.

BRASIL. Lei Federal n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em 15 jul. 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão Pedológica. Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Rio Grande do Sul. Recife, 1973. 431p (DNPEA. Boletim técnico, 30).

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Download de dados geográficos. Disponível em <http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>. Acesso em 15 jul. 2007.

BROTTO, M. T. How Italian Technology is Trying to Save Venice. Disponível em: <<http://www.i-italy.org/node/11150>>. Acesso em: 30 set. 2009.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Geoprocessamento para projetos ambientais: tutorial para cursos. São José dos Campos: Editora, 1996. 161p.

CASTRO, N. Apostila de Irrigação. 115 p. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Porto Alegre, RS. 2003.

CHANSON, H. Use of rubber dams for flood mitigation in Hong Kong. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. May/June 1998. pg 181 – 184. Disponível em: <<http://www.uq.edu.au>>. Acesso em 10 jul. 2008.

CHRISTOFIDIS, D., FERREIRA, R. S. A., LIMA, J. W. O uso da irrigação no Brasil. 2004. Disponível em: <http://cf.org.br/cf2004/irrigacao.doc>. Acesso em 8 jul. 2008.

CHRISTOFIDIS, D. “Água na produção de alimentos”. O papel da academia e da indústria no alcance do desenvolvimento sustentável. In: 1º CONGRESSO INTERNACIONAL DE COOPERAÇÃO UNIVERSIDADE – EMPRESA – UNINDU. Ubatuba, São Paulo. jul. 2005.

CHUQUIMUNI, R. A. Análise Numérica do Alçamento de Barragens de Terra. Dissertação (mestrado). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, 2005. Disponível em: <http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/cgi-bin>. Acesso em: 20 set 2008.

CONSTANTZ, J. Use of heat as a tracer of stream exchanges with shallow ground water near bank filtration facilities. U.S Geological Survey. 2008. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ncer/publications/workshop>>. Acesso em: 20 set 2008.

CORREA, N. I.; CAICEDO, N. L.; FEDDES, R. A.; LOUZADA, J. A.; BELTRAME, L. F. S. Consumo de água na irrigação do arroz por inundação. Lavoura Arrozeira, Porto Alegre, V. 50, nº 432, jul./ago. 1997.

CORRÊA, H. C. Adequação da demanda hídrica e da potência instalada em sistemas de recalque para o arroz na Depressão Central do Rio Grande do Sul. 2007. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

CROSTA, A. P. Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. Campinas: UNICAMP, 1992. 170p.

CRUZ, J. C. Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação de aspectos técnicos e conceituais. 2001. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

DPARRA, D. A. P. M. Modelagem Numérica do comportamento estático e sísmico de barragens de terra. 2001. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil, 2001. Disponível em: <<http://www.maxwell.lambda.ele.puc-rio.br/cgi-bin>>. Acesso em 20 de out. 2008.

DYRHOFF. Spillway Gates and Inflatable Rubber Dams. Disponível em: <<http://www.dyrhoff.co.uk>>. Acesso em: 10 jun. 2009.

EMBRAPA Clima Temperado. Cultivo do Arroz Irrigado no Brasil. Sistemas de Produção, 3. Versão Eletrônica. Nov./2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em 8 mar. 2008.

FELIPE, J. O. O Código Florestal em seus principais tópicos. São Paulo: Giz Editorial, 2007.

FERRO, T. L. M.; BEZZI, M. L. O Setor primário de Santa Maria na perspectiva rural: a reestruturação das atividades produtivas. In: XIX ENCONTRO NACIONAL DE GEOGRAFIA AGRÁRIA. São Paulo. Anais p. 1-32, 2009. Disponível em: <<http://www.geografia.fflch.usp.br>>. Acesso em 15 de dezembro de 2008.

FIETZ, C. R.; CAUDURO, F. A; BELTRAME, L. F. S. Modelo de cálculo de demanda hídrica em lavoura de arroz irrigado (Oriz sativa L.). In: VII CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM. Anais p. 155-166, 1986.

FISCHER, M. Lavoura sustentável garante mais produtividade. In: Revista Lavoura Arrozeira. IRGA – Instituto Rio Grandense do Arroz. Volume 56, nº 447. Dez. 2008.

GOMES, A. S.; PAULETTO, E. A. Manejo de solo e da água em áreas de várzea. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. 201 p.

GOMES, A. S., CUNHA, N. G., PAULETTO, E. A., SILVEIRA, R. J. C., TURATTI, A. L. Solos de Várzeas – Uso e Manejo. In: Solos e irrigação. Porto Alegre: Ed. da Universidade-UFRGS, FEDERACITE, 1992.

HASENACK, H.; WEBER, E.; VALDAMERI, R. Análise de vulnerabilidade de um parque urbano através de módulos de apoio à decisão em sistemas de informação geográfica. In: GIS Brasil. 1998, Curitiba. Anais Eletrônico. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/ecologia/idrisi>>. Acesso em: 05 mar. 2009.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Caderno setorial de recursos hídricos: agropecuária / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. – Brasília: MMA, 2006. 96 p. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em 15 de abril de 2008.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Indicadores IBGE. Estatística da Produção Agrícola. Maio/2008. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 10 de setembro de 2008.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Catálogo de imagens CBERS II. 2008. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br>. Acesso em 05 de abril de 2008.

IRGA - Instituto Riograndense do Arroz. Caracterização da lavoura de arroz irrigado, Safra 1999/00. Porto Alegre: Depto Técnico Agrícola. 2002. 84p. Disponível em: <<http://www.irga.rs.gov.br>>. Acesso em 5 mai. 2007.

_____. Newsletter: Irga completa 68 anos e comemora safra recorde de arroz (20/06/2008). Disponível em: <<http://www.irga.rs.gov.br>>. Acesso em 30 jun. 2008.

_____. Arroz Irrigado no RS: Área, produção e rendimento. 2008. Disponível em: <<http://www.irga.rs.gov.br>>. Acesso em 30 jun. 2008.

ITABORAHY, C. R. et al. Agricultura irrigada e o uso racional da água. Brasília: Agência Nacional das Águas, Superintendência de Conservação de Água e Solo, 2004. 30p.

JACOBS, J. M.; VOGEL, R. M. Optimal allocation of water withdrawals in a river basin. Journal of Water Resources Planning and Management. Vol. 124, nº 6, p. 357-363. Nov/Dec., 1998.

KOTEGODA, N. T.; ROSSO, R. Statistics, Probability and Reliability for Civil and Environmental Engineers. New York: McGraw-Hill, 1977.

LAVOURA ARROZEIRA. Lavoura sustentável garante mais produtividade. IRGA – Instituto Rio Grandense do Arroz. Volume 56, nº 447. Dez. 2008.

LÉO, L. F. R.; HERNANDEZ, F. B. T. O futuro da irrigação nos países de terceiro mundo. Unesp. Correio da Ilha, Ilha Solteira, Ano X, nº 1.361, 21 de Julho de 2001, p.02. Disponível em: <<http://www.agr.feis.unesp.br/>>. Acesso em: 08 fev. 2008.

LINSLEY, R. K.; FRANZINI, J. B. Engenharia de recursos hídricos. Tradução e adaptação Luiz Américo Pastorino. Editora McGraw-Hill do Brasil Ltda, 1978.

LOUZADA, J. A. S. Simulação da irrigação por inundação e da drenagem nos solos de várzea do Rio Grande do Sul. 2004. 190f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

MARRA, V. Saving Venezia & Protecting New Orleans. Introducing the MOSE Project. Disponível em: <<http://www.i-italy.org/10714>>. Acesso em: 30 set. 2009.

MARCOLIM, E. Eficiência no consumo de energia para bombeamento de água em lavouras de arroz. 200. 64p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

MENDES, C.A.B. & CIRILO, J.A. Geoprocessamento em Recursos Hídricos: princípios, integração e aplicação. ABRH. Porto Alegre, 2001.180 p.

MENESES, P.R.; NETTO, J. da S.M 2001. Sensoriamento Remoto. Reflectância dos Alvos Naturais. Editora Universidade de Brasília – UnB e EMBRAPA Cerrados, Brasília. 1 a Ed.262p.

MONTEIRO, R., PEREIRA, G., TOLEDO, R., MACIEL, S. 2007. APP's em açudes conforme Resolução CONAMA nº 302 e 303/2002. In: IX ENCONTRO NACIONAL DE COMITÊS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS, 2007. Foz do Iguaçu. Disponível em: <<http://www.rebob.org.br/ENCBH>>. Acesso em: 10 jan. 2008.

MOREIRA, M. A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. Viçosa: UFV, 2003. 307p.

MYSORE, G. V. Vibration analysis of single – anchor inflatable dams. Thesis submitted to the Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg, Virginia. June, 1997. Disponível em: <<http://www.scholar.lib.vt.edu/theses>>. Acesso em 20 jul. 2008.

NOVO, E. M. L. de M. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. São José dos Campos, 1998. 308 p.

OTA, J. J. Noções gerais sobre o uso de barragens infláveis. Revista Brasileira de Engenharia: Caderno de Recursos Hídricos, v.9, n.1, pp. 85-99, Rio de Janeiro, 1991.

PIRES, F. S. Revista Lavoura Arrozeira. IRGA – Instituto Rio Grandense do Arroz. Volume 56, nº 447. Dez. 2008.

PLANO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Panorama e estado dos recursos hídricos do Brasil: Volume 1 / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos. – Brasília: MMA, 2006. 4 v.: il. Color; 28 cm.

RAMALHO, C.; CARVALHO, M. C. F.; FERNANDES, C. V. S.; et al. (1997). Diagnostico Ambiental da Bacia do Rio Barigui. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECURSOS HÍDRICOS, 1997, Vitória, 16-20 nov/1997, CD-ROM.

RIBEIRO, M. M. R. Alternativas para a Outorga e Cobrança pelo Uso da Água: Simulação de um Caso. 2000. 200f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Porto Alegre, 2000.

RIO GRANDE DO SUL. Decreto Estadual n. 47.137, de 1º de abril de 2010. Institui o Programa Estadual de Recuperação de Áreas de Preservação Permanente - APP's- e Reserva Legal, denominado Ambiente Legal, e dá outras providências. Disponível em <<http://www.sema.rs.gov.br>>. Acesso em 15 abr. 2010.

RIO GRANDE DO SUL. Lei n. 10.350, de 30 de dezembro de 1994. Institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos, regulamentando o artigo 171 da Constituição do Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: <www.al.rs.gov.br/legis>. Acesso em 10 mar. 2007.

RIO GRANDE DO SUL. Resolução Consema n. 100, de 15 de abril de 2005. Dispõe sobre o Plano Estadual de Regularização da Atividades de Irrigação para o Rio Grande do Sul. Disponível em: <www.sema.rs.gov.br>. Acesso em 10 mar. 2007.

ROBAINA, A. D. Hidráulica Agrícola A – Parte I. Apostila de aula. 98 p. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. Centro de Ciências Rurais. Santa Maria, RS. 2007.

ROBAINA, A. D., PEITER, M. X., PARIZI, A. R. C., SOARES, F. C., GOMES, A. C. S. Modelagem do volume de reservatórios de irrigação para fins de outorga e planejamento agrícola. Ciência Rural, Santa Maria, v.39, n.9, p.2482-2487, dez, 2009.

RODRIGUEZ, R. G. Metodologia para estimativa das demandas e das disponibilidades hídricas na bacia do rio Paracatu. 2004. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

SANTOS, A. H. O. Impacto da aplicação da legislação ambiental na produção orizícola da bacia hidrográfica do Arroio Grande. 2004. 95 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2005.

SARTORI, A.; LOMBARDI NETO, F.; GENOVEZ, A.M. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos. In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos. RBRH. Volume 10, n.4. 13p. 2006.

SATUJO S.A. Rubber Dams. Disponível em: <<http://www.satujo.com>> Acesso em: 12 set. 2008.

SAVATECH. Professional Environmental. Protection Products. Water Flow Management. Disponível em: <<http://www.savatech.com>>. Acesso em: 10 jun. 2009.

SCS - Soil Conservation Service. Estimation of direct runoff from storm rainfall. In: National Engineering Handbook. Section 4 – Hydrology. Chapter 10. Hydraulic Engineer. 30 p.1964.

SCS - Soil Conservation Service. A Method for Estimating Volume and Rate of Runoff in Small Watersheds. Technical. Paper: SCS-TP-149. Revisado em abril de 1973.

SEMA. Secretaria Estadual de Meio Ambiente. DRH. Departamento de Recursos Hídricos. Bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, DRH-SEMA-RS. Arquivo shapefile. Disponível em <http://www.sema.rs.gov.br>. Acesso em 02 julho. 2007.

SETTI, A. A.; LIMA, J. E. F. W.; CHAVES, A. G. M.; PEREIRA, I. C. Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos. 2. ed. Brasília: Agência Nacional das Águas, 2001. 328 p.

SHARMA, K. D., SINGH, S. Runoff estimation using Landsat Thematic Mapper data and the SCS model. Hydrological Sciences. Journal des Sciences Hydrologiques, 37 (1-2): 39-52. 1992.

SILVEIRA, G. .L. Quantificação de vazões em pequenas bacias com carência de dados fluviométricos. 1997. 172 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

SILVEIRA, G. .L.; CRUZ, J. C.; CRUZ, R. C. ; SILVEIRA, A. L. ; SILVA, C. E.; DEWES, R. ; IRION, C. A. O. Desenvolvimento de ações para implantação da outorga na bacia do Rio Santa Maria, RS. 2003.

SOUZA, J. I. Uma nova concepção de engenharia para resolver os problemas de saneamento no sistema de drenagem urbana de Joinville/SC: Barragem Inflável. Artigo não publicado. 2008.

_____. Informe técnico sobre Barragens Infláveis. Não publicado. 2009.

STRECK, E. V., et al. Solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: EMATER/RS; UFRGS, 2002.

SUMIGATE S.A. Inflatable Dams. Disponível em: <<http://www.sumigate.co>>m. Acesso em: 10 jul. 2008.

TANAKA, S.; SUGIMURA, T. A new frontier of remote sensing from IKONOS images. International Journal of Remote Sensing. V. 22, n.1, p. 1 – 5. 2001.

TASSI, R., ALLASIA, D. G., MELLER, A., MIRANDA, T. Determinação do parâmetro CN para as sub-bacias urbanas do Arroio Dilúvio – Porto Alegre/RS. In: I SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO SUL-SUDESTE. 2006, Curitiba. Anais eletrônico. Disponível em: <<http://www.rhama.net/download/artigos/artigo46.pd>>. Acesso em: 20 fev . 2009.

TELLES, D. D. Água na Agricultura e Pecuária. In: Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. Rebouças, A. C. et al. 3.º Edição Revisada e ampliada. 2006.

TIAGO FILHO, G. L. Estado da arte das PCH's. CERPCH – IRN. UNIFEI. Notas de aula, 2007. Disponível em: <<http://www.metodoeventos.com.br/iipch/downloads>>. Acesso em 10 jul. 2008.

TRELLEBORG. Inflatable Dams. Disponível em: <<http://www.trelleborg.co>>m. Acesso em: 10 jun. 2008.

TUCCI, C.E.M. Hidrologia: ciência e aplicação. 3. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS /ABRH,2002.

TUCCI, C.E.M. Modelos Hidrológicos. 1ª. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS /ABRH, 652 p. 1998.

WEBER, L. Consumo, qualidade da água e cultivares de arroz irrigado em diferentes sistemas de cultivo. 2000. 60 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2000.

ANEXOS

ANEXO I - Tempo necessário para inflar uma barragem flexível e diâmetro da tubulação.

| Time required to inflate with air - in minutes | | | | | | | | | |
|--|------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Height | Length [m] | | | | | | | | |
| [m] | 5,0 | 10,0 | 15,0 | 20,0 | 25,0 | 30,0 | 40,0 | 50,0 | 60,0 |
| 0,40 | 1,00 | 1,00 | 1,53 | 2,04 | 2,55 | 3,06 | 4,07 | 5,09 | 6,11 |
| 0,50 | 0,80 | 1,59 | 2,39 | 3,18 | 3,98 | 4,77 | 6,36 | 7,96 | 9,55 |
| 0,60 | 1,15 | 2,29 | 3,44 | 4,58 | 5,73 | 6,87 | 9,17 | 11,46 | 13,75 |
| 0,70 | 1,56 | 3,12 | 4,68 | 6,24 | 7,80 | 9,36 | 12,48 | 15,59 | 18,71 |
| 0,80 | 2,04 | 4,07 | 6,11 | 8,15 | 10,18 | 12,22 | 16,29 | 20,37 | 24,44 |
| 0,90 | 2,58 | 5,16 | 7,73 | 10,31 | 12,89 | 15,47 | 20,62 | 25,78 | 30,94 |
| 1,00 | 3,18 | 6,36 | 9,55 | 12,73 | 15,91 | 19,09 | 25,46 | 31,64 | 37,81 |
| 1,10 | 3,85 | 7,70 | 11,55 | 15,40 | 19,25 | 23,10 | 30,44 | 37,01 | 43,18 |
| 1,20 | 4,58 | 9,17 | 13,75 | 18,33 | 22,91 | 27,43 | 36,44 | 44,48 | 50,85 |
| 1,30 | 5,38 | 10,76 | 16,13 | 21,51 | 26,53 | 31,43 | 41,54 | 50,17 | 58,81 |
| 1,40 | 6,24 | 12,48 | 18,61 | 24,48 | 29,85 | 35,22 | 46,86 | 56,08 | 66,99 |
| 1,50 | 7,16 | 14,32 | 21,20 | 27,67 | 33,34 | 39,34 | 52,36 | 62,20 | 75,43 |
| 1,60 | 8,14 | 16,28 | 23,80 | 30,48 | 36,56 | 42,92 | 58,12 | 69,13 | 84,13 |
| 1,70 | 9,17 | 18,36 | 26,50 | 33,33 | 39,99 | 46,65 | 64,14 | 76,43 | 93,21 |
| 1,80 | 10,25 | 20,56 | 29,20 | 36,24 | 43,11 | 50,54 | 70,52 | 84,13 | 102,67 |
| 1,90 | 11,38 | 22,88 | 31,80 | 39,19 | 46,27 | 54,59 | 77,26 | 92,33 | 112,51 |
| 2,00 | 12,56 | 25,32 | 34,40 | 42,18 | 49,48 | 58,81 | 84,36 | 101,03 | 122,73 |
| 2,10 | 13,79 | 27,88 | 37,00 | 45,21 | 52,71 | 63,10 | 91,32 | 110,23 | 133,33 |
| 2,20 | 15,07 | 30,56 | 39,60 | 48,28 | 56,00 | 67,46 | 99,14 | 120,03 | 144,31 |
| 2,30 | 16,40 | 33,36 | 42,20 | 51,39 | 59,44 | 71,94 | 107,82 | 130,43 | 155,67 |
| 2,40 | 17,78 | 36,28 | 44,80 | 54,54 | 62,93 | 76,54 | 117,36 | 141,43 | 167,41 |
| 2,50 | 19,21 | 39,32 | 47,40 | 57,73 | 66,47 | 81,26 | 127,76 | 153,03 | 179,53 |
| 2,60 | 20,69 | 42,48 | 50,00 | 60,96 | 70,06 | 86,10 | 139,02 | 165,77 | 192,03 |
| 2,70 | 22,22 | 45,76 | 52,60 | 64,23 | 74,01 | 91,06 | 151,14 | 179,67 | 205,41 |
| 2,80 | 23,80 | 49,16 | 55,20 | 67,54 | 78,12 | 96,24 | 164,12 | 194,33 | 219,67 |
| 2,90 | 25,43 | 52,68 | 57,80 | 70,89 | 82,39 | 101,54 | 177,96 | 209,77 | 234,31 |
| 3,00 | 27,11 | 56,32 | 60,40 | 74,28 | 86,73 | 107,06 | 192,66 | 226,03 | 249,43 |

| Pipe diameter For air filled dams | |
|--------------------------------------|----------------|
| Dam air volume (m³) | Pipe dia. (mm) |
| $V \leq 50$ | 50 |
| $50 < V \leq 100$ | 80 |
| $100 < V \leq 200$ | 100 |
| $200 < V \leq 500$ | 150 |

Table of inflation times and inflation hoses

Fonte: Savatech (2009).

ANEXO II - Tempo necessário para injeção de água em uma barragem flexível e diâmetro da tubulação.

| Time required to inflate with water - in minutes | | | | | | | | | |
|--|------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| Height [m] | Length [m] | | | | | | | | |
| | 5,0 | 10,0 | 15,0 | 20,0 | 25,0 | 30,0 | 40,0 | 50,0 | 60,0 |
| 0,40 | 2,90 | 5,79 | 8,69 | 11,58 | 14,48 | 17,37 | 23,16 | 28,95 | 34,74 |
| 0,50 | 4,52 | 9,05 | 13,57 | 18,10 | 22,62 | 27,14 | 36,19 | 45,24 | 54,29 |
| 0,60 | 6,51 | 13,03 | 19,54 | 26,06 | 32,57 | 39,09 | 52,12 | 65,14 | 81,27 |
| 0,70 | 8,87 | 17,73 | 26,60 | 35,47 | 44,33 | 53,20 | 70,37 | 87,54 | 108,71 |
| 0,80 | 11,58 | 23,16 | 34,74 | 46,32 | 57,91 | 69,49 | 91,66 | 113,83 | 142,00 |
| 0,90 | 14,66 | 29,31 | 43,97 | 58,63 | 73,29 | 87,95 | 116,61 | 145,37 | 184,93 |
| 1,00 | 18,10 | 36,19 | 54,29 | 72,95 | 91,61 | 110,27 | 147,73 | 189,39 | 242,95 |
| 1,10 | 20,98 | 41,97 | 62,95 | 83,57 | 104,97 | 126,36 | 167,15 | 211,63 | 275,96 |
| 1,20 | 24,97 | 49,94 | 74,97 | 99,96 | 121,94 | 145,93 | 194,39 | 245,49 | 315,59 |
| 1,30 | 29,31 | 58,61 | 87,17 | 116,89 | 140,81 | 167,68 | 221,10 | 278,13 | 356,27 |
| 1,40 | 33,99 | 67,19 | 100,79 | 135,38 | 161,98 | 191,32 | 250,43 | 313,38 | 400,26 |
| 1,50 | 39,02 | 77,21 | 115,82 | 156,43 | 185,35 | 217,02 | 283,94 | 352,43 | 449,92 |
| 1,60 | 44,46 | 88,37 | 132,96 | 179,75 | 211,18 | 245,62 | 321,35 | 395,94 | 505,53 |
| 1,70 | 47,94 | 95,35 | 143,53 | 192,61 | 226,26 | 263,92 | 343,36 | 421,70 | 530,04 |
| 1,80 | 53,74 | 107,00 | 159,49 | 211,77 | 248,72 | 291,59 | 378,79 | 468,99 | 583,19 |
| 1,90 | 59,88 | 119,91 | 177,92 | 233,23 | 273,53 | 321,49 | 418,65 | 519,81 | 644,97 |
| 2,00 | 66,54 | 134,08 | 198,23 | 257,98 | 301,98 | 354,70 | 464,93 | 575,16 | 715,39 |
| 2,10 | 73,93 | 149,86 | 220,55 | 285,07 | 333,96 | 391,03 | 517,38 | 636,72 | 795,07 |
| 2,20 | 81,65 | 167,31 | 245,09 | 315,06 | 369,31 | 431,57 | 576,09 | 705,62 | 885,14 |
| 2,30 | 89,50 | 186,23 | 271,84 | 348,61 | 411,01 | 475,41 | 642,21 | 782,02 | 986,82 |
| 2,40 | 97,48 | 206,53 | 300,80 | 385,37 | 453,96 | 523,55 | 716,74 | 866,92 | 1099,11 |
| 2,50 | 105,58 | 228,98 | 332,97 | 426,33 | 500,17 | 575,00 | 799,67 | 960,34 | 1223,00 |
| 2,60 | 113,81 | 253,57 | 368,38 | 471,50 | 549,63 | 630,75 | 891,01 | 1062,26 | 1358,51 |
| 2,70 | 122,17 | 280,30 | 407,14 | 521,87 | 602,34 | 690,81 | 991,75 | 1173,68 | 1506,62 |
| 2,80 | 130,65 | 309,17 | 450,59 | 576,45 | 660,31 | 754,17 | 1101,89 | 1295,62 | 1667,34 |
| 2,90 | 139,26 | 340,18 | 499,92 | 635,22 | 723,53 | 821,83 | 1221,45 | 1429,06 | 1841,67 |
| 3,00 | 148,00 | 373,33 | 554,40 | 700,20 | 794,00 | 893,80 | 1350,40 | 1575,00 | 2030,61 |

| Water filled dams: pipe diameter | |
|----------------------------------|--------------------|
| Dam volume (m³) | Pipe diameter (mm) |
| $V \leq 200$ | 200 |
| $200 < V \leq 500$ | 300 |
| $500 < V \leq 700$ | 400 |
| $700 < V \leq 1200$ | 500 |

Fonte: Savatech (2009).

ANEXO III - Valores do parâmetro CN para áreas agrícolas (SCS, 1975).

| USO DO SOLO | SUPERFÍCIE | A | B | C | D |
|------------------------------|------------------------------------|----|----|----|----|
| Solo lavrado | com sulcos retilíneos | 77 | 86 | 91 | 94 |
| | em fileiras retas | 70 | 80 | 87 | 90 |
| Plantações regulares | em curvas de nível | 67 | 77 | 83 | 87 |
| | terraceado em nível | 64 | 76 | 84 | 88 |
| | em fileiras retas | 64 | 76 | 84 | 88 |
| Pastagens em curvas de nível | pobres | 47 | 67 | 81 | 88 |
| | normais | 25 | 59 | 75 | 83 |
| | boas | 6 | 35 | 70 | 79 |
| Campos permanentes | normais | 30 | 58 | 71 | 78 |
| | esparsas, de baixa transpiração | 45 | 66 | 77 | 83 |
| | normais | 36 | 60 | 73 | 79 |
| | densas, de alta transpiração | 25 | 55 | 70 | 77 |
| Florestas | muito esparsas, baixa transpiração | 56 | 75 | 86 | 91 |
| | esparsas | 46 | 68 | 78 | 84 |
| | densas, de alta transpiração | 26 | 52 | 62 | 69 |
| | normais | 36 | 60 | 70 | 76 |

ANEXO IV - Valores do parâmetro CN para áreas de ocupação urbana (SCS, 1975).

| USO DO SOLO | A | B | C | D | |
|--|----------------------|----|----|----|----|
| Espaços abertos: | | | | | |
| - Matos ou gramas cobrem 75% ou mais da área | 39 | 61 | 74 | 80 | |
| - Matos cobrem 50 a 75% da área | 49 | 69 | 79 | 77 | |
| Áreas comerciais (85% impermeáveis) | 89 | 92 | 94 | 95 | |
| Distritos industriais (72% impermeáveis) | 81 | 88 | 91 | 93 | |
| Áreas residenciais | | | | | |
| tamanho do lote (m ²) | área impermeável (%) | | | | |
| < 500 | 65 | 77 | 85 | 90 | 92 |
| 1000 | 38 | 61 | 75 | 83 | 87 |
| 1300 | 30 | 57 | 72 | 81 | 86 |
| 2000 | 25 | 54 | 70 | 80 | 85 |
| 4000 | 20 | 51 | 68 | 79 | 84 |
| Parques e estacionamentos, telhados e viadutos | 98 | 98 | 98 | 98 | |
| Arruamentos e estradas | | | | | |
| - Asfaltadas e com drenagem pluvial | 98 | 98 | 98 | 98 | |
| - Paralelepípedos | 76 | 85 | 89 | 91 | |
| - Terra | 72 | 82 | 87 | 89 | |

APÊNDICES

APÊNDICE I – Caracterização físico-hídrica do solo.

| PROF. (cm) | REPETIÇÃO | DENSIDADE DA PARTICULA | | DENSIDADE DO SOLO | | POROSIDADE TOTAL | | CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA | |
|---------------|-----------|-----------------------------|--------------------------------|----------------------------|-------------------------------|---|--|--------------------------|------------------------|
| | | Dp (g cm ⁻³) | Média (g cm ⁻³) | Ds (g/cm ³) | Média (g/cm ³) | PorTot (cm ³ /cm ³) | Média (cm ³ /cm ³) | Ksat média (mm/h) | Ksat média (mm/dia) |
| sup | 1 | 2,3660 | | 1,2453 | | 0,4737 | | 9,34 | |
| sup | 2 | 2,3660 | | 1,3345 | | 0,4360 | | 8,36 | |
| sup | 3 | 2,3660 | 2,3660 | 1,3140 | 1,2979 | 0,4446 | 0,4514 | 7,95 | 8,55 |
| 5 a 10 | 1 | 2,4669 | | 1,5376 | | 0,3767 | | 2,75 | |
| 5 a 10 | 2 | 2,4669 | | 1,4877 | | 0,3969 | | | |
| 5 a 10 | 3 | 2,4669 | 2,4669 | 1,4595 | 1,4949 | 0,4084 | 0,3940 | 1,66 | 2,205 |
| 20 a 25 | 1 | 2,5549 | | 1,4852 | | 0,4187 | | | |
| 20 a 25 | 2 | 2,5549 | | 1,4764 | | 0,4221 | | 0,28 | 0,28 |
| 20 a 25 | 3 | 2,5549 | 2,5549 | 1,4959 | 1,4858 | 0,4145 | 0,4184 | | |
| < 50 | 1 | 2,3635 | | 1,4405 | | 0,3905 | | 0,01 | |
| < 50 | 2 | 2,3635 | | 1,3874 | | 0,4130 | | 0,02 | 0,015 |
| < 50 | 3 | 2,3635 | 2,3635 | 1,4143 | 1,4141 | 0,4016 | 0,4017 | | |

APÊNDICE II – Vazões naturais na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, para o meses de novembro e dezembro, com base nos dados da estação fluviométrica Restinga Seca (85438000).

| FREQ. (%) | NOV | | | DEZ | | |
|--------------|--------------------|----------------|--------------------|--------------------|----------------|--------------------|
| | Q ₍₉₅₋₎ | Q _m | Q ₍₉₅₊₎ | Q ₍₉₅₋₎ | Q _m | Q ₍₉₅₊₎ |
| 3,57 | 35,1070 | 43,56822 | 52,0294 | 25,7545 | 43,3436 | 62,7259 |
| 7,14 | 27,3752 | 34,95950 | 42,5438 | 23,9613 | 37,0932 | 48,4318 |
| 10,71 | 21,6407 | 30,19236 | 38,7440 | 12,1883 | 16,3406 | 23,6618 |
| 14,29 | 19,2345 | 26,82557 | 35,3880 | 9,4715 | 15,2157 | 18,2432 |
| 17,86 | 18,2631 | 22,38797 | 27,4647 | 9,0193 | 13,0877 | 17,7117 |
| 21,43 | 14,9365 | 20,86300 | 25,5415 | 8,4637 | 10,1964 | 14,1023 |
| 25,00 | 14,2613 | 19,95516 | 24,9738 | 8,3140 | 10,1949 | 10,9212 |
| 28,57 | 13,1245 | 14,59323 | 16,3859 | 6,2875 | 9,3436 | 10,3732 |
| 32,14 | 11,3449 | 13,86538 | 16,0620 | 5,7683 | 7,4398 | 9,1113 |
| 35,71 | 10,8544 | 12,96149 | 15,6605 | 5,3896 | 6,8314 | 8,9083 |
| 39,29 | 10,2625 | 12,28651 | 15,0431 | 5,3466 | 6,7543 | 8,1189 |
| 42,86 | 8,7383 | 11,8907 | 13,7186 | 4,7544 | 6,2735 | 7,8108 |
| 46,43 | 8,3952 | 10,93264 | 13,4701 | 4,7361 | 6,0091 | 6,6715 |
| 50,00 | 8,2194 | 10,23301 | 12,2836 | 4,3771 | 4,9298 | 5,4825 |
| 53,57 | 8,1824 | 9,379337 | 11,0295 | 4,2477 | 4,8231 | 5,3984 |
| 57,14 | 7,8257 | 9,082494 | 10,9071 | 4,2359 | 4,6877 | 5,1481 |
| 60,71 | 7,6373 | 9,011653 | 10,5393 | 4,1541 | 4,6511 | 5,1395 |
| 64,29 | 7,1162 | 8,935087 | 10,3393 | 4,0138 | 4,4929 | 5,0536 |
| 67,86 | 6,8406 | 8,774819 | 9,9123 | 3,9455 | 4,4764 | 4,939 |
| 71,43 | 6,5735 | 7,461599 | 8,3497 | 3,9321 | 4,3451 | 4,7448 |
| 75,00 | 5,6862 | 6,523631 | 7,8883 | 3,8804 | 4,1158 | 4,3511 |
| 78,57 | 5,1590 | 6,285185 | 6,8842 | 3,7794 | 4,0254 | 4,2714 |
| 82,14 | 4,8111 | 5,465846 | 6,1206 | 3,7296 | 3,9811 | 4,2325 |
| 85,71 | 4,7123 | 5,007799 | 5,3033 | 3,5682 | 3,717 | 3,8658 |
| 89,29 | 3,9787 | 4,122396 | 4,2661 | 3,5524 | 3,5626 | 3,5728 |
| 92,86 | 3,9118 | 4,057916 | 4,2040 | 3,4676 | 3,5147 | 3,5685 |
| 96,43 | 3,5161 | 3,554497 | 3,5929 | 3,4609 | 3,4891 | 3,5107 |

APÊNDICE III – Vazões naturais na sub-bacia hidrográfica do Arroio Grande, para o meses de janeiro e fevereiro, com base nos dados da estação fluviométrica Restinga Seca (85438000).

| FREQ. (%) | JAN | | | FEV | | |
|--------------|--------------------|----------------|--------------------|--------------------|----------------|--------------------|
| | Q ₍₉₅₋₎ | Q _m | Q ₍₉₅₊₎ | Q ₍₉₅₋₎ | Q _m | Q ₍₉₅₊₎ |
| 3,57 | 31,3194 | 44,5785 | 57,8377 | 21,8016 | 28,7131 | 36,3812 |
| 7,14 | 22,0942 | 33,7965 | 45,4989 | 21,0449 | 28,2647 | 34,7277 |
| 10,71 | 13,3758 | 25,2421 | 37,1125 | 15,2313 | 23,5897 | 31,9480 |
| 14,29 | 13,3718 | 15,9711 | 18,5663 | 10,0923 | 13,4908 | 17,9309 |
| 17,86 | 9,9922 | 11,5904 | 13,1886 | 9,9518 | 11,514 | 13,2120 |
| 21,43 | 8,5637 | 9,1284 | 9,6931 | 9,0844 | 10,9184 | 12,9358 |
| 25,00 | 5,329 | 6,8704 | 8,4247 | 9,0506 | 10,5955 | 11,8850 |
| 28,57 | 5,3162 | 6,7599 | 8,2576 | 7,9790 | 10,4142 | 11,7440 |
| 32,14 | 5,0665 | 6,4729 | 8,1908 | 7,8892 | 8,7132 | 10,5681 |
| 35,71 | 5,0622 | 6,0859 | 7,8793 | 6,4979 | 8,3554 | 9,5373 |
| 39,29 | 4,1276 | 5,8451 | 6,628 | 6,1428 | 7,2141 | 7,9302 |
| 42,86 | 4,0535 | 4,4553 | 4,7831 | 5,9102 | 6,7876 | 7,7887 |
| 46,43 | 3,9141 | 4,2732 | 4,6902 | 5,7287 | 6,6729 | 7,6650 |
| 50,00 | 3,7786 | 4,1174 | 4,4929 | 5,677 | 6,5218 | 7,4669 |
| 53,57 | 3,7595 | 4,0800 | 4,3815 | 5,5572 | 6,3892 | 7,3148 |
| 57,14 | 3,7111 | 3,9892 | 4,3125 | 5,3116 | 6,2745 | 6,8721 |
| 60,71 | 3,666 | 3,9509 | 4,1424 | 4,6801 | 5,5526 | 6,4252 |
| 64,29 | 3,6318 | 3,8116 | 4,1059 | 4,5474 | 5,0500 | 5,5527 |
| 67,86 | 3,5944 | 3,8076 | 3,9834 | 4,4727 | 5,0061 | 5,5396 |
| 71,43 | 3,5446 | 3,7988 | 3,8865 | 4,4355 | 4,8585 | 5,4794 |
| 75,00 | 3,5173 | 3,6409 | 3,6873 | 4,4163 | 4,8010 | 5,2815 |
| 78,57 | 3,4997 | 3,5359 | 3,573 | 4,1227 | 4,7185 | 5,0208 |
| 82,14 | 3,4894 | 3,5292 | 3,5722 | 3,6479 | 3,8898 | 4,1316 |
| 85,71 | 3,4877 | 3,5277 | 3,5707 | 3,525 | 3,5733 | 3,6217 |
| 89,29 | 3,4824 | 3,4894 | 3,4897 | 3,4516 | 3,475 | 3,5028 |
| 92,86 | 3,46 | 3,4749 | 3,4894 | 3,4473 | 3,4691 | 3,4866 |
| 96,43 | 3,4314 | 3,4384 | 3,4453 | 3,4423 | 3,4506 | 3,4588 |

APÊNDICE IV – Seções transversais (Arroio do Meio).

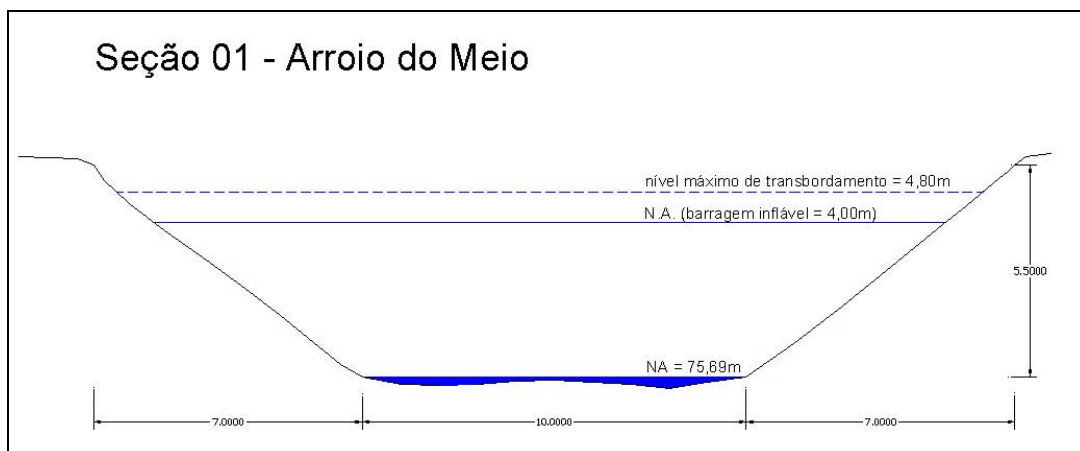


Figura IV.a – Seção transversal 01: Arroio do Meio.

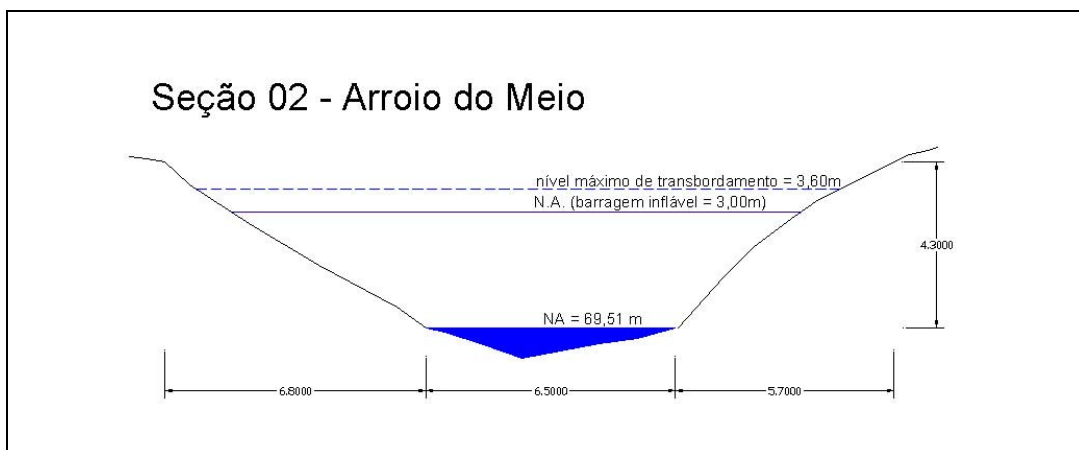


Figura IV.b – Seção transversal 02: Arroio do Meio.

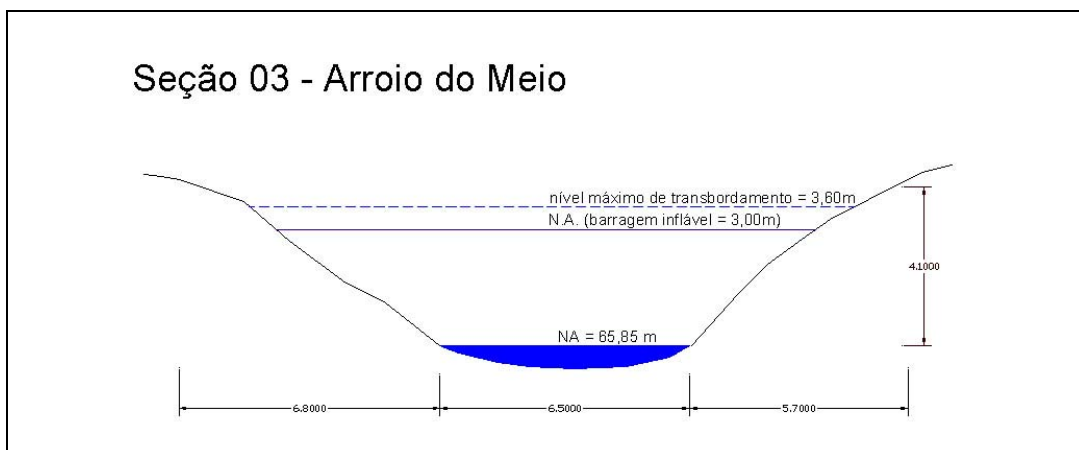


Figura IV.c – Seção transversal 03: Arroio do Meio.

APÊNDICE V – Seções transversais (Arroio Grande).

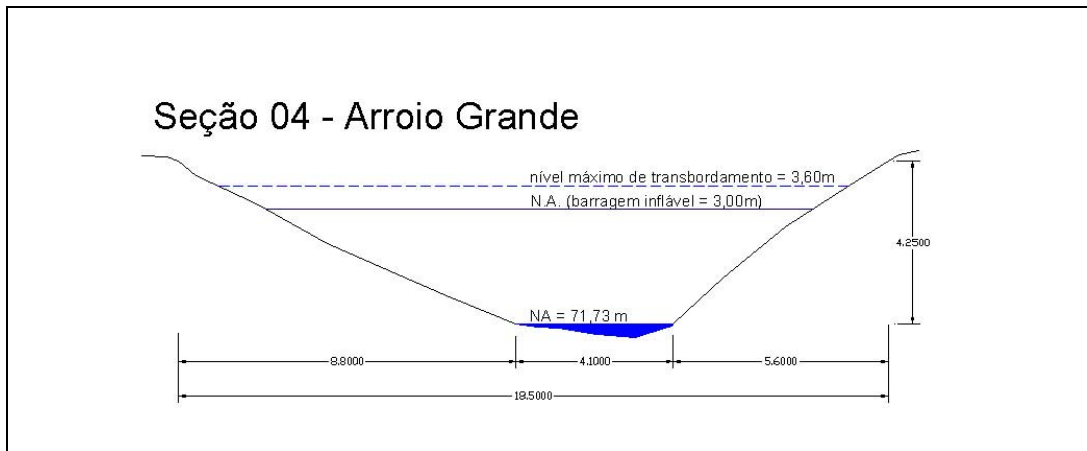


Figura V.a – Seção transversal 04: Arroio Grande.

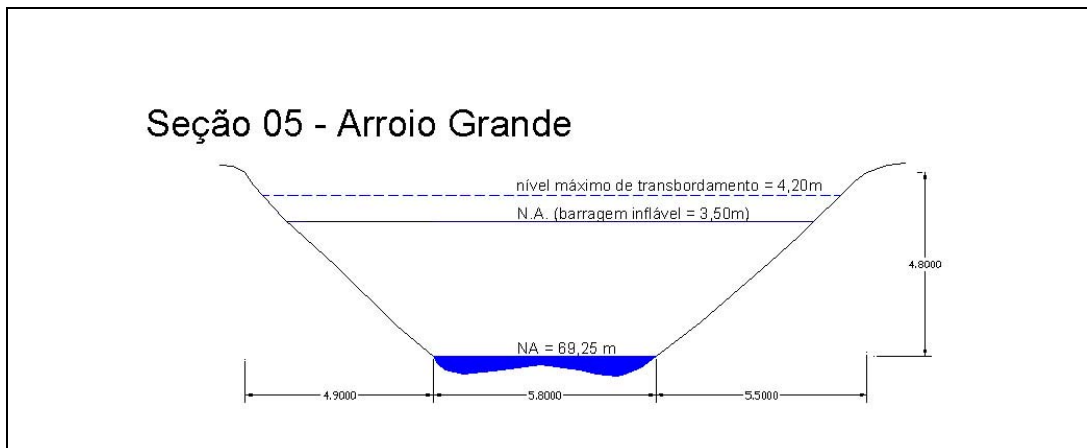


Figura V.b – Seção transversal 05: Arroio Grande.

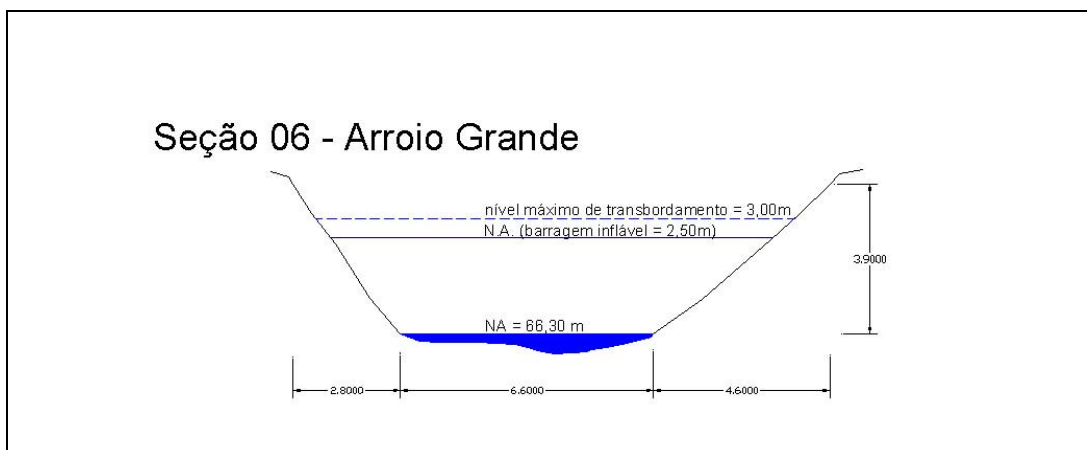


Figura V.c – Seção transversal 06: Arroio Grande.