

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

Elenice Broetto Weiler

**INDICADORES DE PERDA DE SOLO ESPACIALIZADOS COMO  
FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO PARA GESTÃO AMBIENTAL  
INTEGRADA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS**

Santa Maria, RS.  
2017



**Elenice Broetto Weiler**

**INDICADORES DE PERDA DE SOLO ESPACIALIZADOS COMO FERRAMENTA  
DE APOIO À DECISÃO PARA GESTÃO AMBIENTAL INTEGRADA DE BACIAS  
HIDROGRÁFICAS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de concentração em Manejo Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Florestal**.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Jussara Cabral Cruz

Santa Maria, RS.  
2017

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

Weiler, Elenice Broetto

INDICADORES DE PERDA DE SOLO ESPACIALIZADOS COMO FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO PARA GESTÃO AMBIENTAL INTEGRADA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS / Elenice Broetto Weiler.- 2017.

137 p.; 30 cm

Orientadora: Jussara Cabral Cruz

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2017

1. USLE COMO MODELO DO PROGNÓSTICO DE EROSIÃO 2. PERDA POTENCIAL DE SOLO 3. PLANEJAMENTO E GESTÃO AMBIENTAL INTEGRADA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS 4. ESTRATÉGIA METODOLÓGICA PARA ESTUDO DE POTENCIALIDADE DE USO DO SOLO PARA PLANEJAMENTO I. Cabral Cruz, Jussara II. Título.

---

© 2017

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

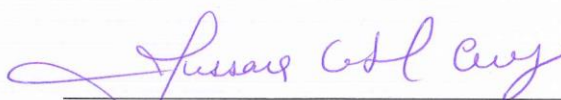
E-mail: elenicebroettoweiler@gmail.com

**Elenice Broetto Weiler**


**INDICADORES DE PERDA DE SOLO ESPACIALIZADOS COMO FERRAMENTA  
DE APOIO À DECISÃO PARA GESTÃO AMBIENTAL INTEGRADA DE BACIAS  
HIDROGRÁFICAS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de concentração em Manejo Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Florestal**.

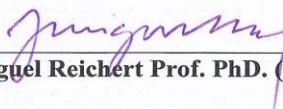
**Aprovado em 23 de fevereiro de 2017:**



**Jussara Cabral Cruz, Prof<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. (UFSM)**  
(Presidente/Orientadora)



**Flávio Luiz Foletto Eltz Dr. (UFSM)**



**Jose Miguel Reichert Prof. PhD. (UFSM)**

Santa Maria, RS.  
2017



## DEDICATÓRIA

*Ich bin Klein, mein Herz mach rein!  
Soll niemand drin wohnen als Jesus allein.  
Amen!*

Agradecida pelos ensinamentos e com imensa saudade dedico a Carlos Pedro Weiler  
*(In memoriam)*





## AGRADECIMENTOS

A concretização deste trabalho ocorreu, principalmente, pelo auxílio, compreensão e dedicação de várias pessoas. Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão deste estudo e, de uma maneira especial:

- a Deus, pela vida, pela proteção durante todo o percurso;
- aos meus pais José Paulo Weiler e Lourdes Broetto Weiler, hoje e sempre, todas as minhas conquistas! Meu reconhecimento e todo meu amor a vocês que são os pilares de minha vida;
- à Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, por me permitir concluir a graduação e mestrado de forma gratuita e de qualidade;
- à minha orientadora Professora Dra. Jussara Cabral Cruz pela oportunidade concedida à área de Manejo Florestal no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pela confiança em mim depositada, e pela pessoa humana, incentivadora e dedicada, grata pela orientação;
- ao meu namorado Adriano Fritzen, pelo companherismo e atenção nestes meses de estudo. Cada palavra de apoio refelete um pouco na concretização deste estudo e serei grata eternamente.
- ao grupo GERHI, em nome da professora Jussara Cabral Cruz, pela estrutura disponibilizada para execução deste trabalho;
- à Marília Tamiosso e Tiago Broetto, Décio Ferreto pela amizade, companhia na construção e execução desta pesquisa, por todo o tempo despreendido;
- às amigas e colegas Larissa Bittencourt, Keila Fernanda Hedlund, Calinca Barão de Ávila, Cleusa Zanchin e Ângela Maria Mendonça, pela amizade e pelo apoio, muitas vezes fundamental para a sequência das atividades de pesquisa e, em nome delas, agradeço a todos meus amigos.
- aos colegas, da Pós em Engenharia Sanitária e Ambiental, Engenharia Civil e Engenharia Florestal, que sempre, de uma forma ou de outra contribuíram.
- à CAPES pela bolsa de mestrado concedida.

Muito Obrigada!



*“Não é o mais forte que sobrevive, nem o mais inteligente, mas o que melhor se adapta às mudanças”.*

(Charles Darwin)

*“Não é sobre chegar no topo do mundo e saber que venceu, é sobre escalar e sentir que o caminho te fortaleceu”.*

(Ana Vilela)



## RESUMO

### INDICADORES DE PERDA DE SOLO ESPACIALIZADOS COMO FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO PARA GESTÃO AMBIENTAL INTEGRADA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

AUTORA: Elenice Broetto Weiler  
ORIENTADORA: Jussara Cabral Cruz

Com intuito de minimizar a degradação do solo (natural ou antrópica), têm-se buscado alternativas que visem o desenvolvimento econômico aliado ao desenvolvimento sustentável. Para produzir sem destruir, é preciso dentre muitas coisas conhecimento e planejamento. O estudo do potencial de erosão com a finalidade de diagnosticar áreas mais suscetíveis a perdas de solo (atual e potencial) em bacias hidrográficas pode auxiliar no planejamento de medidas preventivas de proteção do solo e dos recursos naturais, evitando prejuízos ao ambiente e às atividades humanas. Este estudo objetivou avaliar o uso do Equação Universal de Perda de Solo (USLE) espacializado como indicador de perda de solo e de suscetibilidade de áreas à erosão potencial; verificar quão sensível é a resposta do modelo ao cálculo da erosividade da chuva e à incerteza nos valores dos parâmetros do modelo em diferentes cenários de uso da terra; bem como propor uma metodologia para uso da ferramenta no apoio a decisão em gestão ambiental integrada de bacias hidrográficas. O modelo de cálculo da perda de erosão potencial utilizado foi baseado na Equação Universal de Perda de Solo (USLE) de Wischmeier e Smith (1978), com o auxílio de um Sistema de Informação Geográfica, o software ArcGis 10.2.1, onde os fatores de solo, pluviosidade, relevo, uso do solo e práticas conservacionistas foram espacializados para toda área de drenagem da bacia. A área de estudo localiza-se na Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí, nas coordenadas geográficas 29°00' e 29°30' de latitude Sul e 53°39' e 54°06' de longitude Oeste e com área de drenagem de 1541,9 km<sup>2</sup>. Insere-se na zona de transição entre Depressão Central e o Planalto Sul-Riograndense caracterizada por solos rasos a muito profundos, com predominância de Neossolo U.M. Guassupi (48,9%), com relevo plano a forte montanhoso, sendo drenada pelo Rio Toropi e Guassupi, que engloba os municípios de Tupanciretã, Quevedos, Júlio de Castilhos e São Martinho da Serra. As perdas de solo foram calculadas para a situação de uso atual do solo da bacia, bem como para os 32 cenários elaborados, com combinações de diferentes equações para cálculo do Fator R (Rufino et al., 1993, Cassol et al., 2007 e Santos, 2008) e diferentes situações de uso do solo. Após, em função do resultado, as áreas foram classificadas por faixas de erosão de acordo com metodologia de Ribeiro, 2006. As maiores porcentagens de área para o cenário de uso atual estão localizadas na classe de 1-10 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, classificadas como de baixa potencialidade erosiva. Já as classificadas como de perda potencial média de solo na bacia estão na ordem de 38,5; 32,1; 24,7; t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para as diferentes equações de R, o que evidencia um caráter erosivo de baixo a moderado na bacia. Comparando-se os diferentes cenários simulados, a análise realizada baseou-se na observação das diferenças na distribuição de áreas da bacia entre as classes de perda de solo potencial. Em relação à influência do Fator C (uso do solo) nas taxas de perda de solo, destaca-se que uso de Floresta Nativa proporciona as menores perdas, seguido de Agricultura no sistema SPS (Soja/Pastagem/Soja) e posteriormente Florestamento/Reflorestamento em todos os cenários testados com estes usos. Com o uso do modelo, foi concebida uma estratégia de aplicação com intuito de identificar áreas adequadas para cada tipo de uso, como apoio a planejamento de uso do solo. Considerando o uso atual, dentre os critérios adotados de tolerância a perda de solo, identificou-se que: 56,48% da área da bacia necessita de revisão do uso do solo, aqui chamado de planejamento, quando considerado o critério de até 10 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>; 21,58% para o critério de até 50 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e 12,44% para o critério de até 100 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Como prognóstico de usos do solo, estima-se que 810,62 km<sup>2</sup> da área da bacia sirvam para Agricultura - SPS e 328,61 km<sup>2</sup> para Florestamento/Reflorestamento quando adotado um limite de perda de solo potencial de 10 t.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Conclui-se que o modelo USLE espacializado possibilita a identificação de áreas suscetíveis à perdas de solo potencial, sendo possível quantificar e espacializar as áreas em conformidade com limites de perda de solo potencial e também aquelas que não toleram o uso do solo testado. Permite planejar áreas em função da definição de um limite tolerável de perda potencial de solo para um uso prioritário e reclassificar estes cenários com base neste limite. Ainda, o modelo USLE adaptado para SIG mostrou-se uma ferramenta robusta e sensível na diferenciação nos potenciais erosivos entre áreas com diferentes usos do solo, diferentes solos e diferentes declividades, sendo possível criar mapas variados para a bacia em estudo, fornecendo informações úteis para tomadores de decisão, que possam priorizar e implementar as melhores práticas de gestão para reduzir a carga de erosão.

**Palavras-chaves:** USLE. SIGs. Erosão Hídrica. Planejamento Ambiental.



## ABSTRACT

### SPACIALIZED INDICATORS OF SOIL LOSS AS A DECISION-MAKING TOOL FOR INTEGRATED ENVIRONMENTAL MANAGEMENT OF WATERSHEDS.

AUTHOR: Elenice Broetto Weiler

ADVISOR: Jussara Cabral Cruz

In order to minimize the soil degradation (natural or anthropic), we have sought alternatives that aim to the economic development allied to the sustainable development. To produce without destroying, knowledge and planning are needed among many things. The study of erosion potential in order to diagnose areas that are more likely to soil losses (current and potential) in watershed can help to prepare preventive measures to protect the soil and others natural resources, avoiding damages to the environment and the human activities. This study was aimed to evaluate the use of the Universal Soil Loss Equation (USLE) in a spacialized way as an indicator of soil loss and the susceptibility of areas to the potential erosion; to verify how sensitive the model's response is to the calculation of rainfall erosivity and the uncertainty in the values of the model parameters in different land use scenarios; as well as to propose a methodology for the use of this tool to support the decision on integrated environmental management of river watershed. The model of the potential erosion loss calculus used was based on the Universal Soil Loss Equation (USLE) of Wischmeier and Smith (1978), with the aid of a Geographic Information System, ArcGis 10.2.1 software, where the factors of soil, rainfall, relief, soil use and conservation practices were spacialized for the total drainage area of the watershed. The study area is located in the Ibicuí River Watershed at the geographic coordinates 29°00' and 29°30' South latitude and 53°39' and 54°06' West longitude with a total drainage area of 1541.9 km<sup>2</sup>. It is inserted in the zone of transition between Central Depression and the Sul-Riograndense Plateau characterized by shallow soils to very deep, with predominance of Entisol U.M. Guassupi (48.9%), with flat relief to very mountainous, being drained by the Toropi River, which encompasses the municipalities of Tupanciretã, Quevedos, Júlio de Castilhos and São Martinho da Serra. Soil losses were calculated for the current use situation of the watershed soil as well as for 32 elaborated scenarios with combinations of different equations to calculate the R factor (Rufino et al., 1993; Cassol et al., 2007 and Santos, 2008) and different land use situations. Then, in function to the result, the areas were classified by erosion bands according to Ribeiro's methodology, 2006. The largest area percentages for the current use scenario are located in the class of 1-10 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, classified as having low erosive potential. Those classified as mean potential loss of soil in the watershed are in the order of 38.5; 32.1; 24.7 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> for the different R equations, which shows a low to moderate erosive character in this watershed. Comparing the different simulated scenarios, the analysis was based on the observation of the differences in the distribution of watershed areas between the classes of potential soil loss. In relation to the influence of the C factor (soil use) on soil loss rates, it highlights that the use of native forest provides the lowest losses, followed by Agriculture in the SPS system (Soybean/Pasture/Soybean) and later on Forest/Reforestation in all scenarios tested with these uses. Using the model, an application strategy was designed to identify suitable areas for each type of use, such as support for the land use planning. Considering the current use, among the criteria adopted for tolerance to soil loss, it was identified that: 56.48% of the watershed area needs revision of the soil use, here called planning, when considered the criterion of up to 10 t.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>; 21.58% for the criterion of up to 50 t.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> and 12.44% for the criterion of up to 100 t.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. As a prognostic of land uses, it is estimated that 810.62 km<sup>2</sup> of the watershed area will serve for Agriculture - SPS and 328.61 km<sup>2</sup> for Forest./Reforestation when adopted a limit of potential soil loss of 10 t.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. In conclusion, the spacialized USLE model allows the identification of susceptible areas to potential soil losses, being possible to quantify and spatialize the areas in accordance with limits of potential soil loss and also those that do not tolerate the use of the soil tested. It allows to plan areas according to the definition of a tolerable limit of potential soil loss for a priority use and to reclassify these scenarios based on this limit. In addition, the USLE model adapted to GIS has proved to be a robust and sensitive tool in the differentiation of potential erosions between areas with different soil uses, different soils and different slopes, and it is possible to create varied maps for this studied watershed, providing useful information for decision makers who can prioritize and implement the better management practices to reduce the erosion load.

**Keywords:** USLE. GISs. Water Erosion. Environmental planning.





## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma da Abordagem Metodológica .....	47
Figura 2 - Mapa de Localização da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.....	48
Figura 3 - Bacia Hidrográfica Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	49
Figura 4 - Mapa de Solos da bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.....	50
Figura 5 - Classificação dos solos quanto à resistência aos impactos ambientais da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.....	53
Figura 6 - Mapa de Uso do Solo da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	55
Figura 7 - Mapa das Estações Pluviométricas utilizadas para cálculo do Fator R. ....	57
Figura 8 - Modelo Digital de Elevação da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.....	60
Figura 9 - Metodologia utilizada para elaboração do mapa potencial de perda de solo.....	64
Figura 10 - Erosividade da chuva calculada pelas diferentes equações para as estações climáticas na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.....	69
Figura 11 - Mapas do Fator Erosividade da Chuva (R) espacializado para diferentes equações. ....	70
Figura 12 - Mapa de Erodibilidade do Solo da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.....	71
Figura 13 - Mapa do Fator Topográfico da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.....	72
Figura 14 - Mapa do Fator Uso do Solo atual para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.....	73
Figura 15 - Mapas de Cenários do Fator C (Uso do Solo) para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	74
Figura 16 - Distribuição de áreas (km <sup>2</sup> ) nas classes de perda potencial de solo, nos 33 cenários para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.....	78
Figura 17 - Mapas de distribuição de Perda Potencial de Solo conforme critério de Ribeiro (2006), calculada pelo modelo USLE com diferentes valores de erosividade da chuva (R), calculados pelas equações de Rufino et al (1993), Cassol et al (2007) e Santos (2008) para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.....	80
Figura 18 – Comparativo de Perda Potencial Média de Solo por equação de cálculo da Erosividade da Chuva. ....	81
Figura 19 – Perda Potencial Média Acumulada nas classes de perda potencial de solos nos cenários USLE, USLE 04 e USLE 05, para uso atual da bacia com diferentes equações de erosividade da chuva para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.....	82
Figura 20 – Perdas Potenciais Médias de Solo por área acumulada (ha) na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.....	83
Figura 21 - Distribuição Percentual de Perda Potencial Total de Solo por classe de perda potencial de solo na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.....	83
Figura 22 – Distribuição Percentual de Perda Potencial Total de Solo por classe de perda potencial de solo na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.....	84
Figura 23 - Mapas de distribuição de Perda Potencial de Solo conforme critério de Ribeiro (2006), calculada pelo modelo USLE para diferentes usos do solo nos Cenários USLE, USLE 06, USLE 07, USLE 08 e USLE 09 para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	86
Figura 24 – Relação do Potencial Erosivo de cada cenário de uso do solo (Usle – Soja/Pastagem/Soja; Usle 06 – Soja/Pousio/Aveia; Usle 07 – Soja/Solo Exposto/Soja; Usle 08 – Soja/Aveia/Milho; Usle 09 – Pecuária) com as perdas potenciais médias para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	87
Figura 25 – Distribuição Percentual da Perda Potencial Total de Solo por Classe Potencial de Perda de Solo em diferentes cenários de uso do solo, USLE (Soja/Pastagem/Soja), USLE 06 (Soja/Pousio/Aveia), USLE 07 (Soja/Solo Exposto/Soja), USLE 08	

	(Soja/Aveia/Milho), USLE 09 (Pecuária) para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.....	88
Figura 26	– Percentual de Área por Classe de Perda Potencial de Solo para os Cenários USLE, USLE 06, USLE 07, USLE 08 e USLE 09 na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.....	88
Figura 27	- Mapas de Diferenças de Perdas Potenciais de Solo entre Cenário USLE 09 (Pecuária) e os Cenários USLE (Soja/Pastagem/Soja), USLE 06 (Soja/Pousio/Aveia), USLE 07 (Soja/Solo Exposto/Soja) e USLE 08 (Soja/Aveia/Milho) para Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.....	90
Figura 28	- Mapas de Distribuição de Perda Potencial de Solo conforme critério de Ribeiro (2006), calculada pelo modelo USLE para diferentes usos do solo nos Cenários USLE, USLE 10, USLE 11, USLE 12, USLE 13 e USLE 14 para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	92
Figura 29	– Relação do Potencial Erosivo de cada cenário de uso do solo (Usle – Uso Atual; Usle 10 – Soja/Pastagem/Soja; Usle 11 – Pecuária; Usle 12 – Florestamento/Reflorestamento; Usle 13 – Floresta Nativa; Usle 14 - Campestre) com as perdas potenciais médias para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	93
Figura 30	- Distribuição de área (Km <sup>2</sup> ) nas classes de Perda Potencial de Solo para os Cenários de uso do solo (USLE, USLE 10, USLE 11, USLE 12, USLE 13 e USLE 14) para Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.....	94
Figura 31	- Distribuição Percentual de Perda Potencial Total de Solo por classe de perda potencial de solo nos Cenários Usle (Uso Atual), Usle 10 (Soja/Pastagem/Soja), Usle 11 (Pecuária), Usle 12 (Florestamento/Reflorestamento), Usle 13 (Floresta Nativa) e Usle 14 (Campestre) na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	95
Figura 32	- Influência do Fator de Práticas Conservacionistas no uso do solo voltado à Agricultura – Soja/Pastagem/Soja com diferentes equações de erosividade da chuva para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.....	98
Figura 33	- Distribuição territorial (km <sup>2</sup> ) nas classes de Perdas Potenciais de Solo Chernossolo U.M. Ciríaco-Charrua no Cenário Atual (USLE), Cenário Agricultura SPS (USLE 10), Cenário Pecuária (USLE 11), Cenário Florestamento/Reflorestamento (USLE 12), Cenário Floresta Nativa (USLE 13) e Cenário Campestre (USLE 14), nas categorias de declividade para Bacia Cachoeira Cinco Veados - RS, em que: (a) 0-3%; (b) 3-8%; (c) 8-20%; (d) 20-45%; (e) 45-75%; (f) > 75%. ....	102
Figura 34	- Mapas de Distribuição de Perda Potencial de Solo Chernossolo U.M. Ciríaco-Charrua conforme critério de Ribeiro (2006), calculada pelo modelo USLE para todas as categorias de declividade encontradas no cenário atual da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	103
Figura 35	– Perdas Médias Potenciais de Solo em cada classe de declividade, para o Cenário de uso atual do solo (USLE), para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	104
Figura 36	- Distribuição territorial (km <sup>2</sup> ) com Perdas Potenciais de Solo Chernossolo U.M. Ciríaco-Charrua para a classe de 1-10 t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> no Cenário de uso do solo atual, (USLE), cenário com agricultura – soja/pastagem/soja (USLE 10), cenário com pecuária (USLE 11), cenário com florestamento/reflorestamento (USLE 12), cenário com floresta nativa (USLE 13) e cenário campestre (USLE 14), em todas as categorias de declividade (0 - >75%) para Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	105
Figura 37	- Mapas de Distribuição de Perda Potencial de Solo conforme critério de Ribeiro (2006), calculada pelo modelo USLE para declividade de 8-20% para os usos de solo com Agricultura, Campestre, Floresta Nativa, Pecuária, Florestamento/Reflorestamento para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	106

Figura 38 – Comportamento entre perdas Médias de Solo e Valor de C para a faixa de declividade entre 8-20%, para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	108
Figura 39 - Mapas de Localização de Áreas para Planejamento em relação a variável erosão para os limites de 10, 50 e 100 t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> , em diferentes sistemas com uso para Agricultura na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	112
Figura 40 - Mapas de Áreas para Planejamento com o uso de Agricultura soja/pastagem/soja e Florestamento/Reflorestamento com critério limitante de 100 t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	114
Figura 41 - Mapas com produto final do diagnóstico de planejamento elaborado como estratégia metodológica para estudo de potencialidade de uso do solo, para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	116
Figura 42 - Mapas com produto final do diagnóstico de planejamento elaborado como estratégia metodológica para estudo de potencialidade de uso do solo com (a) Florestamento/Reflorestamento e (b) Agricultura – PSP sob critério de 10 t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> de perda potencial de solo, para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	117



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores do Fator P para diferentes práticas conservacionistas.....	38
Tabela 2 - Classificação de Valores de Perda Potencial de Solo.....	39
Tabela 3 - População e Área (Km <sup>2</sup> ) dos municípios da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. .	48
Tabela 4 - Solos da Bacia Cachoeira Cinco Veados/RS classificados quanto à resistência aos impactos ambientais. ....	52
Tabela 5 - Classes de declividade e valores de Fragilidade atribuídos por classe. ....	54
Tabela 6 - Distribuição do uso do solo na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	55
Tabela 7 - Classes para interpretação dos índices de erosividade em unidades do sistema métrico (t.mm.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> ) e no sistema internacional (MJ.mm.ha <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> ).....	58
Tabela 8 - Classes de interpretação dos valores de erodibilidade do solo (K). ....	59
Tabela 9 - Cenários de Equação Universal de Perda de Solo, em que R – erosividade da chuva, K – erodibilidade do solo, LS – fator topográfico, C – uso do solo, P – práticas conservacionistas, para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.....	65
Tabela 10 - Área enquadrada em cada classe de Perda Potencial de Solo nos cenários realizados para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	75
Tabela 11 - Distribuição de áreas nas classes de perda potencial de solo diante da comparação dos cenários de uso do solo (USLE 09 em relação ao USLE, USLE 06, USLE 07 e USLE 08) para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.....	91
Tabela 12 – Valores médios de perda de solo potencial para cenários com usos do solo distintos, Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	107
Tabela 13 - Reclassificação de Áreas com diferentes usos do solo para uso em planejamento, Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.....	110
Tabela 14 - Reclassificação de Áreas com diferentes cenários de usos rotativos com agricultura para planejamento, Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	110
Tabela 15 - Distribuição de áreas conflitantes, potenciais e para planejamento com uso de solo para agricultura – soja/pastagem/soja e florestamento/reflorestamento sob critérios limitantes de 10 e 100 t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> para a Bacia Cachoeira Cinco Veados – RS....	113



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Zoneamentos e estudos ambientais no Brasil.....	43
Quadro 2 - Características dos solos presentes na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. ....	51
Quadro 3 - Descrição das estações climáticas utilizadas para cálculo do fator R. ....	56
Quadro 4 - Valores de K para os solos para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.....	59
Quadro 5 - Valores de C para uso do solo considerado na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS. .....	61
Quadro 6 - Cenários de Fator Uso do Solo (C) da USLE. ....	62
Quadro 7 - Erosividade da chuva para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.....	68
Quadro 8 - Porcentual de variação de área dos Cenários de Agricultura SPS (ULE 10), Pecuária (USLE 11), Florestamento/Reflorestamento (USLE 12), Floresta Nativa (USLE 13) e Campestre (USLE 14) comparados ao Cenário Atual (USLE).....	96
Quadro 9 - Quantificação Territorial (Km <sup>2</sup> ) por classes de Perda Potencial de Solo Chernossolo U.M. Ciríaco-Charrua no Cenário Atual (USLE), Cenário Agricultura SPS (USLE 10), Cenário Pecuária (USLE 11), Cenário Florestamento/Reflorestamento (USLE 12), Cenário Floresta Nativa (USLE 13) e Cenário Campestre (USLE 14), em todas as categorias de declividade (0 - >75%) para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.....	99





## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>23</b>
1.1	OBJETIVOS .....	25
1.1.1	Objetivo Geral .....	25
1.1.2	Objetivos Específicos .....	25
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>27</b>
2.1	EROSÃO.....	27
2.1.1	Erosão Hídrica e a Degradação do Solo.....	28
2.1.2	Erosão Hídrica e o Uso do Solo.....	30
2.2	USLE COMO MODELO DO PROGNÓSTICO DE EROSÃO .....	32
2.2.1	Fator R – Erosividade da Chuva .....	35
2.2.2	Fator K – Erodibilidade do solo.....	35
2.2.3	Fator LS – Fator Topográfico.....	36
2.2.4	Fator C – Uso do Solo .....	38
2.2.5	Fator P – Práticas Conservacionistas.....	38
2.3	PERDA POTENCIAL DE SOLO: VALORES DE REFERÊNCIA .....	39
2.4	PLANEJAMENTO E GESTÃO AMBIENTAL INTEGRADA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS .....	40
2.4.1	Gestão Ambiental.....	40
2.4.2	Planejamento Ambiental .....	41
2.4.3	Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) como Instrumentos de Planejamento .....	44
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>47</b>
3.1	CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO .....	47
3.1.1	Bacia Cachoeira Cinco Veados .....	47
3.2	UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION (USLE) .....	56
3.2.1	Fator R – Erosividade da Chuva .....	56
3.2.2	Fator K – Erodibilidade do Solo .....	58
3.2.3	Fator LS – Fator Topográfico.....	59
3.2.4	Fator C – Uso do Solo .....	61
3.2.5	Fator P – Práticas Conservacionistas.....	64
3.3	PERDA POTENCIAL DE SOLO POR UNIDADE DE ÁREA (t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> ).....	64
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>67</b>
4.1	PARÂMETROS DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO USLE.....	67
4.1.1	Fator R - Erosividade da Chuva .....	67
4.1.2	Fator K - Erodibilidade do Solo.....	70
4.1.3	Fator LS - Fator Topográfico .....	71
4.1.4	Fator C - Uso e Manejo do Solo .....	72
4.2	PERDA POTENCIAL DE SOLO POR UNIDADE DE ÁREA (t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> ) DA BACIA CACHOEIRA CINCO VEADOS, RS.....	75
4.2.1	Influência da Erosividade da Chuva .....	79
4.2.2	Influência da Cobertura do Solo.....	85
4.2.3	Influência das Práticas Conservacionistas.....	97
4.2.4	Influência combinada da Declividade e o Tipo de Solo em cada Uso.....	98
4.3	ESTRATÉGIA METODOLÓGICA PARA ESTUDO DE POTENCIALIDADE DE USO DO SOLO PARA PLANEJAMENTO .....	109
4.3.1	Roteiro de Análise Hierárquica entre Usos .....	114

<b>4.3.2 Roteiro de Análise por Uso .....</b>	<b>116</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>119</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>121</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Não é de hoje a preocupação com as questões ambientais e os recursos naturais do país. Há tempos que a sociedade discute causas, consequências e possíveis ações de prevenção, diagnóstico e mitigação. Mas, para isso é preciso ter bem esclarecido o que de fato é natural ou provocado por ações humanas.

Questões relacionadas a clima, água, solo e vegetação são complexas de avaliar, visto o conjunto de características que as compõem. O conhecimento técnico e científico auxilia no esclarecimento de dúvidas e tomadas de decisão relacionadas às questões do ambiente.

Fatores causadores de degradação ambiental são percebidos cotidianamente, mas não analisadas corretamente por vezes, ocorrendo exageros por parte da mídia e não dando devido julgamento, seja científico ou técnico (SILVA, 2009). Um ponto relevante, por exemplo, trata da degradação do solo (física e química), pois em elevadas taxas compromete a produção e, na maioria das vezes, têm sua causa vinculada à erosão hídrica.

A erosão por ação hídrica tem causa natural, mas pode agravar-se por meio do uso de técnicas inadequadas de manejo do solo, bem como o uso do mesmo. Jorge e Guerra (2013, p. 8) destacam que “os problemas relativos à erosão ocorrem quando as taxas de perda do solo ultrapassam níveis naturais, geralmente por falta de práticas conservacionistas”.

Conforme Araújo et al. (2007), a forma mais comum de erosão, por ação hídrica, é quando perde-se a camada superficial do solo.

A perda dessa camada de solo reduz a fertilidade porque: (a) conforme o solo se torna mais denso e fino, fica menos penetrável às raízes e pode se tornar superficial de mais a elas; (b) reduz-se a capacidade de o solo reter água e torná-la disponível às plantas, e (c) os nutrientes para as plantas são lavados com as partículas de solo erodidas (ARAÚJO et al., 2007, p. 24).

Características do clima, relevo, cobertura vegetal e tipo de solo devem ser levadas em consideração ao planejar uma área, independente da finalidade, pois atividades onde ocorre remoção da cobertura protetora do solo juntamente com adoção de medidas inadequadas de uso, tornam-se propensas a causar erosão (ARAÚJO et al., 2007).

Em regiões tropicais onde as chuvas podem ser intensas, a erosão é percebida quando observa-se os rios com excesso de sedimentos, conseqüentemente causando assoreamento dos mesmos (ASHMAN e PURI, 2002).

De acordo com Ashman e Puri (2002, p. 8),

A erosão dos solos não é apenas um problema para as áreas em que ocorre, ao diminuir a quantidade de nutrientes no topo do solo, mas também causa assoreamento e poluição nos lugares em que os sedimentos se depositam, em especial, quando se trata de reservatórios, rios, lagos e açudes.

Cotidianamente, municípios, estados e países procuram elevar seus padrões de desenvolvimento, almejando níveis satisfatórios. Contudo, é preciso integrar o setor econômico com o setor social, ambiental e político, fazendo-se necessária uma combinação entre os diferentes campos, principalmente relacionando produção econômica e a capacidade de fornecimento dos recursos da natureza, seja qual for a atividade desenvolvida, evitando degradar o ambiente.

Diante desse cenário de crescente consciência ambiental, há discussões por parte da sociedade que, descontente com o modelo de produção (em muitos casos), vê a necessidade de utilização de tecnologias que assegurem uma minimização da degradação e que visem à conservação dos recursos ambientais.

Para produzir sem destruir, é preciso conhecimento e planejamento, recursos humanos capacitados e conscientização de trabalho em equipe, bem como trabalho em diferentes escalas de análise e de forma integrada. Essa estratégia favorece o processo de obtenção de informações a fim de manejar adequadamente os recursos naturais, além de subsidiar os planos de bacias, o zoneamento econômico-ecológico, os planos de irrigação e conservação ambiental, entre outros.

Dentre as variáveis a serem consideradas nos processos de planejamento, tem-se a perda potencial de solo por erosão hídrica. Muitas metodologias tem sido desenvolvidas para considerar esse fator no planejamento, dentre elas a equação Universal de Perda de Solo – USLE que é uma ferramenta de simples processamento de dados, e com potencial de resultados satisfatórios em nível de bacia hidrográfica se utilizada de forma espacializada em ferramenta SIG. Com intuito de auxiliar prefeituras, órgãos ambientais, empresas, sociedade, como uma ferramenta de apoio a decisão em planejamento, e com foco no critério de prevenção de perdas de solo, este estudo analisa o uso da USLE espacializada em nível de bacia hidrográfica.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste estudo é avaliar o uso da Equação Universal de Perda de Solo (USLE) como modelo espacializado indicador de perda de solo e como ferramenta de apoio à decisão para gestão ambiental integrada de bacias hidrográficas, com estudo de caso na Bacia Cachoeira Cinco Veados - RS.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar a suscetibilidade à erosão potencial das áreas na Bacia Cachoeira Cinco Veados;
- Verificar quão sensível é a resposta do modelo espacializado ao cálculo da erosividade da chuva;
- Verificar quão sensível é a resposta do modelo espacializado em resposta à incerteza nos valores dos parâmetros do modelo em diferentes cenários de uso da terra;
- Propor uma metodologia para uso da ferramenta em planejamento.



## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 EROÇÃO

Considerada um fenômeno natural por Jorge e Guerra (2013), a erosão pode ocorrer em todas as paisagens que possuam algum tipo de declividade, geralmente superior a 3°.

Para Carvalho (2008, p. 5),

A erosão corresponde à separação e remoção da partícula da rocha e do solo pela ação da água, do vento ou por outro efeito, sendo que diversos fenômenos têm ação preponderantemente nesse processo. A erosão é tanto mais intensa quanto menos for a proteção do solo. Estando a partícula solta, é deslocada de sua posição, podendo ser transportada pelas enxurradas para os cursos d'água. A partícula pode ir logo aos cursos d'água ou ficar retida em depressões ou terrenos planos.

Silva (2009, p. 44) explica que quanto à natureza, a erosão classifica-se,

Em erosão normal, ou em erosão acelerada; a primeira representa a erosão de caráter natural que vem ocorrendo desde os primórdios da formação geológica da Terra; enquanto a erosão acelerada decorre pela ação humana, principalmente, em função das modificações no uso da terra. Este tipo de erosão está intimamente ligado às características do meio físico e, também, da ação antrópica sobre a vegetação, geometria do relevo (através de obras de engenharia) e características dos solos, por exemplo, a compactação dos solos pelo maquinário agrícola (proporcionando uma redução na infiltração dos solos).

A erosão pode causar danos e muitos problemas, às vezes, irreversíveis. Nas cabeceiras dos rios provoca a destruição de nascentes; aumenta o risco de desertificação; em zonas agrícolas promove a remoção da camada fértil, com empobrecimento do solo; destruição de obras visto o desprendimento de taludes; altera condições de escoamento da água na superfície e na calha dos rios; produção de sulcos em locais indejesáveis (CARVALHO, 2008).

Estudar a erosão é importante diante dos aspectos sociais e econômicos, pois está relacionada com perdas na agricultura e em outras áreas, como também pelos efeitos indiretos de assoreamento dos rios e lagos. Complicados e condicionados, os processos erosivos devem ser estudados e entendidos considerando as formas de erosão, os agentes erosivos e os tipos de erosão (CARVALHO, 2008). No Quadro 1, temos um esquema geral da erosão.

No Brasil, o agente que se destaca é a água. Dependendo do clima e da topografia, os agentes de erosão podem atuar individual ou conjuntamente, mas sempre se processando em três fases: desagregação, transporte e deposição (GALETI, 1973).

Para se ter diagnóstico de bacias hidrográficas e, assim, poder tomar medidas preventivas de proteção se estuda o potencial de erosão, erosividade das chuvas, erodibilidade dos solos, uso e ocupação do solo, riscos de diversos tipos de erosão, riscos de desertificação, áreas florestadas e desflorestadas (CARVALHO, 2008).

A ocupação urbana e rural precisa ser avaliada e planejada com cautela, para evitar dificuldades futuras com relação aos processos erosivos. Para Salomão (2010) há como controlar os processos erosivos, seguindo requisitos dentro da legalidade e com planejamento apropriado, adequando áreas já ocupadas, e na implantação de novas ocupações.

Segundo Salomão (2010, p. 265), “essas ações de controle da erosão somente podem ser corretamente introduzidas, se ligadas a um bom conhecimento das condicionantes ligadas aos fatores do meio físico e da ocupação”. Com base em relatos de Farias (1984), entende-se que,

É importante detectar os lugares onde a erosão se encontra mais avançada, visando definir medidas de correção e proteção ao meio, detectar as zonas mais sensíveis à erosão ao se planejar uma mudança de uso do solo e detectar os lugares onde o fenômeno erosivo é ou pode ser mais intenso com o propósito de se evitar prejuízos sobre as obras humanas. É importante, portanto, dimensionar nos estudos a erosão atual (erosão que existe num determinado lugar, no momento presente) e a erosão potencial (susceptibilidade à erosão) (ABDON, 2004, p. 30).

A forma mais direta de controle da erosão trata da implementação de práticas conservacionistas, dentre as quais se destaca o manejo de unidades hidrográficas como a mais promissora (FU e GULINK, 1994; QUINE et al., 1994).

### **2.1.1 Erosão Hídrica e a Degradação do Solo**

A erosão hídrica superficial pode se processar em forma de erosão pluvial, erosão por escoamento difuso, erosão por escoamento difuso intenso, erosão laminar e erosão por escoamento concentrado (CARVALHO, 2008).

Bertoni e Lombardi Neto (2010) definem a erosão hídrica como sendo decorrente da ação das águas, originando-se da ação da chuva num primeiro momento e posteriormente pelo escoamento superficial. Têm-se então a erosão pelo impacto da chuva (*splash*), a erosão laminar, a erosão em sulcos, as voçorocas, a erosão em pedestal e a erosão em pináculo.



Mafra (2010, p. 302) escreve que “a erosão hídrica consiste basicamente numa série de transferência de energia e matéria geradas por um desequilíbrio do sistema água/solo/cobertura vegetal, as quais resultam numa perda progressiva do solo”.

Quando a intensidade da chuva excede a capacidade de infiltração do solo, o escoamento superficial começa a ocorrer, provocando erosão (FULLEN e CATT, 2004). Quase uniformemente em toda a superfície, a erosão laminar consiste na remoção de camadas de solo, resultante da degradação por impacto das gotas da chuva e pela ação do escoamento da mesma (DE LLANO e CRIADO, 1968).

A formação de uma pequena abertura no solo é vista quando da queda de uma gota de água em solo exposto e horizontal, movendo as partículas de solo em distâncias e direções diferentes (DURLO e SUTILI, 2014). As gotas que caem em terrenos inclinados também desagregam as partículas, provocando o deslocamento e lavagem do solo, removendo assim a camada superficial (CARVALHO, 2008).

De Llano e Criado (1968) comentam que a erosão laminar nem sempre é fácil de ser vista, permanecendo por vezes totalmente oculta. Como sinais da ocorrência de erosão os autores citam a existência de plantas com sistema radicular descoberto; presença de pequenos montes de solo; invasão de espécies vegetais características de solos degradados e abundância de pedras na superfície do solo (quando não for característica do mesmo).

De Llano e Criado (1968, p. 33) explicam que a erosão laminar,

Generalmente tiene lugar, em mayor o menor grado, siempre que corre el agua em suelos desprovistos de vegetación, como lo evidencia el hecho de que em tales suelos las aguas se vean fluir más o menos lodosas y no tam claras como en las áreas com cubierta arbórea o herbácea. Son áreas propicias, aquellos terrenos de suelo superficial que descansan em um subsuelo impermeable y, em general, todos aquellos suelos de poca cohesión y de escaso contenido em materia orgánica.

Alguns fatores influenciam as perdas de solo por erosão laminar. Salomão (2010) concorda que a chuva, a cobertura vegetal, a topografia e os tipos de solo destacam-se. Para Galetti (1973) quanto maior a infiltração e evaporação, menor o escoamento e possibilidade de erosão. Na mesma linha de pensamento, Mafra (2010) diz que mais efetiva é a erosão, quanto menor for sua infiltração.

A água da chuva provoca a erosão por meio do impacto da gota d'água com o solo, exercendo maior ou menor conflito conforme a energia e a velocidade com que atinge a superfície. A cobertura vegetal influencia as taxas de perda de solo, uma vez que o solo coberto, está protegido naturalmente contra a erosão. A topografia do terreno influencia pela

declividade e comprimento da encosta e os solos exercem influência devido às suas propriedades físicas (textura, estrutura, permeabilidade e densidade), e às suas propriedades químicas, biológicas e mineralógicas (SALOMÃO, 2010).

Impactos causados pela perda do solo por erosão podem ser observados em estradas, cidades, regiões desmatadas, regiões agrícolas, promovendo danos nocivos a economia e ao ambiente (CARVALHO, 2008).

O assoreamento dos rios e reservatórios das barragens também causam impactos econômicos. A erosão da calha do rio, em locais de estruturas hidráulicas, como pilares de ponte, cais de portos e tomadas d'água pode provocar a inutilização das obras. A erosão e o assoreamento possibilitam maior frequência e intensidade de enchente, alterações ecológicas que afetam fauna e flora (ABDON, 2004).

Na agricultura, o principal efeito destrutivo, é a perda da camada do horizonte A, rica em nutrientes, aerada e com fácil acesso a água, permitindo a remoção de produtos químicos que muitas vezes são caros. Carvalho (2008, p. 62) diz que:

A degradação do solo torna-o improdutivo, exigindo grandes gastos com fertilizantes que nem sempre substituem a contento a matéria orgânica e outros constituintes antes existentes. A improdutividade do solo provoca efeitos nocivos com reflexos sociais e econômicos.

Baseado em mais de duas mil publicações científicas, envolvendo 600 pesquisadores de 60 países, estudo revela que 30% dos solos do mundo estão degradados (FAO e ITPS, 2015). Estima-se que 23% de terras utilizáveis foram afetadas pela degradação em um grau suficiente para reduzir sua produtividade (OLDEMAN et al., 1990; UNEP, 1992).

### **2.1.2 Erosão Hídrica e o Uso do Solo**

Interação entre a expansão agrícola, o comércio de madeiras, crescimento populacional, construção de estradas, governança pública estão entre os fatores que influenciam o desmatamento em florestas tropicais, e apresentam comportamento diferenciado dependendo de cada região (GEIST e LAMBIN, 2001). Ainda, para Margulis (2003) e Castro (2005) a pecuária é a principal atividade responsável pela maior parte do desmatamento, visto ser uma atividade rentável.

No estado do Rio Grande do Sul o desmatamento está estreitamente relacionando com o aumento da área agrícola que ocorreu com a migração de colonos e seus descendentes para

novas áreas. Como em outras regiões, o crescimento populacional e a consequente urbanização também influenciaram os altos índices de desmatamento (BUBLITZ, 2006).

Bublitz (2006, p. 14) conclui que,

a colonização européia no Rio Grande do Sul, baseada no regime de trabalho familiar e predominantemente livre do imigrante, na distribuição de pequenos lotes de terras e na opção pela policultura, quase sempre figurou na historiografia gaúcha como um dos principais fatores do desenvolvimento regional. Entretanto, esse processo de ocupação envolveu formas de apropriação da natureza que alteraram de forma decisiva o meio ambiente sulino.

O relatório técnico ‘Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica período 2012-2013’, coordenado pela Fundação SOS Mata Atlântica e INPE aponta desmatamento de 23 948 ha, de remanescentes florestais nos 17 Estados da Mata Atlântica no período de 2012 a 2013, um aumento de 9% em relação ao período anterior (2011-2012), que registrou 21 977 ha.

A inexistência da vegetação na superfície dos solos é um facilitador para ocorrer erosão. Para Kirkby e Morgan (1984) a terra potencialmente erodível, pode ser identificada por muitos fatores, como pela suas características e propriedades, bem como seu uso. Ainda dependendo do uso, se tem maior ou menor perda de solo. Lepsch (1977) e Bertoni e Neto (1985) encontraram valores de  $0,004 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  em solos cujo uso é mata nativa,  $0,7 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  para pastagem,  $1,1 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  para cafezal e  $38 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  para algodão, para cultura de milho  $12 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , soja  $20,1 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  e arroz  $25,1 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ .

Rufino et al. (1985) ao analisarem perdas de solo em Podzólico Vermelho-Amarelo sob cultivo de café, verificaram valores entre 30,03 e  $133,2 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . Dechen et al. (1981) avaliaram efeitos de gramíneas e leguminosas no controle de erosão, onde as perdas de solo variaram de 0,1 a  $35 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , e perdas de água de 0,6 a 8,8% sendo as menores perdas de solo e água para as gramíneas e as maiores para as leguminosas, mostrando assim maior eficiência na proteção ao solo daquelas.

Entre as formas de exploração agropecuária, as pastagens são consideradas como o tipo de ocupação agrícola que confere alta proteção ao solo. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2010), as gramíneas formadoras das pastagens são plantas, cuja densidade de hastes e sistema radicular adaptam-se bem no controle da erosão. Pela sua capacidade de diminuir a intensidade da enxurrada e prender as partículas de solo contra a pressão da água, formando pequenas rugosidades no terreno, agem como minúsculas barragens e retardam o movimento da água.

Bono et al. (1996) desenvolveram pesquisas em pastagem nativa e melhorada, em Latossolo Vermelho-Escuro e Cambissolo, obtendo perdas de solo de  $18 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  na pastagem nativa, e de  $6,8 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  na pastagem melhorada, enquanto no Cambissolo, as perdas foram de  $39,7 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , na pastagem nativa, e de  $24,4 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , na pastagem melhorada. Estes resultados sugerem que as pastagens nativas são mais suscetíveis as perdas de solo por erosão.

Em sistemas agrícolas Silva et al. (1992), encontraram perdas de solo entre 0,1 e  $31,8 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , assim como outros autores como Nunes Filho et al. (1990) e Hernani et al. (1997; 1999) encontraram valores parecidos em Podzólico Vermelho-Amarelo textura franco-arenosa.

Os sistemas florestais homogêneos de eucalipto têm sido expandidos ocupando grandes áreas, mas ainda há uma lacuna na área do conhecimento, em relação à estudos com perdas de solo e água em sistemas florestais, principalmente no Brasil. Florestas de pinus e eucalipto ou áreas de reflorestamento, em estágio de completa formação arbórea, apresentam alta densidade de cobertura vegetal com acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo, favorecendo a proteção do solo. Em condições naturais, as copas das árvores, a vegetação de sub-bosque e, principalmente, a serrapilheira de uma floresta, fazem o papel de “amortecedores” da energia cinética contida na gota d’água da chuva, impedindo o contato direto entre a gota d’água e as partículas do solo, evitando o salpicamento (SILVA et. al., 2003).

Visto que com diferentes culturas, em diferentes estágios de crescimento ocorre uma mudança nas taxas de perda de solo, e é preciso atender-se a melhor escolha de uso e manejo dos solos em cada situação exposta do ambiente, bem como identificar as áreas mais suscetíveis a erosão. Para Mafra (2010) a identificação dos fatores relacionados à atuação dos processos erosivos e o mapeamento de áreas mais aptas à erosão (atual e potencial), importa e objetiva ações regularizadoras sobre as mesmas, procurando assim evitar prejuízos ao ambiente e as atividades humanas.

## 2.2 USLE COMO MODELO DO PROGNÓSTICO DE EROSÃO

Há tempos que pesquisadores estudam modelos e técnicas para quantificar as perdas de solo por erosão hídrica, sendo os primeiros trabalhos desenvolvidos em pequenas áreas experimentais (CARVALHO, 2008). Em 1946, criou-se uma equação de perda de solo,

conhecida como Equação de Musgrave, incluindo o fator chuva, foi a primeira vez que esse fator foi incluído num modelo de erosão (CARVALHO, 2008). Posteriormente, diversas equações foram propostas para cálculo de perda de solo, em diferentes condições regionais e climáticas, algumas específicas a determinadas condições.

Entre 1954 e 1965, nos EUA, foi proposto um novo modelo empírico denominado Universal Soil Loss Equation – USLE (WISCHMEIER e SMITH, 1978). A USLE permite estimar a perda média anual de solo com base em dados de precipitação, características do solo e do terreno e uso e manejo do solo. O modelo foi desenvolvido a partir de ensaios de perdas de solo utilizando-se parcelas unitárias padrão com comprimento de rampa de 22 m e declividade de 9%.

A USLE passou por várias pesquisas, modificações e extensões, como por exemplo, MUSLE (WILLIAMS, 1975), USLE-M (KINNELL, 1999), dUSLE (FLACKE et al., 1990), e por uma revisão, RUSLE (RENARD et al., 1997) afim de aprimorar a acurácia da mesma (SILVA, 2015). Outros modelos podem ser citados para cálculo da estimativa das perdas de solo, o WEPP (FLANAGAN e NEARING, 1995), o AGNPS (CHRISTOFOLETTI, 1999), o EUROSEM, LISEM (SILVA, 2003).

Porém, por ser um modelo empírico, a aplicação da USLE, em locais com situações diferentes daquelas para as quais foi desenvolvida, requer pesquisa para aplicação de seus componentes (FERNANDES, 1997; LOCH e ROSEWELL, 1992), o que vem gerando críticas quanto a ineficiência deste modelo.

A USLE não considera o processo de deposição de sedimentos, não estima a erosão em sulcos em fase mais avançada, nem as perdas de solo no caso de chuvas isoladas. Portanto não é possível identificar aqueles eventos prováveis de causar grandes perdas de solo (FOSTER, 1982; WILLIAMS, 1975). Ainda, há apontamentos para o cálculo do fator LS como o principal problema para o uso da USLE em bacias hidrográficas, visto que, quanto maior for o comprimento da rampa maior será a perda de solo, entretanto, quando considera-se rampas desuniformes pode ocorrer o inverso, maior será a probabilidade de deposição de sedimentos ao longo da rampa quanto maior ela for (RANIERI, 2000).

Entretanto, a USLE é considerada um bom instrumento para previsão das perdas de solo por erosão laminar, por exigir um número de informações relativamente pequeno quando comparado aos modelos mais complexos e por ser uma equação bastante conhecida e estudada. Mesmo não sendo elaborada, inicialmente, para aplicação em bacias hidrográficas, muitos autores associam a USLE a SIGs para estimar as perdas de solo (CASTRO, 1992; HAMLETT et al., 1992; MELLEROWICZ et al., 1994; RANIERI, 1996, 2000).

A associação de técnicas de geoprocessamento e modelos de predição de erosão hídrica - nesse caso a USLE – possibilitam a previsão de perdas de solo, fornecendo subsídios para a seleção de práticas de controle, planejamento ambiental e priorização de ações de pesquisa (PRADO e NÓBREGA, 2005).

Ainda, a USLE, apresenta como vantagens a facilidade de implementação e interpretação dos resultados, embora a aplicação em SIG mereça atenção especial, em particular quanto à dispersão de erros (CASTRO e VALÉRIO FILHO, 1997). Considerando a aplicação deste modelo em programas de manejo florestal, os autores acima citados, salientam que resultados alcançados representam uma avaliação semiquantitativa de caráter exploratório.

A USLE representa um importante instrumento para os trabalhos de conservação do solo, podendo ser usada como guia para planejamento das práticas de conservação mais apropriadas para cada local, a fim de garantir taxa de perda de solo abaixo ou igual à tolerância de perda para os diferentes tipos de solos (SILVA, 2007).

Na Equação 1 encontra-se o modelo USLE para estimativa da perda média anual de solo proposta por Wischmeier e Smith (1978).

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (1)$$

Em que:

**A:** perda de solo ( $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ );

**R:** fator de erosividade da chuva ( $Mj \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot ano^{-1}$ ) – representa um índice numérico que denota a capacidade da chuva de um determinado local em causar erosão;

**K:** fator de erodibilidade do solo ( $t \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$ ) - representa a suscetibilidade do solo à erosão, expressando a quantidade de erosão por unidade do índice de erosividade da chuva, para um solo específico, preparado convencionalmente no sentido do declive e mantido continuamente descoberto e sem crostas, com 9 % de declive e 22,1 m de comprimento);

**LS:** fator topográfico (-) - L = Fator comprimento do declive, adimensional (representa a relação entre as perdas de solo de um determinado comprimento de rampa em condições de campo, com as perdas ocorridas em 22,1 m de comprimento, mantidas idênticas as demais condições) e S = Fator grau do declive, adimensional (representa a relação das perdas de solo de uma encosta com determinado declive e as da parcela unitária, com 9 % de declive, mantidas idênticas as demais condições);

**C:** fator de uso e manejo do solo (-) - representa a relação das perdas de solo entre um solo cultivado com determinada cultura e este mesmo solo mantido nas mesmas condições da parcela unitária onde o fator K é determinado;

**P:** fator de práticas conservacionistas (-) - representando a relação das perdas de solo entre um solo com determinada prática de controle da erosão e as de um solo sem nenhuma prática conservacionista.

### **2.2.1 Fator R – Erosividade da Chuva**

A capacidade potencial das chuvas em causar erosão do solo é denominada de erosividade das chuvas (CASSOL et al., 2007). A erosividade expressa o potencial da água da chuva para desagregar o solo e transportá-lo por meio do escoamento superficial subsequente (LAL e ELLIOT, 1994).

Dentre os métodos existentes para determinar a erosividade da chuva destaca-se o índice  $EI_{30}$  de Wischmeier e Smith (1965), baseado na intensidade de uma chuva com 30 minutos de duração. No entanto pesquisadores (BERTOL, 1993; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010; EL-SWAIFY et al., 1982; HUDSON, 1981; LOMBARDI NETO e MOLDENHAUER, 1992; MARQUES, 1996; SILVA, 1997; ULSAKER e ONSTAD, 1984) criticam a utilização do  $EI_{30}$  como um índice de erosão para os trópicos, fundamentando-se na escassez e mesmo inexistência de dados pluviográficos necessários para a obtenção desta variável em muitos países em desenvolvimento, a exemplo do Brasil (AQUINO et al., 2006). Além disso, este tipo de informações é difícil de obter em muitas partes do mundo, devido seu processamento ser demorado e muito trabalhoso (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010).

Partindo desta premissa, estudos procuraram correlacionar o índice de erosão com atributos climáticos que não requerem registros de intensidade de chuva. Para algumas regiões do território nacional brasileiro, desenvolveu-se estudos onde descobriu-se boas relações com equações lineares ou exponenciais, usando também dados pluviométricos (LEPRUN, 1981; OLIVEIRA, 1988; RUFINO et al, 1993; CASSOL et al., 2007 e SANTOS, 2008).

### **2.2.2 Fator K – Erodibilidade do solo**

A erodibilidade do solo é considerada a mais importante variável na predição da erosão e no planejamento do uso do solo, representa a sua susceptibilidade à erosão, podendo

ser definida como a quantidade de material que é removido por unidade de área quando os demais fatores determinantes da erosão permanecem constantes. Desta forma, ainda que fatores como chuva, declividade, cobertura vegetal e práticas de manejo sejam as mesmas, existem diferenças entre as propriedades do solo que admitem que alguns solos sejam mais erodidos que outros (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010).

O fator K é função das propriedades do solo que influenciam no processo erosivo, tais como a velocidade de infiltração, a permeabilidade, capacidade de absorção, resistência a dispersão, ao salpicamento, à abrasão e às forças de transporte da chuva e enxurrada (STEIN et al., 1987).

Alguns solos são mais facilmente erodidos que outros, mesmo quando o declive, precipitação, cobertura vegetal e as práticas de controle de erosão são as mesmas. Isso se reflete nas propriedades específicas do solo que conduzem à sua maior fragilidade, considerando a estabilidade dos agregados e o tamanho das partículas (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010).

Conforme Silva et al. (2003) as propriedades físicas exercem diferentes influências na resistência do solo à erosão, principalmente a estrutura, a textura, a taxa de infiltração, a permeabilidade, a densidade e a porosidade. Solos ricos em silte, assim como solos arenosos pobres em matéria orgânica, são especialmente susceptíveis à erosão.

Há uma vasta gama de equações citadas na literatura para cálculo da erodibilidade para diferentes solos (WISCHEMEIER et al., 1971; RÖMKENS et al., 1977; EL-SWAIFY e DANGLER, 1977; WISCHEMEIER e SMITH, 1978; LIMA et al., 1990; DENARDIN, 1990; ROLOFF e DENARDIN, 1994; BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010).

A erodibilidade pode ser avaliada a campo por meio de instrumentação e útil para aferir e selecionar o método de cálculo do k mais adequado para cada região. No Brasil, diversos pesquisadores encontraram valores cobrindo uma diversidade de regiões e tipos de solo. Entre eles, se pode elencar BISCAIA et al. (1981); DENARDIN e WUNSCHÉ (1981); RESK et al. (1981); LIMA (1978; 1991); BERTOL (1993); TOMAZONI et al. (2005); DIDONÉ (2013).

### **2.2.3 Fator LS – Fator Topográfico**

O Fator LS é constituído por duas variáveis a qual engloba o comprimento de rampa (L) e a declividade (S). Com aumento do comprimento de rampa a erosão acelera, visto que aumenta o volume de água que escoar através de uma secção transversal a vertente e,



aumentando a capacidade de remover partículas de solo. A inclinação e o comprimento de rampa determinam o fator de declividade. O volume e a velocidade das enxurradas estão diretamente relacionadas ao grau de declividade do terreno (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010).

A obtenção de medidas do fator topográfico enfrenta dificuldades em áreas mais complexas, como as bacias hidrográficas, devido a dificuldade em seccionar a área em muitos segmentos retilíneos de comprimento de declive, limitações de recursos humanos e de tempo. Mas, com o advento de SIG's este fator permitiu um olhar diferente na aquisição e processamento de dados para seu cálculo (CAPRA, 1997).

Imagens de radar melhoradas, possibilitam a obtenção de modelos digitais de elevação (MDE) com resolução espacial horizontal, capazes de abranger mais aspectos da rugosidade do relevo, aumentando a acurácia dos fatores L e S do fator topográfico na aplicação da USLE (LIU et al., 2009). No geoprocessamento, a precisão do gradiente do declive depende principalmente do MDE adquirido. Autores (HICKEY et al., 1994; XUEJUN e LU, 2008; ZHOU, 2004) concordam que a precisão do MDE afeta a precisão da estimativa do grau de declive do terreno, tanto na resolução vertical ou horizontal da matriz.

Com a chegada do SIG, vários algoritmos foram desenvolvidos para o cálculo automático do fator LS para cada pixel, a partir do MDE dessas áreas. Dentre esses algoritmos, merecem destaque os desenvolvidos por DESMET e GOVERS, 1996; MOORE e BURCH, 1986; REMORTEL et al., 2001.

Buscando desenvolver um fator topográfico com base física, apropriado à modelagem da erosão em bacias hidrográficas, Moore e Burch (1986) propõem a modificação do fator LS, sugerindo a substituição do comprimento de rampa pela unidade de área de contribuição ( $A_s$ ).

A variação do potencial erosivo, resultante do fluxo do escoamento superficial em determinado ponto de uma bacia hidrográfica, relaciona-se mais à variação da área de contribuição do que à variação do comprimento de rampa (KIRKBY e CHORLEY, 1967). Embasada na teoria da unidade de energia do fluxo, desenvolvida por Yang (1972), esta substituição da variável comprimento de rampa pela variável unidade de área de contribuição, objetiva modelar a influência das formas de relevo descritas pelo modelo digital de elevação sobre os processos erosivos.

#### 2.2.4 Fator C – Uso do Solo

O Fator C ou fator de cobertura vegetal representa a razão entre as perdas de solo que ocorrem quando o solo recebe uma dada cobertura e manejo e as perdas que ocorrem quando este mesmo solo está descoberto (WISCHMEIER e SMITH, 1978). O fator C envolve também o manejo, que inclui combinações de cobertura vegetal, seqüência de cultivos, estágio fenológico (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010).

Juntamente com o fator topográfico LS, o fator C é o mais sensível à perda de solo (BIESEMANS et al., 2000; PRADO e NÓBREGA, 2005). Para Asis e Omasa (2007), a cobertura vegetal é o fator mais importante no processo erosivo, pois se tratando de alteração no uso da terra o impacto é praticamente instantâneo nas taxas de perda de solo.

Para que se tenha estimativas de perda de solo boas, depende muito da qualidade da espacialização do fator C, sendo feita sobre mapas confiáveis e atualizados de uso do solo (WANG et al., 2002). O fator C é determinado em função de cada classe representativa do uso e manejo do solo da área de estudo e através de valores do fator disponíveis na literatura. Em áreas sem nenhuma vegetação, o fator C tende a 1, enquanto florestas virgens tem um valor de C próximo a 0,0001.

#### 2.2.5 Fator P – Práticas Conservacionistas

O fator de práticas conservacionistas representa a relação existente entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada prática conservacionista e as perdas de solo quando plantado morro abaixo (WISCHMEIER e SMITH, 1965). Na Tabela 1, seguem valores para diferentes práticas conservacionistas, conforme Bertoni e Lombardi Neto (2010).

Tabela 1 - Valores do Fator P para diferentes práticas conservacionistas

<b>Prática conservacionista</b>	<b>Valor de P</b>
Plantio morro abaixo	1
Plantio em contorno	0,5
Alternância de capinas, somado de plantio em contorno	0,4
Cordões de vegetação permanente	0,2
Terraço	0,1

Fonte: Bertoni e Lombardi Neto (2010).

### 2.3 PERDA POTENCIAL DE SOLO: VALORES DE REFERÊNCIA

A erosão atual ou erosão bruta expressa a quantidade total de material desprendido e removido pela ação dos agentes erosivos, numa determinada área num dado tempo (MAGALHÃES, 2001). A perda potencial de solo difere-se da erosão bruta por ser uma estimativa máxima de perda numa determinada área sob determinada condição de uso e manejo do solo.

A determinação direta da perda de solo bruta requer a instalação de experimentos em campo, demandando vários anos de coleta de dados e altos custos, enquanto os processos erosivos e suas consequências ocorrem de maneira rápida e dinâmica, motivos pelos quais alguns autores desenvolveram modelos visando a estimativa da perda de solo de maneira indireta, como exemplo cita-se a USLE (WISCHMEIER e SMITH, 1978; ARNOLD et al., 1998).

Os resultados de modelos de estimativa de perda de solo são valores potenciais, onde o mapa de erosão por si só, pode ser considerado um instrumento no planejamento e gestão de bacias, pois aponta as áreas com maior suscetibilidade física à erosão laminar e, conseqüentemente outros tipos de erosão (CAMPOS, 2006; CAMPOS et al., 2009).

As perdas potenciais de solo expressam-se em diferentes unidades (cm/ano de solo,  $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ ,  $kg \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ ), havendo diferentes metodologias de avaliação e classificação desses valores erosivos (Tabela 2).

Tabela 2 - Classificação de Valores de Perda Potencial de Solo.

(continua)

Nº de classes	A ( $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ )	Classificação	Referência
1	$1 \leq A < 5$	Muito baixa	
2	$5 \leq A < 100$	Baixa	
3	$100 \leq A < 1.000$	Média	Jacques (1997)
4	$1.000 \leq A < 3.000$	Alta	
5	$3.000 \leq A < 4.600$	Muito alta	
1	$A < 2$	Fraco	
2	$2 < A < 12$	Moderado	Brito et al. (1998)
3	$A > 12$	Moderado-forte	
1	$0 < A < 1$	-	
2	$1 < A < 5$	-	
3	$5 < A > 10$	-	Alves (2000)
4	$10 < A < 20$	-	
5	$A > 20$	-	
1	$1 < A$	Muito baixa	
2	$1 \leq A < 10$	Baixa	Ribeiro (2006)

Tabela 2 - Classificação de Valores de Perda Potencial de Solo.

		(conclusão)
3	$10 \leq A < 50$	Baixa a moderada
4	$50 \leq A < 100$	Moderada
5	$100 \leq A < 500$	Moderada a forte
6	$500 \leq A < 1.000$	Forte
7	$1.000 \leq A < 5.000$	Muito forte
8	$A > 5.000$	Extrema

Fonte: adaptado de Ribeiro (2006).

## 2.4 PLANEJAMENTO E GESTÃO AMBIENTAL INTEGRADA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

### 2.4.1 Gestão Ambiental

A Lei 9433/1997 em seu Capítulo I, Art. 1º, parágrafo V trata a bacia hidrográfica como unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. O conceito de bacia hidrográfica sofre ampliações, quando passa a tratar não somente de aspectos hidrológicos, e sim envolvendo também conhecimentos da estrutura biofísica, bem como das mudanças nos padrões de uso da terra e suas implicações ambientais, passa a ser considerada unidade de gestão da paisagem na área de planejamento ambiental (PIRES et al., 2002).

As bacias hidrográficas compõem ecossistemas adequados para avaliação dos impactos causados pela atividade antrópica que podem acarretar riscos ao equilíbrio e à manutenção da quantidade e da qualidade da água, uma vez que estas variáveis são relacionadas com o uso do solo (BARUQUI e FERNANDES, 1985; FERNANDES e SILVA, 1994). Segundo Dasmann et al. (1973), as abordagens de planejamento e gerenciamento ambiental utilizando a bacia hidrográfica como unidade de estudo evoluíram bastante, uma vez sendo seus sistemas ecológicos e hidrológicos relativamente coesos.

O uso da Bacia Hidrográfica (BH) como unidade de gerenciamento da paisagem é eficaz porque, segundo Pires et al. (2002, p. 20):

- (i) no âmbito local, é mais factível a aplicação de uma abordagem que compatibilize o desenvolvimento econômico e social com a proteção dos ecossistemas naturais, considerando as interdependências com as esferas globais;
- (ii) o gerenciamento das BH permite a democratização das decisões, congregando as autoridades, os planejadores e os usuários (privados e públicos) bem como os representantes da comunidade

(associações sócio-profissionais, de proteção ambiental, de moradores etc.), e (iii) permite a obtenção do equilíbrio financeiro pela combinação dos investimentos públicos (geralmente fragmentários e insuficientes, pois o custo das medidas para conservação dos recursos hídricos é alto) e a aplicação dos princípios usuário-pagador e poluidor-pagador, segundo os quais os usuários pagam taxas proporcionais aos usos, estabelecendo-se, assim, diversas categorias de usuários.

O principal desafio para a gestão de bacia hidrográfica é englobar todas as questões biofísicas e humanas que estão contidas na unidade ou são exteriores a ela. A análise e incorporação de questões envolvendo os recursos hídricos, geológicos, pedológicos, biológicos, sociais, culturais, econômicos, estéticos, e muito outros são fatores essenciais que todos os planos, projetos e tipos de manejo e administração de bacia hidrográfica devem abordar (CARMO, 2010). Um caminho para representar a integração é por meio da discretização, segmentação e estratificação do espaço em unidades territoriais homogêneas. Para Santos (2004, p.128),

Isso significa realizar uma análise de todos os temas envolvidos em cada ponto do território, agrupar os pontos que têm as características e funções comuns, segmentar os agrupamentos em setores e denominar cada setor segundo suas características ou critérios pré-estabelecidos (como vulnerabilidade ou fragilidade).

Para Ribeiro (1998) é através da implementação de instrumentos informacionais e regulatórios que ocorre o processo de Gestão Ambiental. A Gestão do Território tem seu maior desafio em integrar nos projetos governamentais, objetivos voltados ao desenvolvimento econômico e ao mesmo tempo voltados a preservação e conservação ambiental (LEITE, 2001).

## **2.4.2 Planejamento Ambiental**

O planejamento ambiental integrado de bacias hidrográficas deve estar associado ao planejamento territorial, contribuindo para o ordenamento territorial que, segundo Rodriguez e al. (2013), é mais do que o planejamento econômico regional, mais que o planejamento do desenvolvimento urbano e do planejamento ambiental, é a única política pública com enfoque integral.

O processo de planejamento exige uma abordagem interdisciplinar, e é um processo contínuo que envolve a coleta, organização e análise sistematizadas das informações através de procedimentos e métodos, para se chegar a decisões ou escolhas acerca das melhores

alternativas para o aproveitamento dos recursos disponíveis em função de suas potencialidades (SANTOS, 2004).

Existem diversos instrumentos de planejamento ambiental (Quadro 1) sendo o zoneamento um deles, permitindo tratar a espacialização dos atributos ambientais, bem como de suas potencialidades, vocações, fragilidades, riscos e conflitos (SANTOS, 2004). Desde que a sociedade foi formada o zoneamento vem sendo utilizado, pois os homens sentiram a necessidade de distribuir suas atividades de maneira organizada no território (DEL PRETTE e MATTEO, 2006). Alguns desses zoneamentos e estudos ambientais levam em consideração, entre outras variáveis, a erosão potencial hídrica de uma área.

Quadro 1 - Zoneamentos e estudos ambientais no Brasil.

<b>Tipo de Zoneamento</b>	<b>Regulamentação legal federal</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Esfera de estudo</b>	<b>Enfoque Territorial</b>
Zoneamento Ecológico Econômico	Decreto nº 4.297, de 2002	Estratégias de desenvolvimento do território	Federal, Estadual ou Municipal	Vários
Zoneamento fundiário socioeconômico	Lei nº 4.504, de 1964	Subsidiar a Reforma Agrária	Federal	Nacional
Zoneamento Ambiental	Lei nº 6938, de 1981	Preservação, reabilitação e recuperação do meio ambiente	Várias	Vários
Planos de Manejo	Lei 9.985, de 2000	Zoneamento de unidades de conservação	Federal, Estadual ou Municipal	Unidades de Conservação
Planos de Manejo Florestal Sustentável	Lei 4.771, de 1965 e Lei 11.284 de 2006	Extração sustentável de produtos da flora em áreas protegidas	Empreendedores	Florestas nativas e Reservas Legais
Estudos de Impacto Ambiental	Resolução Conama 01, de 1986	Prever o impacto ambiental de um empreendimento	Empreendedores	Área de influência (bacia hidrográfica)
Planos Diretores de Bacia Hidrográfica	Lei 9.433, de 1997	Gestão de bacia hidrográfica	Bacia Hidrográfica Federal ou Estadual	Bacia Hidrográfica
Zoneamento Costeiro (GERCO)	Lei 7.661, de 1988		Nacional	Zona Costeira
Zoneamento Industrial de Áreas Críticas de Poluição	Lei 6.803, de 1980	Ocupação industrial	Predominantemente Estadual	Metropolitano
Planos Diretores Municipais	Lei 10.257, de 2001	Ocupação urbana	Municipal	Município
Projeto Técnico de Área Verde de Domínio Público	Resolução Conama 369, de 2006	Ocupação urbana de Área de Preservação Permanente	Municipal	Local (APP)
Plano de Regularização Fundiária Sustentável	Resolução Conama 369, de 2006	Ocupação urbana de Área de Preservação Permanente	Municipal	Local (APP)
Planos de Habitação	-	Ocupação urbana	Municipal	Área urbana
Planos de Saneamento Básico	-	Expansão da rede de abastecimento e de esgoto sanitário.	Municipal	Área urbana
Agrícola, Agroecológico ou Agropedoclimático.	-	Aptidão Agrícola, usualmente por cultivar	Estudos desenvolvidos por equipes técnicas privadas, acadêmicas ou governamentais, com diferentes enfoques territoriais	
Geoambiental ou Ecológico	-	Estudos de meio ambiente		
Localização de empreendimentos	-	Melhor localização por critérios de viabilidade técnica, econômica e ambiental	Privado ou Público-Privado	Bacias Hidrográficas

Fonte: Vasconcelos et al. (2013).

Existem diferentes tipos de Zoneamentos e Estudos Ambientais de enfoque espacial. Cada modalidade de estudo integrado, foi criado em um contexto que demandava essa planificação. Seu próprio nome, bem como o contexto legal, institucional ou acadêmico em que foi proposto refletem seus objetivos, enfoques e a ação a ser orientada após o zoneamento (SANTOS, 2004).

### **2.4.3 Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) como Instrumentos de Planejamento**

Os SIGs são conjuntos de programas computacionais utilizados para armazenar, analisar, manipular e gerenciar dados geográficos, com ênfase em análises espaciais e modelagens de superfícies. Os SIGs são bastante utilizados atualmente, no que se refere a estudos integrados sobre o meio ambiente.

Para a gestão e manejo ambiental em bacias hidrográficas, muitas metodologias estão sendo aplicadas com utilização de SIG. De Pablo et al. (1994) propôs um sistema de informação para planejamento ambiental, objetivando facilitar a tomada de decisão dos governos regionais e centrais da Espanha.

O uso de métodos associados aos SIGs oferece ainda a possibilidade de executar modelagem para prever padrões espaciais de processos ecológicos, com relação a possíveis cenários decorrentes do tipo de ocupação/uso dos recursos naturais, possibilita também auxiliar os tomadores de decisão na definição de diretrizes a respeito de usos da terra em uma bacia hidrográfica (PIRES et al., 2002).

No Brasil, há diversos estudos integrados, com a utilização de SIGs, abrangendo diferentes tamanho de áreas geográficas e diferentes objetivos (SILVA, 2003). Os estudos são direcionados para produtos ou temas, tais como zoneamento do café, zoneamento climático ou zoneamento agrícola, ou ainda, voltados para a análise da viabilidade ambiental de um determinado empreendimento com o objetivo de otimizar o custo-benefício (econômico, social e ambiental) da sua implantação. Estes últimos se relacionam estreitamente com o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e buscam determinar a localização adequada da atividade em questão (SILVA, 2003).

Estudos mais recentes, envolvendo avaliação ambiental integrada, tem utilizado variáveis indicadoras de potencial erosivo a ser considerada em análises de multicritérios. Exemplos podem ser conferidos em FEPAM (2004); FRAG-RIO (2009); CRUZ et al. (2014); PADILHA et al. (2014).



Após levantamento das informações e estruturação de um banco de dados, esses são espacializados e/ou modelados e então feita combinação adequada das informações, produzindo análises, diagnósticos e prognósticos ambientais que servirão de base para o zoneamento e fornecerão os subsídios à gestão do território. Tais produtos caracterizam-se por conterem informações integradas do território, expressando as potencialidades, vocações, fragilidades, suscetibilidades, acertos e conflitos (SANTOS, 2004).

Planos que contemplam a influência do uso do solo na qualidade ambiental de uma região estão cada vez mais presentes nos estudos de planejamento. O manejo inadequado e usos do solo inapropriados podem ser facilitadores de erosão e esta é uma das variáveis contempladas nos planos integrados de bacias. Para Carvalho (1994), Christofolletti (1999), Bertoni e Lombardi Neto (2010), Silva e Camargo (2007), um bom diagnóstico da determinação do grau de instabilidade de uma bacia é a quantificação da perda de solo por erosão hídrica. No Brasil alguns autores como Fujihara (2002) em São Paulo e Checchia (2005) e Pereira (2009) em Santa Catarina já utilizaram esta estratégia para compor o planejamento de atividades voltadas à recuperação e conservação de bacias hidrográficas

Saiz (1996) afirma que o mapeamento do processo erosivo de uma bacia é um método otimizado de elaborar critérios para direcionar o planejamento da recuperação e conservação de áreas consideradas críticas de acordo com o grau de perdas de solo.

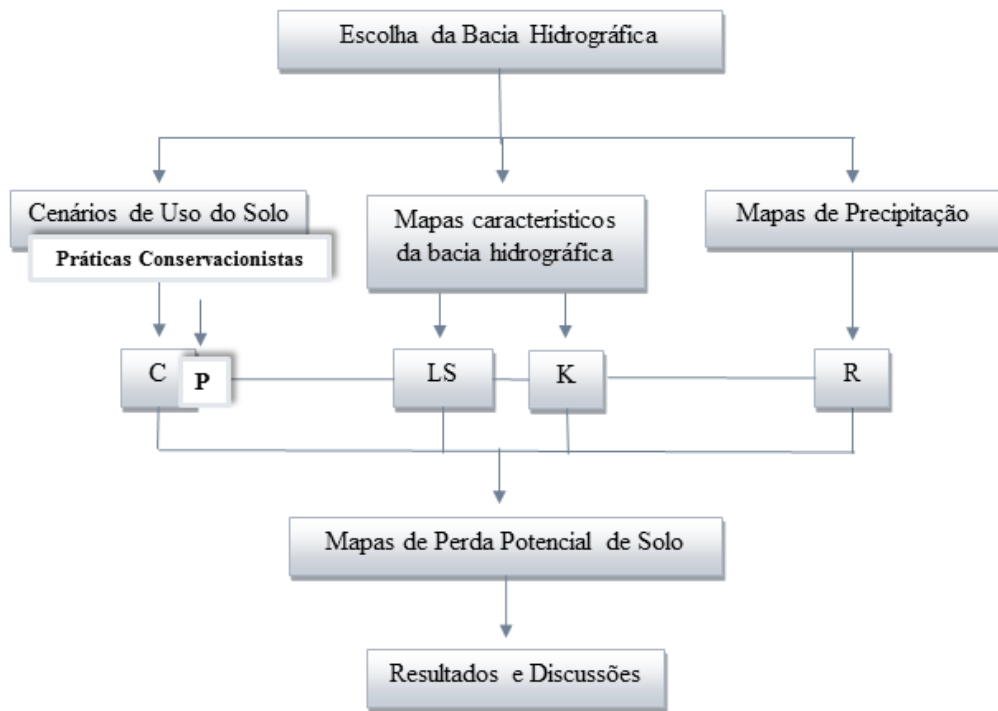
Segundo Pandey, Chowdary e Mal (2007), para um adequado manejo da bacia hidrográfica, visando à sustentabilidade dos recursos naturais, é necessário que se tenha informações espacializadas sobre o potencial erosivo dos solos e a produção e o transporte de sedimentos. Neste sentido, a utilização do modelo Usle espacializado a nível de bacia hidrográfica atende a necessidade do planejamento ambiental, quanto a variável erosão?



### 3 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia segue o fluxograma na Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma da Abordagem Metodológica



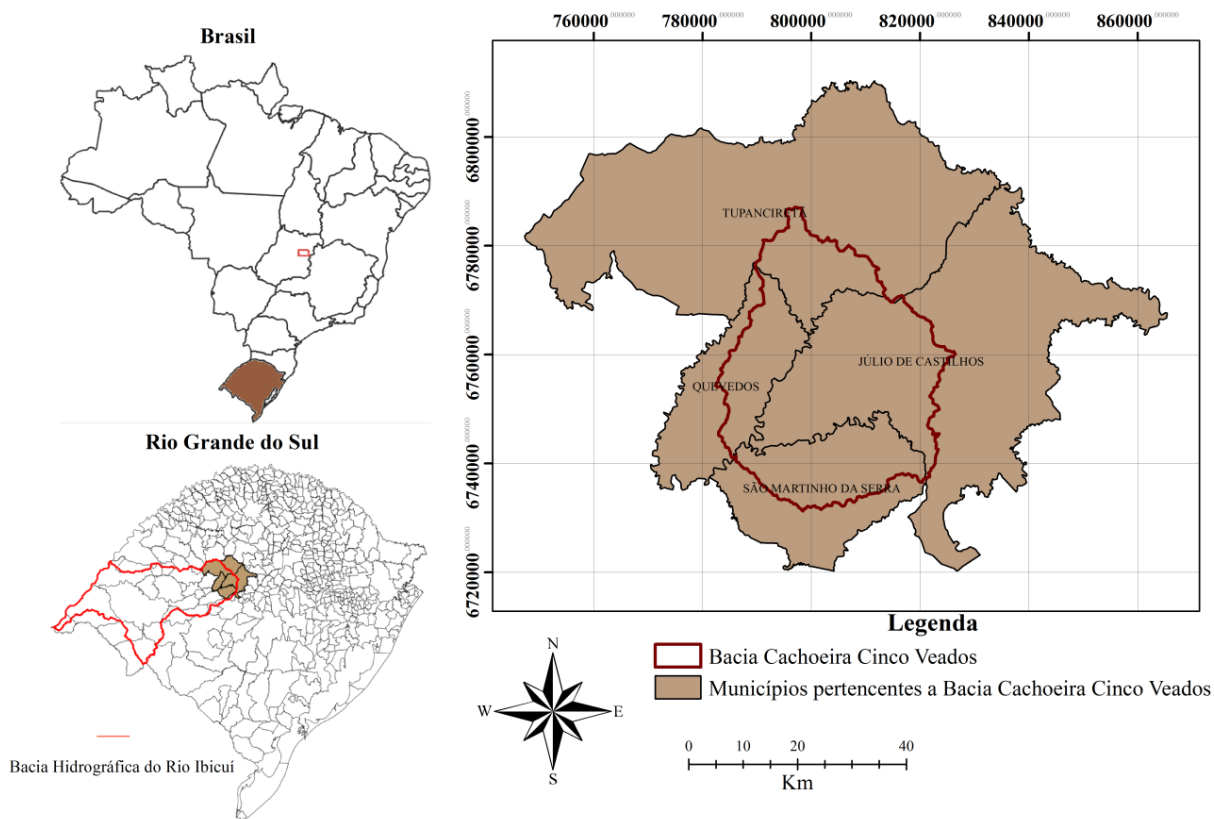
Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DE ESTUDO

##### 3.1.1 Bacia Cachoeira Cinco Veados

A Bacia Cachoeira Cinco Veados está localizada na Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí na Região Hidrográfica do Uruguai, no extremo oeste do Estado do Rio Grande do Sul. Insere-se na zona de transição entre Depressão Central e o Planalto Sul-Riograndense, abrangendo os municípios de Tupanciretã, Quevedos, Júlio de Castilhos e São Martinho da Serra (Figura 2), que somam 47 771 habitantes segundo dados da contagem da população pelo IBGE 2010 (Tabela 3) (FEE, 2013).

Figura 2 - Mapa de Localização da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017 (baseado em SEMA, 2016).

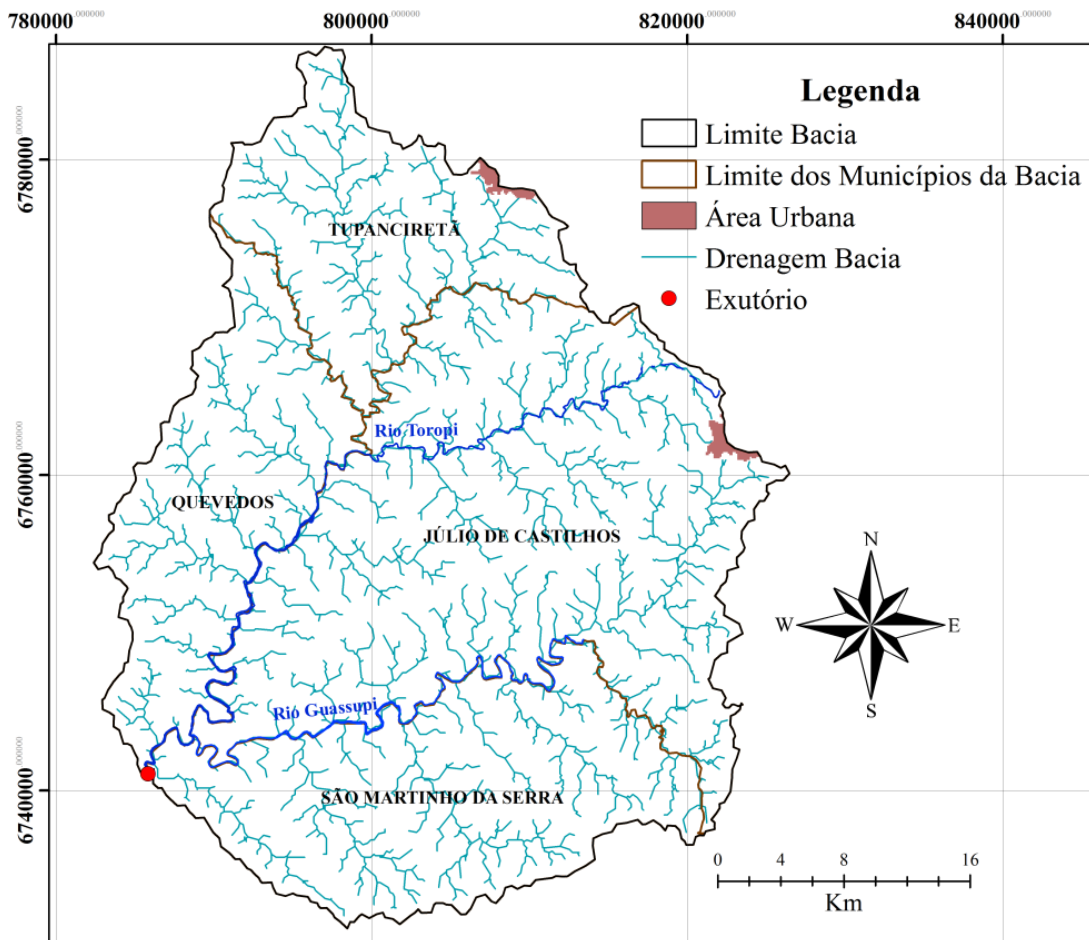
Tabela 3 - População e Área (Km<sup>2</sup>) dos municípios da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

<b>Município/ População</b>	<b>Tupanciretã</b>	<b>Quevedos</b>	<b>Júlio de Castilhos</b>	<b>São Martinho da Serra</b>	<b>Total</b>
Urbana	18.020	852	16.106	942	25.920
Rural	4.261	1.858	3.473	2.259	11.851
Área	243,26	261,39	684,21	352,87	1.541,7

Fonte: baseado em FEE (2013); IBGE (2016).

A Bacia Hidrográfica Cachoeira Cinco Veados apresenta uma área de drenagem de 1541,9 Km<sup>2</sup>, com destaque os rios Toropi e Guassupi (Figura 3).

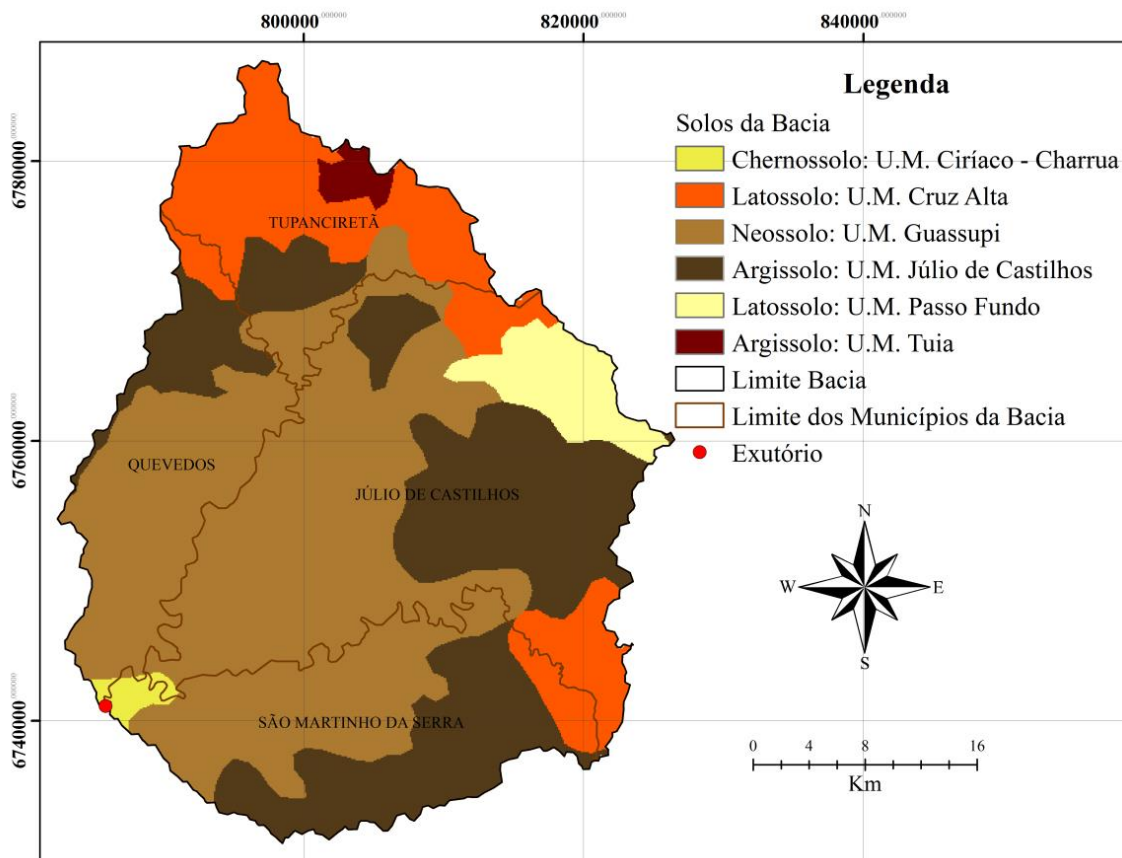
Figura 3 - Bacia Hidrográfica Cachoeira Cinco Veados, RS.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017 (baseado em WEBER et al., 2004); IBGE, 2016).

O mapa de classificação dos solos da Bacia Cachoeira Cinco Veados (Figura 4) foi montado com base no mapa de levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul – escala 1:750.000 (Brasil, 1973) digitalizado pela EMBRAPA – CNPT em 1999.

Figura 4 - Mapa de Solos da bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



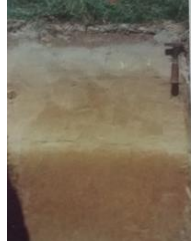



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017 (baseado em Brasil, 1973).

Através do mapa, pode-se observar que há uma predominância do solo Neossolo U. M. Guassupi, cuja área de ocorrência é de 738,06 Km<sup>2</sup>, cobrindo 47,89 % da área da bacia. Já o solo Chernossolo U. M. Ciriaco-Charrua, presente próximo ao exutório, é o com a menor área (13,8 Km<sup>2</sup>).

No Quadro 2 apresenta-se as características principais de cada solo presente na Bacia Cachoeira Cinco Veados.

Quadro 2 - Características dos solos presentes na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

(continua)		
Solos	Características	Perfil
<b>Latossolo</b>	<p>Solos bem drenados, normalmente profundos a muito profundos, com pouco ou nenhum incremento de argila e apresentam uma transição difusa ou gradual entre os horizontes. Encontram- na região do Planalto Médio e das Missões. Possuem boa aptidão agrícola, desde que corrigida a fertilidade química, mas em solos originados de arenito (Unidade Cruz Alta), por apresentarem textura mais arenosa, são mais pobres em fertilidade e mais susceptíveis à erosão, exigindo práticas conservacionistas intensivas quando usados com culturas anuais.</p>	 (Passo Fundo)
		 (Cruz Alta)
<b>Argissolo</b>	<p>Solos geralmente profundos a muito profundos, variando de bem drenados a imperfeitamente drenados. Apresentam tipicamente um perfil com um gradiente textural, onde o horizonte B é significativamente mais argiloso do que os horizontes A e E. A Unidade Tuia encontra-se no Litoral e entre Rio Grande e Pelotas em direção à Lagoa Mirim e a Unidade Júlio de Castilhos, no Planalto Médio e na região das Missões. Devido a alta suscetibilidade à erosão e degradação, principalmente nos Argissolos arênicos e espessarênicos (Unidade Tuia), com mudança textural abrupta o uso de culturas anuais exige terraços vegetados e cultivos em faixas com plantio direto, em declividades de até 10%. No inverno, é aconselhável que o cultivo seja intercalado com plantas protetoras e recuperadoras do solo. E no verão intercalados com outras culturas ou com pastagem. Com uso para fruticultura é aconselhável a intercalação com plantas protetoras e recuperadoras do solo.</p>	 (Tuia)
		 (Júlio de Castilhos)

Quadro 2 - Características dos solos presentes na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

(conclusão)		
<b>Neossolo</b>	Solos rasos a profundos, de formação muito recente, desenvolvidos a partir dos mais diversos tipos de rochas (material de origem) e encontrados nas mais diversas condições de relevo e drenagem. A Unidade Guassupi encontra-se na transição do Planalto para a Encosta Inferior do Nordeste. Os Neossolos Litólicos (Unidade Guassupi) com sequência de horizontes A-R, devido a pouca profundidade efetiva para o desenvolvimento das raízes e para o armazenamento de água e, por ocorrerem em regiões de relevo forte ondulado e montanhoso, em geral com pedregosidade e afloramentos de rochas, apresentam fortes restrições para culturas anuais, em consequência disso, devem ser mantidos sob preservação permanente.	 (Guassupi)
<b>Chernossolo</b>	Solos rasos a profundos apresentam razoáveis teores de material orgânico, o que confere cores escuras ao horizonte superficial que é do tipo A chernozêmico. Além disso, tem uma alta fertilidade química e alta CTC em todo o perfil. Encontram-se nas encostas do Vale do Uruguai e da Serra do Mar, e na Encosta Inferior do Nordeste. Por ocuparem áreas de pequena extensão, em relevo ondulado a fortemente ondulados, o que dificulta a mecanização, exigindo práticas conservacionistas intensivas. Oferecem condições para uso com culturas anuais, fruticultura, pastagem e reflorestamento.	 (Ciríaco-Charrua)

Fonte: baseado em Brasil (1973); Streck et al. (2008).

Os solos presentes na Bacia Cachoeira Cinco Veados foram classificados conforme sua resistência à impactos ambientais (GIASSOM et al., 2005) e atribuídos valores de fragilidade (FRAGRIO, 2009) (Tabela 4). Na Figura 5 pode ser visualizada classificação do solo quanto a resistência para a bacia em estudo.

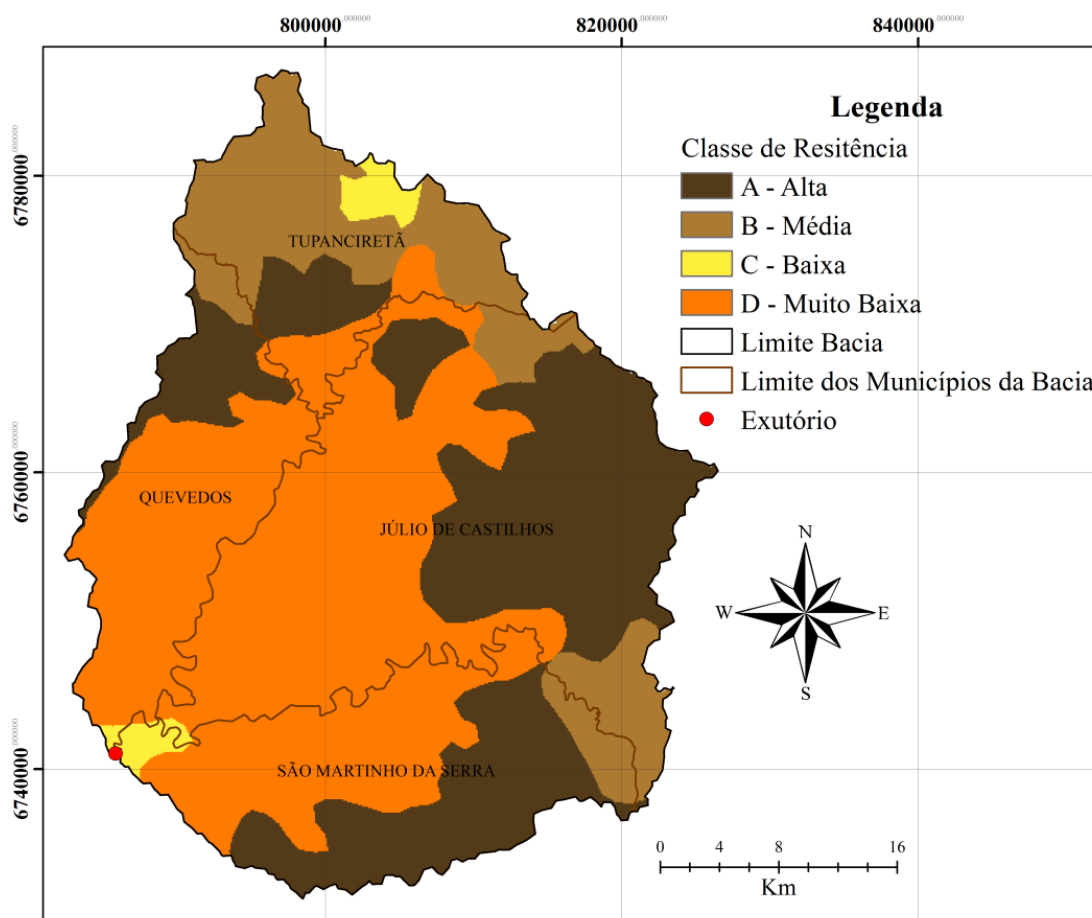
Tabela 4 - Solos da Bacia Cachoeira Cinco Veados/RS classificados quanto à resistência aos impactos ambientais.

<b>Solos</b>	<b>Unidade de Solo (Brasil, 1973)</b>	<b>Classe de Resistência</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>
Latossolo	Cruz Alta	Média (B)	256,45	16,64
	Passo Fundo	Alta (A)	68,22	4,43
Argissolo	Tuia	Baixa (C)	15,76	1,02
	Júlio de Castilhos	Alta (A)	448,73	29,12
Neossolo	Guassupi	Muito Baixa (D)	738,06	47,89
Chernossolo	Ciríaco-Charrua	Baixa (C)	13,8	0,9

Fonte: baseado em Brasil (1973); Giassom et al. (2005); FRAGRIO (2009).



Figura 5 - Classificação dos solos quanto à resistência aos impactos ambientais da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017 (baseado em Giassom et al., 2005).

As diferentes resistências a impactos ambientais dos solos são função de sua profundidade, textura, gradiente textural, drenagem, lençol freático, lençol suspenso, risco de inundação, suscetibilidade à erosão, relevo, declividade, aptidão agrícola e tipo de argilomineral (GIASSOM et al., 2005). Mesmo sendo classificados de resistência alta, alguns solos não são imunes à degradação, principalmente à erosão.

As seis classes de declividade consideradas para este trabalho foram definidas pela EMBRAPA SOLOS (0-3; 3-8; 8-20; 20-45; 45-75 e maior que 75%), (EMBRAPA, 1999) (Tabela 5), e segue a classificação também utilizada por Cruz et al. (2013) no estudo de Avaliação Ambiental Integrada: Construção Metodológica de Modelo para Bloco do Meio Físico.

Tabela 5 - Classes de declividade e valores de Fragilidade atribuídos por classe.

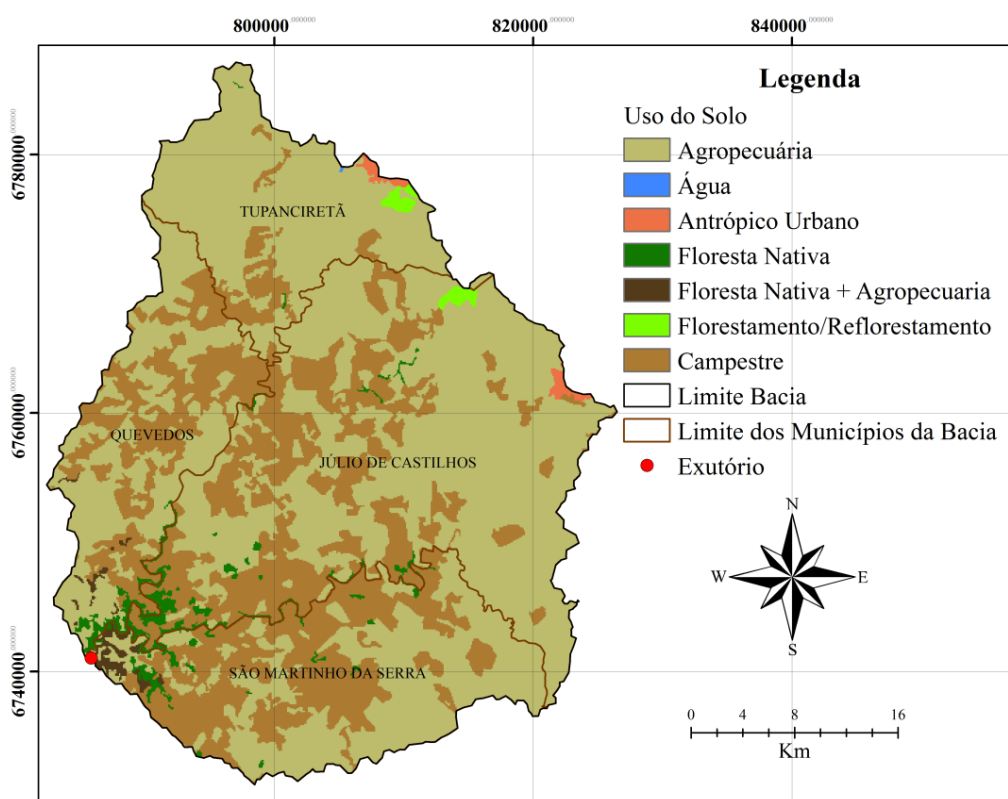
Classes de Declividade (%)	Tipo de relevo	Área	
		Km <sup>2</sup>	%
0-3	Plano	434,63	28,19
3-8	Suave Ondulado	828,12	53,71
8-20	Ondulado	263,96	17,12
20-45	Forte Ondulado	14,55	0,94
45-75	Montanhoso	0,63	0,04
> 75	Forte Montanhos	0,01	0,001

Fonte: adaptado de EMBRAPA (1999).

A Bacia Cachoeira Cinco Veados, embora esteja em área de serra, está inserida no Bioma Pampa e sua vegetação vem sofrendo modificações naturais e antrópicas no decorrer dos anos, muito em função do desenvolvimento agrícola e das técnicas de manejo e introdução de novas culturas em áreas antes características daquele bioma (MMA, 2016).

A identificação dos diferentes usos do solo da bacia pode ser visualizada na Figura 6, e na Tabela 6 estão apresentados os usos da bacia distribuídos em unidade de área.

Figura 6 - Mapa de Uso do Solo da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017 (baseado em MMA, 2016).

Tabela 6 - Distribuição do uso do solo na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

Classe de uso	Área (Km <sup>2</sup> )	Área (%)
Agropecuária	1002,62	65,02
Água	0,09	0,01
Antrópico Urbano	5,98	0,39
Floresta nativa	31,14	2,02
Floresta Nativa + Agropecuária	8,64	0,56
Florestamento / Reflorestamento	7,18	0,47
Campestre	486,25	31,54
<b>TOTAL</b>	<b>1541,9 Km<sup>2</sup></b>	<b>100 %</b>

Fonte: baseado em MMA (2016).

Verifica-se a predominância da agropecuária sobre os demais tipos de uso do solo, com cerca de 65,02 % da área, seguido de campo nativo (31,54%).

### 3.2 UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION (USLE)

A obtenção dos parâmetros para a aplicação do modelo USLE se deu de forma individual por meio de metodologias já estabelecidas e também por meio de revisão bibliográfica.

O cálculo da perda de erosão potencial da Bacia Cachoeira Cinco Veados foi baseado na Equação Universal de Perda de Solo (USLE), de Wischmeier e Smith (1978) com o auxílio de um Sistema de Informação Geográfica, o software ArcGis 10.2.1 para a espacialização dos fatores (R – Erosividade da chuva, K – Erodibilidade do solo, LS – Topografia, C – Uso do Solo e P – Práticas Conservacionistas).

#### 3.2.1 Fator R – Erosividade da Chuva

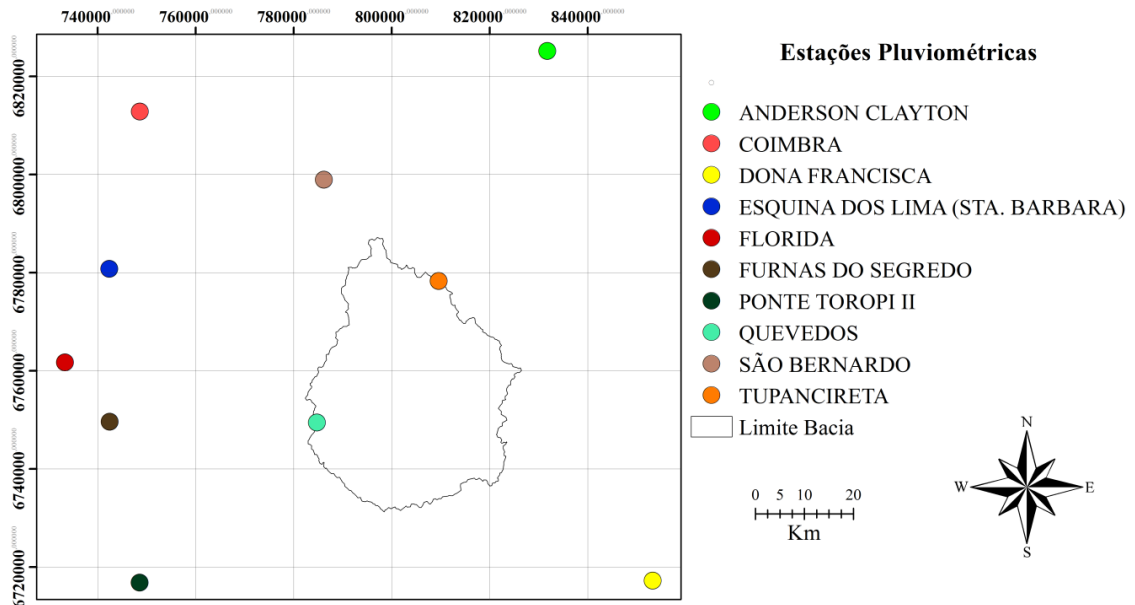
Para cálculo do fator R os dados foram obtidos por meio do banco de dados do software HidroWeb da Agência Nacional de Águas (ANA, 2001), obtidos de 10 estações climáticas referentes aos anos de 1985 até 2015, com dados contínuos e consistidos de pluviosidade total anual, mensal total e número de dias de chuva. O Quadro 3 apresenta a descrição das estações utilizadas no trabalho e a Figura 7 a localização das mesmas.

Quadro 3 - Descrição das estações climáticas utilizadas para cálculo do fator R.

Código	Nome	Bacia	Sub-Bacia	Estado	Município	*Resp.	*Oper.	*Lat.	*Long.	*Alt. (m)
2853028	Anderson Clayton	Rio Uruguai	75	RS	Cruz Alta	ANA	CPRM	-28:39:28	-53:36:21	440
2854012	Coimbra	Rio Uruguai	75	RS	São Miguel das Missões	ANA	CPRM	-28:47:16	-54:27:9	300
2854013	São Bernardo	Rio Uruguai	75	RS	Tupancireta	ANA	CPRM	-28:54:19	-54:3:54	530
2953008	Dona Francisca	Atlântico	85	RS	Dona Francisca	ANA	CPRM	-29:37:28	-53:21:7	25
2953030	Tupancireta	Rio Uruguai	75	RS	Tupancireta	ANA	CPRM	-29:5:8	-53:49:9	469
2954005	Furnas do Segredo	Rio Uruguai	76	RS	Jaguari	ANA	CPRM	-29:21:32	-54:30:7	300
2954019	Quevedos	Rio Uruguai	76	RS	Júlio de Castilhos	ANA	CPRM	-29:21:5	-54:4:1	408
2954030	Florida	Rio Uruguai	76	RS	Santiago	ANA	CPRM	-29:15:6	-54:35:54	370
2954031	Esquina dos Lima	Rio Uruguai	75	RS	Capão dp Cipó	ANA	CPRM	-29:2:53	-54:34:15	420
2954032	Ponte Toropi II	Rio Uruguai	76	RS	São Pedro do Sul	ANA	CPRM	-29:39:12	-54:25:53	40
*Resp. - Responsável; *Oper. - Operadora; *Lat. - Latitude; *Long. - Longitude; *Alt. - Altitude.										

Fonte: baseado em ANA (2001).

Figura 7 - Mapa das Estações Pluviométricas utilizadas para cálculo do Fator R.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

A erosividade da chuva (R) foi calculada para cada estação, num primeiro momento a partir de três equações (Equações 2, 3 e 4):

a) Cassol et al. (2007), desenvolvida para região de Ijuí (RS).

$$R = 109,65 * (p^2/P)^{0,76} \quad (2)$$

Em que:

$\Sigma R$ : Erosividade da chuva ( $Mj.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$ );

**p**: Precipitação média mensal (mm);

**R**: Média mensal do Índice de erosão ( $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.mês^{-1}$ );

**P**: Precipitação média anual (mm).

b) Santos (2008), desenvolvida para a região de Santa Maria (RS).

$$R = 80,88 * (p^2/P)^{0,705} \quad (3)$$

Em que:

$\Sigma R$ : Erosividade da chuva ( $Mj.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$ ).

**p**: Precipitação média mensal (mm);

**R**: Média mensal do Índice de erosão ( $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.mês^{-1}$ );

**P**: Precipitação média anual (mm).

c) Rufino et al. (1993), desenvolvida para região Sul do Brasil (RS, SC, PR).

$$R_x = 19,55 + (4,2 * M_x) \quad (4)$$

Em que:

$\Sigma R$ : Erosividade da chuva ( $Mj.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$ );

$M_x$ : Precipitação média (mm);

$R_x$ : Fator de R para o mês x ( $Mj.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$ ).

Após calculado o R, é feita a interpolação pelo método *Inverse Distance Weighed* – IDW. Este método, chamado do inverso ponderado da distância é puramente matemático, estimando um valor para um local não amostrado como uma média dos valores dos dados dentro de uma vizinhança (MIRANDA, 2005). Em seguida criou-se um raster para cada mapa do Fator R da bacia Cachoeira Cinco Veados.

Os valores de R são classificados variando de fraco a muito forte. Para converter as unidades do sistema métrico para o sistema internacional Foster et al. (1981) indica a multiplicação do valor por 9,81. Assim na Tabela 7, apresentam-se os valores de R conforme a escala de interpretação em ambos os sistemas de classificação.

Tabela 7 - Classes para interpretação dos índices de erosividade em unidades do sistema métrico ( $t.mm.ha^{-1}.ano^{-1}$ ) e no sistema internacional ( $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$ ).

<b>Intervalo Fator R (<math>t.mm.ha^{-1}.ano^{-1}</math>)</b>	<b>Intervalo Fator R (<math>MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}</math>)</b>	<b>Interpretação</b>
R < 250	R < 2.452	Erosividade fraca
250 < R < 500	2.452 < R < 4.905	Erosividade média
500 < R < 750	4.905 < R < 7.357	Erosividade média a forte
750 < R < 1.000	7.357 < R < 9.810	Erosividade forte
R > 1.000	R > 9.810	Erosividade muito forte

Fonte: baseado em (Carvalho, 2008; Foster et al., 1981).

### 3.2.2 Fator K – Erodibilidade do Solo

Valores de K seguirão trabalhos experimentais já desenvolvido por Denardin e Wunsche, 1981; Denardin, 1990; Tomazoni et al., 2005; Prado e Nóbrega, 2005; Lino, 2010; Franco et al., 2012; Didoné, 2013; Pasquato e Tomazoni, 2016 (Quadro 4).

Quadro 4 - Valores de K para os solos para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

Solos	Unidade de Mapeamento (Brasil, 1973)	Classificação (Streck et al., 2008; SiBCS, 2006)	K (t.h.MJ <sup>-1</sup> .mm <sup>-1</sup> )	Autor
Latossolo	Cruz Alta	Vermelho Distrófico típico	0,02078	Denardin e Wunsche (1981); Denardin (1990); Tomazoni et al. (2005); Lino (2010); Didoné (2013)
	Passo Fundo	Vermelho Distrófico húmico	0,02260	
Argissolo	Tuia	Vermelho-Amarelo Distrófico arênico abrupto	0,02857	Prado e Nóbrega (2005); Lino (2010); Franco et al. (2012); Didoné (2013)
	Júlio de Castilhos	Vermelho-Amarelo Aluminico úmbrico	0,03119	
Neossolo	Guassupi	Lítico Distro-úmbrico fragmentários típicos	0,03280	Lino (2010); Pasquato e Tomazoni (2016)
Chernossolo	Ciríaco-Charrua	Argilúvico Férrico típico	0,04540	Tomazoni et al. (2005); Lino (2010)

Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

Para processamento utilizou-se o mapa do levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio grande do Sul – escala 1:750.000 – Brasil, 1973 digitalizado pela EMBRAPA – CNPT em 1999. Em seguida criou-se um raster para o Fator K da bacia Cachoeira Cinco Veados.

A erodibilidade do solo pode ser classificada de baixa a alta (Carvalho, 1994), conforme Tabela 8.

Tabela 8 - Classes de interpretação dos valores de erodibilidade do solo (K).

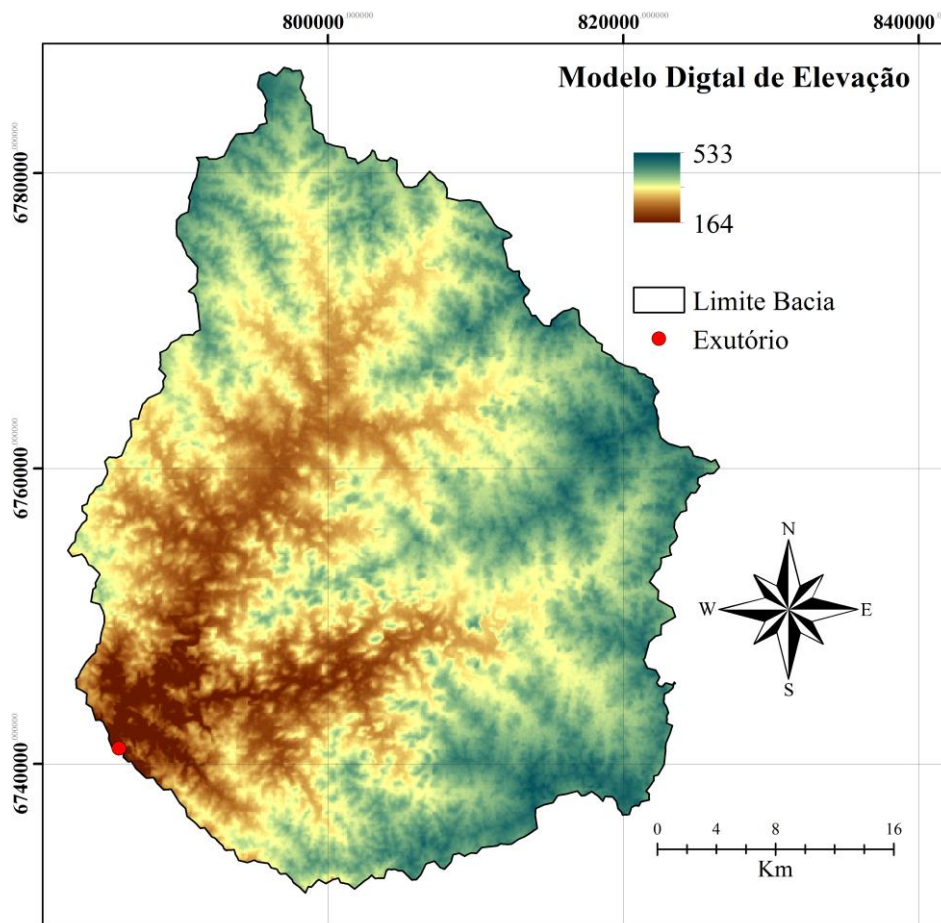
Intervalos de valores de K (t.ha.h.MJ <sup>-1</sup> .ha <sup>-1</sup> .mm <sup>-1</sup> )	Classes de Interpretação
K < 0,0198	Erodibilidade baixa
0,0198 < K < 0,040	Erodibilidade média
K > 0,040	Erodibilidade alta

Fonte: Carvalho (1994).

### 3.2.3 Fator LS – Fator Topográfico

O Modelo Digital de Elevação (MDE) do SRTM no formato GEOTIFF, foi obtido através do Laboratório de Geoprocessamento do Centro de Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS adaptado ao Estado do RS por WEBER et al. (2004). Na Figura 8 está o Mapa do Modelo Digital de Elevação da Bacia Cachoeira Cinco Veados.

Figura 8 - Modelo Digital de Elevação da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017 (baseado em Weber et al., 2004).

A partir do MDE foi realizado procedimento metodológico baseado em Moore e Burch (1986); Desmet e Govers (1996) para obtenção do raster do Fator LS da bacia Cachoeira Cinco Veados (Equação 5).

$$\begin{aligned}
 W &= D (|\text{sen } \varphi| + |\text{cos } \varphi|) \\
 AS &= (\text{Fluxo acumulado} * \text{Área do pixel})/W \\
 LS &= (AS/22,13)^m * (\text{Sen } \beta/0,0896)^n
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Em que:

- W:** representa a largura ortogonal;
- D:** Resolução do pixel;
- $\varphi$ :** Ângulo de inclinação da encosta;
- AS:** é a área de contribuição específica ( $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ );
- $\beta$ :** Declividade expressa em graus radianos;



**m e n** – interação entre os diferentes tipos de fluxo;

**Valores: 22,13 e 0,0896** são o comprimento e declive gráfico padrão da USLE, respectivamente;

**A** = Fator Topográfico (LS).

### 3.2.4 Fator C – Uso do Solo

O uso do solo existente na bacia foi obtido da base de dados do Ministério do Meio Ambiente e apresentado na Figura 7. Os valores de C foram obtidos pela revisão bibliográfica em diversos trabalhos como de Costa et al., (2005); Fujihara (2002); Stein et al., (1987); Lino (2010); Castro e Valério Filho (1997); Wischmeier e Smith (1978); Didoné (2013), os quais foram levantados de forma mais condizente possível com a área de estudo em questão (Quadro 5).

Quadro 5 - Valores de C para uso do solo considerado na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

Uso do Solo		Fator C	Autores	C
Campestre		(0,01) (0,26) (0,0194) (0,042)	Stein et al., (1987); Tómas (1993); Silva (2004); Costa et al., (2005);	0,08285
Florestamento/ reflorestamento		(0,0001) (0,0010) (0,05) (0,08) (0,03241)	Stein et al., (1987); Lino (2010); Castro e Valério Filho (1997); Tomaz (2008); Silva (2007).	0,03270
Floresta Nativa		(0,00004) (0,0001) (0,004) (0,0001) (0,005) (0,00019) (0,0004) (0,01) (0,0001) (0,00004) (0,012) (0,1) (0,005) (0,012) (0,0007) (0,001)	Stein et al., (1987); Lino (2010); Farinasso et al., (2006); Tomazoni et al., (2005); Castro e Valério Filho (1997); Wischmeier e Smith (1978); Tomaz (2008); Tómas (1993); Silva (2004); Costa et al., (2005); Silva (2009); Didoné (2013).	0,00942
Agropecuária	Pecuária	(0,01) (0,1) (0,0636) (0,01) (0,010) (0,0288) (0,007) (0,014) (0,061)	Galdino (2012); Stein et al., (1987); Lino (2010); Farinasso et al., (2006); Tomazoni et al., (2005); Tomaz (2008); Costa et al., (2005).	0,03382
	Agricultura	SPS - Soja/Pastagem/Soja - (0,0155) SPA - Soja/Pousio/Aveia - (0,02083) SSS - Soja/Solo Exposto/Soja - (0,10273) SAM - Soja/Aveia/Milho - (0,01155)	Didoné (2013)	≠ valores
Antrópico Urbano		(0) (0) (0) (0,2) (0,003) (0,0075) (0,010) (0,1) (0,01)	Stein et al., (1987); Tomaz (2008); Tómas (1993); Silva (2004); Costa et al., (2005);	0,03672
Água		(0) (0) (0)	Stein et al., (1987); Silva (1978); Costa et al., (2005);	0,00000

Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

Importante ressaltar que para valores de C quando o uso for urbano os valores geralmente tendem a “0”, mas há situações em que atribui-se outros valores, possivelmente de áreas urbanas não tão concretadas, ou de cidades mais interioranas.

Além da situação real do uso do solo na bacia foram elaborados cenários para o Fator C, podendo ser melhor visualizados no Quadro 6.

Quadro 6 - Cenários de Fator Uso do Solo (C) da USLE.

(continua)

<b>Cenário C</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Observações</b>
Água	0,09	0,01%	Neste cenário a Agropecuária assume o peso (valor) de C como Agricultura (soja/pastagem/soja).
Floresta Nativa	31,14	2,02%	
Florestamento/Reflorestamento	7,18	0,47%	
Antrópico Urbano	5,98	0,39%	
Campestre	486,25	31,54%	
Agropecuária	1002,62	65,02%	
Floresta Nativa + Agropecuária	8,64	0,56%	
<b>Total</b>	<b>1541,90</b>	<b>100,00%</b>	
<b>Cenário C_01</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Observações</b>
Água	0,09	0,01%	Neste cenário a Agropecuária assume o peso (valor) de C como Agricultura (soja/pousio/aveia).
Floresta Nativa	31,14	2,02%	
Florestamento/Reflorestamento	7,18	0,47%	
Antrópico Urbano	5,98	0,39%	
Campestre	486,25	31,54%	
Agropecuária	1002,62	65,02%	
Floresta Nativa + Agropecuária	8,64	0,56%	
<b>Total</b>	<b>1541,90</b>	<b>100,00%</b>	
<b>Cenário C_02</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Observações</b>
Água	0,09	0,01%	Neste cenário a Agropecuária assume o peso (valor) de C como Agricultura (soja/solo exposto/soja).
Floresta Nativa	31,14	2,02%	
Florestamento/Reflorestamento	7,18	0,47%	
Antrópico Urbano	5,98	0,39%	
Campestre	486,25	31,54%	
Agropecuária	1002,62	65,02%	
Floresta Nativa + Agropecuária	8,64	0,56%	
<b>Total</b>	<b>1541,90</b>	<b>100,00%</b>	
<b>Cenário C_03</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Observações</b>
Água	0,09	0,01%	Neste cenário a Agropecuária assume o peso (valor) de C como Agricultura (soja/aveia/milho).
Floresta Nativa	31,14	2,02%	
Florestamento/Reflorestamento	7,18	0,47%	
Antrópico Urbano	5,98	0,39%	
Campestre	486,25	31,54%	
Agropecuária	1002,62	65,02%	
Floresta Nativa + Agropecuária	8,64	0,56%	
<b>Total</b>	<b>1541,90</b>	<b>100,00%</b>	

Quadro 6 - Cenários de Fator Uso do Solo (C) da USLE.

(conclusão)

<b>Cenário C_04</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Observações</b>
Água	0,09	0,01%	Neste cenário a Agropecuária assume o peso (valor) de C como pecuária.
Floresta Nativa	31,14	2,02%	
Florestamento/Reflorestamento	7,00	0,45%	
Pecuária	1002,62	65,03%	
Antrópico Urbano	5,98	0,39%	
Pecuária + Floresta Nativa	8,64	0,56%	
Campestre	486,25	31,54%	
<b>Total</b>	<b>1541,90</b>	<b>100,00%</b>	
<b>Cenário C_05</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Observações</b>
Água	0,09	0,01%	Simulação de toda bacia com uso agrícola (soja/pastagem/soja), respeitando áreas urbanas e água.
Antrópico Urbano	5,98	0,39%	
Agricultura	1535,65	99,61%	
<b>Total</b>	<b>1541,90</b>	<b>100,00%</b>	
<b>Cenário C_06</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Observações</b>
Água	0,09	0,01%	Simulação de toda bacia com uso para pecuária, respeitando áreas urbanas e água.
Pecuária	1535,65	99,61%	
Antrópico Urbano	5,98	0,39%	
<b>Total</b>	<b>1541,90</b>	<b>100,00%</b>	
<b>Cenário C_07</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Observações</b>
Água	0,09	0,01%	Simulação de toda bacia com florestamento/reflorestamento, respeitando áreas urbanas e água.
Florestamento/Reflorestamento	1535,65	99,61%	
Antrópico Urbano	5,98	0,39%	
<b>Total</b>	<b>1541,90</b>	<b>100,00%</b>	
<b>Cenário C_08</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Observações</b>
Água	0,09	0,01%	Simulação de toda bacia com floresta nativa, respeitando áreas urbanas e água.
Floresta Nativa	1535,65	99,61%	
Antrópico Urbano	5,98	0,39%	
<b>Total</b>	<b>1541,90</b>	<b>100,00%</b>	
<b>Cenário C_09</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>	<b>Observações</b>
Água	0,09	0,01%	Simulação de toda bacia com uso campestre, respeitando áreas urbanas e água.
Campestre	1535,65	99,61%	
Antrópico Urbano	5,98	0,39%	
<b>Total</b>	<b>1541,90</b>	<b>100,00%</b>	

Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

Em seguida criou-se um raster para cada cenário do Fator C para a bacia Cachoeira Cinco Veados.

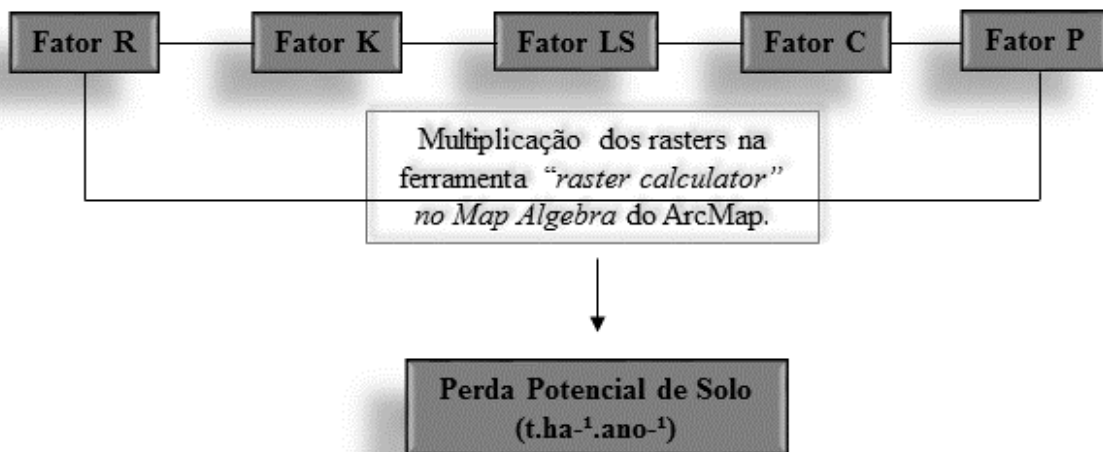
### 3.2.5 Fator P – Práticas Conservacionistas

Quanto à avaliação das práticas conservacionistas adotou-se dois valores: o primeiro valor é igual a 1 (P\_1.0), correspondente a plantio morro abaixo considerando que não aplica-se nenhuma técnica conservacionista e o segundo valor igual a 0,5 (P\_0.5) referente a prática de plantio em contorno, ambos valores referenciados por Bertoni e Lombardi Neto (2010).

### 3.3 PERDA POTENCIAL DE SOLO POR UNIDADE DE ÁREA ( $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ )

Para o cálculo da perda potencial de solo foram multiplicados todos os rasters dos fatores da Usle conforme Figura 9.

Figura 9 - Metodologia utilizada para elaboração do mapa potencial de perda de solo.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

A metodologia apresentada na Figura 9 foi aplicada para os cenários, sendo feitas combinações entre os fatores, conforme Tabela 9. O Fator de erosividade da chuva está representado em R (Rufino et al., 1993), R\_01 (Cassol et al., 2007) e R\_02 (Santos, 2008).

Tabela 9 - Cenários de Equação Universal de Perda de Solo, em que R – erosividade da chuva, K – erodibilidade do solo, LS – fator topográfico, C – uso do solo, P – práticas conservacionistas, para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

<b>Denominação</b>	<b>Combinação dos fatores da Usle</b>
USLE	$(R_{01} * K * LS * C * P_{0.5})$
USLE 01	$(R * K * LS * C * P_{1.0})$
USLE 02	$(R_{01} * K * LS * C * P_{1.0})$
USLE 03	$(R_{02} * K * LS * C * P_{1.0})$
USLE 04	$(R * K * LS * C * P_{0.5})$
USLE 05	$(R_{02} * K * LS * C * P_{0.5})$
USLE 06	$(R_{01} * K * LS * C_{01} * P_{0.5})$
USLE 07	$(R_{01} * K * LS * C_{02} * P_{0.5})$
USLE 08	$(R_{01} * K * LS * C_{03} * P_{0.5})$
USLE 09	$(R_{01} * K * LS * C_{04} * P_{0.5})$
USLE 10	$(R_{01} * K * LS * C_{05} * P_{0.5})$
USLE 11	$(R_{01} * K * LS * C_{06} * P_{0.5})$
USLE 12	$(R_{01} * K * LS * C_{07} * P_{0.5})$
USLE 13	$(R_{01} * K * LS * C_{08} * P_{0.5})$
USLE 14	$(R_{01} * K * LS * C_{09} * P_{0.5})$
USLE 15	$(R * K * LS * C_{01} * P_{0.5})$
USLE 16	$(R * K * LS * C_{02} * P_{0.5})$
USLE 17	$(R * K * LS * C_{03} * P_{0.5})$
USLE 18	$(R * K * LS * C_{04} * P_{0.5})$
USLE 19	$(R * K * LS * C_{05} * P_{0.5})$
USLE 20	$(R * K * LS * C_{06} * P_{0.5})$
USLE 21	$(R * K * LS * C_{07} * P_{0.5})$
USLE 22	$(R * K * LS * C_{08} * P_{0.5})$
USLE 23	$(R * K * LS * C_{09} * P_{0.5})$
USLE 24	$(R_{02} * K * LS * C_{01} * P_{0.5})$
USLE 25	$(R_{02} * K * LS * C_{02} * P_{0.5})$
USLE 26	$(R_{02} * K * LS * C_{03} * P_{0.5})$
USLE 27	$(R_{02} * K * LS * C_{04} * P_{0.5})$
USLE 28	$(R_{02} * K * LS * C_{05} * P_{0.5})$
USLE 29	$(R_{02} * K * LS * C_{06} * P_{0.5})$
USLE 30	$(R_{02} * K * LS * C_{07} * P_{0.5})$
USLE 31	$(R_{02} * K * LS * C_{08} * P_{0.5})$
USLE 32	$(R_{02} * K * LS * C_{09} * P_{0.5})$

Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Utilizando-se do modelo espacializado em SIG da Equação Universal de Perda de Solo - USLE determinou-se a respectiva perda de solo potencial na bacia, respectivamente 33 cenários combinando diferentes distribuições de usos do solo, equações de cálculo da erosividade das chuvas e técnicas conservacionistas.

Nos itens a seguir serão apresentados os resultados obtidos para o cálculo de cada fator a ser considerado na USLE e depois os resultados do processamento dos 33 cenários.

### 4.1 PARÂMETROS DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLO USLE

#### 4.1.1 Fator R - Erosividade da Chuva

A determinação da erosividade foi efetuada considerando as precipitações das estações pluviométricas apresentadas no Quadro 3. Os valores obtidos para o fator erosividade da chuva (R) estão apresentados no Quadro 7. Neste quadro, tem-se para cada estação, 4 linhas de informação: a primeira é a precipitação média mensal calculada com base em uma série de 30 anos, e nas três linhas a seguir, os valores da erosividade (R) da chuva, para cada mês e para o ano, segundo as diferentes equações desenvolvidas para a região.

Quadro 7 - Erosividade da chuva para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

Estações		Precipitação - Série de 30 anos (1985-2015)												P	R
		Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Agos	Set	Out	Nov	Dez		
Anderson Clayton (2853028)	(Mx); (p)	144,30	113,85	110,24	160,23	146,25	146,74	144,06	122,27	176,99	190,28	150,34	139,32	1715,0	-
	(Rufino et al., 1993) - Rx	625,61	497,73	482,57	692,50	633,78	635,87	624,61	533,09	762,90	818,73	650,97	604,68		7563,0
	(Cassol et al., 2007) - R	731,24	510,06	485,67	857,38	746,28	750,14	729,41	568,47	997,35	1113,42	778,26	693,21		8960,9
	(Santos, 2008) - R	470,17	336,62	321,66	544,96	479,14	481,43	469,08	372,24	627,03	694,449	498,15	447,443		5742,4
Coimbra (2854012)	(Mx); (p)	161,17	144,97	141,13	182,40	134,49	145,53	150,32	116,38	171,18	212,27	156,07	146,88	1826,0	-
	(Rufino et al., 1993) - Rx	696,45	628,43	612,30	785,64	584,40	630,79	650,90	508,35	738,52	911,08	675,03	636,46		8058,3
	(Cassol et al., 2007) - R	824,76	702,13	674,05	995,50	626,42	706,27	741,89	502,81	903,92	1253,55	785,43	716,25		9433,0
	(Santos, 2008) - R	525,71	452,78	435,96	625,95	407,31	455,26	476,52	332,18	572,35	775,171	502,41	461,226		6022,8
São Bernardo (2854013)	(Mx); (p)	160,08	131,66	148,57	174,54	145,11	150,41	175,16	115,04	188,49	238,66	166,45	155,94	1904,2	-
	(Rufino et al., 1993) - Rx	691,90	572,53	643,53	752,60	629,02	651,28	755,23	502,73	811,22	1021,90	718,63	674,50		8425,1
	(Cassol et al., 2007) - R	790,76	587,51	705,93	901,78	681,13	719,30	906,70	478,56	1013,64	1450,93	839,04	759,86		9835,1
	(Santos, 2008) - R	505,57	383,78	455,06	571,09	440,21	463,05	573,98	317,29	636,53	887,787	534,14	487,216		6255,7
Dona Francisca (2953008)	(Mx); (p)	158,87	149,71	145,09	172,74	141,47	144,21	178,82	131,77	186,43	199,32	132,00	141,89	1845,3	-
	(Rufino et al., 1993) - Rx	686,81	648,33	628,91	745,07	613,74	625,24	770,58	572,97	802,57	856,68	573,95	615,50		8140,4
	(Cassol et al., 2007) - R	800,54	731,43	697,37	909,16	671,15	691,00	958,18	602,41	1020,91	1130,04	604,04	674,18		9490,4
	(Santos, 2008) - R	511,37	470,28	449,94	575,43	434,22	446,12	604,16	392,81	640,76	704,064	393,79	436,037		6059,0
Tupanciretã (2953030)	(Mx); (p)	140,85	135,94	136,96	170,66	138,16	154,45	160,58	126,20	170,69	208,11	144,07	148,56	1737,7	-
	(Rufino et al., 1993) - Rx	611,12	590,48	594,80	736,33	599,84	668,25	693,99	549,61	736,43	893,61	624,63	643,50		7942,6
	(Cassol et al., 2007) - R	697,83	661,16	668,78	934,30	677,70	802,80	851,70	590,56	934,50	1263,12	722,19	756,71		9561,3
	(Santos, 2008) - R	450,21	428,23	432,8	590,18	438,15	512,71	541,62	385,64	590,29	780,66	464,77	485,344		6100,6
Furnas do Segredo (2954005)	(Mx); (p)	140,87	152,06	157,78	180,60	127,34	141,51	151,06	109,66	165,60	211,49	148,89	137,97	1776,3	-
	(Rufino et al., 1993) - Rx	611,20	658,22	682,24	778,07	554,37	613,88	654,01	480,14	715,06	907,81	644,89	599,01		7898,9
	(Cassol et al., 2007) - R	686,41	771,01	815,52	1001,36	588,73	691,13	763,30	469,11	877,68	1272,98	746,68	665,02		9348,9
	(Santos, 2008) - R	443,37	493,84	520,24	629,37	384,53	446,2	489,26	311,47	556,93	786,311	479,37	430,544		5971,5
Quevedos (2954019)	(Mx); (p)	135,71	146,05	114,29	162,43	123,06	125,07	144,95	103,86	165,40	179,79	126,65	130,64	1601,3	-
	(Rufino et al., 1993) - Rx	589,52	632,96	499,58	701,77	536,42	544,83	628,36	455,78	714,22	774,68	551,48	568,25		7197,8
	(Cassol et al., 2007) - R	701,72	784,61	540,51	922,22	604,80	619,83	775,68	467,35	947,92	1076,14	631,79	662,31		8734,9
	(Santos, 2008) - R	452,54	501,92	355,22	583,09	394,25	403,33	496,62	310,39	598,15	672,854	410,55	428,914		5607,8
Florida (2954030)	(Mx); (p)	163,83	133,36	149,03	183,11	119,26	133,20	144,37	105,93	156,37	202,42	143,93	141,93	1727,4	-
	(Rufino et al., 1993) - Rx	707,62	579,66	645,47	788,63	520,45	578,98	625,92	464,46	676,31	869,70	624,05	615,67		7696,9
	(Cassol et al., 2007) - R	881,99	645,12	763,79	1044,56	544,35	643,92	727,82	454,60	821,72	1216,45	724,40	709,20		9177,9
	(Santos, 2008) - R	559,46	418,58	489,55	654,52	357,56	417,85	468,13	302,53	523,91	753,868	466,09	457,011		5869,1
Esquina dos Lima (2954031)	(Mx); (p)	146,75	155,04	143,60	185,36	136,12	142,11	144,83	111,45	170,39	215,51	134,03	143,67	1767,0	-
	(Rufino et al., 1993) - Rx	635,89	670,70	622,67	798,06	591,27	616,41	627,85	487,65	735,20	924,68	582,47	622,95		7915,8
	(Cassol et al., 2007) - R	733,32	797,21	709,56	1045,92	654,17	698,39	718,83	482,72	920,28	1315,14	638,92	710,06		9424,5
	(Santos, 2008) - R	471,42	509,4	457,23	655,31	424,02	450,55	462,77	319,85	581,96	810,444	414,85	457,525		6015,3
Ponte Toropi II (2954032)	(Mx); (p)	125,76	126,27	134,25	165,98	120,65	124,89	150,41	100,01	178,19	154,61	145,87	110,82	1599,9	-
	(Rufino et al., 1993) - Rx	547,74	549,87	583,39	716,68	526,29	544,09	651,28	439,59	767,96	668,91	632,22	484,98		7113,0
	(Cassol et al., 2007) - R	625,47	629,30	690,75	953,67	587,26	618,90	821,06	441,54	1062,32	856,13	783,70	516,06		8586,2
	(Santos, 2008) - R	406,74	409,05	445,97	601,52	383,64	402,78	523,52	294,46	664,83	544,23	501,38	340,289		5518,4

Sendo: R - Erosividade da chuva (Mj.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>).

Rufino et al. (1993): Mx - Precipitação média (mm); Rx - fator de R para o mês x (Mj.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) para região Sul do Brasil.

(Cassol et al., 2007): p - Precipitação média mensal (mm); R - Média mensal do Índice de erosão (MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup>); P - Precipitação média anual (mm) para Ijuí, RS.

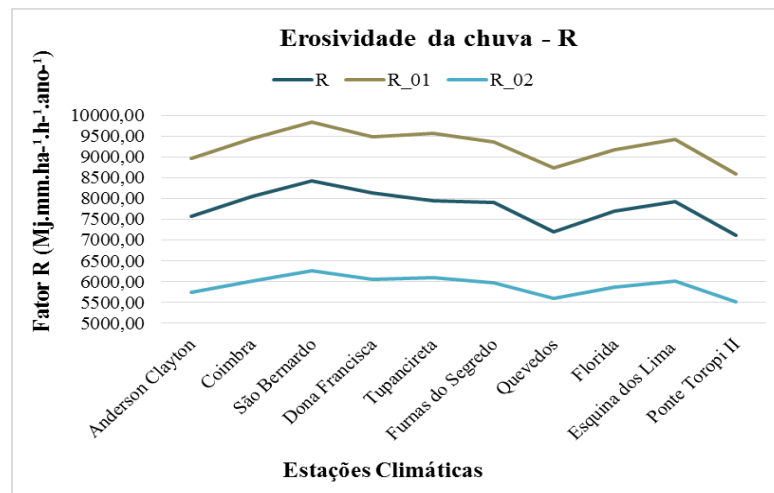
(Santos, 2008): p - Precipitação média mensal (mm); R - Média mensal do Índice de erosão (MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup>); P - Precipitação média anual (mm) para Santa Maria, RS.

Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

Na Figura 10 pode-se observar o comportamento da erosividade da chuva em cada estação climática, calculada pelas diferentes equações desenvolvidas para a região.



Figura 10 - Erosividade da chuva calculada pelas diferentes equações para as estações climáticas na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

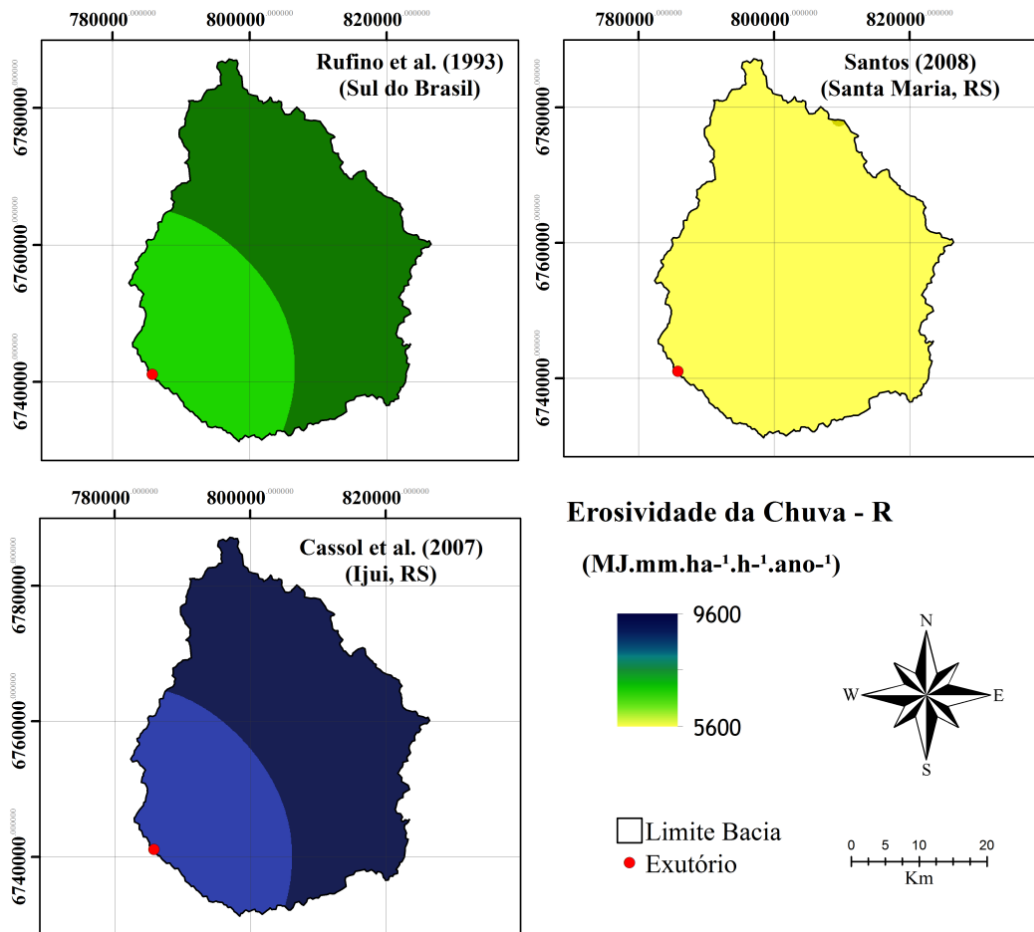


Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

Os resultados calculados pela equação desenvolvida por Cassol et al. (2007) foram os mais altos, enquanto que pela equação de Santos (2008) os menores. Essa diferença nos valores se dá devido a base do cálculo, onde a aquela foi desenvolvida para região de Ijuí, onde as pluviosidade são maiores, comparadas a região de Santa Maria, ou seja, quanto mais ao norte do estado do Rio Grande do Sul, maiores serão os valores de erosividade da chuva.

A partir dos valores de erosividade (Quadro 7) e com a localização geográfica das estações, gerou-se o mapa raster com valores de erosividade para cada ponto da bacia hidrográfica, por meio de método de interpolação. Pode ser visto na Figura 11, o mapa com valores de R para ambas as equações utilizados no cálculo, obtidos da interpolação entre os postos, cujos dados espacializados podem ser observados para toda Bacia Cachoeira Cinco Veados.

Figura 11 - Mapas do Fator Erosividade da Chuva (R) espacializado para diferentes equações.



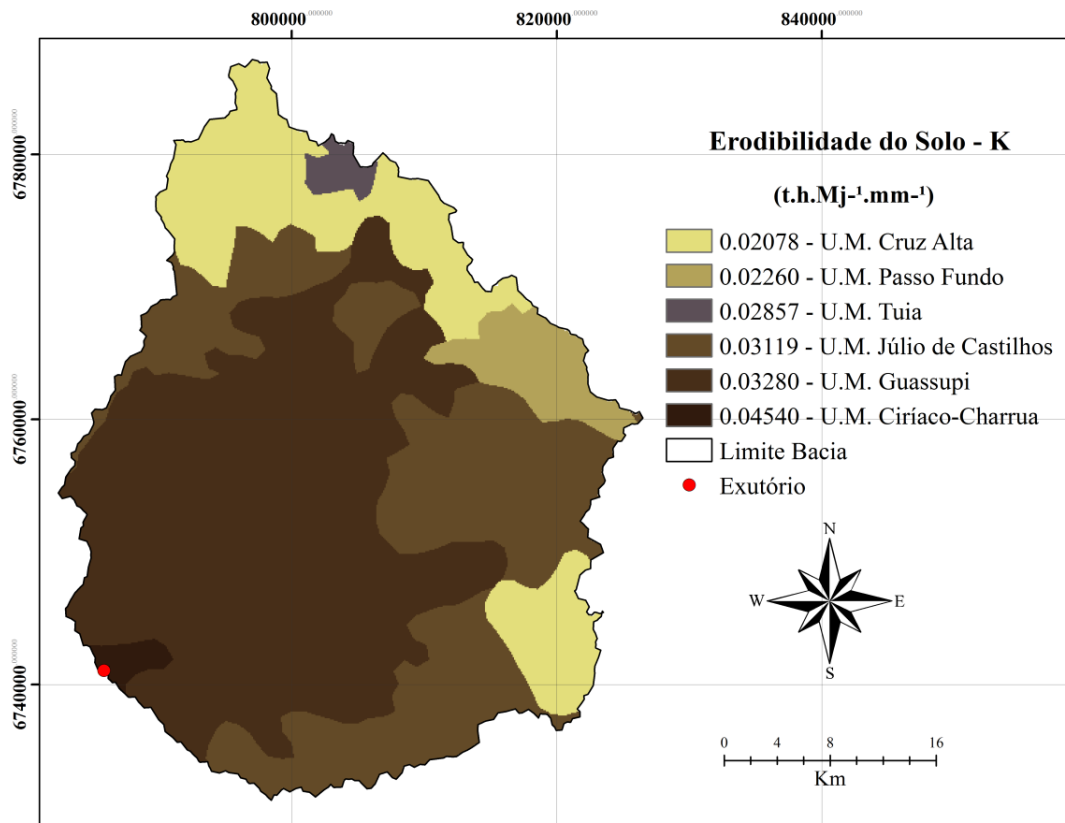
Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

Foram obtidos valores de média anual dos últimos 30 anos (1984-2015) de 7661,6 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para Equação R (erosividade forte), 9192,7 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para Equação R\_01 (erosividade forte) e 5881,9 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para equação R\_02 (erosividade média a forte), consideradas normais para essa região do Rio Grande do Sul, onde o índice de pluviosidade é de 1750 mm/ano.

#### 4.1.2 Fator K - Erodibilidade do Solo

O mapa de erodibilidade do solo foi obtido a partir da reclassificação do mapa de solos com os valores do Quadro 4 e está apresentado na Figura 12. Têm-se um K médio da bacia em torno de 0,0299 t.h.Mj<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>, caracterizando-a como de média erodibilidade.

Figura 12 - Mapa de Erodibilidade do Solo da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



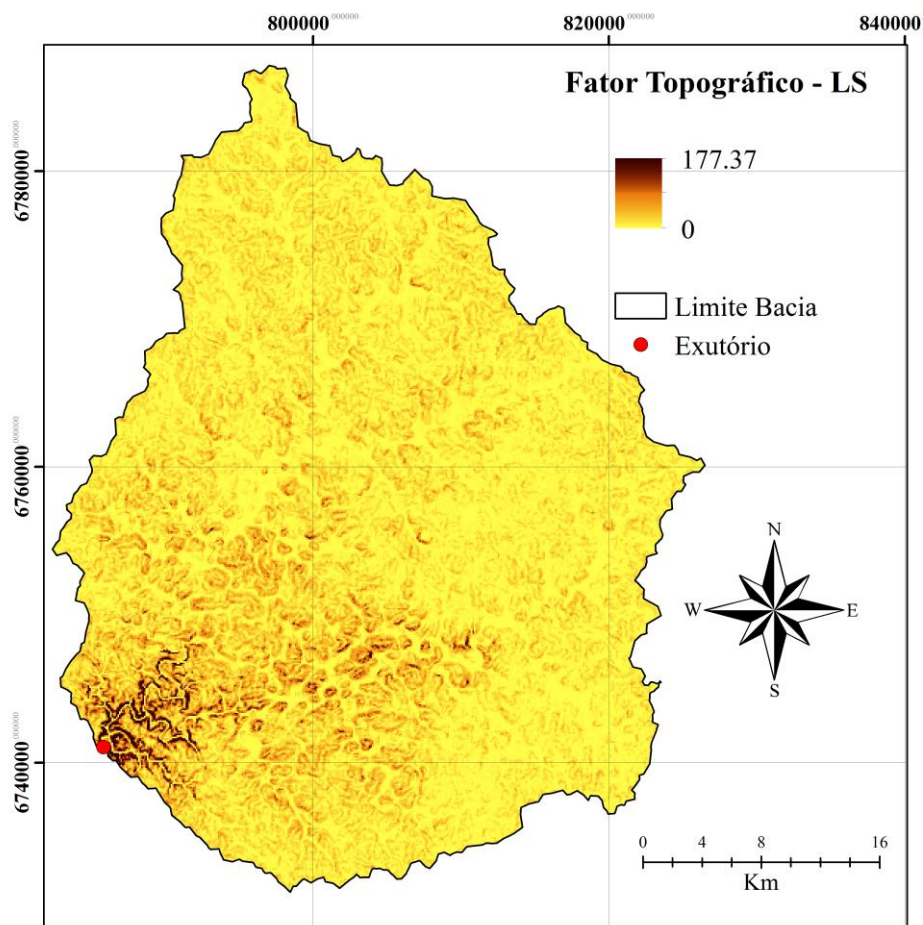
Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

#### 4.1.3 Fator LS - Fator Topográfico

A partir do MDE (Figura 9) foi construído o mapa de declividades. Observa-se que os maiores valores de declividade, acima de 30°, ocorrem próximos ao exutório da bacia, variando de relevo ondulado a forte montanhoso, ocupando área de 279,15 Km<sup>2</sup>, correspondendo a 18,1 % da área da Bacia. Contudo, a classe de relevo plano a suave ondulado ocupa 81,9 % da área total, prevalecendo desta forma na Bacia declividades entre 0 a 8% (Tabela 5).

Com base no mapa de declividades e na resolução do raster, foi elaborado um novo mapa com um valor de LS calculado para cada célula da bacia, conforme descrito no item 3.2.3, estabelecendo a variabilidade espacial do fator topográfico para toda a área (Figura 13).

Figura 13 - Mapa do Fator Topográfico da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



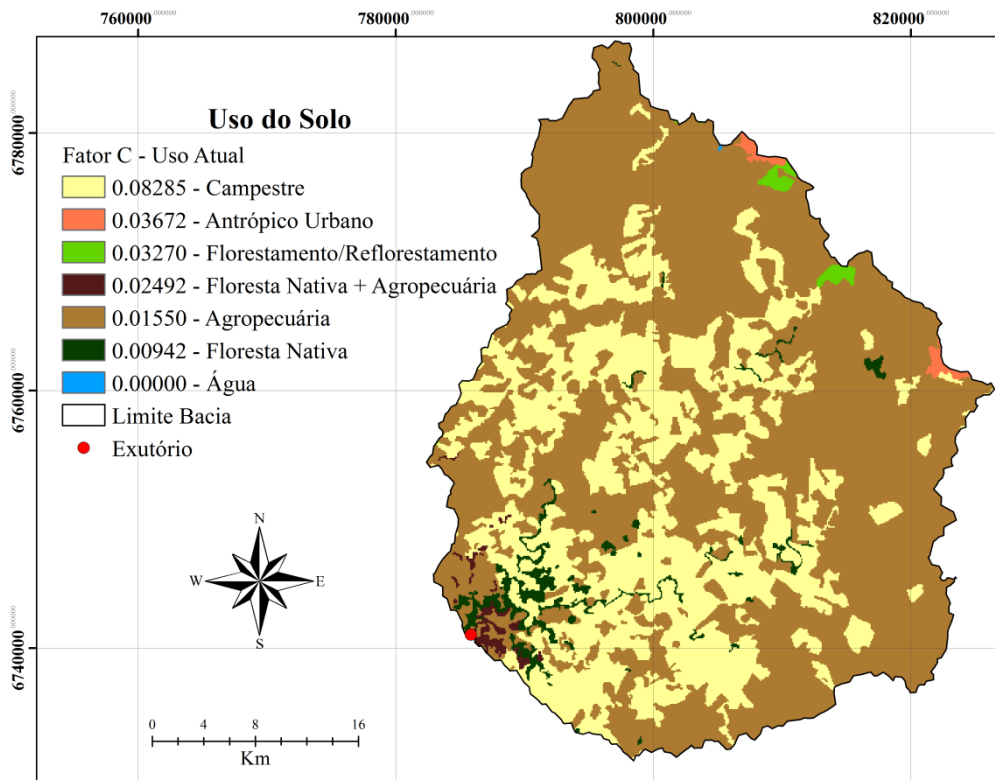
Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

Os valores de LS acima de 35 concentram-se próximos ao exutório, onde há áreas com paredões de rochas e declividades muito acentuadas. Os resultados do fator LS para a bacia assemelham-se aos encontrados por Didoné (2013) em áreas de maior declive e relevo montanhoso.

#### 4.1.4 Fator C - Uso e Manejo do Solo

Os mapas do Fator C foram obtidos por meio da reclassificação dos mapas de uso do solo de cada cenário estabelecido para a bacia de estudo, conforme os valores constantes dos Quadros 5 e 6. Na Figura 14 observa-se o mapa do Fator C para o cenário de uso atual da Bacia.

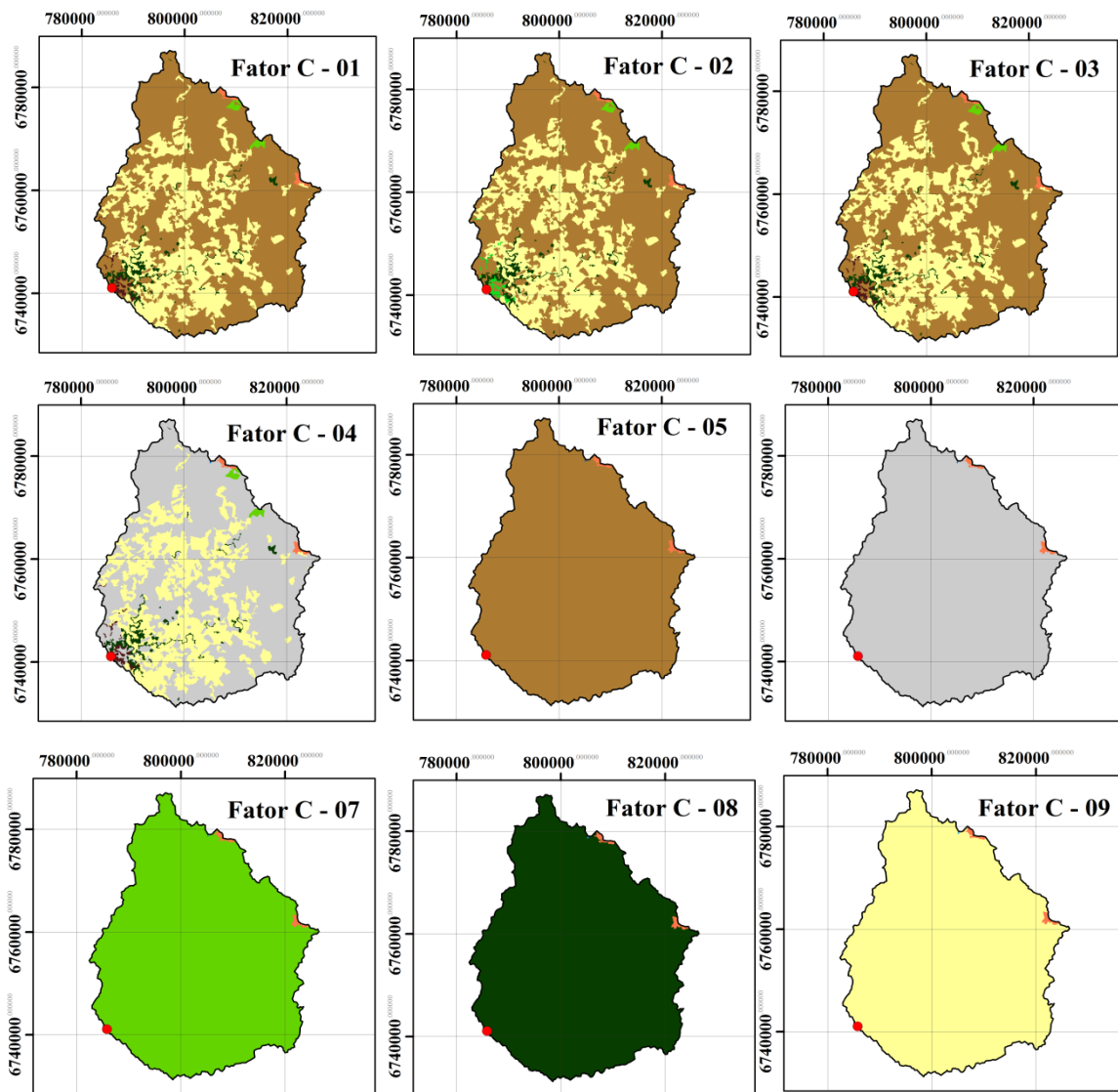
Figura 14 - Mapa do Fator Uso do Solo atual para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



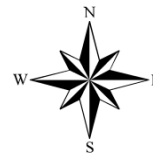
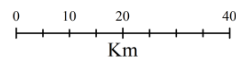
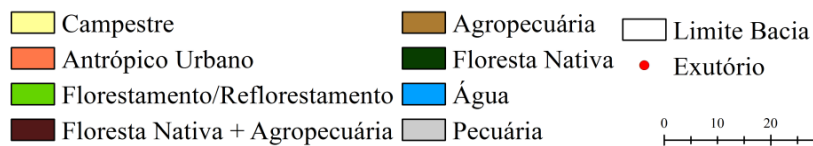
Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

No cenário atual de uso do solo na bacia há predominância do uso do solo para a agropecuária, considerado neste caso como atividade agrícola (Soja/Pastagem/Soja -SPS), em torno de 65,02 % da área. Os cenários de uso dos solos, C\_01 a C\_09 descritos no Quadro 6 estão apresentados na Figura 15.

Figura 15 - Mapas de Cenários do Fator C (Uso do Solo) para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



**Usos do Solo**



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

#### 4.2 PERDA POTENCIAL DE SOLO POR UNIDADE DE ÁREA ( $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ ) DA BACIA CACHOEIRA CINCO VEADOS, RS.

Depois da obtenção de todos os fatores da USLE foi possível, por meio da multiplicação de rasters, estimar pixel a pixel os valores de perda de solo para a Bacia Cachoeira Cinco Veados.

O Fator R, o C e o P assumiram, no modelo USLE diferentes valores em função dos cenários testados, apresentando o resultado da perda de solo para cada condição dos 33 cenários elaborados para a bacia. Na Tabela 10, encontra-se as áreas respectivas de cada classe de perda potencial de solo para cada cenário proposto na Bacia Cachoeira Cinco Veados.

Tabela 10 - Área enquadrada em cada classe de Perda Potencial de Solo nos cenários realizados para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

(continua)

Perda Potencial de Solo ( $t \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$ )						
Classes	USLE		USLE 01		USLE 02	
	Total ( $t \cdot ano^{-1}$ )	Área (%)	Total ( $t \cdot ano^{-1}$ )	Área (%)	Total ( $t \cdot ano^{-1}$ )	Área (%)
0 – 1	1648,84	9,66	769,84	8,72	465,04	8,45
1 – 10	320239,3	33,86	148084,8	16,14	84451,95	10,88
10 – 50	1281373	34,90	1528916	44,28	1702060	47,12
50 – 100	1080876	9,14	1301706	11,59	1420132	12,07
100 – 500	3477267	12,24	6130869	17,86	6980034	19,17
500 - 1.000	189274,5	0,20	1276841	1,32	2112886	2,11
1.000 - 5.000	8499,64	0,01	172695,4	0,09	395548,2	0,2
> 5.000	-	0	-	0	-	0
<b>Perda média/ha</b>	<b>41,24</b>		<b>68,48</b>		<b>82,33</b>	
Classes	USLE 03		USLE 04		USLE 05	
	Total ( $t \cdot ano^{-1}$ )	Área (%)	Total ( $t \cdot ano^{-1}$ )	Área (%)	Total ( $t \cdot ano^{-1}$ )	Área (%)
0 – 1	1124,51	9,1	2132,4	10,2	3346,59	11,47
1 – 10	208955,9	22,62	333309,3	38,03	320452,4	41,7
10 – 50	1264776	40,18	1156893	32,43	943484,8	29,29
50 – 100	1051652	10,59	1088427	9,36	1188332	11,05
100 – 500	5039446	16,94	2622333	9,88	1594348	6,47
500 - 1.000	519423,1	0,54	82933,49	0,09	22419,92	0,02
1.000 - 5.000	44839,84	0,02	3414,21	0,002	-	0
> 5.000	-	0	-	0	-	0
<b>Perda média/ha</b>	<b>52,72</b>		<b>34,30</b>		<b>26,41</b>	
Classes	USLE 06		USLE 07		USLE 08	
	Total ( $t \cdot ano^{-1}$ )	Área (%)	Total ( $t \cdot ano^{-1}$ )	Área (%)	Total ( $t \cdot ano^{-1}$ )	Área (%)
0 – 1	1040,43	9,02	79,3	8,07	2690,11	10,73
1 – 10	173748	20	44116,44	4,66	322749,2	38,99
10 – 50	1687378	48,17	1314147	26,22	1042895	29,25

Tabela 10 - Área enquadrada em cada classe de Perda Potencial de Solo nos cenários realizados para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

(continuação)						
50 – 100	1180742	10,15	3196904	30,36	1035349	8,69
100 – 500	3529836	12,43	7814243	29,95	3449782	12,16
500 - 1.000	206728	0,22	577254,4	0,57	179439,3	0,19
1.000 - 5.000	8499,64	0	430006,5	0,18	8499,64	0,005
> 5.000	-	0	-	0	-	0
<b>Perda média/há</b>	<b>44,02</b>		<b>86,47</b>		<b>39,18</b>	
Classes	USLE 09		USLE 10		USLE 11	
	Total (t.ano <sup>-1</sup> )	Área (%)	Total (t.ano <sup>-1</sup> )	Área (%)	Total (t.ano <sup>-1</sup> )	Área (%)
0 – 1	420,9	8,42	1968,03	9,99	431,46	8,43
1 – 10	90893,08	11,28	412482,9	42,59	99953,87	12,61
10 – 50	2122070	52,53	1424994	43,48	2371709	60,82
50 – 100	1596997	14,2	318225,6	3,14	1407092	13,46
100 – 500	3738737	13,3	205017,7	0,81	1133754	4,57
500 – 1.000	261601,6	0,27	2099,17	0	106109,1	0,11
1.000 – 5.000	22286,17	0,01	-	0	13840,17	0,01
> 5.000	-	0	-	0	-	0
<b>Perda média/há</b>	<b>50,80</b>		<b>15,34</b>		<b>33,29</b>	
Classes	USLE 12		USLE 13		USLE 14	
	Total (t.ano <sup>-1</sup> )	Área (%)	Total (t.ano <sup>-1</sup> )	Área (%)	Total (t.ano <sup>-1</sup> )	Área (%)
0 – 1	439,74	8,45	4298,25	12,5	53,61	8,03
1 – 10	100727,6	12,86	444311,4	55,74	51517,86	5,44
10 – 50	2351070	61,37	826586,2	30,46	1955171	36,61
50 – 100	1355638	13,02	107981,4	1,03	2955779	25,46
100 – 500	1046699	4,2	62939,15	0,28	6380374	23,53
500 – 1.000	102593,3	0,1	-	0	764894,5	0,74
1.000 – 5.000	6492,6	0,004	-	0	433397,7	0,2
> 5.000	-	0	-	0	-	0
<b>Perda média/há</b>	<b>32,19</b>		<b>9,38</b>		<b>81,33</b>	
Classes	USLE 15		USLE 16		USLE 17	
	Total (t.ano <sup>-1</sup> )	Área (%)	Total (t.ano <sup>-1</sup> )	Área (%)	Total (t.ano <sup>-1</sup> )	Área (%)
0 – 1	1411,89	9,41	149,75	8,13	3429,26	11,56
1 – 10	303236,5	30,94	55744,86	5,95	331366,7	42,54
10 – 50	1434509	39,55	1973523	37,76	944427,8	26,87
50 – 100	1151679	10	3025336	26,41	1067892	9,15
100 – 500	2658103	9,99	5417911	21,27	2594357	9,79
500 – 1.000	94096,47	0,1	389138,5	0,38	79980,65	0,09
1.000 – 5.000	3414,21	0,002	270382,3	0,12	3414,21	0
> 5.000	-	0	-	0	-	0
<b>Perda média/há</b>	<b>36,62</b>		<b>72,20</b>		<b>32,59</b>	
Classes	USLE 18		USLE 19		USLE 20	
	Total (t.ano <sup>-1</sup> )	Área (%)	Total (t.ano <sup>-1</sup> )	Área (%)	Total (t.ano <sup>-1</sup> )	Área (%)



Tabela 10 - Área enquadrada em cada classe de Perda Potencial de Solo nos cenários realizados para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

(continuação)						
0 – 1	678,88	8,65	2589,36	10,67	740,81	8,7
1 – 10	131541,4	14,91	422378,7	47,51	139835,3	16,25
10 – 50	2029132	53,19	1211157	39,35	2305037	62,37
50 – 100	1419572	12,59	193479,1	1,9	1000623	9,55
100 – 500	2795590	10,53	137669	0,57	757595,9	3,07
500 – 1.000	132446,3	0,14	-	0	66171,15	0,07
1.000 – 5.000	7571,63	0,005	-	0	-	0
> 5.000	-	0	-	0	-	0
<b>Perda média/ha</b>	<b>42,26</b>		<b>12,76</b>		<b>27,69</b>	
Classes	USLE 21		USLE 22		USLE 23	
	Total (t.ano <sup>-1</sup> )	Área (%)	Total (t.ano <sup>-1</sup> )	Área (%)	Total (t.ano <sup>-1</sup> )	Área (%)
0 – 1	858,46	8,79	5314,51	13,72	53,62	8,03
1 – 10	152572	17,31	494802,2	63,57	61167,55	6,71
10 – 50	2262277	61,89	591445,9	21,83	2059966	41,7
50 – 100	963901,3	9,19	73656,84	0,71	2848780	25,04
100 – 500	690061,9	2,77	37828,85	0,18	4670277	17,87
500 – 1.000	59554,15	0,06	-	0	539532,1	0,53
1.000 – 5.000	-	0	-	0	253046,7	0,12
> 5.000	-	0	-	0	-	0
<b>Perda média/ha</b>	<b>26,78</b>		<b>7,80</b>		<b>67,66</b>	
Classes	USLE 24		USLE 25		USLE 26	
	Total (t.ano <sup>-1</sup> )	Área (%)	Total (t.ano <sup>-1</sup> )	Área (%)	Total (t.ano <sup>-1</sup> )	Área (%)
0 – 1	2149,01	10,2	330,94	8,28	4575,33	12,99
1 – 10	336033,3	37,95	70682,67	7,86	359783,6	49,23
10 – 50	1147435	33,98	2059320	44,22	731572,2	20,42
50 – 100	1212497	11,29	2882632	26,31	1175861	10,92
100 – 500	1623034	6,56	3167167	13,02	1574782	6,42
500 – 1.000	25683,48	0,03	249917,9	0,24	22419,92	0,02
1.000 – 5.000	-	0	133905	0,06	-	0
> 5.000	-	0	-	0	-	0
<b>Perda média/ha</b>	<b>28,19</b>		<b>55,54</b>		<b>25,09</b>	
Classes	USLE 27		USLE 28		USLE 29	
	Total (t.ano <sup>-1</sup> )	Área (%)	Total (t.ano <sup>-1</sup> )	Área (%)	Total (t.ano <sup>-1</sup> )	Área (%)
0 – 1	992,79	9,01	4077,14	12,21	1058,75	9,07
1 – 10	179236	20,51	400213,2	51,76	187307,7	21,98
10 – 50	1712442	50,69	924427,2	34,61	1996382	60,79
50 – 100	1370771	12,91	113655,7	1,11	654175,2	6,47
100 – 500	1704133	6,84	71768,7	0,31	423458,6	1,68
500 – 1.000	48125,97	0,05	-	0	24181,66	0,03
1.000 – 5.000	-	0	-	0	-	0
> 5.000	-	0	-	0	-	0
<b>Perda média/ha</b>	<b>32,53</b>		<b>9,82</b>		<b>21,31</b>	
Classes	USLE 30		USLE 31		USLE 32	

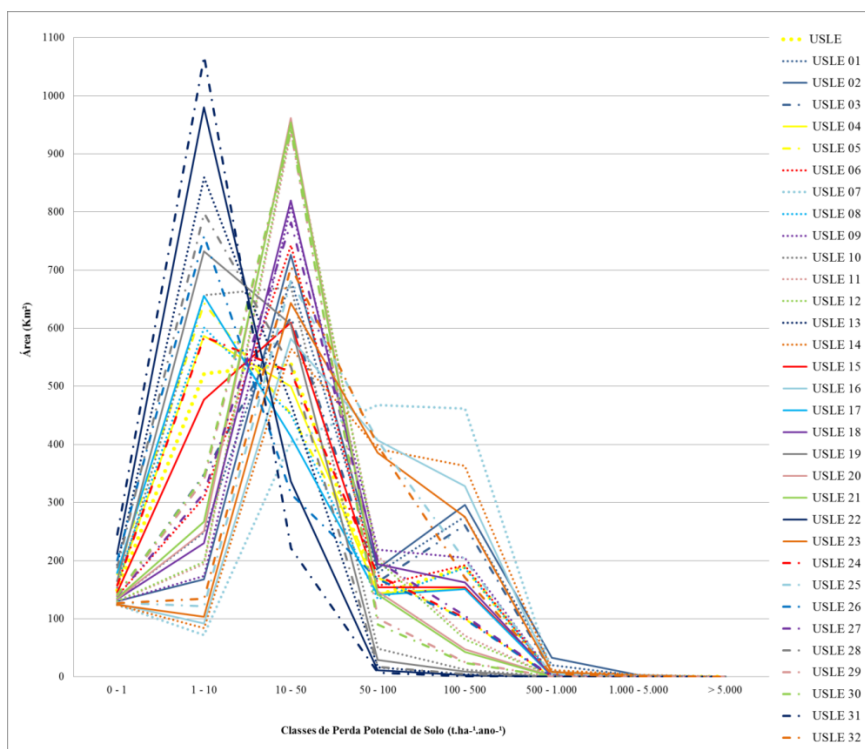
Tabela 10 - Área enquadrada em cada classe de Perda Potencial de Solo nos cenários realizados para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

	(conclusão)					
	Total (t.ano <sup>-1</sup> )	Área (%)	Total (t.ano <sup>-1</sup> )	Área (%)	Total (t.ano <sup>-1</sup> )	Área (%)
0 – 1	1179,51	9,17	6998,37	15,87	269,78	8,22
1 – 10	189595,1	22,45	483015,6	69,25	76370,96	8,73
10 – 50	1981058	61	373096,7	14,35	1971748	45,81
50 – 100	592831,9	5,82	45667,6	0,45	2712365	25,76
100 – 500	393586,7	1,55	17136,34	0,08	2846771	11,13
500 - 1.000	19954,32	0,02	-	0	312450	0,31
1.000 - 5.000	-	0	-	0	110138,5	0,06
> 5.000	-	0	-	0	-	0
<b>Perda média/ha</b>	<b>20,61</b>		<b>6,00</b>		<b>52,08</b>	

Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

Percebe-se uma mudança na distribuição quantitativa da suscetibilidade erosiva na bacia entre os cenários, variando as áreas por classe de perda de solo (Figura 16).

Figura 16 - Distribuição de áreas (km<sup>2</sup>) nas classes de perda potencial de solo, nos 33 cenários para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

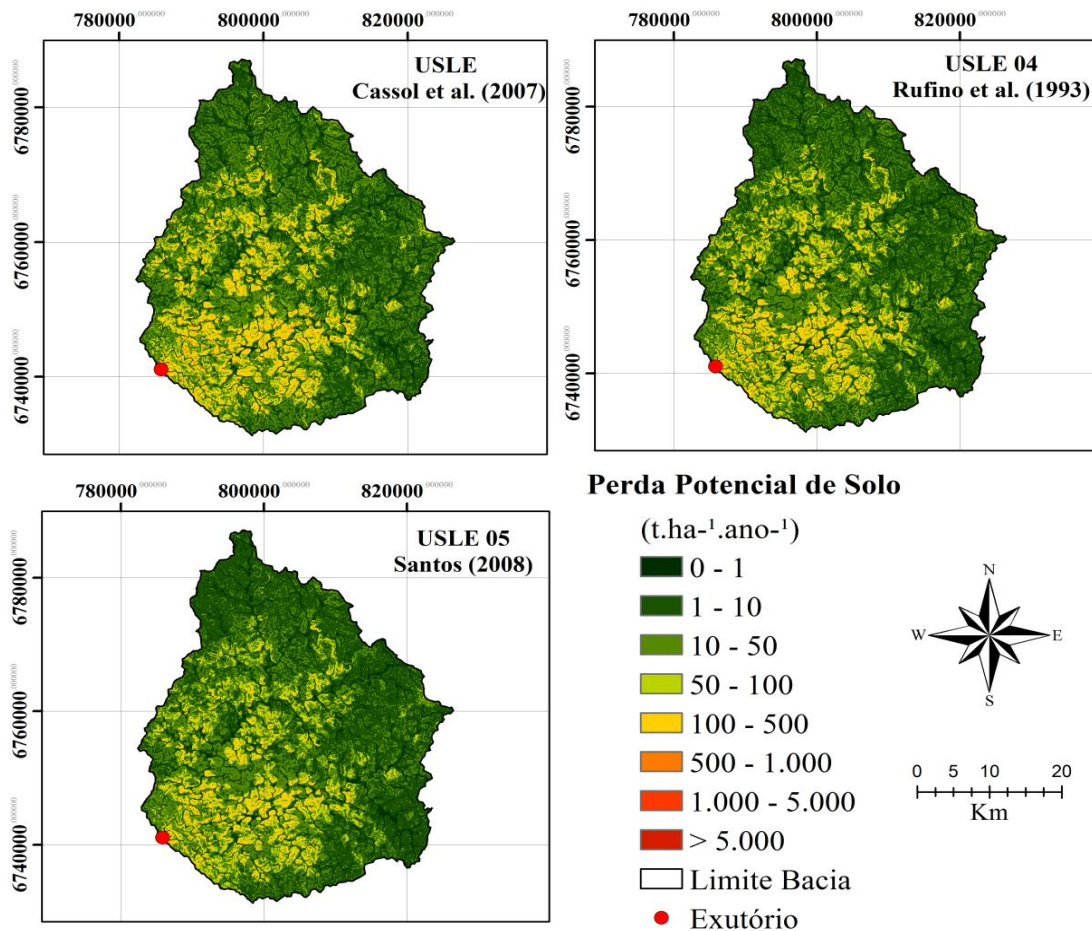
Pela Figura 16 nota-se o comportamento dos cenários frente as classes de perda de solo, em alguns casos apresentando semelhanças quanto as perdas por erosão. Nos próximos itens serão discutidos vários aspectos dos diferentes cenários.

#### **4.2.1 Influência da Erosividade da Chuva**

A chuva é o fator chave para a desagregação do solo, causando perdas, às vezes, significativas para o local aonde incide. Por ser um evento natural, não existe maneiras de evitá-la, tão pouco ignorá-la. É preciso conhecer os efeitos que os diferentes volumes de precipitação podem causar na área que deseja-se ocupar, para fins de gestão, planejamento mais sustentáveis e corretos. Ainda, a disponibilidade de estudos com equações regionais pelas quais calcula-se o índice de erosividade da chuva, pode influenciar os resultados, situação que será discutida neste item.

No mapa de cenários de erosividade da chuva (Figura 17), pode-se visualizar a resposta da bacia, em relação a variável erosão, quando da utilização de diferentes equações regionais para cálculo do fator R no estado do RS.

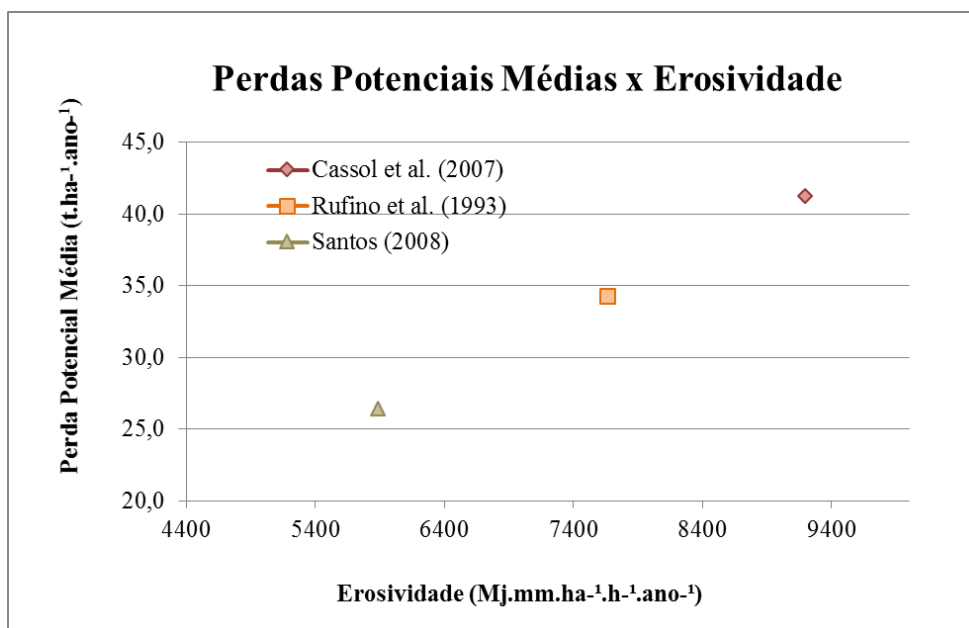
Figura 17 - Mapas de distribuição de Perda Potencial de Solo conforme critério de Ribeiro (2006), calculada pelo modelo USLE com diferentes valores de erosividade da chuva (R), calculados pelas equações de Rufino et al (1993), Cassol et al (2007) e Santos (2008) para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

Ao analisar os mapas percebe-se visualmente que há pouca variação de cores entre os cenários, ou seja, as áreas concentram-se na faixa de 1-500 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> de perda potencial de solo calculadas pelas diferentes equações. Para esta variação de áreas nas classes não há diferença significativa a 95% de confiabilidade pela ANOVA entre os cenários. Porém, analisando-se os valores médios de perdas de solo na bacia, observa-se que das três equações, a de Cassol et al., 2007 (USLE), promove cerca de 35,96% mais perdas do que a equação de Santos, 2008 (USLE 05) (Figura 18).

Figura 18 – Comparativo de Perda Potencial Média de Solo por equação de cálculo da Erosividade da Chuva.



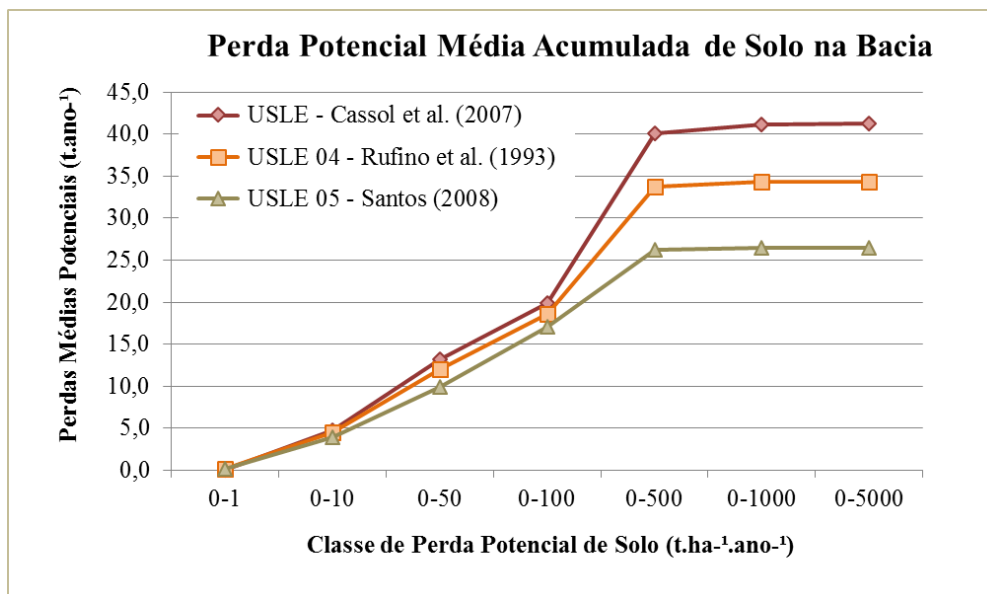
Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

O comportamento da bacia em relação as perdas calculadas pelas equações é linear, ou seja, à medida que aumenta o potencial de erosividade crescem os valores de perda potencial média na bacia. A equação de Cassol et al., 2007 foi que apresentou maior perda média e isto relaciona-se com as características que envolvem o cálculo, já que a mesma foi desenvolvida para a região de Ijuí, onde os índices pluviométricos são maiores e, assim mais propensos a causar erosão.

Cada equação aplicada para cálculo do fator de erosividade da chuva apresenta características das áreas para as quais foram criadas. Não mostrando diferenças significativas, ambas as equações podem fazer parte de estudos e auxiliar na tomada de decisão para planejamento, zoneamento nesta região. Cabe, porém, ao gestor analisar e tomar decisões considerando as três possibilidades, uma vez que as três equações foram obtidas com a utilização de dados medidos a campo.

A Figura 19 ilustra o comportamento erosivo da bacia para cada equação utilizada por classe de perda de solo potencial, com as médias potenciais de perda de solo.

Figura 19 – Perda Potencial Média Acumulada nas classes de perda potencial de solos nos cenários USLE, USLE 04 e USLE 05, para uso atual da bacia com diferentes equações de erosividade da chuva para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

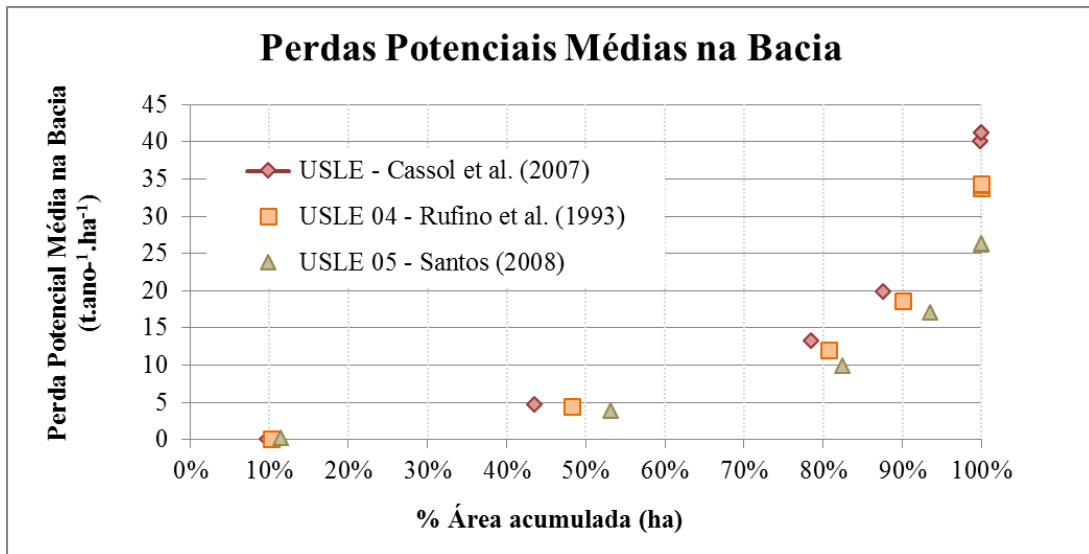


Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

Quando acumuladas as perdas médias potenciais de solo, a resposta da bacia mostra-se semelhante para ambas as equações até um limite de classe de 100 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. A partir desse valor, o comportamento erosivo na bacia muda para cada equação. Esta diferença está nas classes mais altas de perda de solo potencial (500 – 5.000 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>).

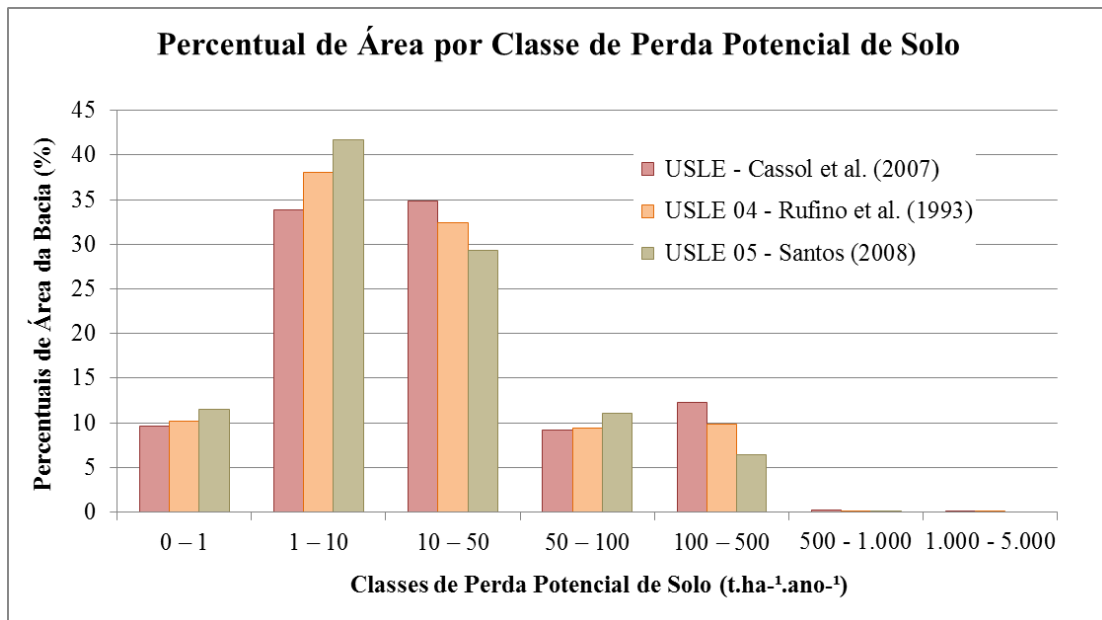
A seguir pode-se ser feita uma análise com base nas perdas potenciais médias e totais e a relação com a área da bacia (Figuras 20, 21 e 22).

Figura 20 – Perdas Potenciais Médias de Solo por área acumulada (ha) na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



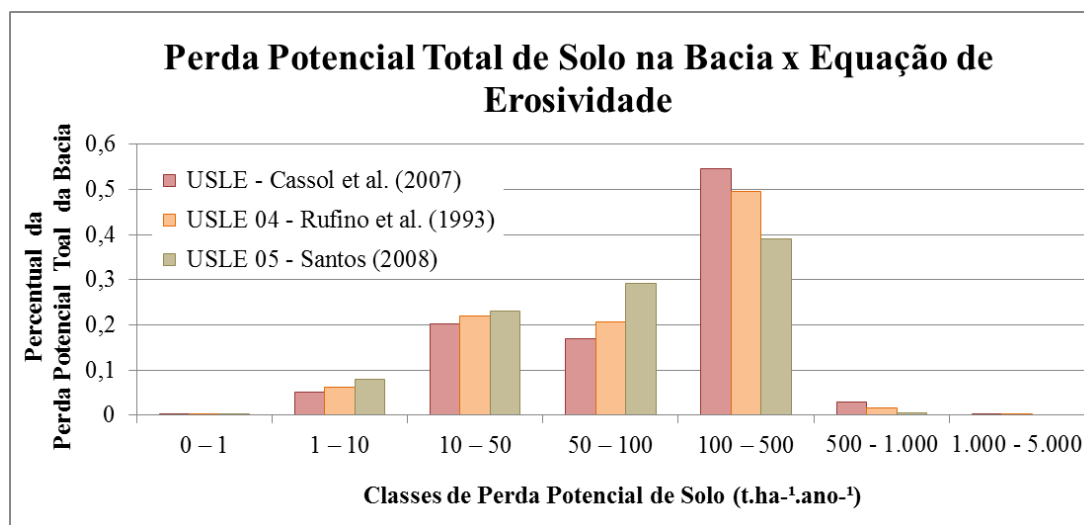
Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

Figura 21 - Distribuição Percentual de Perda Potencial Total de Solo por classe de perda potencial de solo na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

Figura 22 – Distribuição Percentual de Perda Potencial Total de Solo por classe de perda potencial de solo na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

A distribuição das perdas médias potenciais por percentual de área acumulada na bacia permitiu identificar que apenas 20% da bacia apresenta diferença no comportamento erosivo em relação as distintas equações. As maiores percentagens de perda potencial total de solo estão na classe de perda potencial de solo considerada moderada à forte (100-500 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>). Ao considerar o percentual de área da bacia nesta classe de perda potencial de solo, contata-se que apenas 15% da área total da bacia apresenta estas perdas. Este tipo de informação possibilita ao gestor analisar classes que apresentam poucas áreas dentro da bacia ao mesmo tempo, os maiores valores de perdas totais potenciais, pois são locais considerados mais suscetíveis aos processos erosivos, merecendo atenção no planejamento e manejo.

As maiores porcentagens de área para ambos os cenários estão localizadas na classe de 1-50 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, classificando estas áreas como de baixa à moderada potencialidade erosiva e as médias de perda potencial de solo na bacia como um todo estão na ordem de 41,24; 34,30; 26,41; t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para os Cenários da Usle, Usle 04 e Usle 05, respectivamente.

Outra questão relevante observada nos resultados é que, em ambos os cenários há valores considerados com potencial erosivo muito forte, cujas áreas localizam-se próximas ao exutório da bacia, onde há maior influência da declividade (Figura 17 e 22). Estudos desenvolvidos por Irvem et al. (2007), assinalam que os valores altos de precipitação governam a denudação dos solos e as variáveis topográficas são secundárias, mas igualmente



importantes na hora de explicar o processo, confirmando os diferentes resultados encontrados na estimativa da erosão.

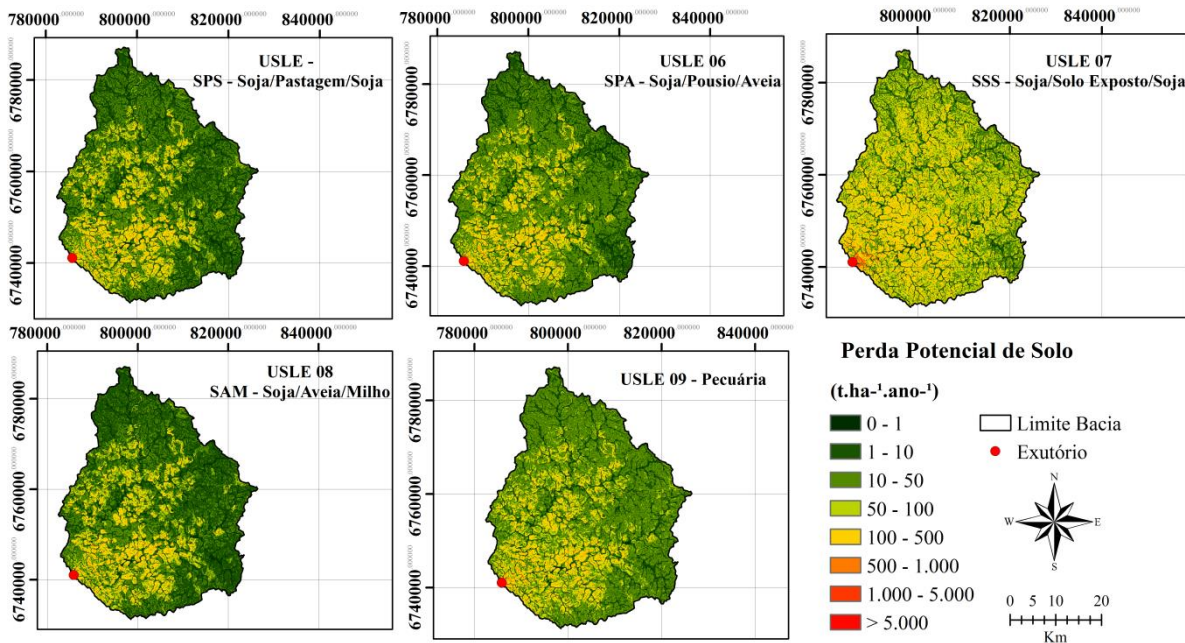
A bacia apresenta 8,43% de perdas potenciais totais consideradas na classe muito baixa ( $0-1 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ) nas áreas de declividades entre 0-3% (fragilidade baixa e com relevo plano), ocupando em torno de 15% da área total da bacia. Estas áreas encontram-se especializadas em todos os tipos de solo presentes na bacia, com resistência variando de muito baixa a alta, mas por estarem em declividades não acentuadas e protegidas na beira de rios, geralmente por mata ciliar (nativa), apresentam baixo potencial à perda de solo.

Menos de 5% da bacia apresenta áreas com erosão forte ( $500-1.000 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ), distribuindo-se espacialmente na região sul da bacia, em relevo ondulado a montanhoso, distribuídas em todas as classe de declividade, exceto  $> 75\%$  e estão em todos os tipos de solo e usos do mesmo. Ao aplicar a equação universal – USLE, Galdino et al. (2004) encontraram valores semelhantes de perda de solo ( $555,6 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ) a estes da bacia Cachoeira Cinco Veados, na Bacia do Alto Taquari. Nessas áreas, o fator que contribui para resultados altos de perda de solo refere-se ao uso inadequado do solo com relação ao tipo de solo combinado com a declividade. Este fato está de acordo com os estudos de Farinasso (2006) e Silva et al. (2003), cujos os resultados apontam para maiores perdas de solo em locais onde houve combinação entre relevo acidentado com solos altamente erodíveis.

#### **4.2.2 Influência da Cobertura do Solo**

A cobertura de um solo protege-o, evitando perdas elevadas, causadas pelo processo erosivo. Essa proteção varia dependendo do tipo de cobertura e da densidade da mesma. A seguir, podemos analisar os mapas de perda de solo por diferentes coberturas na mesma área (Figura 23).

Figura 23 - Mapas de distribuição de Perda Potencial de Solo conforme critério de Ribeiro (2006), calculada pelo modelo USLE para diferentes usos do solo nos Cenários USLE, USLE 06, USLE 07, USLE 08 e USLE 09 para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

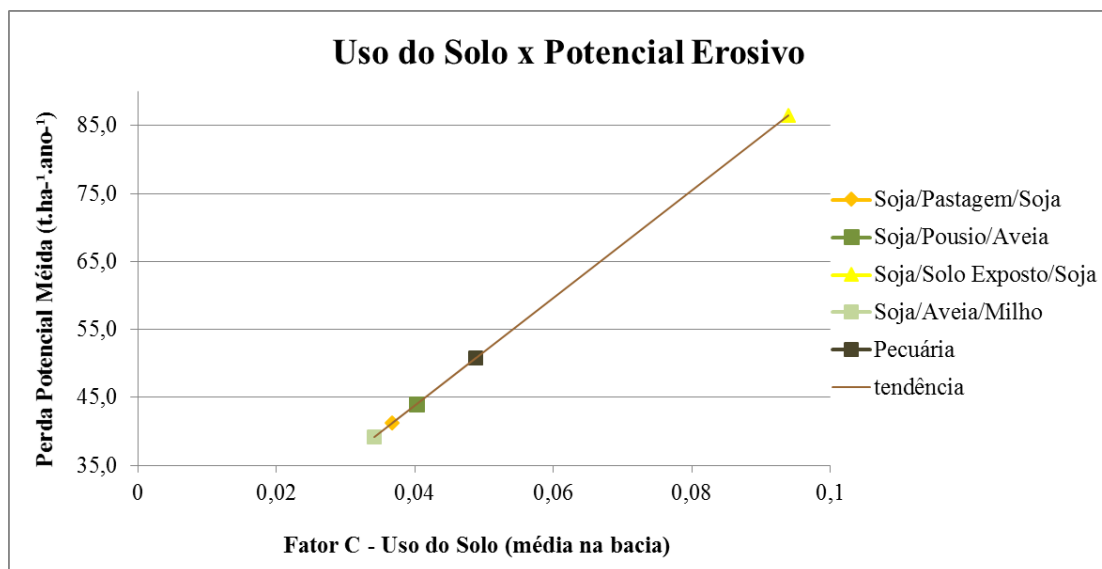


Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

Nestes mapas temos a comparação da erosão potencial como função de diferentes cenários de usos do solo na bacia. O uso agropecuária, nas áreas que estão classificadas no uso atual como agricultura com sistema rotativo soja/pastagem/soja (USLE), são substituídos por: soja/pousio/aveia (USLE 06) ou soja/solo exposto/soja (USLE 07) ou soja/aveia/milho (USLE 08) ou uso para pecuária (USLE 09).

O comportamento do potencial de perdas de solo resultante desses diferentes cenários pode ser visualizado na Figura 24.

Figura 24 – Relação do Potencial Erosivo de cada cenário de uso do solo (Usle – Soja/Pastagem/Soja; Usle 06 – Soja/Pousio/Aveia; Usle 07 – Soja/Solo Exposto/Soja; Usle 08 – Soja/Aveia/Milho; Usle 09 – Pecuária) com as perdas potenciais médias para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

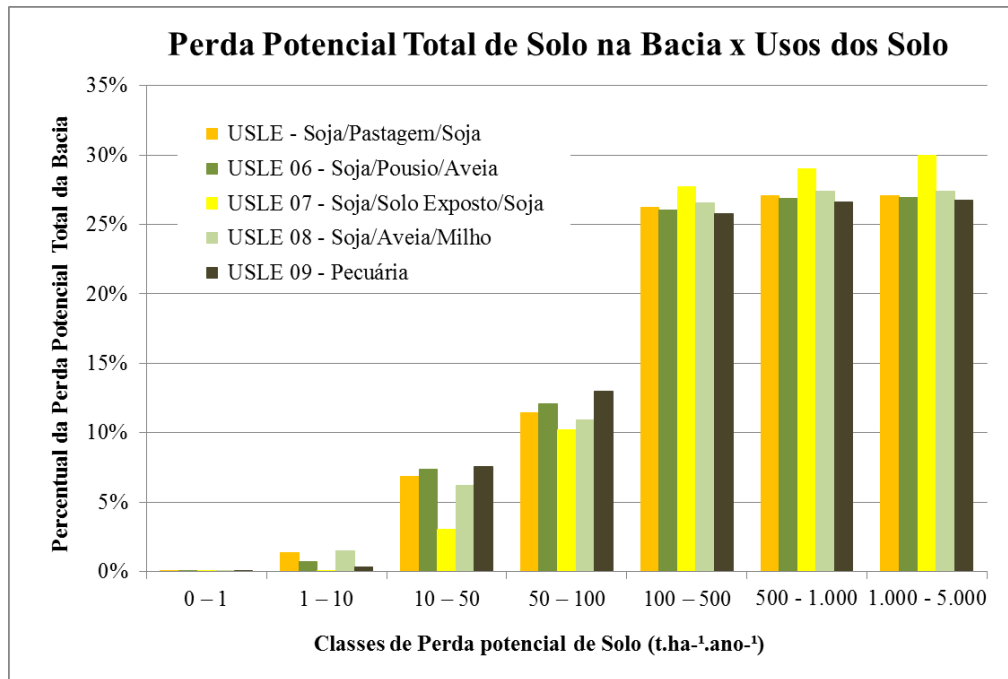


Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

Os resultados apresentam comportamento linear quanto às perdas potenciais médias de solo em relação ao fator C médio de cada cenário na bacia. Isto deve-se pelo fato de nesta simulação, as demais variáveis permanecerem idênticas entre os cenários apresentando o mesmo regime de chuvas e conjunto de solos. Os cenários de Soja/Pastagem/Soja, Soja/Aveia/Milho e Soja/Pousio/Aveia apresentaram perdas potenciais médias semelhantes, na faixa de 35 a 45 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. O uso com pecuária aproxima-se desses valores, porém com um potencial erosivo mais elevado, entre 45-55 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Já o cenário de Soja/Solo Exposto/Soja distancia-se do comportamento dos demais cenários, apresentando elevado valor médio de perda potencial (> 85 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>).

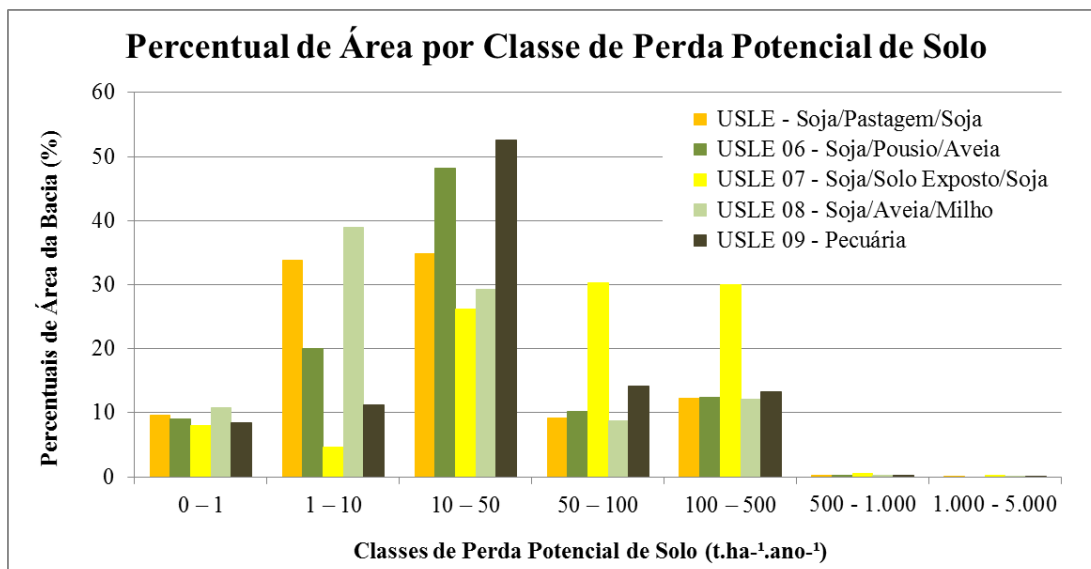
Para cada cenário há uma distribuição de perdas potenciais totais de solo na bacia em função das classes de perda potencial de solo, bem como de áreas contempladas em cada classe de perda potencial de solo (Figura 25 e 26).

Figura 25 – Distribuição Percentual da Perda Potencial Total de Solo por Classe Potencial de Perda de Solo em diferentes cenários de uso do solo, USLE (Soja/Pastagem/Soja), USLE 06 (Soja/Pousio/Aveia), USLE 07 (Soja/Solo Exposto/Soja), USLE 08 (Soja/Aveia/Milho), USLE 09 (Pecuária) para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

Figura 26 – Percentual de Área por Classe de Perda Potencial de Solo para os Cenários USLE, USLE 06, USLE 07, USLE 08 e USLE 09 na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



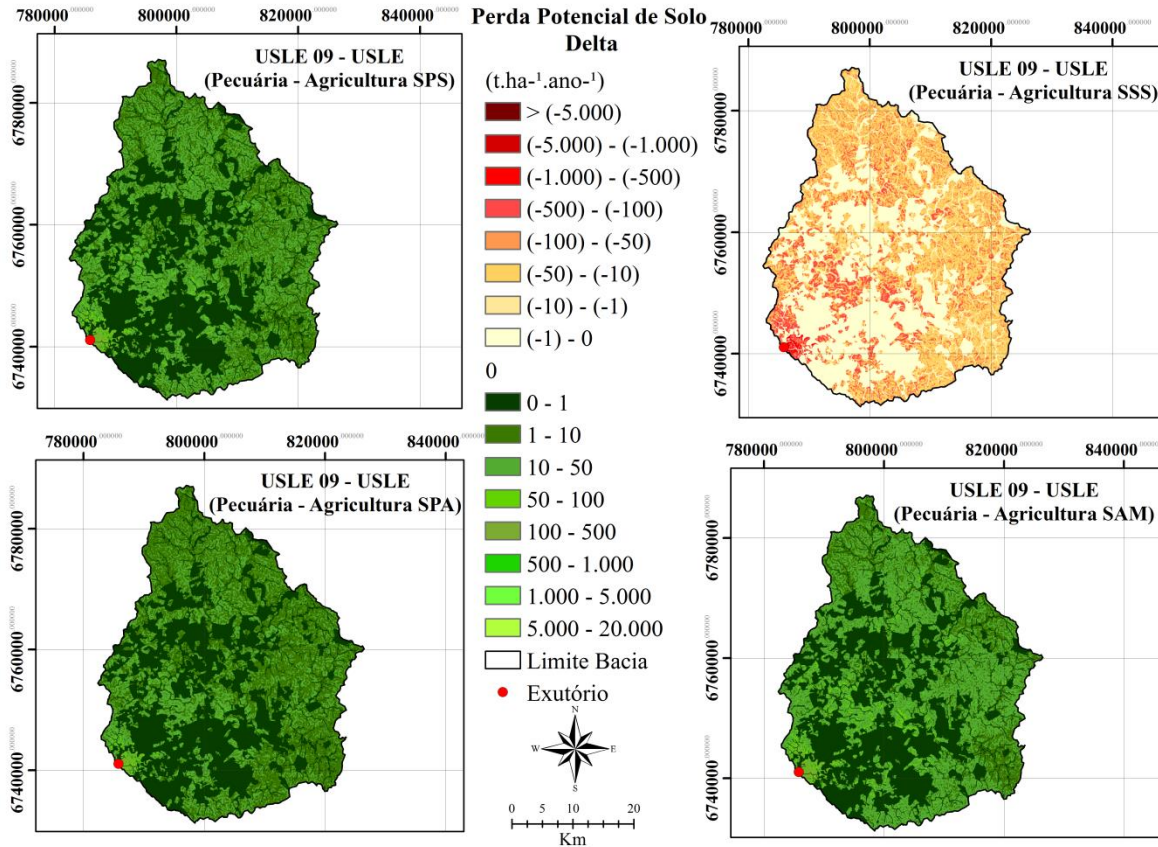
Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

A grande vantagem do modelo é que ele permite identificar as áreas da bacia que concentram os valores mais altos de perda de solo potencial (Figura 23), considerando cada tipo de uso, individualmente, permite analisar a classificação estas áreas em classes de perda de solo potencial (Figura 26), bem como quantificar e distribuir as perdas potenciais médias e totais de solo na bacia em intervalos de classe de perda potencial de solo (24 e 25).

Pode-se observar que a maior porcentagem de área manteve-se na classe de 10-50  $t.ha^{-1}.ano^{-1}$  (Figura 26) para os cenários com uso de soja/pastagem/soja, soja/pousio/aveia e pecuária, no entanto, isso representa um valor no entorno de 7% apenas da perda potencial total de solo da bacia (Figura 25). O cenário com soja/aveia/milho (Figura 26) apresentou maior porcentagem de área na classe considerada de baixo potencial erosivo (1-10  $t.ha^{-1}.ano^{-1}$ ), em torno de 50% área da bacia com potencial até 10  $t.ha^{-1}.ano^{-1}$ , no entanto, cerca de 75% das perdas potenciais totais estão concentradas nas faixas mais altas de perda potencial de solo (100-5.000  $t.ha^{-1}.ano^{-1}$ ), os demais 50% de área. E o cenário de uso do solo para agricultura no sistema de soja/solo exposto/soja, mostrou-se mais perdulário com relação a variável erosão, com 85% das áreas da bacia concentradas nas classes de perda potencial (10-500  $t.ha^{-1}.ano^{-1}$ ), e com percentuais de perda potencial total nas classes potenciais mais altas de erosão de 100 – 5.000  $t.ha^{-1}.ano^{-1}$ ) (Figura 25).

O uso do solo quando alterado para pecuária, reflete menor número de áreas da bacia nas classes consideradas de menor suscetibilidade à erosão comparada aos cenários com agricultura, exceto para o cenário USLE 07 (Soja/Solo Exposto/Soja), em que o uso do solo caracteriza-se por plantios de soja no verão com intervalos de solo exposto durante o inverno. Há diferença entre os cenários, quanto a distribuição das áreas nas classes de perda potencial para cada uso do solo com agricultura comparado ao cenário com pecuária (Figura 27).

Figura 27 - Mapas de Diferenças de Perdas Potenciais de Solo entre Cenário USLE 09 (Pecuária) e os Cenários USLE (Soja/Pastagem/Soja), USLE 06 (Soja/Pousio/Aveia), USLE 07 (Soja/Solo Exposto/Soja) e USLE 08 (Soja/Aveia/Milho) para Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

Nos mapas, os valores positivos representam áreas onde a bacia perde potencialmente mais solo com uso para pecuária comparado aos cenários de agricultura. Do contrário, valores negativos, estabelecem um potencial menor de erosão do uso pecuarista comparado ao uso agrícola.

Verifica-se a importância da cobertura do solo, já que a diferença entre cenários USLE e USLE 07 em relação ao cenário USLE 09 trata-se apenas do período pós-colheita em que o solo fica descoberto até que se plante soja novamente. Resultados para soja/pastagem/soja mostram 31% (465 km<sup>2</sup>) a mais de áreas, do que o uso com soja/solo exposto/soja nas classes de menor suscetibilidade erosiva. Assim, a ferramenta espacializada permite identificar estas áreas e inferir sobre o manejo e usos mais protetivos do solo. Na Tabela 11 encontra-se os valores distribuídos nas classes de potencial erosivo, conforme diferenciação pela comparação de cenários de agricultura e pecuária.

Tabela 11 - Distribuição de áreas nas classes de perda potencial de solo diante da comparação dos cenários de uso do solo (USLE 09 em relação ao USLE, USLE 06, USLE 07 e USLE 08) para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

<b>Diferença de Áreas entre Cenários</b>				
USLE 09 -				
Classes (t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	USLE	USLE 06	USLE 07	USLE 08
	Área (Km <sup>2</sup> )			
(-20.000) - (-5.000)	0	0	0,01	0
(-5.000) - (-1.000)	0	0	0,97	0
(-1.000) - (-500)	0	0	3,25	0
(-500) - (-100)	0	0	115,18	0
(-100) - (-50)	0	0	247,64	0
(-50) - (-10)	0	0	485,5	0
(-10) - (-1)	0	0	80,42	0
(-1) - 0	0	0	608,98	0
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1541,95</b>	<b>0</b>
0 - 1	627,37	640,76	0	620,93
1 - 10	412,12	555,72	0	272,85
10 - 50	475,7	333,1	0	600,97
50 - 100	20,04	8,4	0	37,61
100 - 500	6,62	3,97	0	9,35
500 - 1000	0,1	0	0	0,24
1000 - 5000	0	0	0	0
5000 - 20000	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>1541,95</b>	<b>1541,95</b>	<b>0</b>	<b>1541,95</b>

Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

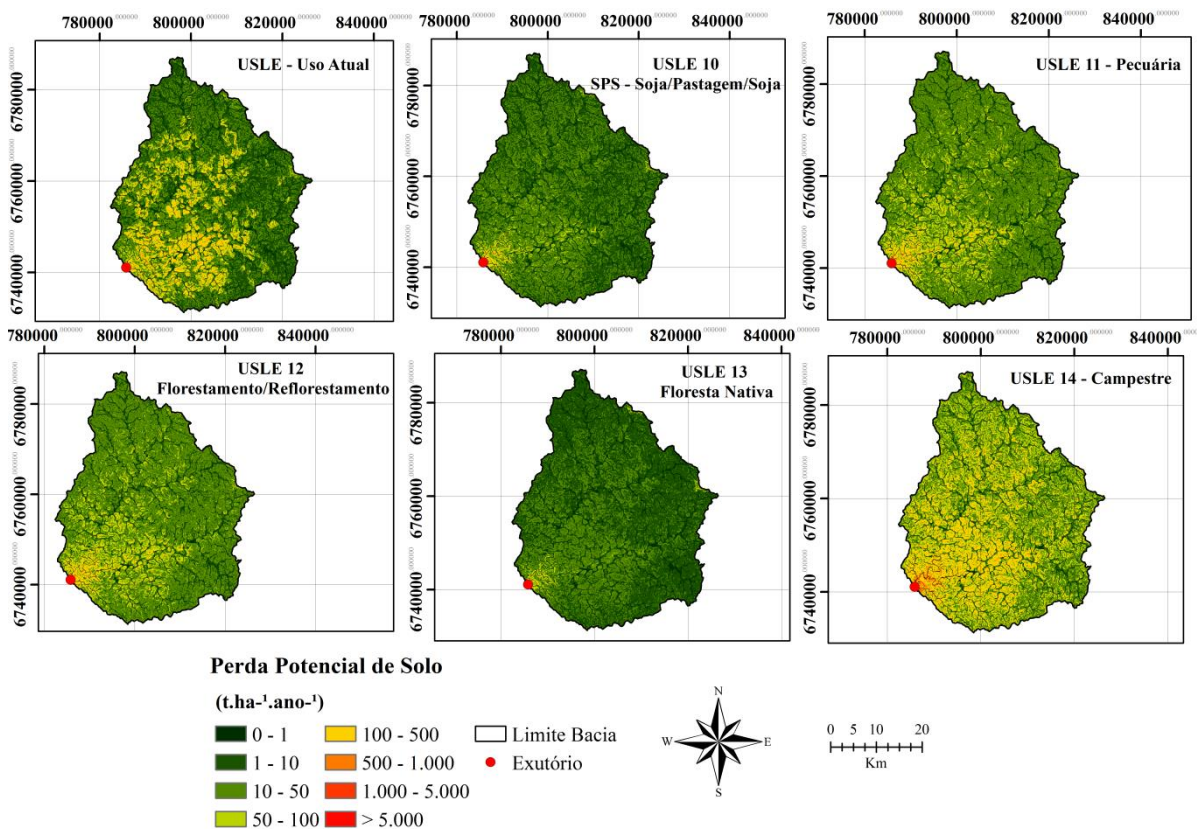
O cenário de uso com pecuária apresentou resultados menos suscetíveis à perda por erosão comparado ao cenário com agricultura - soja/solo exposto/soja, onde da área total da bacia 608,98 km<sup>2</sup> localizam-se na classe de 0-1 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, de baixo potencial erosivo. Por outro lado quando comparada aos demais cenários agrícolas os resultados invertem, onde o uso do solo para pecuária torna-se mais restritivo por ser mais suscetível à erosão. Em algumas classes esta diferença entre pecuária e agricultura ultrapassa os 40% de área total da bacia.

Vista a influência do fator C sobre as perdas de solo potenciais, em que áreas com usos mais protetivos garantem menores perdas de solo, buscou-se analisar a bacia no seu estado atual de uso, e repensar as áreas que devem ser remanejadas quanto a cobertura do

solo, em virtude de perdas potenciais de solo nas classes mais altas principalmente na região sudoeste da bacia, próximos ao exutório.

Com intuito de verificar mudanças espaciais na bacia e a influência que cada uso do solo reflete nas taxas de perda de solo, elaborou-se cenários em que, respeitando áreas úmidas e urbanas, o restante da bacia apresenta os seguintes cenários de uso para Agricultura soja/pastagem/soja (USLE 10), para Pecuária (USLE 11), para Florestamento/Reflorestamento (USLE 12), para Floresta Nativa (USLE 13) e para Campestre (USLE 14) (Figura 28 e 29).

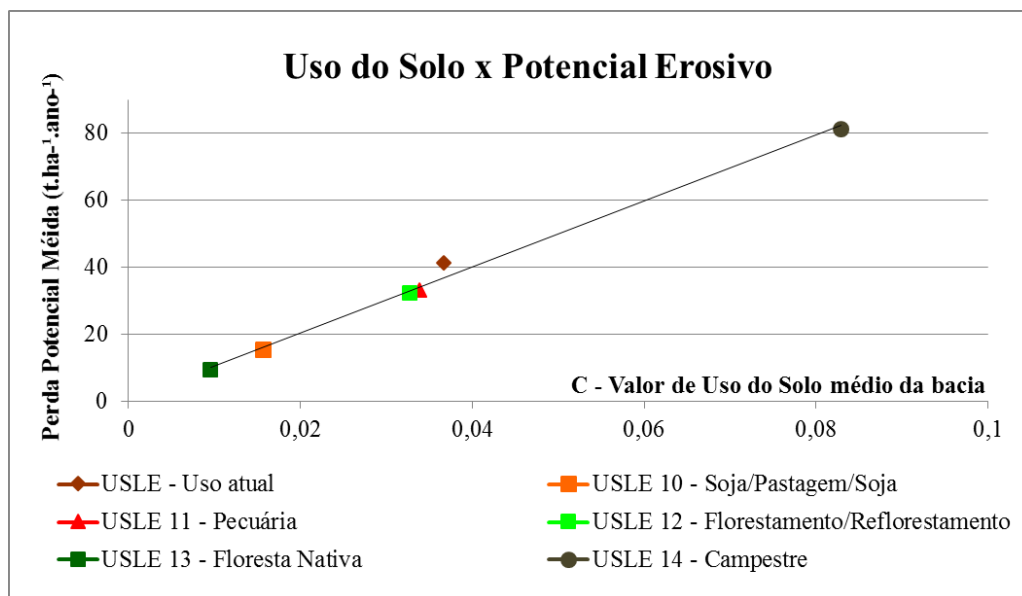
Figura 28 - Mapas de Distribuição de Perda Potencial de Solo conforme critério de Ribeiro (2006), calculada pelo modelo USLE para diferentes usos do solo nos Cenários USLE, USLE 10, USLE 11, USLE 12, USLE 13 e USLE 14 para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.



Figura 29 – Relação do Potencial Erosivo de cada cenário de uso do solo (Usle – Uso Atual; Usle 10 – Soja/Pastagem/Soja; Usle 11 – Pecuária; Usle 12 – Florestamento/Reflorestamento; Usle 13 – Floresta Nativa; Usle 14 - Campestre) com as perdas potenciais médias para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

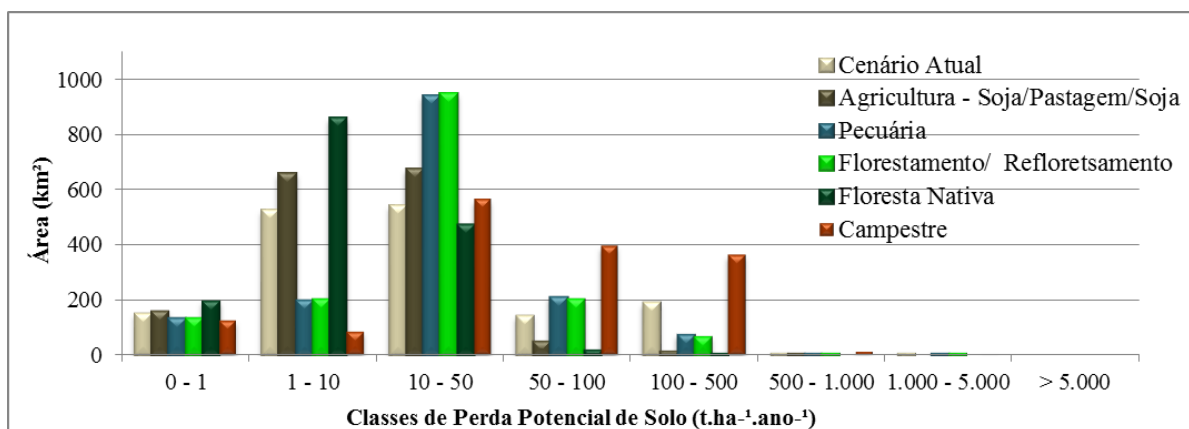
Pela escala de cores nos mapas (Figura 28) percebe-se que cada cenário apresentou uma resposta em relação as perdas potenciais de solo, apresentando pouca alteração de área entre os cenários e o cenário atual, exceto àquele modificado para campestre. O comportamento entre os cenários foi linear, como era esperado, pois foram as mesmas áreas que tiveram alteração no uso, e as demais variáveis, solo, chuva, topografia, permaneceram as mesmas. No entanto, para o cenário para o uso atual ocorre um pequeno desvio da reta (Figura 29), pois o Fator C engloba diferentes usos na bacia, em áreas distintas que nos demais cenários.

O cenário de floresta nativa (USLE 13) foi o que apresentou maior número de áreas presentes nas classes menos suscetíveis à erosão ( $1-50 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ), seguido de agricultura (soja/pastagem/soja). O cenário com uso para floresta nativa destaca-se com  $1521,73 \text{ km}^2$  nas classes inferiores de perda de solo ( $0-50 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ), em torno de  $0,063\%$  superior às áreas nestas mesmas classes no cenário com uso para agricultura e  $16,82\%$  em relação ao cenário com uso para pecuária. O cenário de Pecuária e o cenário de Florestamento/Reflorestamento assemelham-se em número de áreas por classes, portanto, apresentando respostas parecidas no comportamento erosivo, no entanto houve migração de áreas para as classes de  $50-100 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  apresentando caráter mais suscetível que com uso atual. Mas, o resultado que mais

difere do cenário atual é o modificado para campestre, ficando bem demarcadas as áreas onde as perdas são maiores.

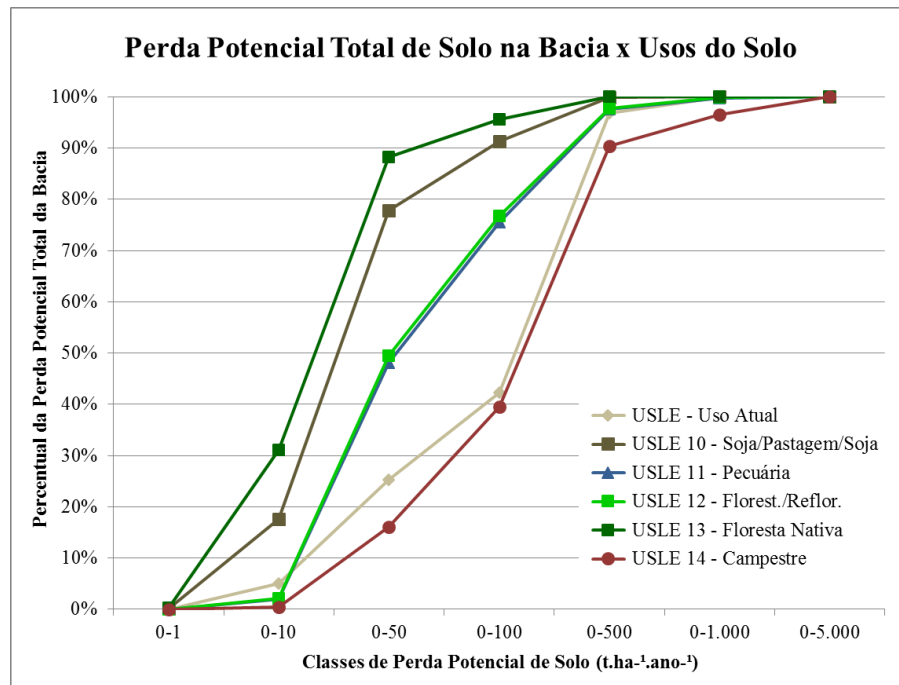
Na Figura 30 é possível verificar a distribuição de áreas nas classes de perda potencial de solo para os diferentes cenários de uso do solo testados e na Figura 31 a distribuição percentual de perdas potenciais totais de solo acumuladas em classes de perda potencial de solo.

Figura 30 - Distribuição de área (Km<sup>2</sup>) nas classes de Perda Potencial de Solo para os Cenários de uso do solo (USLE, USLE 10, USLE 11, USLE 12, USLE 13 e USLE 14) para Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

Figura 31 - Distribuição Percentual de Perda Potencial Total de Solo por classe de perda potencial de solo nos Cenários Usle (Uso Atual), Usle 10 (Soja/Pastagem/Soja), Usle 11 (Pecuária), Usle 12 (Florestamento/Reflorestamento), Usle 13 (Floresta Nativa) e Usle 14 (Campestre) na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

A área total resultante da variação entre os cenários, quando reclassificada nas classes de perda de solo, pelo critério de Ribeiro (2006), possibilita verificar a influência espacial do uso do solo testado em relação a suscetibilidade de perdas de solo e ainda compará-lo com outros usos. A partir da cenarização de usos do solo foi possível verificar o comportamento de quais áreas da bacia que apresentavam perdas potenciais altas no cenário atual, passando a apresentar valores mais baixos e menos suscetíveis à erosão quando alterados.

A vantagem do método de análise está no fato de que, como é uma combinação de solos, declividades, erosividade na bacia, é permitido verificar que as alterações frente aos cenários de usos do solo não são lineares (Figura 31).

Ocorre uma diminuição de áreas classificadas como moderada a forte de potencial de perda de solo ( $100 - 500 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ), segundo a ordem decrescente dos cenários de Floresta Nativa (USLE 13), seguido de Agricultura SPS (soja/pastagem/soja), Florestamento/Reflorestamento (USLE 12), Pecuária (USLE 11) em relação ao uso atual da bacia. Comportamento proporcional aos percentuais de perda potencial total de solo na bacia

ocorreu para estes cenários quando acumulada as perdas nas classes de perda potencial de solo.

O uso campestre (USLE 14) apresentou áreas mais suscetíveis às perdas potenciais de solo comparado a Floresta Nativa (USLE 13), ainda apresentando os maiores percentuais de perda potencial total de solo na bacia. A vegetação campestre caracteriza-se por vegetação mais baixa composta por gramíneas naturais e arbustos, e por apresentar porte pequeno, protege menos o solo em relação à vegetação arbórea (LANZA, 2011). Este resultado justificam-se, pois de acordo com Martins et al (2010), floresta nativa possibilita a produção de uma avantajada camada de serrapilheira, que proporciona proteção do solo.

A silvicultura, apesar de apresentar perdas potenciais maiores que as da vegetação nativa, apresenta bom grau de cobertura e para Lanza (2011) quanto mais durar o reflorestamento, maior a tendência de diminuição das perdas de solo na área, pois haverá aumento da copa das árvores e acúmulo de serrapilheira, protegendo o solo da energia das gotas da chuva.

No Quadro 8 estão apresentados valores percentuais comparativos das áreas na bacia distribuídas nas classes de perda potencial de solo para cada cenário de uso do solo em relação ao uso atual. A primeira coluna expressa as classes de perda potencial de solo. a segunda coluna representa o cenário de uso atual do solo da bacia com as áreas enquadradas por classe de perda potencial de solo (1ª coluna). As demais colunas apresentam titulação referente ao uso avaliado, e dividem-se em duas colunas, a primeira com as áreas enquadradas em cada classe de perda potencial de solo e a segunda, com variação percentual de área comparada ao cenário de uso atual (2ª coluna).

Quadro 8 - Porcentual de variação de área dos Cenários de Agricultura SPS (ULE 10), Pecuária (USLE 11), Florestamento/Reflorestamento (USLE 12), Floresta Nativa (USLE 13) e Campestre (USLE 14) comparados ao Cenário Atual (USLE).

Variação de Área entre Cenários de uso do solo (USLE 10, 11, 12, 13, 14) e Uso Atual (Cenário USLE)											
Classes (t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Cenário Atual	Agricultura Soja/Pastagem/Soja		Pecuária		Florestamento/ Reflorestamento		Floresta Nativa		Campestre	
	Área (Km²)	Área (Km²)	Variação	Área (Km²)	Variação	Área (Km²)	Variação	Área (Km²)	Variação	Área (Km²)	Variação
0 - 1	148,93	153,98	0,33%	130,03	-1,23%	130,26	-1,21%	192,68	2,84%	123,78	-1,63%
1 - 10	522,05	656,64	8,73%	194,42	-21,25%	198,35	-20,99%	859,46	21,88%	83,84	-28,42%
10 - 50	538,15	670,38	8,58%	937,85	25,92%	946,24	26,47%	469,59	-4,45%	564,56	1,71%
50 - 100	140,95	48,39	-6,00%	207,49	4,32%	200,69	3,87%	15,95	-8,11%	392,55	16,32%
100 - 500	188,71	12,52	-11,43%	70,4	-7,67%	64,79	-8,04%	4,27	-11,96%	362,84	11,29%
500 - 1.000	3,09	0,04	-0,20%	1,63	-0,09%	1,56	-0,10%	0	-0,20%	11,36	0,54%
1.000 - 5.000	0,07	0	-0,005%	0,13	0,004%	0,06	-0,001%	0	-0,005%	3,02	0,19%
> 5.000	0,00	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
<b>Total</b>	<b>1541,95</b>	<b>1541,95</b>	<b>-</b>	<b>1541,95</b>	<b>-</b>	<b>1541,95</b>	<b>-</b>	<b>1541,95</b>	<b>-</b>	<b>1541,95</b>	<b>-</b>

Os valores negativos representam migração de áreas de uma classe para outra, ao mesmo tempo que comparado ao cenário atual, cada uso apresenta uma variação de área maior ou menor por classe de perda de solo potencial. O cenário que demonstra maior variação porcentual em relação ao cenário de uso atual, quando avaliada áreas na classe de perda de solo 0-1 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, é o de floresta nativa, com aumento de 2,84% seguindo de agricultura – soja/pastagem/soja com 0,33%. Os demais cenários apresentaram porcentagem de área menor comparado ao uso atual.

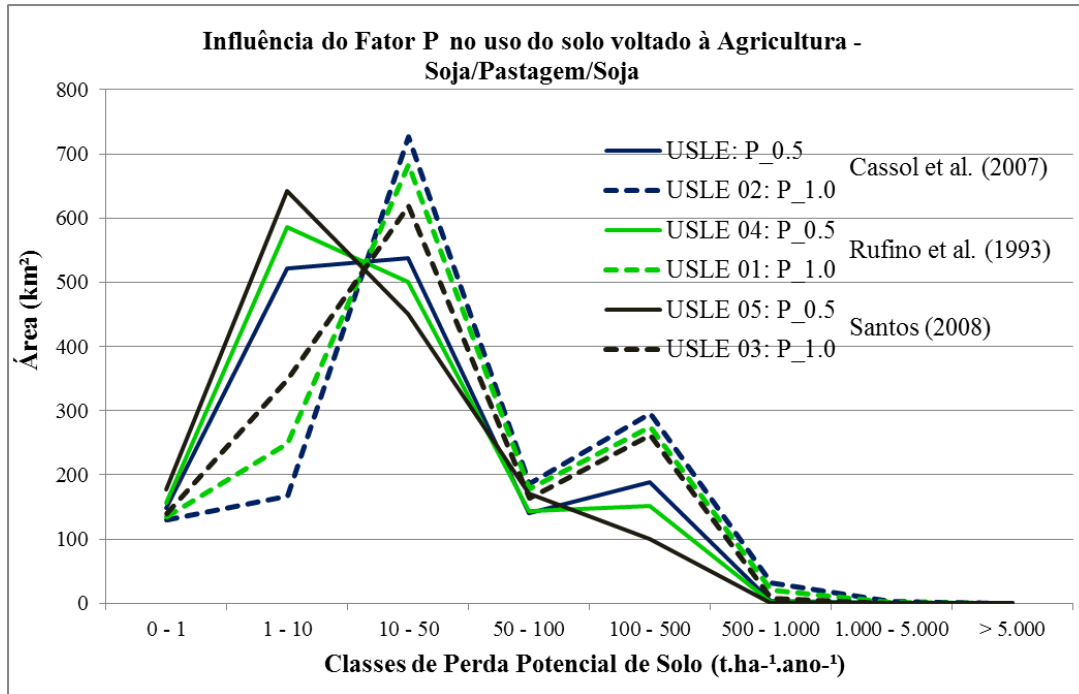
Para a classe de potencial erosivo baixo (1-10 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) a floresta nativa apresenta uma variação de área de 21,88% superior em relação ao cenário atual, e na classe classificada de moderada a forte (100-500 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), houve uma migração de 11,96% e 11,43% de floresta nativa e agricultura (soja/pastagem/soja), respectivamente. Nenhum cenário apresentou perdas potenciais de solo na classe de erosão extrema (> 5.000 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>).

#### **4.2.3 Influência das Práticas Conservacionistas**

Por definição, o fator P é a razão de perda de solo com uma prática suporte específica pela perda com plantio morro abaixo (WISCHMEIER e SMITH, 1978). Vizando diminuir altas taxas erosivas, as práticas auxiliam para frear à perda de produtividade e degradação dos solos (SPAROVEK e SCHNUG, 2001).

Para a Bacia Cachoeira Cinco Veados foram testados cenários com e sem prática conservacionista, combinado com uso atual do solo e diferentes equações de erosividade da chuva (Figura 32).

Figura 32 - Influência do Fator de Práticas Conservacionistas no uso do solo voltado à Agricultura – Soja/Pastagem/Soja com diferentes equações de erosividade da chuva para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

Os resultados apontam que a bacia apresenta comportamento diferente e significativo de suscetibilidade frente os cenários de práticas conservacionistas, testado pela ANOVA com 95% de confiabilidade.

Não houve diferenças significativas entre os valores obtidos pelo cálculo da erosividade da chuva, no entanto com a introdução da prática de plantio em contorno, ambos os cenários (Rufino et al., 1993; Cassol et al., 2007 e Santos, 2008) apresentaram diferença significativa em relação ao plantio morro abaixo. A introdução desta prática concentrou em 69% as áreas nas classes de muito baixo e baixo potencial erosivo, confirmando a importância do plantio em contorno descrito por Wischmeier e Smith, 1978.

#### 4.2.4 Influência combinada da Declividade e o Tipo de Solo em cada Uso

Com intuito de verificar a influência da declividade e o tipo de solo nos diferentes cenários de uso dos solo procedeu-se a análise isolada destas variáveis para cada cenário: isolando os resultados por tipo de solo e por declividade. O mesmo tipo de solo nas mesmas

declividades responde diferente as perdas potenciais de solo, devido a influência que cada uso do solo exerce na área.

Neste item de estudo, será analisada a U.M Ciríaco-Charrua, por apresentar o solo Chernossolo Argilúvico Férrico típico, considerado de maior suscetibilidade à erosão entre os solos que apresentam-se na bacia, devido sua resistência ser considerada baixa e este solo estar localizado nas maiores declividades. No Quadro 9 apresenta-se o exemplo das perdas de solo nas áreas com solo Chernossolo (U.M. Ciriaco-charrua) para cada categoria de declividade.

Quadro 9 - Quantificação Territorial (Km<sup>2</sup>) por classes de Perda Potencial de Solo Chernossolo U.M. Ciríaco-Charrua no Cenário Atual (USLE), Cenário Agricultura SPS (USLE 10), Cenário Pecuária (USLE 11), Cenário Florestamento/Reflorestamento (USLE 12), Cenário Floresta Nativa (USLE 13) e Cenário Campestre (USLE 14), em todas as categorias de declividade (0 - >75%) para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

(continua)

Classe (t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Cenários de Usos do Solo x Declividade 0-3 %					
	Atual	Agr. (SPS)	Pecuária	Flores./Refl.	Flor. Nat.	Campestre
	Área (Km <sup>2</sup> )					
0 – 1	0,13	0,13	0,11	0,12	0,14	0,11
1 – 10	0,21	0,23	0,13	0,12	0,3	0,05
10 – 50	0,1	0,08	0,2	0,2	0,01	0,19
50 – 100	0	0,01	0	0	0	0,09
100 - 500	0,01	0	0,01	0,01	0	0,01
500 - 1,000	0	0	0	0	0	0
1,000 - 5,000	0	0	0	0	0	0
> 5,000	0	0	0	0	0	0
Classe (t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Cenários de Usos do Solo x Declividade 3-8 %					
	Atual	Agr. (SPS)	Pecuária	Flores./Refl.	Flor. Nat.	Campestre
	Área (Km <sup>2</sup> )					
0 – 1	0,4	0,4	0,4	0,4	0,41	0,4
1 – 10	0,09	0,06	0,02	0,02	0,6	0,01
10 – 50	1,45	1,74	0,97	1,07	1,29	0,05
50 – 100	0,19	0,11	0,79	0,69	0,01	0,62
100 - 500	0,18	0	0,13	0,13	0	1,22
500 - 1,000	0	0	0	0	0	0,01
1,000 - 5,000	0	0	0	0	0	0
> 5,000	0	0	0	0	0	0

Quadro 9 - Quantificação Territorial (Km<sup>2</sup>) por classes de Perda Potencial de Solo Chernossolo U.M. Ciríaco-Charrua no Cenário Atual (USLE), Cenário Agricultura SPS (USLE 10), Cenário Pecuária (USLE 11), Cenário Florestamento/Reflorestamento (USLE 12), Cenário Floresta Nativa (USLE 13) e Cenário Campestre (USLE 14), em todas as categorias de declividade (0 - >75%) para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

(continuação)

Classe (t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Cenários de Usos do Solo x Declividade 8-20 %					
	Atual	Agr. (SPS)	Pecuária	Flores./Refl.	Flor. Nat.	Campestre
	Área (Km <sup>2</sup> )					
0 – 1	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53
1 – 10	0,03	0,02	0,02	0,02	0,1	0
10 – 50	1,34	1,53	0,16	0,2	3,27	0,02
50 – 100	1,73	2,45	0,9	0,96	1,45	0,08
100 – 500	1,74	0,91	3,81	3,71	0,09	3,76
500 - 1,000	0,07	0	0,02	0,02	0	0,99
1,000 - 5,000	0	0	0	0	0	0,06
> 5,000	0	0	0	0	0	0
Classe (t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Cenários de Usos do Solo x Declividade 20-45 %					
	Atual	Agr. (SPS)	Pecuária	Flores./Refl.	Flor. Nat.	Campestre
	Área (Km <sup>2</sup> )					
0 – 1	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
1 – 10	0	0	0	0	0	0
10 – 50	0,09	0,06	0	0	0,26	0
50 – 100	0,76	0,57	0,03	0,03	2,2	0
100 – 500	3,73	4,21	3,76	3,86	2,38	0,48
500 - 1,000	0,23	0	1,05	0,95	0	2,49
1,000 - 5,000	0,03	0	0	0	0	1,87
> 5,000	0	0	0	0	0	0
Classe (t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Cenários de Usos do Solo x Declividade 45-75 %					
	Atual	Agr. (SPS)	Pecuária	Flores./Refl.	Flor. Nat.	Campestre
	Área (Km <sup>2</sup> )					
0 – 1	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
1 – 10	0	0	0	0	0	0
10 – 50	0	0	0	0	0	0
50 – 100	0	0	0	0	0	0
100 – 500	0,42	0,49	0,01	0,04	0,53	0
500 - 1,000	0,11	0,04	0,4	0,44	0	0
1,000 - 5,000	0	0	0,12	0,05	0	0,53
> 5,000	0	0	0	0	0	0



Quadro 9 - Quantificação Territorial (Km<sup>2</sup>) por classes de Perda Potencial de Solo Chernossolo U.M. Ciriaco-Charrua no Cenário Atual (USLE), Cenário Agricultura SPS (USLE 10), Cenário Pecuária (USLE 11), Cenário Florestamento/Reflorestamento (USLE 12), Cenário Floresta Nativa (USLE 13) e Cenário Campestre (USLE 14), em todas as categorias de declividade (0 - >75%) para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

(conclusão)

Classe (t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Cenários de Usos do Solo x Declividade > 75 %					
	Atual	Agr. (SPS)	Pecuária	Flores./Refl.	Flor. Nat.	Campestre
	Área (Km <sup>2</sup> )					
0 – 1	0	0	0	0	0	0
1 – 10	0	0	0	0	0	0
10 – 50	0	0	0	0	0	0
50 – 100	0	0	0	0	0	0
100 - 500	0,01	0,01	0	0	0,01	0
500 - 1,000	0	0	0	0	0	0
1,000 - 5,000	0	0	0,01	0,01	0	0,01
> 5,000	0	0	0	0	0	0

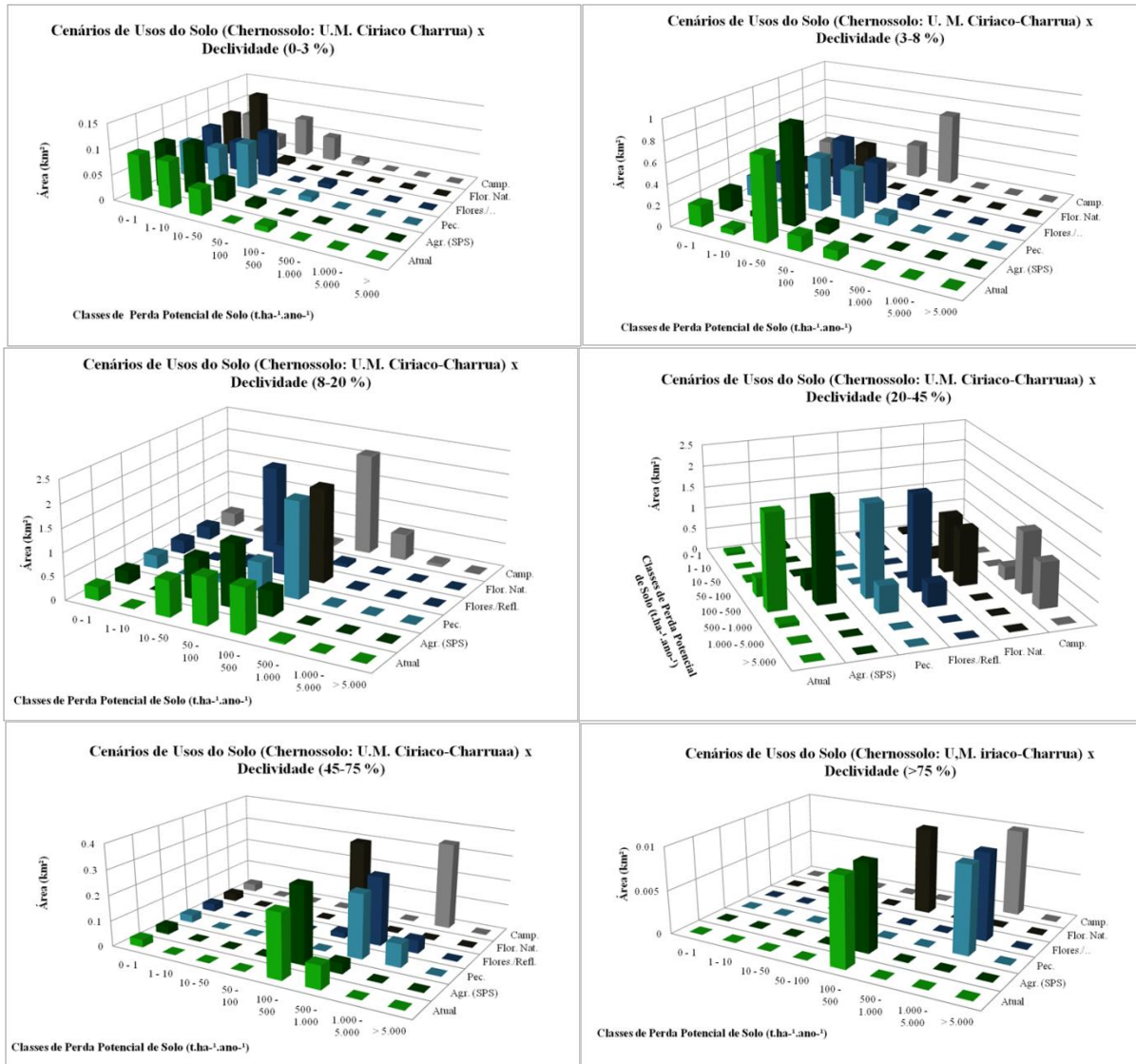
Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

Pode-se associar estes resultados erosivos na bacia à geomorfologia e ao relevo da região. As áreas com estimativas altas de perda de solo estão localizadas em regiões de maior declive, em encostas e cume de morros, onde ocorrem muitos paredões de rocha. Entretanto, as áreas onde ocorrem menores perdas de solo, localizam-se em terrenos mais planos, com solos menos erodíveis e/ou protegidos por estarem cobertos por alguma vegetação.

Na categoria de maior declividade (> 75%), há variação da suscetibilidade erosiva na área, variando a classe de perda de solo, em função do uso testado, onde floresta nativa, agricultura – soja/pastagem/soja aparecem na mesma classe do uso atual do solo (100-500 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), enquanto que pecuária, florestamento/reflorestamento e campestre migraram para a classe considerada de alto valor potencial erosivo (1.000-5.000 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>). Estes resultados estão de acordo com os de Mello et al. (2006), que dependendo do relevo, práticas de manejo e uso do solo encontraram variação nas taxas de perda natural de solo e no risco de causar erosão em maior ou menor nível.

A análise pode ser feita por categoria de declividade, comparando os diferentes usos do solo em cada classe de perda potencial de solo (Figura 33).

Figura 33 - Distribuição territorial (km<sup>2</sup>) nas classes de Perdas Potenciais de Solo Chernossolo U.M. Ciriaco-Charrua no Cenário Atual (USLE), Cenário Agricultura SPS (USLE 10), Cenário Pecuária (USLE 11), Cenário Florestamento/Reflorestamento (USLE 12), Cenário Floresta Nativa (USLE 13) e Cenário Campestre (USLE 14), nas categorias de declividade para Bacia Cachoeira Cinco Veados - RS, em que: (a) 0-3%; (b) 3-8%; (c) 8-20%; (d) 20-45%; (e) 45-75%; (f) > 75%.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

Neste exemplo, para declividades até 3%, este solo apresenta perdas nas classes mais inferiores (0-50 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), não havendo diferença significativa entre os usos do solo. Com declividades entre 3-8%, os cenários de uso apresentam distribuição irregular das áreas de perda de solo por classes de perda. Destaca-se como uso mais protetivo neste caso, a agricultura - SPS, onde as áreas limitam-se nas classes inferiores (até 50 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>). Para

declividades entre 8-20%, a classe que engloba maior área da bacia, com perdas de solo entre 100-500 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, está relacionada aos usos pecuárista, silvicultural e campestre.

Nas declividades entre 20-45% as perdas de solo concentram-se nas classes de perda superiores a 100 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, sendo o uso campestre menos protetivo ao solo. Nas declividades entre 45-75%, o uso do solo que apresenta um grau de proteção maior em relação aos demais para a variável erosão é o de floresta nativa, seguido de agricultura soja/pastagem/soja e florestamento/reflorestamento. Ambos usos testados, apresentam áreas de forma mais significativa nas classes de perda de solo entre 100-5.000 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, sendo o cenário campestre o mais suscetível à erosão, ainda para esta categoria de declividade as classes entre 1- 100 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> não apresentaram áreas de perda de solo potencial.

Na Figura 34 apresenta-se as áreas com o solo Chernossolo U.M. Ciriaco-Charrua da bacia em cada categoria de declividade para o uso atual do solo, classificadas pelo potencial erosivo e na Figura 35, valores médios potenciais de perda de solo por classe de declividade.

Figura 34 - Mapas de Distribuição de Perda Potencial de Solo Chernossolo U.M. Ciriaco-Charrua conforme critério de Ribeiro (2006), calculada pelo modelo USLE para todas as categorias de declividade encontradas no cenário atual da Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

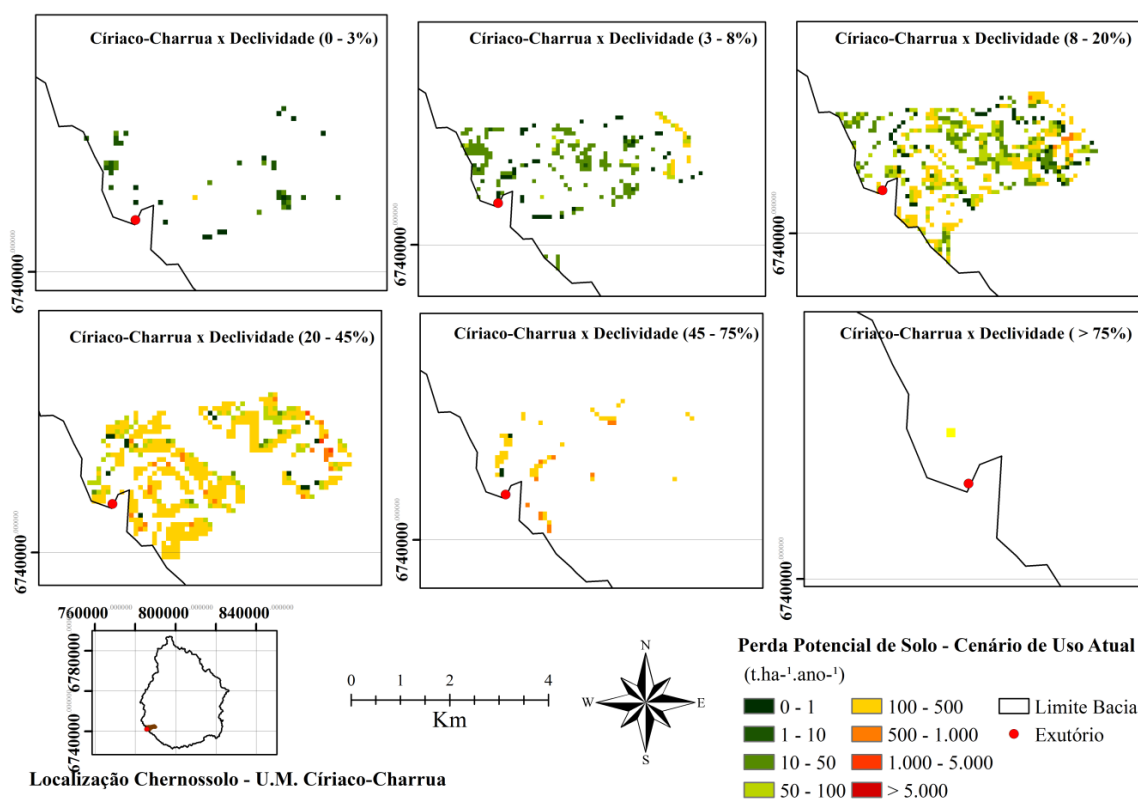
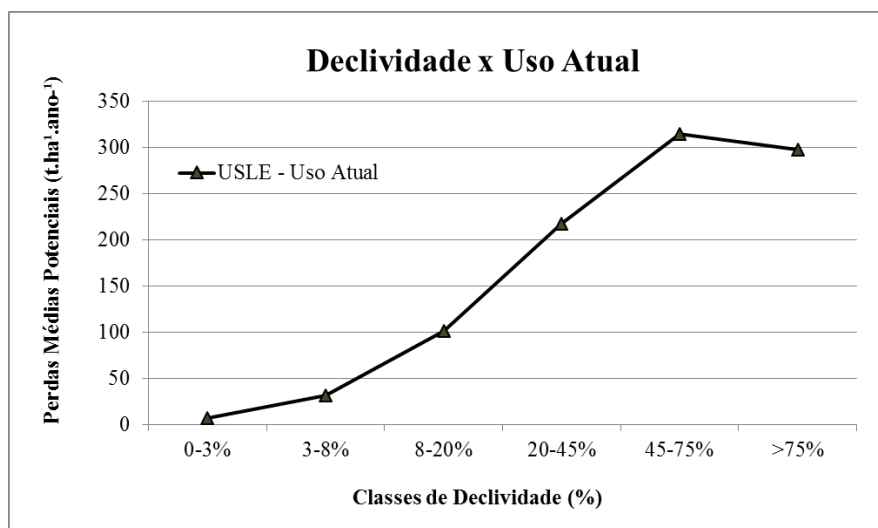


Figura 35 – Perdas Médias Potenciais de Solo em cada classe de declividade, para o Cenário de uso atual do solo (USLE), para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

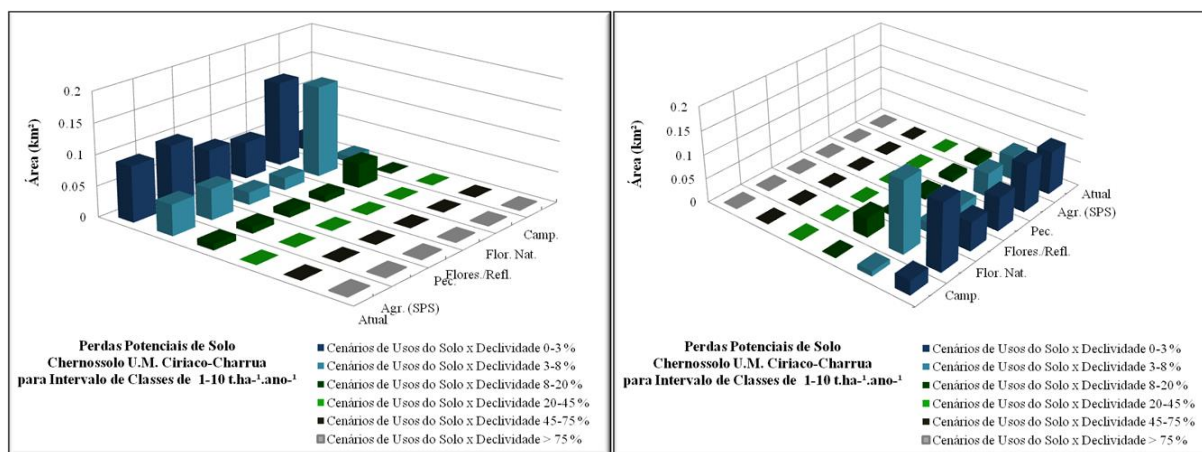


Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

A maior concentração de área potencial à perdas de solo está nas declividade de 8-45%, sendo a classe mais representativa de  $100.t.ha^{-1}.ano^{-1}$ , com  $2,18 km^2$  (15,79% da área total), em que as perdas médias potenciais são de 100 a  $225 t.ha^{-1}.ano^{-1}$ . Observa-se que com aumento da declividade há uma crescente nos valores de perdas médias potenciais de solo, mas este comportamento não é linear para o número de áreas enquadradas.

A Figura 36 possibilita a análise da bacia em cada categoria de declividade, permitindo avaliar a influência de diferentes usos do solo na classe de perda potencial erosiva de  $1-10 t.ha^{-1}.ano^{-1}$  para o Chernossolo.

Figura 36 - Distribuição territorial (km<sup>2</sup>) com Perdas Potenciais de Solo Chernossolo U.M. Ciriáco-Charrua para a classe de 1-10 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> no Cenário de uso do solo atual, (USLE), cenário com agricultura – soja/pastagem/soja (USLE 10), cenário com pecuária (USLE 11), cenário com florestamento/reflorestamento (USLE 12), cenário com floresta nativa (USLE 13) e cenário campestre (USLE 14), em todas as categorias de declividade (0 - >75%) para Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

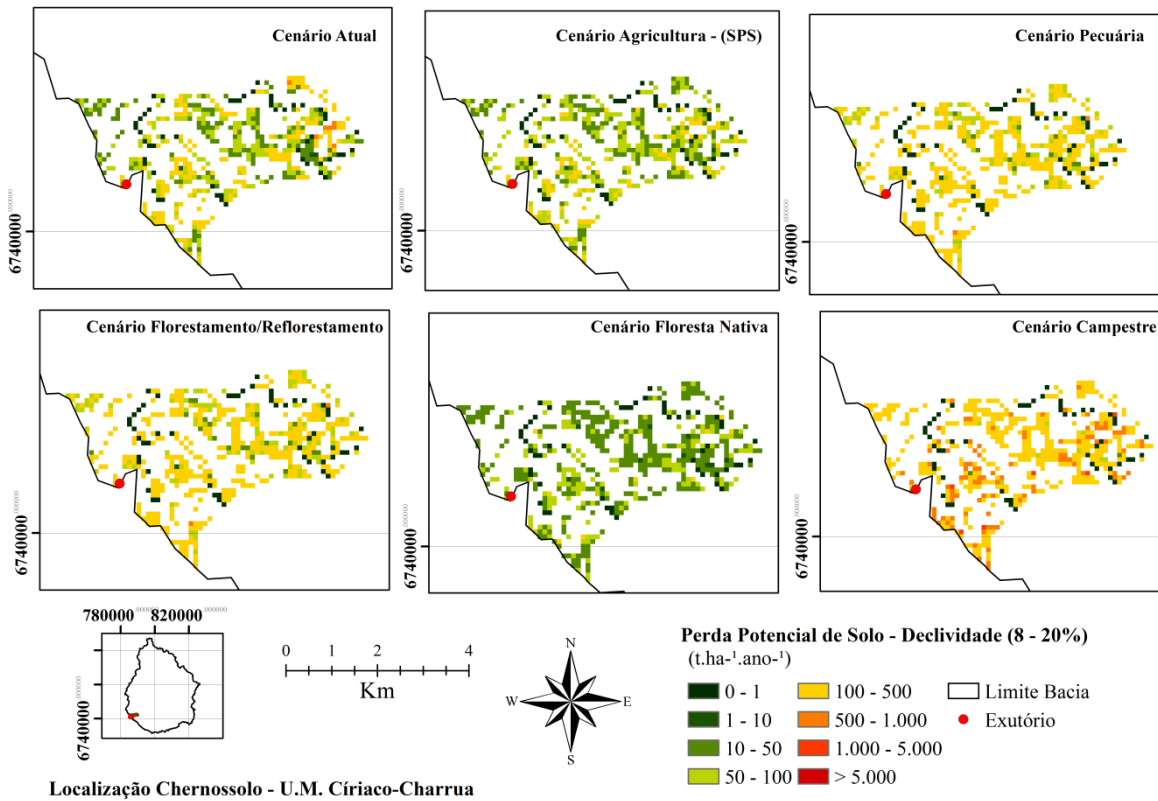


Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

Analisando a classe de perda de solo de 1-10 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, percebe-se que não ocorre perdas de solo em todos os usos testados nas categorias de declividades de 20-45, 45-75 e > 75%.

Na Figura 37, são apresentadas as perdas de solo, para Chernossolo U.M. Ciriáco-Charrua, apenas para classe de declividade declividade de 8-20% para os cenários de usos de solo com Agricultura, Campestre, Floresta Nativa, Pecuária, Florestamento/Reflorestamento.

Figura 37 - Mapas de Distribuição de Perda Potencial de Solo conforme critério de Ribeiro (2006), calculada pelo modelo USLE para declividade de 8-20% para os usos de solo com Agricultura, Campestre, Floresta Nativa, Pecuária, Florestamento/Reflorestamento para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

Áreas com introdução de silvicultura, por exemplo, tendem a proteger melhor o solo (Usle 12) do que o uso campestre (Usle 14), mas ainda existem áreas com perdas potenciais nas classes de 500 – 1.000 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (0,02 km<sup>2</sup>) o que restringe este uso nestas áreas. Este resultado é esperado pela origem do método: o valor de C é melhor, então, logo, tende a proteger melhor. Mas, melhorou quanto do esperado? Isso acontece porque a bacia não é homogênia em todas as características, variando as declividades, solos, etc. Então ao mudar o uso do solo, o modelo USLE espacializado possibilita mostrar o sentido que nesta bacia, neste solo, foi maior o benefício de um uso sobre o outro (Tabela 12; Figura 38).

Tabela 12 – Valores médios de perda de solo potencial para cenários com usos do solo distintos, Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

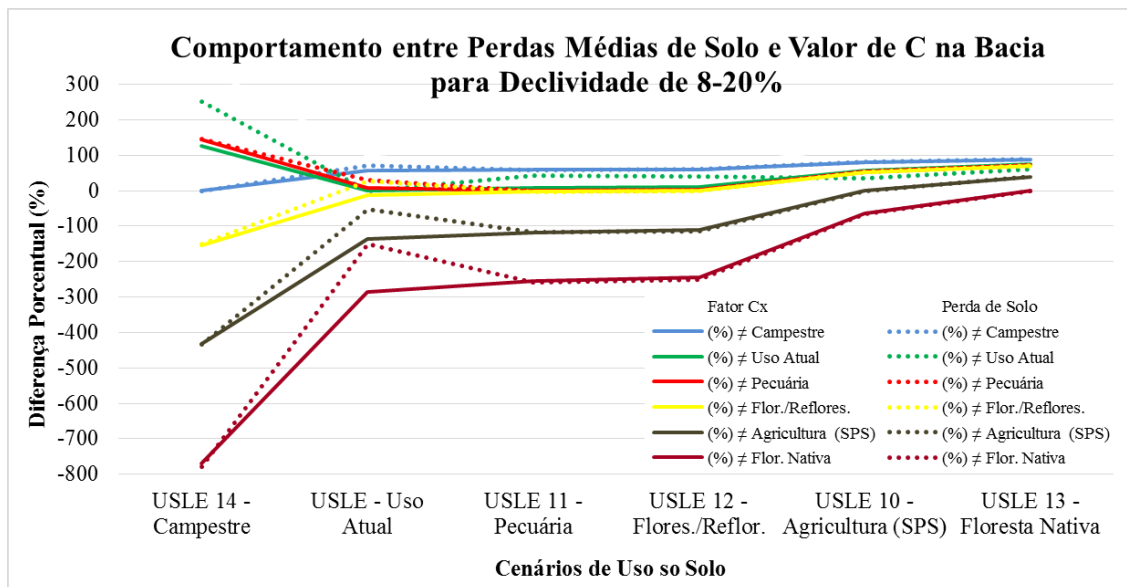
<b>Uso do Solo</b>	<b>Perda Potencial Média (t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>)</b>	<b>C valor</b>
Cenário para Uso Atual	101,0	≠ C
Cenário para Agricultura – SPS	66,2	0,01558
Cenário para Pecuária	144,5	0,03382
Cenário para Florestamento/Reflorestamento	141,1	0,03271
Cenário para Floresta Nativa	40,2	0,00953
Cenário para Campestre	353,9	0,08285

Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

O cenário que mais favorece a proteção do solo é Floresta Nativa (Usle 13) com aproximadamente 3,04 km<sup>2</sup> com perdas entre 0-500 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Esta proteção está lincada à capacidade de interceptação das copas das árvores, impedindo que a gota da chuva alcance o solo, aliada a boa capacidade de infiltração pelas raízes das árvores, impedindo boa parte do escoamento e respectiva velocidade e assim o processo erosivo. Menores valores de perda de solo nos cenários de silvicultura e da floresta nativa, explicam-se pelas árvores possibilitarem a infiltração da chuva, conseqüentemente diminuindo o escoamento superficial, freando o agente causador dos processos erosivos, como pode ser visto por Matos (2015) ao encontrar maior proteção com a vegetação arbórea comparado a outras coberturas.

A variação de aumento entre os fator de uso do solo ‘C’ entre cenários e a variação das perdas potenciais médias proporcionadas pelo cálculo com o Fator C estão representadas na Figura 38. Em que, na legenda a linha contínua representa a porcentagem de variação do Fator C de cada uso descrito comparado aos demais usos do solo (eixo ‘x’ do gráfico) e a linha pontilhada a porcentagem de variação da perda média potencial de solo de cada uso descrito comparado aos demais usos do solo (eixo ‘x’ do gráfico).

Figura 38 – Comportamento entre perdas Médias de Solo e Valor de C para a faixa de declividade entre 8-20%, para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

Neste exemplo da Figura 38, há uma linearidade entre resultados, a medida que aumenta o valor de C (atribuído pelo tipo de uso), o uso torna-se menos protetivo e espera-se observar na bacia, médias mais altas de perda de solo potencial. Este tipo de análise permite quantificar se a variação entre valores de C é proporcional aos resultados de perdas para usos do solo diferentes. Em todos os usos testados (figura 38) há uma variação de valores quando os cenários comparam-se ao uso do solo atual, isto se dá em função da bacia apresentar valores diferenciados de C, enquanto que os demais cenários apresentam um único valor de C, relacionado ao uso testado.

Diante de diferentes estilos de apresentação de resultados, verificou-se que a USLE mostrou-se uma ferramenta robusta e sensível na diferenciação dos potenciais erosivos entre áreas com diferentes usos do solo, diferentes solos e diferentes declividades. Todas estas informações contidas em mapas e tabelas resultantes da simulação dos cenários, deve fazer parte de um banco de dados, que possa ser consultado quando da criação de programas de incentivo de mudanças de uso do solo, por exemplo, diante de possíveis mudanças no clima, como para planejamento ambiental, agrícola, silvícola etc.



#### 4.3 ESTRATÉGIA METODOLÓGICA PARA ESTUDO DE POTENCIALIDADE DE USO DO SOLO PARA PLANEJAMENTO

Planejar exige conhecimento e interdisciplinariedade. O planejamento pode ser realizado por meio de instrumentos (métodos e/ou procedimentos) de coleta, organização e análise de informações sobre algum assunto ou demanda. Uma das variáveis analisadas para planejamento e gestão de áreas, está relacionada à erosão hídrica, visto seu alto potencial de degradação dos solos e improdutividade de áreas. Na utilização de modelos para identificar e quantificar áreas suscetíveis à perda de solos, a Usle demonstra ser uma ferramenta robusta e sensível na diferenciação dos potenciais erosivos entre áreas. Por isso segue a proposta de um protocolo/roteiro de uso da ferramenta em planejamento:

- 1º passo: Obtenção de dados básicos da bacia (MDE-declividade, precipitações, solos e usos do solo);
- 2º passo: Elaborar rasters da bacia para cada parâmetro do modelo (atribuir valores de erosividade da chuva, erodibilidade do solo, fator topográfico, uso do solo e manejo);
- 3º passo: rodar modelo pela multiplicação de rasters conforme esquema da Figura 9;
- 4º passo: criar mapas de influência de cada fator, resultando em diferentes cenários;
- 5º passo: analisar as estatísticas geradas pelo modelo em cada situação elaborada nos cenários.

Visando trabalhar estes dados no planejamento de bacias, é possível definir um limite de perda potencial de solo para cada um dos usos prioritários (cenários com água, área urbana e um uso de cada vez no restante da bacia) e reclassificar os cenários, com base neste limite, em áreas aptas não aptas (Tabela 13 e 14). Nestas tabelas, foram sugeridas, a título de exemplificação, três critérios de limites para reclassificação para os usos escolhidos para o teste da metodologia desta pesquisa. Foram reclassificados, segundo esses três critérios o cenário de uso atual, e os demais cenários considerando água, urbano e um uso para estudo (Agricultura (SPS) ou Pecuária, ou Florestamento/Reflorestamento ou Floresta Nativa ou Campestre). Os valores encontrados representam as áreas da bacia com perdas potenciais dentro de cada critério de limite de perdas. Ou seja, a reclassificação representa quais áreas são classificadas como aptas e quais não aptas, em função do limite de perdas adotado. Esta estratégia de organização permite identificar, quantificar e espacializar as áreas em conformidade com limite de perda de solo potencial e também identificar aquelas que não

toleram o uso testado, informação útil aos tomadores de decisão, quando em estudos de planejamento regional.

Tabela 13 - Reclassificação de Áreas com diferentes usos do solo para uso em planejamento, Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

Usle (t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Cenário Atual		Agricultura (SPS)		Pecuária		Florestamento/ Reflorestamento		Floresta Nativa		Campestre	
	Área											
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
0 (0-10)	671,0	43,52	810,6	52,57	324,5	21,04	328,6	21,31	1052,1	68,23	207,6	13,46
1 (10 - > 5.000)	871,0	56,48	731,3	47,43	1217,5	78,96	1213,3	78,69	489,8	31,77	1334,3	86,54
0 (0-50)	1209,1	78,42	1481,0	96,05	1262,3	81,86	1274,9	82,68	1521,7	98,69	772,2	50,08
1 (50 - > 5.000)	332,8	21,58	60,9	3,95	279,6	18,14	267,1	17,32	20,2	1,31	769,8	49,92
0 (0-100)	1350,1	87,56	1529,4	99,19	1469,8	95,32	1475,5	95,69	1537,7	99,72	1164,7	75,54
1 (100 - > 5.000)	191,9	12,44	12,6	0,81	72,2	4,68	66,4	4,31	4,3	0,28	377,2	24,46

Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

Tabela 14 - Reclassificação de Áreas com diferentes cenários de usos rotativos com agricultura para planejamento, Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.

Usle (t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> )	Cenário Atual		Agricultura (SSS)		Agricultura (SPA)		Agricultura (SPS)		Agricultura (SAM)	
	Área									
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
0 (0-10)	671,0	43,52	196,3	12,73	447,6	29,03	810,6	52,57	766,6	49,71
1 (10 - > 5.000)	871,0	56,48	1345,7	87,27	1094,4	70,97	731,4	47,43	775,4	50,29
0 (0-50)	1209,1	78,42	600,6	38,95	1190,4	77,20	1481	96,05	1217,6	78,96
1 (50 - > 5.000)	332,8	21,58	941,4	61,05	351,6	22,80	60,9	3,95	324,4	21,04
0 (0-100)	1350,1	87,56	1068,7	69,31	1346,9	87,35	1529,4	99,19	1351,5	87,65
1 (100 - > 5.000)	191,9	12,44	473,3	30,69	195,1	12,65	12,6	0,81	190,5	12,35

Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

No próximo passo, sugere-se a construção de um mapa, seguindo uma ordem prioritária de usos na bacia, em função do valor de C decrescente. Por exemplo, pode-se analisar os usos Campestre (C=0,08285) – Pecuária (C=0,03382) – Florestamento/Reflorestamento (C=0,03270) – Agricultura-SPS (C=0,0155) - Floresta Nativa (C=0,00942). Explicando, o uso mais perdulário é apresentado em primeiro. Identificam-se as áreas que apresentam perdas maiores que um limite adotado. Nestas áreas, não aptas para o primeiro uso, verifica-se qual parcela está apta para o segundo uso e qual não. E assim por

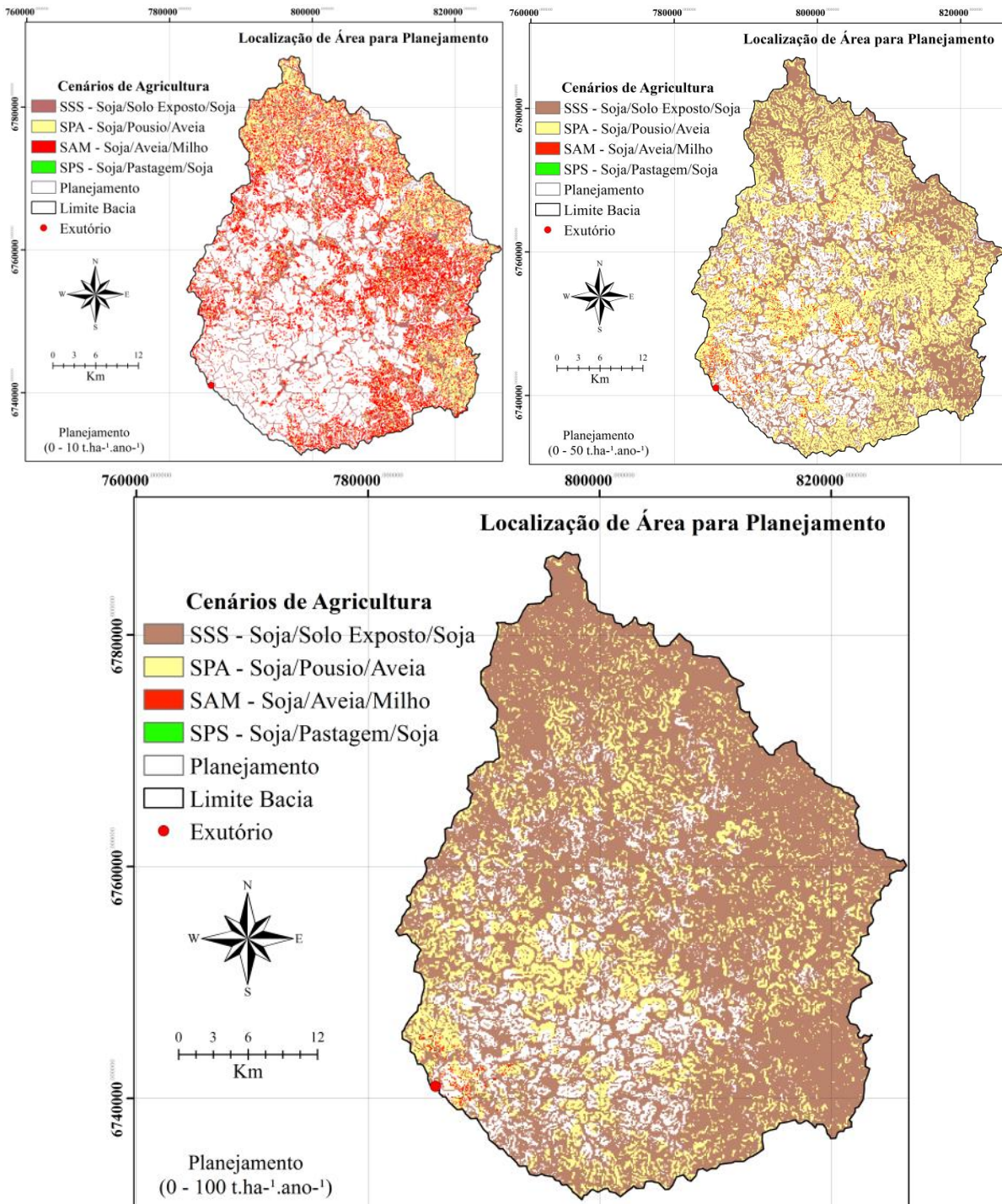
diante, até chegar ao uso de menor perda (menor C). Em cada etapa, as áreas não aptas para um uso passam para etapa seguinte de teste sugerindo-se um uso de menor perda, ou seja, essas áreas não aptas ficam disponíveis para “planejamento” de outros usos.

Como exemplo, na Figura 39 têm-se a aplicação dessa rotina proposta, para os três critérios de limites de perdas (conforme o exemplo da tabela 14, primeira coluna) aplicados para diferentes opções de agricultura. Sabe-se que o uso de agricultura – SSS (soja/solo exposto/soja) é o mais restritivo tendo por base o fator de uso do solo. As áreas que após estes testes não receberam um uso (áreas em branco), segundo o critério de limite de perda potencial de solo, são áreas que não tem aptidão para esses usos e devem ser analisadas quanto a outras estratégias de usos, áreas que nos mapas são identificadas como “Planejamento”.

Fica visível a identificação das áreas que não são aptas para nenhum dos usos em estudo. Este exemplo promove uma hierarquização de usos em função da condição de perda de solo. Essa informação pode ser utilizada para responder a seguinte pergunta: quais áreas são aptas para um determinado uso, segundo um critério de limite de perdas? Para isso, verifica-se neste mapa proposto as áreas que podem receber um determinado uso, pode receber quaisquer outros usos com ‘C’ menor.

Ou seja, por meio desta proposta de avaliação, consegue-se verificar quais usos são mais adequados para cada local, sempre considerando a variável perda de solo. O critério empregado é apenas um exemplo de como pode ser planejada a área de estudo, sendo que cada técnico especializado vai escolher um limite de classe para o planejamento, respeitando as características de cada área.

Figura 39 - Mapas de Localização de Áreas para Planejamento em relação a variável erosão para os limites de 10, 50 e 100 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, em diferentes sistemas com uso para Agricultura na Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

Quanto mais restritivo forem os valores aceitáveis para perdas de solo, maiores serão os percentuais de áreas a serem planejadas em cada uso (Tabela 14). Neste caso da Figura 39, a área máxima na bacia para o uso com agricultura – soja/solo exposto/soja, fica limitada a 12,73%, segundo o critério de limite de perdas de  $10 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . Já para o critério menos restritivo ( $100 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ) a máxima área que sustenta esse uso é de 69,31% da bacia.

Uma segunda estratégia para utilização do modelo para planejamento, consiste na construção de mapas que correspondem a cenários com áreas da bacia aptas a um determinado uso segundo o critério de classificação utilizado, e o seu cruzamento com o mapa de uso atual (Cenário USLE). Esta estratégia permite identificar áreas de conflitos na bacia, segundo o critério de limite de perdas potenciais de solo. Apresenta-se um exemplo na Tabela 15. Cada coluna representa a análise de um uso (as duas primeiras com critério limitante de  $10 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  e as demais com  $100 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ). As duas primeiras linhas correspondem às áreas para cada uso atual que, confrontados com o mapa de potencial de erosão de cada uso (cada coluna), estão em conflito e sem conflito de uso segundo o critério de limites de perda de solo. As demais linhas representam a área da bacia ocupada com outros usos, que têm potencial para o uso em análise, e àquelas áreas que pelo critério limitante de perda de solo não toleram o uso avaliado, então identificadas como áreas para planejamento.

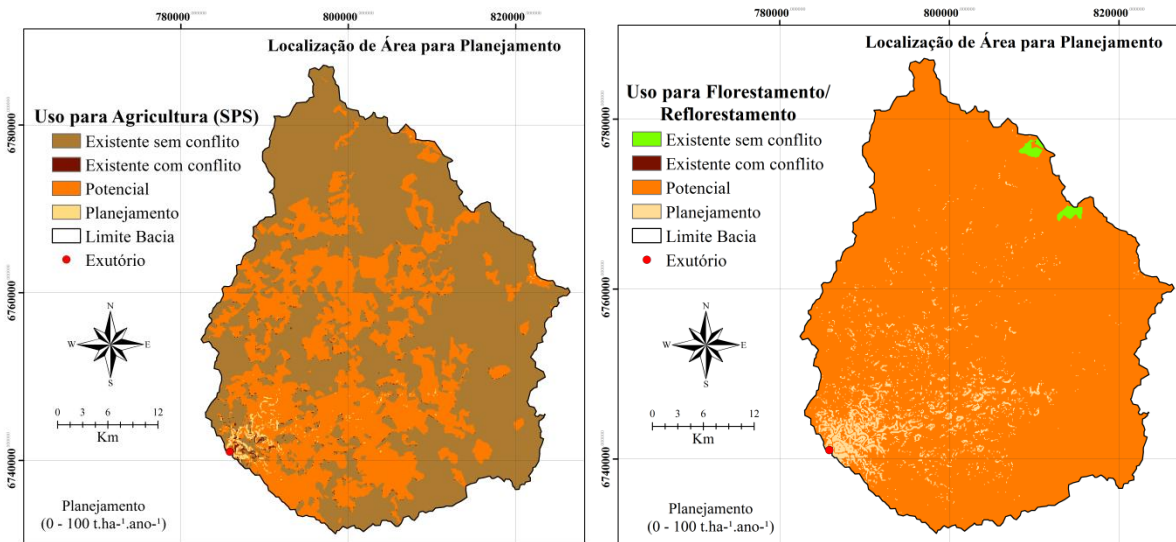
Tabela 15 - Distribuição de áreas conflitantes, potenciais e para planejamento com uso de solo para agricultura – soja/pastagem/soja e florestamento/reflorestamento sob critérios limitantes de 10 e  $100 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  para a Bacia Cachoeira Cinco Veados – RS.

Áreas (km <sup>2</sup> )	Planejamento de Áreas			
	Critério de Análise			
	Até 10 ( $\text{t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ )		Até 100 ( $\text{t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ )	
	Agricultura (SPS)	Florestamento /Reflorestamento	Agricultura (SPS)	Florestamento /Reflorestamento
Existente sem conflito	594,45	1,5	996,33	6,92
Existente com conflito	408,16	5,43	6,28	0,01
Potencial	216,17	327,11	533,06	1468,62
Planejamento	323,16	1207,9	6,27	66,39

Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

Na Figura 40 apresenta-se mapas com distribuição de áreas limitadas ao critério de  $100 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  de perda potencial de solo para os usos de Agricultura (SPS) e Florestamento/Reflorestamento.

Figura 40 - Mapas de Áreas para Planejamento com o uso de Agricultura soja/pastagem/soja e Florestamento/Reflorestamento com critério limitante de  $100 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

Partindo de um limite de  $100 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  de perdas potenciais de solo, a leitura do mapa pode ser feita da seguinte maneira: as áreas classificadas como existentes sem conflito são aquelas que encontram-se atualmente na bacia e que estão dentro do limite tolerável da perda de solo. Áreas existentes com conflito são as áreas presentes na bacia que não deveriam estar com uso de Agricultura - SPS ou Florestamento/Reflorestamento. Áreas nominadas como Potencial são as áreas que são compatíveis para o uso com Agricultura - SPS ou Florestamento/Reflorestamento, e que atualmente estão sendo usadas para outro uso, e áreas nominadas como de Planejamento são aquelas que não são adequadas para o uso testado, segundo critério adotado de tolerância para perda de uso do solo e que devem ser reavaliadas para outros usos com menor potencial de perda de solo. Ressalta-se que tanto as áreas nomeadas de conflito como de planejamento, são áreas não compatíveis para Agricultura – SPS ou Florestamento/Reflorestamento.

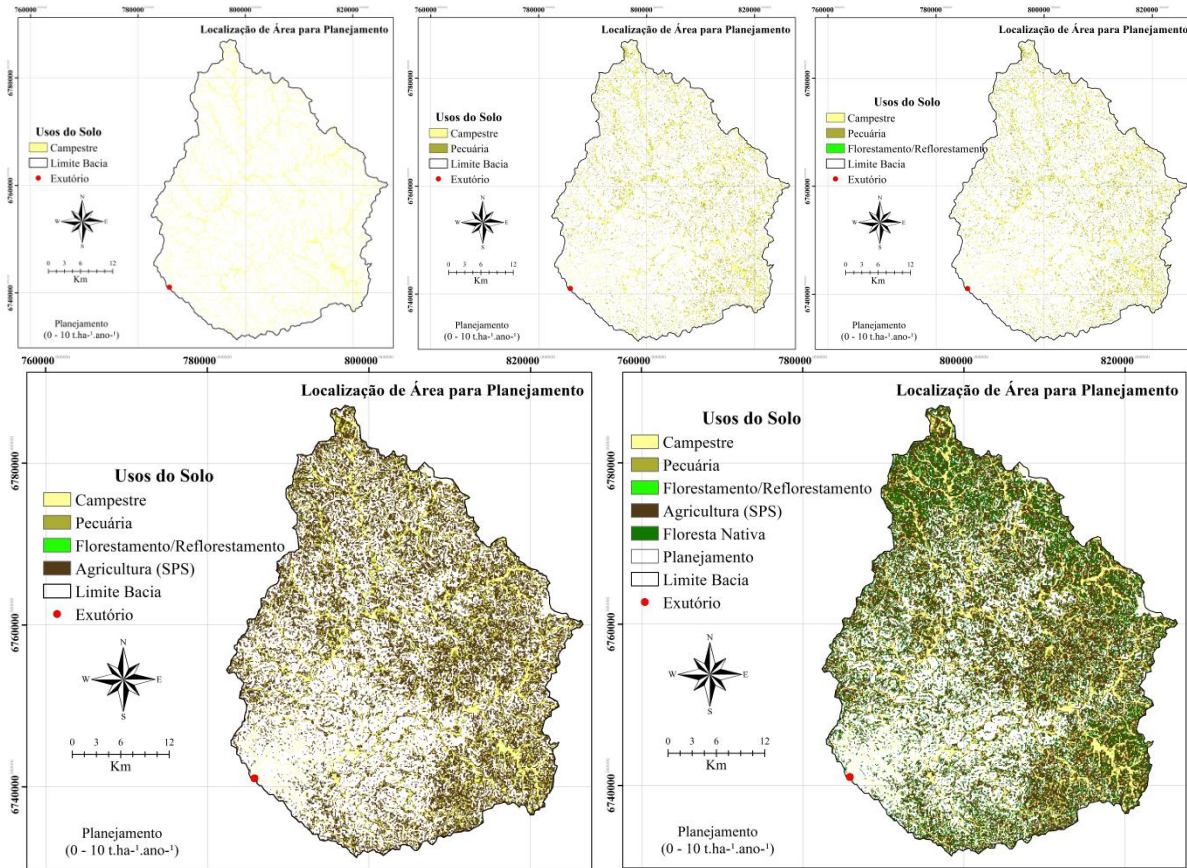
#### 4.3.1 Roteiro de Análise Hierárquica entre Usos

1) Escolha de um limite de perda de solo – critério (mais restritivo à perda potencial de solo).

- 2) Hierarquização de usos do solo (C decrescente) em função das condições limitantes de perda de solo estipulada.
- 3) Criação do Mapa com uso mais Perdulário (> restritivo ao critério) com vistas à variável erosão.
- 4) Criação dos Mapas com os demais usos.
- 5) Criação de mapa com localização de APP's, respeitando corpos hídricos e declividades conforme Código Florestal (Lei nº 12.651/2012).

Na Figura 41 segue exemplo da aplicação do roteiro de análise hierárquica entre usos do solo.

Figura 41 - Mapas com produto final do diagnóstico de planejamento elaborado como estratégia metodológica para estudo de potencialidade de uso do solo, para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

### 4.3.2 Roteiro de Análise por Uso

- 1) Escolha de um limite de perda de solo – critério (mais restritivo à perda potencial de solo).
- 2) Escolha de um uso de solo para análise.
- 3) Sobreposição do mapa de Uso Atual com Mapa de Uso escolhido para análise:

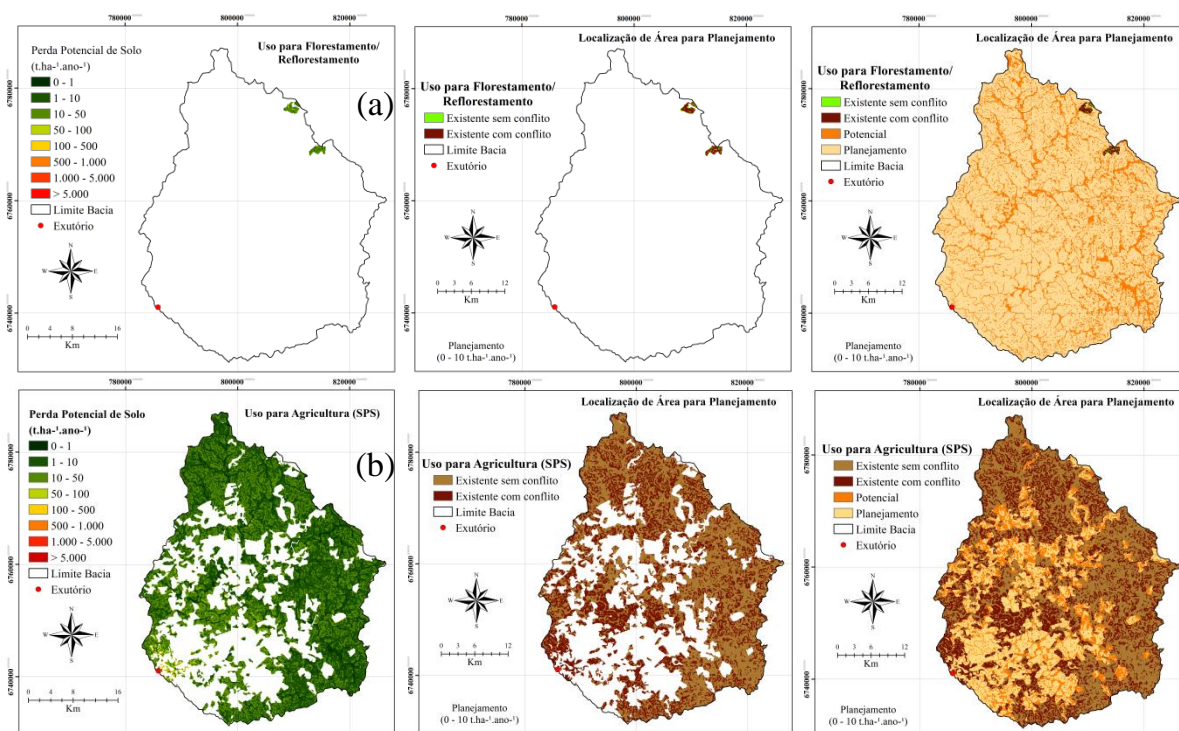
- Áreas existentes sem conflito, são as áreas cujas perdas atuais estão dentro do limite estabelecido;
- Áreas de conflito, são as áreas cujas perdas potenciais infringem os limites definidos;
- Áreas Potenciais, são áreas classificadas como de conflito no uso atual, mas que podem ser convertidas ao uso pretendido, sem infringir os limites estabelecidos;
- Áreas de Planejamento, são as áreas que sobram e que, cujo uso não está em conformidade com o critério limitante de perda de solo.



4) Criação de mapa com localização de APP's, respeitando corpos hídricos e declividades conforme Código Florestal (Lei nº 12.651/2012).

Na Figura 42 segue exemplo da aplicação do roteiro de análise por usos do solo.

Figura 42 - Mapas com produto final do diagnóstico de planejamento elaborado como estratégia metodológica para estudo de potencialidade de uso do solo com (a) Florestamento/Reflorestamento e (b) Agricultura – PSP sob critério de 10 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> de perda potencial de solo, para a Bacia Cachoeira Cinco Veados, RS.



Fonte: Autor, Santa Maria, RS, UFSM, 2017.

O modelo USLE possibilita a partir dessas análises a construção de um banco de dados, em que o planejador vinculará informações pertinentes aos processos erosivos de uma determinada bacia hidrográfica ao conjunto de variáveis para tomada de decisão e gestão de uma área.



## 5 CONCLUSÃO

Essa pesquisa teve por objetivo principal avaliar o uso da Equação Universal de Perda de Solo (USLE), de Wischmeier e Smith, 1978 espacializada, como indicador de perda de solo e como ferramenta de apoio à decisão para gestão ambiental integrada de bacias hidrográficas, com estudo de caso na Bacia Cachoeira Cinco Veados - RS. A equação foi espacializada com o auxílio de um Sistema de Informação Geográfica, o software ArcGis 10.2.1 para a espacialização dos fatores de erosividade da chuva, erodibilidade do solo, topografia, uso do solo e práticas conservacionistas.

Na Bacia Cachoeira Cinco Veados os valores médios de perda potencial de erosão encontrados pelo modelo USLE espacializado para a situação atual de uso do solo estão na ordem de  $34 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  destacando-se as classes de erosão potencial baixa e baixa a moderada ( $1 - 50 \text{ t.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ ).

Foram trabalhados 33 cenários, incluindo uso atual, combinando três equações do cálculo da erosividade, 8 tipos de uso do solo e 2 valores para práticas conservacionistas. A partir dos resultados, foi possível verificar a sensibilidade das diferentes equações regionais desenvolvidas para cálculo do fator de erosividade da chuva na região de estudo. Porém, apesar disso, os valores resultantes de perda de solo potencial para o uso do solo atual da bacia, não apresentaram variação significativa a 95% de confiabilidade pelo teste ANOVA, ou seja, ambas as equações de Rufino et al. (1993), Cassol et al. (2007) e Santos (2008) aplicam-se a área de estudo. No entanto, cada equação apresenta peculiaridades para a região que foi desenvolvida, por isso o gestor necessita identificar qual equação representa melhor o local a ser avaliado.

Já para a influência da alteração do fator C (uso do solo) em relação à variável erosão, observou-se significativas alterações na distribuição de áreas quanto a suscetibilidade erosiva na bacia entre os cenários propostos. O modelo Usle espacializado possibilitou analisar quanto um cenário de uso do solo é mais suscetível ao outro em relação as perdas potenciais de solo, permitindo planejar usos de áreas em função da definição de um limite tolerável de perda potencial de solo para um uso prioritário e reclassificar estes cenários com base neste limite.

Também foi possível propor uma estratégia metodológica para estudo de potencialidades de usos do solo por meio do modelo USLE espacializado. Considerando o uso atual, dentre os critérios adotados de tolerância a perda de solo, identificou-se que: 56,48% da área da bacia necessita de revisão do uso do solo (áreas para planejamento), quando

considerado o critério de até 10 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>; 21,58% para o critério de até 50 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e 12,44% para o critério de até 100 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.

O uso do modelo USLE permitiu estimar que 810,62 km<sup>2</sup> da área da bacia estão aptas para o uso de Agricultura - SPS e 328,61 km<sup>2</sup> para Florestamento/Reflorestamento quando adotado um limite de perda de solo potencial de 10 t.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Estes valores explicam-se pelo fator C, onde o uso com florestamento/reflorestamento (C=0,03270) apresenta valor potencialmente erosivo três vezes maior em relação a agricultura soja/pastagem/soja (C=0,0155).

Os resultados da aplicação da estratégia indicam que a ferramenta é robusta e sensível na diferenciação dos potenciais erosivos entre áreas com diferentes usos do solo, diferentes solos e diferentes declividades, sendo possível criar mapas variados para a bacia em estudo, fornecendo informações úteis para tomadores de decisão, que possam priorizar e implementar as melhores práticas de gestão para reduzir a carga de erosão, visando o planejamento conservacionista em bacias hidrográficas.

Conclui-se que o modelo USLE espacializado possibilita a identificação de áreas suscetíveis à perdas de solo potencial, sendo possível quantificar e espacializar as áreas em conformidade com limites de perda de solo potencial e também aquelas que não toleram o uso do solo testado, constituindo-se ferramenta útil de apoio à decisão para planejamento e gestão ambiental integrada de bacias hidrográficas.

## REFERÊNCIAS

- ABDON, M. M. **Os Impactos Ambientais no Meio Físico – Erosão e Assoreamento na Bacia Hidrográfica do Rio Taquari, MS, em Decorrencia da Pecuária**. 2004. 319 f. Tese (Doutorado Ciência da Engenharia Ambiental)-Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2004.
- AMORIM, R. S. S. **Avaliação dos Modelos de Predição da Erosão Hídrica USLE, RUSLE e WEPP para Condições Edafoclimáticas Brasileiras**. 2004. 143 f. Tese (Doctor Scientiae) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (2001). **Hidro Web: Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em:  
<<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?TocItem=1080&TipoReg=7&MostraCon=false&CriaArq=false&TipoArq=1&SerieHist=true>>. Acesso em: 21 de agosto de 2016.
- AQUINO, C. M. S.; OLIVEIRA, J. G. B.; SALES, M. C. L. Estimativa da erosividade das chuvas (R) nas terras secas do Estado do Piauí. **Revista Ciência Agrônômica.**, Fortaleza, Ceará, v. 37, n. 3, p. 287-291, 2006. Disponível em:  
<<http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/viewFile/162/156>>. Acesso em: 01 dez. 2016. ISSN 0045-6888.
- ARAÚJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão Ambiental de Áreas Degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brazil, 2007.
- ARNOLD, J. G.; SNIRIVASAN, R.; MUTTIAH, R. S.; WILLIAMS, J. R. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 34, p.73-89, 1998.
- ASHMAN, M. R.; PURI, G. **Essential soil science: a clear and concise introduction to soil science**. Oxford: Blackwell Publishers, 2002. 198 p.
- ASIS, A. M.; OMASA, K. Estimation of vegetation parameter for modeling soil erosion using linear spectral mixture analysis of Landsat ETM data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, Amsterdam, v. 62, p. 309-324, 2007.
- BARUQUI, A. M.; FERNANDES, M. R. **Práticas de conservação do solo**. Belo Horizonte. Informe Agropecuário, Belo Horizonte. v. 11, n. 128. p. 55-69, ago. 1985.
- BERTOL, I. Índice de Erosividade (EI30) para Lages (SC) - 1ª Aproximação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, n.4, p.515–521, 1993.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone, Ed.7, p. 355, 2010.
- BIESEMANS J.; MEIRVENNE, M. V.; GABRIELS, D. Extending the RUSLE with the Monte Carlo error propagation technique to predict long-term average off-site sediment accumulation. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 55, p. 35-42, 2000.

BONO, J. A. M.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; EVANGELISTA, A. R.; CARVALHO, M. M.; SILVA, M. L. N. Cobertura vegetal e perdas de solo por erosão em diversos sistemas de melhoramento de pastagens nativas. **Past. Trop.**, 18:2-8, 1996.

BOTELHO, R.G.M. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. p. 229-268.

BRAKENSIEK, D. L. (eds.). **Hydrologic modelling of small watersheds**. Michigan: ASAE, 1982. P. 296-380. (ASAE Monograph, 5).

BRASIL. Lei n. 9433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 8 jan. 1997. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm)>. Acesso em: 2 set. 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura – Divisão de Pesquisas Pedológicas. “Levantamento do reconhecimento dos solos do Rio Grande do Sul”. Recife, 431p. 1973. (**Boletim Técnico 30**).

BUBLITZ, J. Desmatamento Civilizador: A História Ambiental da Colonização Européia no Rio Grande do Sul (1824-1924). In: III Encontro da ANPPAS, 16., 2006, Brasília. **Anais**, Brasília: CCIP, 2006. Disponível em: <[http://www.anppas.org.br/encontro\\_anual/encontro3/arquivos/TA604-01032006-134852.PDF](http://www.anppas.org.br/encontro_anual/encontro3/arquivos/TA604-01032006-134852.PDF)>. Acesso em: 2 set. 2016.

CAMPOS, R. A.; STIPP, M. E. F.; STIPP, N. A. F. Estudos sobre potencial erosivo na área de uma bacia hidrográfica no município de Londrina – PR. **Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada: A Geografia Física Aplicada e as dinâmicas de apropriação da natureza**, 13. 2009. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009.

CAMPOS, R. **Estudos ambientais no espaço geográfico da bacia hidrográfica do ribeirão das Marrecas, Londrina (PR)**. 2006. Dissertação (Mestrado em Geografia, Meio Ambiente e Desenvolvimento), Universidade Estadual de Londrina, Londrina.

CAPRA, F. Autoorganization Model. In: \_\_\_\_\_. **The Web of Life**. Melbourne: Anchor Books. 347 p. 1997.

CARMO, J. P. A. A Bacia Hidrográfica como Unidade de Estudo, Planejamento e Gestão. In: XVI Encontro Nacional dos Geógrafos, Crises, práxis e autonomia: espaços de resistência e de esperanças, Espaços de Diálogos e Práticas. **Anais...** ISBN 978-85-99907-02-3. Porto Alegre - RS, 2010.

CARVALHO, D. F. DE; MONTEBELLER, C. A.; CRUZ, E. S. DA; CEDDIA, M. B.; LANA, A. M. Q. Perdas de solo e água em um Argissolo Vermelho Amarelo, submetido às diferentes intensidades de chuva simulada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, p. 385-389, 2002.

CARVALHO, N. DE O. **Hidrossedimentologia Prática**. CPRM – Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais. Rio de Janeiro, 1994, Brasil, 372 p;

CARVALHO, N. O. Erosão. In: CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia: Prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. cap. 2, p. 33-71.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia**: Prática. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 599 p.

CASSOL, E. A.; MARTINS, D.; ELTZ, F. L. F.; LIMA, V. S.; BUENO, A. C. Esosividade e padrões hidrológicos das chuvas de Ijuí (RS) no período de 1963 a 1933. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, v. 15, p. 220-231, 2007.

CASTRO A.G.; VALÉRIO FILHO M. Simulação da Expectativa de Perdas de Solo em Microbacia sob diferentes Manejos Florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, 21: p. 419-426, 1997.

CASTRO, E. Dinâmica socioeconômica e desmatamento na Amazônia. **Novos Cadernos NAEA**, v. 8, n. 2, p. 5-39, Pará: dez. 2005.

CHECCHIA, T. **Avaliação de perda de solo por erosão hídrica e estudo de emergia na bacia do Rio Caeté, Alfredo Wagner-Santa Catarina**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)-Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Florianópolis, 2005.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.236 p.

COSTA, T. C. C; LUMBRERAS, J. F; ZARONI, M. J; NAIME, U. J; GUIMARÃES, S. P; UZÊDA, M. C. **Estimativas de perdas de solo para microbacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 78).

CRUZ, J. C., NUMMER, A. V.; ELTZ, F. L. F.; SILVA, J. L. S.; ARAUJO, T. A. Avaliação Ambiental Integrada: Construção Metodológica de Modelo para Bloco do Meio Físico. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 18, n.1, p. 223-233, jan./mar. 2013. Disponível em: <[http://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=97&SUMARIO=1503&ST=avaliacao\\_ambiental\\_integrada\\_construcao\\_metodologica\\_de\\_modelo\\_para\\_bloco\\_do\\_meio\\_fisico](http://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=97&SUMARIO=1503&ST=avaliacao_ambiental_integrada_construcao_metodologica_de_modelo_para_bloco_do_meio_fisico)>. Acesso em: 14 maio 2017.

CRUZ, J. C.; NUMMER, A. V.; ELTZ, F. F.; SILVA, J. L. S.; ARAUJO, T. A.; PADILHA, D. G.; SILVEIRA, G. L. Avaliação Ambiental Integrada do Meio Físico nas Bacias do Alto e Médio Rio Uruguai: Análise Desagregada. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n.2, p. 237-249, abr/jun 2014. Disponível em: <[http://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/73e80a3601b767f11acef383e5d924ce\\_f2c2543abb779cb50ec331af06b2bab9.pdf](http://www.abrh.org.br/SGCv3/UserFiles/Sumarios/73e80a3601b767f11acef383e5d924ce_f2c2543abb779cb50ec331af06b2bab9.pdf)>. Acesso em: 14 maio 2017.

DASMANN, R. F.; MILTON, J. P.; FREEMAN, P. H.. **Ecological Principles for Economic Development**. Washington D. C., USA. John Wiley & Sons Ltd. 1973.

DE LLANO, F. L. C; CRIADO, M. B. **Aspectos cualitativos y cuantitativos de la erosión hídrica, y del transporte y deposito de materiales**. Madrid: Ministerio de Agricultura, Dirección General de Montes, Caza y Pesca Flubial, Instituto forestal de Investigaciones y Experiencias, 1968. 190 p.

DE PABLO, C. L.; AGAR, P. M. de; BARTUREN, R.; NICOLAS, J. P.; PINEDA, F. D.. Design of a Information System for Environmental Planning and Management (SIPA). **Journal of Environmental Management**, v. 40, p. 231-243, 1994.

DECHEN, S. C. F.; LOMBARDI NETO, F.; CASTRO, O. M. Gramíneas e leguminosas e seus restos culturais no controle da erosão em Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 5:133-137, 1981.

DEL PRETTE, M. E.; MATTEO, K.C. **Origens e possibilidades do zoneamento ecológico-econômico no Brasil**. Caderno de Referência Subsídio ao Debate. Brasília, Ministério do Meio Ambiente. 2006.

DENARDIN, J. E.; FREIRE, O. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. 1990.[s.n.], Piracicaba, 1990.

DENARDIN, J. E; WUNSCH, W. A. Erodibilidade de um Latossolo Vermelho escuro. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 3., 1981, Recife. **Anais...** Recife: UFRPE, 1980. P. 219.

DESMET, P. J. & GOVERS, G. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. **J. Soil Water Conserv.**, 51:427- 433, 1996.

DIDONÉ, E. J. **Erosão Bruta e Produção de Sedimentos em Bacia Hidrográfica sob Plantio Direto no Planalto do Rio Grande do Sul**. 2013. 228 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

DURLO, M. A.; SUTILI, F. J. **Bioengenharia: Manejo Biotécnico de Cursos de Água**. 3. ed. Santa Maria: Edição do Autor, 2014. 192 p.

EL-SWAIFY, S. A.; DANGLER, E.W.; ARMSTRONG, C. L. **Soil erosion by water in the tropics**. Honolulu: University of Hawaii, 1982. (Research extension service n° 24)

EL-SWAIFY, S.A; DANGLER, E.W. Erodibilities of selected tropical soils in relation to structural and hydrologic parameters. In: NATIONAL CONFERENCE ON SOIL EROSION, West Lafayette, 1976. Proceedings. Ankeny, SWCS, 1977. p. 105-110.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 1999. 412p.

FAO; ITPS. **Status of the World's Soil Resources**. Rome: Italy, 2015. Available in: <<http://www.fao.org/3/a-i5199e.pdf>>. Access: september 1, 2016.

FARIAS, I. C. **Guia para la elaboración de estudios del medio físico: contenido y metodología**. 2. ed. Centro de Estudios de Ordenación del Teriitorio y Medio Ambiente. Serie manuales 3. Madrid: GEOTMA, 1984.

FARINASSO, M.; et al. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da Eups utilizando novas metodologias em sig para os cálculos dos seus



fatores na região do Alto Parnaíba-Pi-MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 7, n. 2, p. 73-85, 2006.

FEE - FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA SIEGFRIED EMANUEL HEUSER. (2013). **Censo Demográfico: População por município, situação de domicílio e sexo, 2010** – Rio Grande do Sul. Disponível em: <<http://www.fee.rs.gov.br/indicadores/populacao/censos-demograficos/>>. Acesso em: 07 jan. 2017.

FEPAM. Análise de Fragilidades Ambientais da Bacia Hidrográfica dos Rios Apauê-Inhandava, situada na Região Hidrográfica do Rio Uruguai. **Relatório Técnico Final**. Contrato FEPAM/FATEC/UFSM. 2004.

FERNANDES, E. N. **Sistema inteligente de apoio ao processo de avaliação de impactos ambientais de atividade agropecuárias**. Viçosa, MG: UFV, 1997. 122p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1997.

FERNANDES, M.R. e SILVA, J. C. **Programa Estadual de Manejo de Sub-Bacias Hidrográficas: Fundamentos e estratégias** - Belo Horizonte: EMATERMG. 24p. 1994.

FLACKE, K. W.; AUERSWALD, F. K.; NEUFANG, M. L. Combining a Modified Universal Soil Loss Equation with a Digital Terrain Model for Computing High Resolution Maps of Soil Loss Resulting from Rain Wash. *CATENA*, Vol. 17, p. 383-397, 1990.

FLANAGAN, D. C.; NEARING, M. A. (eds.). USDA. **Water erosion prediction project – WEPP**. West laffayette: USDA-ARS-MWA-SWCS, 1995. Paginação irregular. (Technical documentation, NSERL, Report n. 10).

FOSTER, G. R. Modelling the erosion process. In: HAAN, C. T.; JOHSON, H. P.; FOSTER, G. R.; MCCOOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAUER, W. C. (1981). **“Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units”**, *Journal of Soil and Water Conservation*, v.36, pg. 355-359.

FRAG-RIO. Desenvolvimento metodológico e Tecnológico para Avaliação Ambiental Integrada Aplicada ao Processo de Análise de Viabilidade de Hidrelétricas. **Relatório: etapa 1**. Convênio FINEP / UFSM / UNIPAMPA. 2009.

FRANCO, Â. M. P.; CASSOL, E. A.; PAULETTO, E. A.; INDA, A. V. Erodibilidade do Solo em entressulcos determinada experimentalmente e por Modelos Matemáticos em um Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira Agrociência**, Pelotas, v.18 n. 2-4, p. 175-187, 2012.

FU, B; GULINCK, H. Land evaluation in an area of severe erosion: Loess Plateaus of China. *Land Degrad Rehab.*, Amsterdam, 5:33-40, 1994.

FUJIHARA, A. K. **Predição de Erosão e Capacidade de Uso do Solo numa Microbacia do Oeste Paulista com Suporte do Geoprocessamento**. 2002. 136 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2002.

FULLEN, M. A.; CATT, J. A. **Soil management: problems and solutions**. Oxford: Oxford Univercity Press, 2004. 269 p.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA; MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica período 2012-2013: relatório técnico.** São Paulo, 2014.

GALDINO, S.; VIEIRA, L. M.; PADOVANI, C. R.; SORIANO, B. M. A.; RISSO, A.; MELO, E. C.; DE ALMEIDA JUNIOR, N. (2004). Erosão potencial laminar hídrica na bacia do alto Taquari. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.9, n. 2. Abr/jun 2004, pp. 125-133.

GALETI, P. A. **Conservação do Solo – Reflorestamento – Clima.** 2. ed. São Paulo: Círculo do Livro S. A., 1973. 286 p.

GEIST, H. J. e LAMBIN, E. F. **What drives tropical deforestation?** LUCC Report Series No. 4. Land Use and Land Cover Change, International Geosphere-Biosphere Programme. 2001.

GIASSOM, E.; INDA JR, A. V.; NASCIMENTO, P. C. **Relatório final de consultoria para classificação taxonômica dos solos do estado do Rio Grande do Sul segundo o sistema brasileiro de classificação de solos e avaliação da classe de resistência à impactos ambientais.** Porto Alegre: FEPAM, 2005.

HAMLETT, J. M.; MILLER, D. A.; DAY, R. L.; PETERSON, G. W.; BAUMER, G. M.; RUSSO, J. Statewide GIS-based ranking of watersheds for agricultural pollution prevention. **Journal of Soil and Water Conservation.** v. 47, n. 5, p. 399 – 404, 1992.

HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M. Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:145-154, 1999.

HERNANI, L. C.; SALTON, J. C.; FABRICIO, A. C.; DEDECEK, R.; ALVES JUNIOR, M. Perdas por erosão e rendimentos de soja e de trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo Roxo de Dourados. **Revista Brasileira de Ciência dos Solos.** 21:667-676, 1997.

HICKEY, R. A.; SMITH, A.; JANKOWSKI, P. Slope length calculations from a DEM within ARC/INFO GRID. **Computers Environment and Urban Systems**, New York, v. 18, n. 5, p. 365-380, 1994.

HUDSON, N. **Soil conservation.** Iowa State University Press. Iowa, 1981.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE (2016). Geociências: organização do território. Disponível em: <[http://downloads.ibge.gov.br/downloads\\_geociencias.htm](http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm)>. Acesso em: 01 jan. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **PMDBBS – Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite.** Brasil, 2016. Disponível em: <[http://siscom.ibama.gov.br/monitora\\_biomass/index.htm](http://siscom.ibama.gov.br/monitora_biomass/index.htm)>. Acesso em: 02 set. 2016.

İRDEM, A.; TOPALOĞLU, F.; UYGUR, V. Estimating spatial distribution of soil loss over Seyhan River Basin in Turkey. **Journal of Hydrology**, 336 (1-2): 30-37, 2007.

JACQUES, P. D. **Geoprocessamento na identificação de áreas suscetíveis à erosão laminar na bacia do rio Ubatiba, Maricá – RJ.** 1997. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro.

JORGE, M. do C. O.; GUERRA, A. J. T. (Org.). **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas.** São Paulo: Oficina de Textos, 2013. cap 1, p. 7-30.

KINNELL, P. I. A. The USLE-M and Modeling Erosion With in Catchments. USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, selected papers from the 10th international soil conservation organization meeting held, p. 924-928, 1999.

KIRKBY M. J.; MORGAN, R. P. C. **Erosión del Suelo.** (ed. Castell). México: Ed. Limusa, 1984.

KIRKBY, M. J.; CHORLEY, R. J. Throughflow, overland flow and erosion. **Hydrological Sciences Journal:** v. 12, n. 3, p. 5-21, 1967.

LAL, R.; ELLIOT, W. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. **Soil erosion:** research methods. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, p.180–208, 1994.

LANZA, D. S. Diagnóstico da Erosão Laminar na Alta e Média Bacia do Rio Paraopeba. Belo Horizonte, 2011. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Análise Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais.

LEITE, C. M. C. **O Zoneamento Ecológico-Econômico: Impasses e Perspectivas de um Instrumento de Gestão Ambiental.** 2001. 140 p. Dissertação (Mestrado em Geografia)- Universidade de Brasília, Brasília, 2001.

LEPRUN, J.C., 1981. A erosão, a conservação e o manejo do solo no Nordeste Brasileiro. Recife: Ministério do Interior. SUDENE, Brasil.

LEPSCH, I. **Solos:** formação e conservação. Edição Melhoramentos, São Paulo, 1977.

LINO, J.S. **Evolução do sistema plantio direto e produção de sedimentos no Rio Grande do Sul.** 2010. 118 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP. Piracicaba, SP, 2010.

LIU, H.; FOHRER, N.; HÖRMANN, G.; KIESEL, J. Suitability of factor algorithms for soil loss estimation at gently sloped landscapes. **Catena**, Amsterdam, v. 77, p. 248-255, 2009.

LOCH, R.; ROSEWELL, C. 1992. Laboratory methods for measurement of soil erodibilities (K factors) for the universal soil loss equation. **Australian Journal of Soil Research**, n. 30, p. 233 – 248, 1992.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solos em Campinas. SP. **Bragantia**, Campinas, v.51, n.2, p.189-196, 1992.

MAFRA, N. M. C. Erosão e Planificação de Uso do Solo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. cap 9, p. 302-322.

MAGALHÃES, R. A. **Erosão: definições, tipos e formas de controle**. VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Goiânia, GO, 2001.

MARGULIS, S. **Causas do Desmatamento da Amazônia Brasileira**. Banco Mundial – Brasília: julho, 2003.

MARQUES, J. J. G. de S. M. **Estimativas e comparações dos fatores erosividade das chuvas e erodibilidade de solos com horizonte B textural no Brasil**. 1996. f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1996.

MARTINS, L. Estimating the LS Factor for RUSLE through Iterative Slope Length Processing of Digital Elevation Data within ArcInfo Grid. **Geography**, Sheffield. n. 1, p. 1043-1053, 2001.

MARTINS, S.G.; SILVA, M.L.N.S.; AVANZI, J.C.; CURI, N. FONSECA, S. Fator cobertura e manejo do solo e perdas de solo e água em cultivo de eucalipto e em mata atlântica nos tabuleiros costeiros do estado do Espírito Santo, *Scientia Florestalis*, v. 38, n. 87, p. 517-526, 2010.

MATOS, T. V. S. **Determinação de Áreas de Vulnerabilidade à Erosão Hídrica com base na Equação Universal de Perda de Solo (USLE)**. 2015.116 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

MELLEROWICZ, K. T.; REES, H. W.; CHOW, T. L.; GHANEM, I. Soil conservation planning at watershed level using the Universal Soil Loss Equation with GIS and microcomputer technologies: A case study. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 49, n. 2, p. 194 – 199, 1994.

MELLO, G.; BUENO, C. R. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de perdas de solo, do potencial natural e risco de erosão em áreas intensamente cultivadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 10, n. 2, p. 315-322. Campina Grande, PB, 2006.

MEYBECK, M., LAROCHE, L., DU`RR, H.H., SYVITSKI, J.P.M. **Global variability of daily total suspended solids and their fluxes in rivers**. *Global Planetary Change* 39 (1–2), pp. 65–93. 2003.

MIRANDA, J. I. EMBRAPA INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. **Fundamentos de sistemas de informação geográficas**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2005. 425p.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Cartas de vegetação PROBIO (MMA)**. Brasília, 2016. Disponível em: <[http://mapas.mma.gov.br/mapas/aplic/probio/datadownload.htm/?/](http://mapas.mma.gov.br/mapas/aplic/probio/datadownload.htm?/)>. Acesso em: 11 de agosto de 2016.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. Metodologia de Zoneamento Ecológico Econômico para a Região Sudeste: Transcrição de debates. Brasília: 2001, 450 p.

MOORE, I. D.; BURCH, G. J. Modeling erosion and deposition: Topographic effects. **Trans. Am. Soc. Agric. Eng.**, 29:1624-1640, 1986.

MUSGRAVE, C. W. The quantitative evaluation of factors in water erosion, a first approximation. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 2, p.133-138, 1947.

NUNES FILHO, J.; SOUSA, A. R.; MAFRA, R. C.; SILVA, A. B. Práticas conservacionistas e as perdas por erosão na cultura do milho isolado e consorciado no Sertão do Pajeú (PE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 14:69-72, 1990.

OLDEMAN, L. R., HAKKELING, R. T. A. SOMBROEK, W. G. **World Map of the Status of Human-Induced Soil Degradation**. Wageningen, International Soil Reference and Information Centre. 1990.

OLIVEIRA JR., R. C. **A erosividade das chuvas na parte leste do Pará**. 1988. Mestrado. Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, Pará, Brasil, 1988.

PADILHA, D. G.; TREVISAN, M. L.; CRUZ, J. C. SENSIBILIDADE DO MODELO DE FRAGILIDADES AMBIENTAIS À PONDERAÇÃO MULTICRITERIAL: ASPECTOS FÍSICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ALTO URUGUAI. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 44, n. 3, p. 535 - 548, jul. / set. 2014. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/31724>>. Acesso em: 14 maio 2017.

PANDEY, A.; CHOWDARY, V.M.; MAL, B.C. Identification of critical erosion prone areas in the small agricultural watershed using USLE, GIS e remote sensing. **Water Resources Management**, v. 21, p. 729-746. 2007.

PASQUATTO, M. C.; TOMAZONI, J. C. Estudo do processo erosivo laminar na bacia de captação do rio Barro Preto, em Coronel Vivida – PR. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.9, n.02, p. 555-570, 2016.

PEREIRA, K. N. **Avaliação da fragilidade ambiental na microbacia do Ribeirão de Imarú/SC: uma análise comparativa entre o modelo de fragilidade empírica dos ambientes e o método da Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE)**. 2009. 132 p. Dissertação (Mestrado em Geografia)-Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, SC, 2009.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E. dos.; DEL PRETTE, M. E. A Utilização do Conceito de Bacia Hidrográfica para a Conservação dos Recursos Naturais. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (edit.). **Conceitos de Bacias Hidrográficas: teorias e aplicações**. 1. ed. Bahia: Editus, 2002. cap. 01, p. 17-35.

PRADO, J. P. B.; NÓBREGA, M. T. Determinação de perdas de solo na bacia hidrográfica do córrego Ipiranga em Cidade Gaúcha, Estado do Paraná, com aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS). **Acta Sci. Technol**: Maringá, v. 27, n. 1, p. 33-42, Jan./June, 2005. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/1496/854>>. Acesso em: 25 nov. 2016.

QUINE, T. A.; NAVAS, A.; WALLING, D. E; MACHIN, J. Soil erosion and redistribution on cultivated and uncultivated land near Las Bardemas in the Central Ebro River Basin, Spain, *Land Degrad, Rehab.*, Amsterdam, 5:41-55, 1994.

RANIERI, S. B. L. **Avaliação de métodos e escalas de trabalho para determinação de risco de erosão em bacia hidrográfica utilizando Sistema de Informação Geográficas (SIG)**. São Carlos, 1996. 128 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

RANIERI, S. B. L. **Estimativa da erosão do solo em uma bacia hidrográfica no município de Piracicaba (SP) utilizando os modelos USLE e WEPP**. Piracicaba, 2000, 95 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

RANIERI, V. E. L. **Discussão das potencialidades e restrições do meio como subsídio para o zoneamento ambiental: o caso do município de Descalvado (SP)**. 2000. 87 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

REMORTEL, V.; HAMILTON, M.; HICKEY, R.; REMORTEL, R.; HAMILTON, M. E.; RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; McCOOL, D. K.; YODER, D. C. **Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 703, 1997, 404 p.

RIBEIRO, L. S. **Análise Qualitativa e Quantitativa de Erosão Laminar no Município de Campos dos Goytacazes/RJ através de técnicas de Geoprocessamento**. 139 f. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual do Norte Fluminense. Rio de Janeiro, 2006.

RIBEIRO, L. S.; ALVES, M. G. **Quantificação de Perda de Solo por Erosão no município de Campos dos Goytacazes/RJ através de Técnicas de Geoprocessamento**. In: *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis, Brasil. Anais...* Florianópolis/Brasil: INPE, 2007. p. 3039-3046.

RIBEIRO, M. A. **Ecologizar – Pensando o ambiente humano**. Belo Horizonte: Ed. Rona, 1998.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. **Planejamento e gestão ambiental: subsídios da geoecologia das paisagens e da teoria geossistêmica**. Fortaleza: Edições UFC, 2013.

RÖMKENS, M.J.M.; ROTH, C.B. & NELSON, D.W. Erodibility of select clay subsoils in relation to physical and chemical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41:954- 960, 1977.

RUFINO, R. L.; HENKLAIN, J. C.; BISCAIA, R. C. M. Influência das práticas de manejo e cobertura vegetal do cafeeiro nas perdas de solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 9:277-280, 1985.

RUFINO, R.L., BISCAIA, R.C.M., MERTEN, G.H., 1993. Determinação do potencial erosivo da chuva do estado do Paraná. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. n.17, p. 439–444.

SAIZ, C. C. **Aplicação do modelo da Equação Universal de Perdas de Solo através de dados TM-Landsat e geoprocessamento como suporte ao planejamento conservacionista**. 1996. 157 p. Dissertação (Mestrado)-INPE, São José dos Campos, 1996.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e Prevenção dos Processos Erosivos. In: **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da.; BOTELHO, R.G.M. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. p. 229-268.

SANTOS, D. B. O. Aplicação da RUSLE a uma Pequena Bacia Hidrográfica da Amazônia. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará, Belém-PA, p. 71, 2013.

SANTOS, Rozely Ferreira dos. 2004. Planejamento ambiental: teoria e prática. São Paulo: Ed. Oficina de Textos.

SEMA. **Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí – 2016**. (DRH/SEMA - Junho/2008). Disponível em: <[http://www.sema.rs.gov.br/conteudo.asp?cod\\_menu=58&cod\\_conteudo=5867](http://www.sema.rs.gov.br/conteudo.asp?cod_menu=58&cod_conteudo=5867)>. Acesso em: 21 de junho de 2016.

SILVA, A. M.;SCHULZ, H. E;CAMARGO, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos: Rima, 2003, 138 p.

SILVA, A. S. Comportamento Físico e Erosão dos Solos em uma Topossequência em Correias – Petrópolis (RJ). Programa de Pós-Graduação em Geografia/UFRJ, Dissertação de Mestrado, 1997.

SILVA, A.M.; SCHULZ, H.E. E CAMARGO, P.B. (2007). **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. 2a ed. – revista e ampliada. Editora Rima, Sao Carlos – SP, Brasil, 153 p.

SILVA, D. S. S. Et Al. Modelo de Langbein-Schumm e Estimativa de Produção de Sedimentos de Bacias com Áreas Preservadas. **Revista de Engenharia e Tecnologia**. v. 7, nº. 4, 2015.

SILVA, J. S. V. **Análise Multivariada em Zoneamento para Planejamento Ambiental - Estudo de caso: Bacia Hidrográfica do Alto Rio Taquari MS/MT**. 2003. 332 f. Tese (Doutorado Engenharia Agrícola)- Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2003.

SILVA, L. F. da. **A construção de um índice de sustentabilidade ambiental agrícola (ISA): uma proposta Metodológica**. Campinas, SP: [s.n.], 2007.

SILVA, M. A. Modelagem Espacial da Erosão Hídrica no Vale do Rio Doce, Região Centro-Oeste do Estado de Minas Gerais. Dissertação de mestrado. Lavras: Universidade Federal de Lavras, Brasil, 2009.

SILVA, M. L. N. **Erosividade da chuva e proposição de modelos para estimar a erodibilidade de Latossolos brasileiros**. 1997. f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1997.

SILVA, M. L. N.; BAHIA, V. G.; BARROSO, D. G. Perdas de solo em sistemas de preparo convencional e plantio direto. *Inf. Agropec.*, 16:44-50, 1992.

SILVA, R. C. DA. **Análise das Áreas Suscetíveis à Erosão na Bacia do Arroio Pelotas (RS), com auxílio do Geoprocessamento.** 2009. 140 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2009.

SILVA, S. C., ASSAD, E. D. Zoneamento de riscos climáticos para o arroz de sequeiro nos Estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Tocantins e Bahia. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.9, n.3 (número especial: Zoneamento Agrícola), p.536-543, 2001.

SPAROVEK, G; SCHNUG, E. Temporal erosion-induced soil degradation and yield loss. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 65, p.1479-1486, 2001.

STEIN, D. P., DONZELLI, P. L, GIMENEZ, A. F.,PONÇANO, W. L.; LOMBARDI NETO, F. Potencial de erosão laminar, natural e antrópico, na bacia do Peixe – Paranapanema. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSAO, 3., 1987, Marília. **Anais...** ABGE/DAEE, 1987. v.1, p. 105-135.

STRECK, E. D.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E. V.; NASCIMENTO, P. C.; SCHENEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul.** 2.ed. Porto Alegre: EMATER/RS-ASCAR, 2008. 222 p.

TOMAZONI, J. C. et al. A sistematização dos fatores da Eups em sig para quantificação da erosão laminar na bacia do rio Anta Gorda (PR). **Estudos Geográficos**, Rio Claro, v.3, n. 1, p. 01-21, jan-jun 2005.

ULSAKER, L. G.; ONSTAD. C. A. Relating rainfall erosivity factors to soil loss in Kenya. *Journal Soil Science Society American*. v.48, n.24, p.25-39, 1984.

UNEP – UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **World Atlas of Desertification.** London, Arnold. 1992.

VASCONCELOS, V. V.; HADAD, R. M.; MARTINS JUNIOR, P. P. Zoneamento Ecológico-Econômico: Objetivos e Estratégias de Política Ambiental. **Gaia Scientia**, 7(1): 119-132, 2013.

WALLING, D.E. **Linking the field to the river: sediment delivery from agricultural land.** In: **Soil Erosion on Agricultural Land.** Ed.: BOARDMAN, J.; FOSTER, I.D.L.; DEARING, J.A. Wiley, Chichester. pp. 129-152. 1990.

WANG, G.; WENTE, S.; GERTNER, G. Z.; ANDERSON, A. Improvement in mapping vegetation cover factor for the universal soil loss equation by geostatistical methods with Landsat Thematic Mapper images. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 23, p. 3649-3667, 2002.

WEBER, E.; HASENACK, H.; FERREIRA, C.J.S. 2004. Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade da



federação. Porto Alegre, UFRGS Centro de Ecologia. ISBN 978-85-63843-02-9. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/labgeo>>. Acesso em: 01 jan. 2016.

WILLIAMS, J. R. Sediment-yield prediction with Universal Equation using runoff energy factor. In: **Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yield and Sources**. U.S. Dep. Agr. ARS-S40, p. 244-252, 1975.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. Agriculture Handbook no. 282, USDA, Washington DC, USA, 1965.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. U.S. Department of Agriculture, Handbook. 1978. 537 p.

XUEJUN, L. I. U.; LU. B. Accuracy Assessment of DEM Slope Algorithms Related to Spatial Autocorrelation of DEM Errors. **Advances in digital terrain analysis**, Springer, New York, p. 307-322, 2008.

YANG, C. T. Unit stream power and sediment transport. **Journal of the Hydraulics Division**: v. 98, n. 10, p. 1805-1826, 1972.

ZHOU, Q. Analysis of errors of derived slope and aspect related to DEM data properties. **Computers & Geosciences**, New York, v. 30, n. 4, p. 369-378, 2004.