

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA AMBIENTAL  
CAMPUS POÇOS DE CALDAS

**MAURÍCIO DIAS PURCINO**

**ESPACIALIZAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO E  
ASSOCIAÇÃO COM A VULNERABILIDADE À EROÇÃO HÍDRICA EM DOIS  
AMBIENTES ANTROPIZADOS DO RIBEIRÃO DO CIPÓ**

POÇOS DE CALDAS/MG

2017

**MAURÍCIO DIAS PURCINO**

**ESPACIALIZAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO E  
ASSOCIAÇÃO COM A VULNERABILIDADE À EROÇÃO HÍDRICA EM DOIS  
AMBIENTES ANTROPIZADOS DO RIBEIRÃO DO CIPÓ**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia Ambiental pelo Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de Alfenas, Minas Gerais, *campus* Poços de Caldas. Linha de Pesquisa: Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Daniel Juliano Pamplona da Silva.

Co-Orientador: Paulo Henrique Bretanha Junker Menezes.

POÇOS DE CALDAS/MG

2017

P985e Purcino, Maurício Dias.

Espacialização dos parâmetros físico-hídricos do solo e associação com a vulnerabilidade à erosão hídrica em dois ambientes antropizados do Ribeirão do Cipó / Maurício Dias Purcino. – Poços de Caldas, 2017.

129 f. –

Orientador: Daniel Juliano Pamplona da Silva.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2017.  
Bibliografia.

1. Engenharia Ambiental. 2. Solos – Manejo. 3. Solos – Conservação. 4. Usos do solo. 5. Erosão. 6. Água – Conservação. 7. Gestão Integrada de Recursos Hídricos. I. Silva, Daniel Juliano Pamplona da. II. Título.

CDD: 628

MAURÍCIO DIAS PURCINO

ESPACIALIZAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-HÍDRICOS DO SOLO E  
ASSOCIAÇÃO COM A VULNERABILIDADE À EROSÃO HÍDRICA EM DOIS  
AMBIENTES ANTROPIZADOS DO RIBEIRÃO DO CIPÓ

A Banca examinadora abaixo-assinada, aprova a  
Dissertação apresentada como parte dos requisitos  
para obtenção do título de Mestre em Ciência e  
Engenharia Ambiental do programa de Pós-  
graduação em Ciência e Engenharia Ambiental da  
Universidade Federal de Alfenas.

Área de Concentração: Ciência e Engenharia  
Ambiental.

Aprovada em: 31 de agosto de 2017.



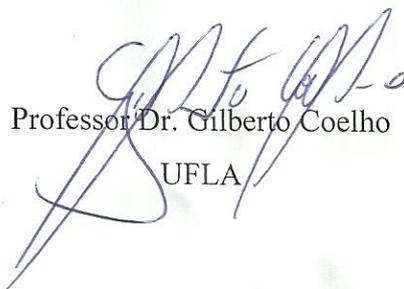
Professor Dr. Paulo Henrique Bretanha Junker Menezes

UNIFAL-MG.



Professor Dr. Diego de Souza Sardinha

UNIFAL – MG.



Professor Dr. Gilberto Coelho

UFLA

Dedico à minha mãe, ao meu pai,  
minha irmã, meu sobrinho e aos meus  
avós.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus, pelo dom da vida e pela minha saúde, pois assim sou capaz de conquistar meus objetivos.

À Universidade Federal de Alfenas, em especial o Instituto de Ciência e Tecnologia, pela oportunidade de realizar esse curso e finalizá-lo.

À FINEP pela bolsa concedida e pela oportunidade de trabalhar no projeto de monitoramento de águas superficiais de Poços de Caldas.

Agradeço ao meu Orientador, Tutor e amigo Professor Dr. Daniel Juliano Pamplona da Silva, que além de depositar confiança em mim, sempre me ensinou a dádiva do trabalho.

Ao meu Co-orientador, Paulo Henrique Bretanha Junker Menezes, que além de nunca medir esforços para me ajudar, sempre me ensinou além da teoria, “que sempre há um outro lado da moeda”, que acima de tudo devemos ser humildes e compreender o sentido da vida.

Ao Professor Antônio Marciano da Silva, exemplo de humildade e sabedoria, pela confiança depositada, pelos conhecimentos transmitidos e acima de tudo pela colaboração não somente científica, agradeço muito ao senhor.

Ao caro colega José de Oliveira Melo Neto, pelas experiências trocadas, parcerias e piadas de campo, e a colaboração de grande valia para este trabalho, devo muito a você, muito obrigado.

Aos técnicos de laboratório Marcel, Guilherme, Bruno, Mansueto, Cochise, Alessandra, pela paciência, pelas conversas, e pela colaboração ao trabalho. A colega Claudiana pelo auxílio nas rotinas intermináveis de laboratório.

Aos motoristas “Altamir das vaca”, “João Pita”, “João Capivara/Velório”, Odair e “Claudião” por enfrentarem as pirambeiras poçoscaldenses, riscar o adesivo da caminhonete e alegrar as campanhas de amostragem. Sem vocês esse levantamento de campo não teria sido realizado.

Aos Ariguerês e Vardovis do campo, que nos auxiliaram em imprevistos e forneceram informações relevantes ao trabalho.

Ao amigo Adriano “Drico” Mota, o “matero”, aventureiro e escoteiro da turma, pela colaboração nos campos, pelos nós de corda que só você sabe fazer, pelas piadas e “sapos capturados”, e também por me mostrar que devemos ser pessoas críticas e questionadoras, muito obrigado “Dricuru”.

Ao amigo Eduardo Marcondes, o “Lemão da Picareta”, “homi orgulhoso”, pelas risadas nos campos e pela grande colaboração nos campos suados e também nas rotinas de laboratório, muito obrigado.

Aos amigos da Bateria Vulcana, que alegraram e agitaram as minhas horas de almoço e pelo apoio.

A galera da Linha de Frente da Ambiental, por levantar a bandeira da Engenharia Ambiental, pelos botecos de quarta, resenhas e conversas infinitas, obrigado pelo apoio pessoal.

E para fechar com chave de ouro:

Agradeço aos meus caros Neos, Luis Otávio e Rodolfo pela parceria firmada, confiança, motivação e apoio para que eu terminasse esse curso, temos um futuro cheio de trabalho, muito obrigado.

Ao meu grande amigo Marcos Silva Vitor, inspiração, exemplo de superação, de garra, coragem. Obrigado por compartilhar comigo aquela velha frase sua “o buraco sempre é mais em baixo” e também do que realmente é de verdade, tem essência e sentido. Obrigado pelo apoio e por fazer eu não desistir, irmão.

A minha amiga, companheira e namorada Fernanda que com carinho incomparável compreendeu os momentos de dificuldade pelos quais passei e sempre me apoiou e motivou para que eu cumprisse essa etapa.

E, aos meus velhos, Dona Sandra e Seu Maurício e minha mana Vanessa, pela confiança, por não medir esforços, por estarem do meu lado sempre, por me apoiarem e fazer com que eu acreditasse e realizasse mais esse sonho de vida. Isso aqui, é para vocês. Amo muito vocês!

A todos reafirmo a minha imensa GRATIDÃO!

“Que o mais simples seja visto como o mais importante”

(Autor desconhecido)

“Dizem que a vida é para quem sabe viver, mas ninguém nasce pronto. A vida é para quem é corajoso o suficiente para se arriscar e o humilde o bastante para aprender.”

(Clarice Lispector)

## RESUMO

A erosão tem sido reconhecida mundialmente como problema ambiental, pois altera tanto a qualidade do solo como também a qualidade e a quantidade da água. Sendo assim, é de grande importância para a gestão de recursos hídricos, que informações sobre o potencial natural de erosão e a expectativa da perda atual de solos sejam geradas a fim de auxiliar a tomada de decisão. Neste sentido, a Equação Universal de Perda de Solos Revisada (EUPSR) é um modelo empírico de simples utilização capaz de prever as perdas de solo, em um ambiente de Sistemas de Informações Geográficas, para bacias que possuem baixa quantidade de informações existentes. Dentro dessa perspectiva, objetivou-se fazer um levantamento dos atributos físico-hídricos do solo e modelar o potencial natural de erosão e a expectativa de perdas de solo para duas sub-bacias do Ribeirão Cipó, no município de Poços de Caldas, que apresentam características diferentes quanto ao uso e ocupação do solo e quanto ao relevo. Todos os atributos físico-hídricos do solo foram classificados como média variabilidade com exceção de condutividade hidráulica do solo saturado para as duas bacias e da areia para a Bacia Hidrográfica do Córrego Chapadão (BHCC), que apresentaram alta variabilidade. A técnica de interpolação espacial krigagem ordinária gerou mapas confiáveis, visto que nas análises variográficas os atributos físico-hídricos apresentaram grau de dependência espacial variando de moderado a forte para as duas sub-bacias, com o modelo exponencial considerado como o melhor. Para as duas sub-bacias o fraco potencial natural de erosão foi predominante em área, mas isso não quer dizer que as perdas são baixas, como no caso da Bacia Hidrográfica do Córrego Gigante (BHCG), que apresentou uma perda média total, considerada como alta, segundo a classificação de Beskow et al. (2009). Comparada a BHCC é notável a influência da mineração, principal atividade econômica da BHCG, no processo erosivo, visto que a BHCC é 4,3 vezes maior que a BHCG e apresenta praticamente a mesma perda de solo, sendo notável o bom desempenho da silvicultura, no que tange, a proteção do solo aos processos erosivos.

Palavras-chave: Equação Universal de Perda de Solos Revisada, Uso e Manejo do Solo, Gestão de Recursos Hídricos.

## ABSTRACT

The erosion have been reconized worldwide like a environmental problem because it changes the soil quality and quality and quantity of water. Therefore, it is importante for water resources manage, that the natural potencial of erosion and soil loss expectancy data are generated to help the dicision-making. In this contexto, the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) is an empirical model, of simple use, able to predict soil losses, in Geographic Information System, for basins that have low amount of data. In this perspective, the goal is sample the physical-hydric soil atributes and to model the natural potencial of erosion and soil loss expectancy for two Cipó River Basin sub-basins, that have diferent characteristics of landuse and terrain. Whole soil atributes was classified as medium variability, with na exception of hydraulic conductivity saturated for two sub-basins, and the sand for Chapadão Creek Watershed, that presented high variability. The ordinary kriging generated reliables maps, because in the variographic analysis presented moderated and high spatial dependency for soil atributes, with the exponencial model as most appropriate. In area, for the two sub-basins the weak natural potencial of erosion was predominant, but it doesn't mean that soil losses are low. On the Gigante Creek Watershed the total mean soil loss are considered as high soil loss, according to Beskow et al. (2009). Compared to Chapadão Creek Watershed is noticeable the mining influence, main economic activity on Gigante, in the erosive process. The Chapadão Creek Watershed is 4,3 times bigger than Gigante Creek Watershed, and presentes almost the same soil loss, therefore it is evidente the importance of forestry to soil protection of erosive process.

Key-words: Revised Universal Soil Loss Equation, Landuse, Water Resources Manage.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização geográfica das bacias BHCG e BHCC. ....	32
Figura 2 – Modelo digital de Terreno e Mapa de Declividade da BHCG.....	35
Figura 3 – Mapa de solos da BHCG.....	36
Figura 4 – Mapa de uso de ocupação da BHCG.....	36
Figura 5 – Modelo Digital de Terreno e o Mapa de declividade da BHCC.....	39
Figura 6 – Mapa de solos da BHCC.....	40
Figura 7 – Mapa de uso e ocupação da BHCC.....	41
Figura 8 – Pontos de amostragem dos atributos dos solos da BHCG. ....	43
Figura 9 – Pontos de amostragem dos atributos dos solos da BHCC.....	43
Figura 10 – Gráficos de box-plot e tendência espacial em função da latitude e longitude na .	57
Figura 11 – Gráficos de valores extremos e tendência espacial em função da latitude e.....	58
Figura 12 – Semivariogramas ajustados para os atributos físico-hídricos do solo na BHCG..	61
Figura 13 – Semivariogramas ajustados para os atributos físico-hídricos do solo na BHCG..	62
Figura 14 – Distribuição espacial da densidade do solo (a), condutividade hidráulica do solo .....	66
Figura 15 – Distribuição espacial da argila na BHCG. ....	67
Figura 16 – Distribuição espacial da densidade do solo (a), condutividade hidráulica do solo .....	69
Figura 17 – Distribuição espacial da matéria orgânica e da densidade de partículas.....	70
Figura 18 – Mapas de erodibilidade para a BHCG. ....	89
Figura 19 – Mapas de erodibilidade da BHCC. ....	90
Figura 20 – Fatores erosividade R, topográfico LS e uso e manejo e práticas conservacionistas .....	91
Figura 21 – Espacialização do Potencial Natural de Erosão da BHCG. ....	92
Figura 22 – Mapas de Potencial Natural de Erosão da BHCC.....	97
Figura 23 – Mapa de Perdas Atuais na BHCG.....	102
Figura 24 – Mapas de Perda Atual para a BHCC.....	110

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes de declividade e sua abrangência na BHCG.....	35
Tabela 2 – Classes de uso e ocupação e sua abrangência na BHCG.....	37
Tabela 3 – Classes de declividade e sua abrangência na BHCC.....	39
Tabela 4 – Classes de uso e ocupação e sua abrangência na BHCC.....	41
Tabela 5 – Equações utilizadas para a determinação no Índice de Erosividade.....	48
Tabela 6 – Erosividade anual e dos períodos secos e úmidos.....	49
Tabela 7 – Código de permeabilidade das classes texturais.....	50
Tabela 8 – Valores de erodibilidade.....	51
Tabela 9 – Código de permeabilidade referente aos Grupos Hidrológicos de Solo.....	51
Tabela 10 – Correlação das classes de condutividade hidráulica do solo saturado e as classes .....	52
Tabela 11 – Taxas mínimas de infiltração dos Grupos Hidrológicos de Solos.....	53
Tabela 12 – Fator de uso e manejo do solo.....	55
Tabela 13 – Parâmetros estatísticos dos atributos físico-hídricos do solo na BHCG e BHCC. .....	59
Tabela 14 – Estatísticas de precisão da análise variográfica dos atributos físico-hídricos do .	63
Tabela 15 – Estatísticas de precisão da análise variográfica dos atributos físico-hídricos do .	64
Tabela 16 – Estatísticas básicas para os dados observados e estimados na BHCG.....	65
Tabela 17 – Estatísticas básicas para os dados observados e estimados na BHCC.....	68
Tabela 18 – Estatísticas básicas dos atributos físico-hídricos do solo por classe de uso na ....	71
Tabela 19 – Estatísticas básicas dos atributos físico-hídricos do solo especializados por classe .....	73
Tabela 20 – Estatísticas básicas dos atributos físico-hídricos do solo especializados por classe .....	75
Tabela 21 – Estatísticas básicas dos atributos físico-hídricos do solo por classe de solo e uso .....	77
Tabela 22 – Estatísticas síntese dos dados estimados por diferentes métodos para a .....	80
Tabela 23 – Estatísticas síntese dos dados estimados por diferentes métodos para a .....	81
Tabela 24 – Comparação das médias entre os métodos de estimativa da erodibilidade para a	82
Tabela 25 – Estatísticas síntese dos dados estimados por diferentes métodos para a .....	83
Tabela 26 – Estatísticas síntese dos dados estimados por diferentes métodos para a .....	83

Tabela 27 – Estatísticas síntese dos dados estimados por diferentes métodos para a .....	84
Tabela 28 – Comparação das médias entre os métodos de estimativa da erodibilidade e .....	85
Tabela 29 – Comparação das médias das erodibilidades entre a BHCG e BHCC.....	86
Tabela 30 – Erodibilidades levantadas na bibliografia.....	87
Tabela 31 – Média do PNE e a abrangência em área na BHCG. ....	93
Tabela 32 – Potencial Natural de Erosão por classe de solo, da BHCG. ....	93
Tabela 33 – Potencial Natural de Erosão por classe de declividade, da BHCG.....	94
Tabela 34 – Potencial Natural de Erosão onde as classes de uso e manejo ocorrem na BHCG. .....	95
Tabela 35 – Potencial Natural de Erosão para a BHCC. ....	97
Tabela 36 – Potencial Natural de Erosão nas classes de solo da BHCC. ....	98
Tabela 37 – Potencial Natural de Erosão nas classes de declividade da BHCC. ....	99
Tabela 38 - Potencial Natural de Erosão onde as classes de uso e manejo ocorrem na BHCC. .....	100
Tabela 39 – Perdas atuais da BHCG. ....	103
Tabela 40 – Perdas de solo por classe de solo, na BHCG. ....	104
Tabela 41 – Perdas de solo a partir da interseção da classe de solo e uso manejo, para o método $K_1$ na BHCG. ....	106
Tabela 42 – Perdas de solo a partir da interseção da classe de solo e uso manejo, para o método $K_4$ na BHCG. ....	107
Tabela 43 - Perdas de solo a partir da interseção da classe de solo e uso manejo, para o método $K_7$ na BHCG. ....	108
Tabela 44 – Perdas de solo mais relevantes para a interseção classe de solo, uso e manejo e declividade para a BHCG. ....	109
Tabela 45 – Perdas Atuais para a BHCC.....	111
Tabela 46 – Perdas de solo nas classes de solo da BHCC.....	112
Tabela 47 – Perdas de solo a partir da interseção da classe de solo e uso manejo, para o método $K_1$ na BHCC. ....	113
Tabela 48 – Perdas de solo a partir da interseção da classe de solo e uso manejo, para o método $K_4$ na BHCC. ....	114
Tabela 49 – Perdas de solo a partir da interseção da classe de solo e uso manejo, para o método $K_7$ na BHCC. ....	115
Tabela 50 – Perdas de solo mais relevantes para a interseção classe de solo, uso e manejo e declividade para a BHCC. ....	116

Tabela 51 – Síntese das perdas de solo atual e da relação entre as bacias. ....	117
---	-----

## LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

<b>A</b>	- Perda Atual de Solo
<b>BHCC</b>	- Bacia Hidrográfica do Córrego Chapadão
<b>BHCG</b>	- Bacia Hidrográfica do Córrego Gigante
<b>CX</b>	- Cambissolos Háplicos
<b>Ds</b>	- Densidade do solo
<b>EI30</b>	- ndice de erosividade das chuvas
<b>Fator C</b>	- Fator de Uso e manejo do Solo
<b>Fator K</b>	- Fator de Erodibilidade do solo
<b>Fator LS</b>	- Fator Topográfico
<b>Fator P</b>	- Fator de Práticas conservacionistas
<b>Fator R</b>	- Fator de Erosividade da chuva
<b>IQD</b>	- Inverso do Quadrado das Distâncias
<b>Ksat</b>	- Condutividade hidráulica do solo saturado
<b>LV</b>	- Latossolos Vermelhos
<b>LVA</b>	- Latossolos Vermelho-Amarelos
<b>MNE</b>	- Modelo Numérico de Elevao
<b>MNT</b>	- Modelo Numérico de Terreno
<b>MO</b>	- Matéria orgânica do solo
<b>MQP</b>	- Método dos Mínimos Quadrados Ponderados
<b>PNE</b>	- Potencial Natural de Erosão
<b>Pt</b>	- Porosidade total
<b>SIV</b>	- Solos Indiscriminados de Várzea

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
2.1 IMPORTÂNCIA DA ÁGUA E DA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS .....	18
2.2 BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ESTUDOS DE RECURSOS HÍDRICOS .....	19
2.3 INFLUÊNCIA DO USO DA TERRA NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-HÍDRICAS DO SOLO E A SUA VARIABILIDADE ESPACIAL .....	21
2.4 VULNERABILIDADE À EROÇÃO .....	25
2.4.1 Fator de Erosividade das Chuvas (R ou $EI_{30}$ ).....	26
2.4.2 Fator de Erodibilidade do Solo (K) .....	27
2.4.3 Fator Topográfico (LS).....	29
2.4.4 Fator de Uso e Manejo (C) e Fator de Práticas Conservacionistas (P).....	30
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>32</b>
3.1 Caracterização da Área de Estudo .....	32
3.1.1 Bacia Hidrográfica do Córrego Gigante (BHCG) .....	34
3.1.2 Bacia Hidrográfica do Córrego Chapadão (BHCC) .....	38
3.2 Caracterização e Espacialização de Atributos Físico-Hídricos .....	42
3.3 Estimativa dos fatores da Equação Universal de Perda de Solos Revisada (EUPSR) .....	48
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>56</b>
4.1 Atributos Físico-Hídricos .....	56
4.2 Fator de Erodibilidade do Solo (K) .....	79
4.3 Potencial Natural de Erosão (PNE) .....	90
4.4 Perda de Solos Atual .....	102
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>118</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>120</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água é importante para a manutenção da vida e também para o desenvolvimento econômico de determinada região. Os diversos usos da água, seja para os setores produtivos, seja para os setores consumidores, aumentam a demanda sobre este recurso à medida que a economia se desenvolve e a população mundial cresce. Sendo assim é necessário que uma gestão estratégica seja implementada para gerir os momentos de escassez e estresse hídrico, regulamentar o uso racional e mediar os conflitos sobre a qualidade e quantidade deste recurso.

Além do uso da água o crescimento econômico também interfere a dinâmica territorial, por meio da expansão urbana, avanço das fronteiras agrossilvipastoris e crescimento industrial. Essas atividades antrópicas alteram a cobertura do solo o que influencia diretamente nas componentes do ciclo hidrológico. A redução da cobertura vegetal e a exposição do solo diminuem a água interceptada pela vegetação e a infiltração de água no solo, fazendo com que o escoamento superficial direto seja potencializado e aumente rapidamente a saída de água do sistema.

Por isso a importância de considerar a bacia hidrográfica como unidade de gestão. Pois é possível medir, com facilidade, as variáveis hidrológicas, que são respostas dos contextos das bacias hidrográficas. Sendo assim, é necessário que a gestão de recursos hídricos se articule com a gestão territorial, visando a conservação da água e do solo.

Por mais que a erosão seja um processo natural as atividades antrópicas, que suprimem a cobertura vegetal e expõem o solo, o intensificam, por conta do impacto das gotas de chuva no solo e do escoamento superficial, que tem a capacidade de desprender as partículas de solo e transportá-las para ambientes de deposição. Sendo o empobrecimento do solo, aumento no uso de insumos agrícolas, eutrofização, contaminação e assoreamento dos corpos hídricos, diminuição do volume de água acumulada e do tempo de vida útil dos reservatórios, abrasão dos equipamentos e dispositivos de operação de barragens e aumento no uso de produtos químicos no tratamento de água são alguns dos impactos associados a produção e transporte de sedimentos nas bacias hidrográficas.

Além das variáveis hidrológicas, os atributos físico-hídricos do solo também respondem as mudanças da cobertura vegetal. Em ambientes conservados, por exemplo, matas nativas, campos sem pastejo, silviculturas com as devidas práticas conservacionistas, possuem melhor qualidade de solo. Ou seja, são solos que por seus atributos condutividade

hidráulica do solo saturado, densidade, porosidade total, matéria orgânica, textura favorecem a infiltração de água abastecendo os aquíferos freáticos e perenizando os cursos d'água. Por outro lado, ambientes não conservados como áreas de solo exposto, pastos degradados, culturas sem o emprego de práticas conservacionistas fazem com que os atributos do solo favoreçam o escoamento superficial em detrimento da infiltração de água no solo, e aumente significativamente o processo erosivo.

Como os solos possuem uma heterogeneidade espacial é importante estudar a variabilidade desses atributos nas bacias hidrográficas, visto que a vulnerabilidade à erosão é um fator intrínseco de cada solo. Sendo assim, as técnicas geoestatísticas vem sendo utilizadas para especializar os atributos do solo e compreender a relação desses atributos com a variação da paisagem.

Os modelos de predição das perdas de solo por erosão, que de certa forma estão relacionados, de maneira especializada é de extrema valia, pois fornece informações que auxiliam na tomada de decisões dos gestores de recursos hídricos. Existem vários modelos tanto empíricos, quanto físicos, para a predição da erosão, mas a sua aplicabilidade depende das informações disponíveis sobre a área de estudo. A Equação Universal de Perda de Solos Revisada (EUPSR) é um modelo empírico utilizado em ambientes de Geoprocessamento e Sistemas de Informações Geográficas para espacializar as perdas de solo em casos de carência de informações. A EUPSR fornece informações sobre as áreas que possuem maior potencial a erosão, e que combinadas aos sistemas de uso e manejo do solo, predizem a expectativa das perdas de solo.

No tocante aos processos erosivos e os impactos relacionados a produção e transporte de sedimentos, torna-se importante o desenvolvimento de estudos na bacia do Ribeirão Cipó, na cidade de Poços de Caldas, Minas Gerais. Pois é uma bacia estratégica para o município, sabendo que é responsável por maior parte do abastecimento público e pela regularização de vazão do principal curso hídrico da cidade o Ribeirão das Antas, que mais a jusante possui reservatórios para geração de energia elétrica. E até se enquadra na Lei Municipal 2.647/1.978, que se refere a proteção de mananciais e aborda sobre diretrizes e regulamentações sobre o uso e ocupação nas áreas de manancial.

Nesse sentido este trabalho tem como objetivo geral caracterizar os atributos físico-hídricos do solo, e suas associações com os impactos do uso e manejo da terra sobre as perdas por erosão hídrica, em duas sub-bacias do Ribeirão Cipó, bacia do Córrego Gigante e bacia do Córrego Chapadão.

Para alcançar o objetivo geral foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- i) amostragem de solos nas sub-bacias, ii) análises dos atributos físico-hídricos dos solos amostrados, iii) espacializar os atributos físico-hídricos, iv) estimar a erodibilidade do solo e adequar a inferência do código de permeabilidade de Wischmeier *et al.* (1971) para os solos tropicais, v) estimar o potencial natural de erosão com as informações de erosividade da chuva, topografia e erodibilidade do solo e vi) modelar as expectativa de perdas de solo com o uso atual da terra.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 IMPORTÂNCIA DA ÁGUA E DA GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

A água é um recurso essencial para o Planeta Terra, devido a sua capacidade de manter a biodiversidade e impulsionar os ciclos biogeoquímicos e os ecossistemas. Além desse papel ambiental, a água também tem uma forte relevância econômica, que, com seus usos múltiplos, promove o desenvolvimento das economias e o bem-estar da sociedade. Assim, a Gestão de Recursos Hídricos é um componente estratégico de extrema importância no desenvolvimento territorial e econômico, norteando e regulando os competitivos usos múltiplos, aumentando a necessidade de uma gestão eficiente e participativa capaz de gerenciar a escassez e ou o estresse hídrico com as pressões sobre a quantidade e a qualidade desse recurso (BRAGA *et al.*, 2008; LANNA, 2007; TUNDISI, 2013).

Apesar do Brasil, num contexto global, possuir uma disponibilidade elevada de água, vazão média de 260.000 m<sup>3</sup>/s para o território nacional, representando 12% da água doce do planeta, apresenta uma heterogeneidade na distribuição deste recurso, sendo que 78,85% está localizado na bacia do Rio Amazonas (ANA, 2016). Além disso, o regime fluvial sofre grandes variações durante o ano, devido as condições climáticas que apresentam estações secas e chuvosas (ANA, 2016).

Segundo a Agência Nacional de Águas (2016), dos 1209,64 m<sup>3</sup>/s consumidos no Brasil, 75% são utilizados pela irrigação, seguido pelo abastecimento para dessedentação animal (9%), abastecimento público (8%), 6% para a indústria e 2% para o abastecimento humano rural.

Combinado as vulnerabilidades naturais com os processos de crescimento populacional, urbanização, migração, industrialização e irrigação, ocorre o aumento da demanda e a contribuição para poluição, que reduz automaticamente as águas disponíveis com qualidade e quantidade adequada, comprometendo a capacidade suporte dos ecossistemas (BERNARDI *et al.*, 2012; UNESCO, 2015).

A gestão de recursos hídricos deve se atentar a desenvolver estudos estratégicos como: estimar os cenários de mudanças climáticas; avaliar as tendências de longo prazo das séries hidroclimáticas, planejar o espaço de riscos a inundação; estudar o impacto da variabilidade hidrológica e da modificação climática sobre o setor elétrico; estimar vazões; avaliar impactos

do uso da terra sobre as bacias e biomas brasileiros e avaliar o balanço de carbono dos sistemas naturais brasileiros, para melhor reconhecer e entender os impactos potenciais das alterações climáticas e do uso do solo sobre os recursos hídricos, seus usos e conservação do meio ambiente e planejar potenciais medidas mitigadoras integradas as ações já existentes de gerenciamento de recursos hídricos (TUCCI, 2002).

## 2.2 BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE ESTUDOS DE RECURSOS HÍDRICOS

O ciclo hidrológico é um fenômeno global que tem como principal fonte de energia o sol, possibilitando o processo de evaporação da água da superfície dos oceanos e da superfície terrestre. Essa água entra no sistema de circulação da atmosfera, quando ocorre o processo de resfriamento do ar úmido, cria-se a condição para desencadear a precipitação em forma de chuva, neve, entre outros sobre os oceanos e a superfície da terra (TUCCI, 2002).

Estudar separadamente as componentes do ciclo hidrológico conjuntamente com as relações deste com o meio ambiente é de fundamental importância para a compreensão dos processos hidrológicos e para o desenvolvimento de ações de exploração e conservação dos recursos hídricos (MELO NETO, 2012). Os processos hidrológicos na bacia hidrográfica possuem duas direções predominantes a vertical e a longitudinal. A vertical é representada pelos processos de precipitação, evaporação, umidade e fluxo no solo, enquanto a longitudinal pelo escoamento na direção dos gradientes da superfície como escoamento superficial e subterrâneo (TUCCI, 2002).

A precipitação é a principal entrada de água no ciclo e sua ocorrência depende da variabilidade meteorológica e das características morfológicas da superfície terrestre. Parte dessa precipitação é interceptada pela cobertura vegetal e outra parte atinge o solo. Esse volume retido evapora assim que houver capacidade calorífica. As plantas retiram a umidade do solo pelas suas raízes e utilizam a água nos processos metabólicos, fazendo com que ela retorne a atmosfera em forma de transpiração (VIOLA, 2008).

Uma parcela da água que atinge o solo infiltra e dependendo das condições de umidade no perfil do solo, pode percolar em direção ao aquífero freático, sendo armazenada e transportada até os rios. A capacidade de infiltração depende da umidade antecedente, cobertura vegetal e das características do solo. Essa parcela que infiltra tem uma função

extremamente importante, visto que fornece água para as plantas e é responsável pela recarga de aquíferos, a qual mantém o escoamento subterrâneo (MELLO; SILVA, 2013).

Outra parcela gera o escoamento superficial direto. Esse volume de água escoou pela superfície, impulsionado pela gravidade, alcançando os canais de drenagem, rios e lagos. O escoamento superficial (deflúvio superficial) corresponde a parcela do ciclo hidrológico que pode provocar impactos ao meio ambiente como erosão, transporte de sedimentos, assoreamento e contaminação de corpos d'água (MELLO; SILVA, 2013).

A bacia hidrográfica é uma unidade (biogeofisiográfica) em que se pode observar com facilidade a variação das variáveis hidrológicas. E com base no registro de séries históricas dessas variáveis é possível entender melhor os fenômenos e procurar representá-los matematicamente, podendo ser melhor administrada dependendo apenas da escala de análise da bacia hidrográfica em questão (LIMA, 2010; TUCCI, 2007).

Nesse contexto a bacia é considerada como unidade de gestão, pois ela estende os limites territoriais políticos tradicionais para uma unidade física de gerenciamento e planejamento econômico e social (TUNDISI, 2013).

Para ser eficiente, a gestão de recursos hídricos deve ser integrada e considerar os aspectos físicos, sociais e econômicos. A implantação desses conceitos iniciou-se em 1997 com a instituição da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) Lei nº 9.433/97, que tem como um de seus fundamentos a bacia hidrográfica como unidade gerencial. A PNRH promoveu uma nova perspectiva na governança da água, possibilitando a descentralização na gestão e na visão preditiva, em nível de bacias hidrográficas, e integrada aos usos múltiplos, ciclos atmosféricos, superficiais e subterrâneos (PORTO; PORTO, 2008; TUNDISI, 2013).

Porto e Porto (2008) evidenciam a importância da viabilização de formas criativas de implementação dos instrumentos da PNRH voltados para a articulação com a gestão territorial, visto que é um problema sério para a gestão das bacias hidrográficas. Esse problema também foi identificado por Carvalho (2014), que concluiu em seu trabalho que os Planos de Recursos Hídricos, muitas vezes, são feitos desvinculados do Zoneamento Ambiental e ou de uma Lei de Uso e Ocupação do Solo. E a recíproca também é verdadeira, o programa ZEE Brasil vem sendo desenvolvido sem a articulação com a PNRH e sem considerar necessariamente a bacia hidrográfica como unidade preferencial de gestão.

Sabe-se que desenvolvimento econômico altera significativamente o uso do solo através da implantação de sítios industriais, expansão urbana, ou avanço da fronteira agrícola, modificando assim, a cobertura vegetal das bacias hidrográficas, e, influenciando o comportamento hidrológico das mesmas (TUCCI; CLARKE, 1997).

Apesar de depender de outros parâmetros, um dos componentes do ciclo hidrológico que sofre maior influência do manejo do solo é o escoamento superficial. Que associado às características pedológicas e topográficas pode ser potencializado ou controlado. No caso de más práticas de uso, percebe-se um aumento do escoamento superficial e conseqüente transporte de sedimentos. Já em casos conservacionistas a água é mantida no solo e o escoamento superficial é reduzido (MELLO; SILVA, 2013). Mesmo não sendo muito frequente, o escoamento superficial tem a capacidade de remanejar ponderáveis massas de sedimentos que podem alterar o ciclo hidrológico (BORDAS; SEMMELMANN, 2007).

Não somente o escoamento superficial é influenciado pelo manejo do solo, assim como o escoamento de base e a qualidade da água. O impacto do desenvolvimento urbano cria condições desfavoráveis a população sendo que estas se alocam em planícies de inundação e sofrem com problemas relacionados a projetos de drenagem inadequados. Nas áreas rurais, o escoamento médio aumenta, por conta do desmatamento para as culturas anuais, e reduz a evapotranspiração da bacia fato totalmente dependente dos efeitos de escala a que as bacias se encontram (TUCCI, 2002).

### 2.3 INFLUÊNCIA DO USO DA TERRA NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-HÍDRICAS DO SOLO E A SUA VARIABILIDADE ESPACIAL

Centurion *et al.* (2004) e Araújo (2006) identificaram que o manejo inadequado do solo é capaz de alterar seus atributos provocando um distúrbio no balanço entre o solo e o meio ambiente, influenciando diretamente a capacidade de infiltração deixando-o susceptível a erosão e à degradação. Menezes *et al.* (2009) observaram que o uso da terra influencia a dinâmica temporal do rendimento específico das nascentes e que os atributos físicos e físico-hídricos do solo respondem com coerência aos valores do rendimento específico.

Normalmente solos sobre vegetação de floresta apresentam capacidade de infiltração maior do que solos com cobertura desprotegida (TUCCI, 2002). O'Geen *et al.* (2010) afirmaram que as propriedades do solo abaixo de florestas de carvalho, na Califórnia – Estados Unidos, são melhores do que solos sob a cobertura de pastagens. Zheng (2006) verificou em seu trabalho que após atividades de desmatamento no Planalto de Loess, na China, houve o aumento da erosão na ordem de 797 a 1.682 vezes do que ocorria quando a área de estudo era ocupada por uma vegetação secundária.

A supressão da vegetação e o uso exacerbado do solo diminuem a sua qualidade, alterando as propriedades físicas como densidade, estrutura, porosidade e distribuição de agregados, comprometendo a disponibilidade de água, nutrientes, atividade microbiana, penetração de raízes, entre outros (ARCOVERDE *et al.*, 2015).

É importante estudar a variabilidade espacial dos atributos do solo, pois esse conhecimento auxilia na melhoria da tomada de decisões que visam a melhor gestão de recursos e avaliam os efeitos da agricultura e manejos sobre a qualidade ambiental (GOMES *et al.*, 2007).

Assim como a paisagem, os atributos do solo se alteram espacialmente. A representação espacial dos atributos, por meio de uma estimativa não tendenciosa e com variância mínima dos valores em locais não amostrados, através de geoestatística se apresenta como uma ferramenta eficiente de representação e suporte a tomada de decisão no manejo do solo (CAVALCANTE *et al.*, 2010).

O'Geen *et al.* (2010) verificaram, que os atributos do solo variam fortemente em distâncias menores que 3 metros. E relataram a importância de compreender a variabilidade do solo para avaliar a produtividade das pastagens, restauração florestal, sequestro de carbono e geração do escoamento de base.

A variabilidade espacial do solo é resultado das interações numa superfície contínua dependente das escalas temporais e espaciais, a estatística paramétrica é inadequada, visto que ela considera as observações como variáveis independentes em sua distribuição espacial (CAMBARDELLA *et al.*, 1994).

A estatística é importante para a análise exploratória de dados, a qual tem o objetivo de identificar o comportamento do conjunto amostral que possa exercer influência em análises geoestatísticas e na qualidade da estimativa das variáveis pelo interpolador krigagem (RIBEIRO JÚNIOR, 1995).

A variabilidade dos parâmetros: densidade ( $D_s$ ), porosidade total ( $P_t$ ) e matéria orgânica (MO), no solo superficial é mais influenciada pelo uso e cobertura do solo, do que a outros fatores. Espera-se que em matas nativas e coberturas com dossel florestal mais denso, por exemplo, áreas de reflorestamento, a densidade do solo seja menor e a porosidade total e matéria orgânica maior. Sendo que em áreas de campo, pasto, solo exposto espera-se maior densidade e menor porosidade e teor de matéria orgânica (AQUINO *et al.*, 2015, MENEZES *et al.*, 2016).

Cambardella *et al.* (1994) identificaram que a matéria orgânica obteve melhor ajuste com modelo esférico e teve um forte grau de dependência espacial. A densidade do solo teve

um moderado grau de dependência espacial e foi representado pelo modelo esférico. E os autores afirmaram que a alta variabilidade pode ser explicada pelas práticas agrícolas e variações sazonais.

No trabalho de Cavalcante *et al.* (2011) a densidade apresentou grau de dependência satisfatório e os modelos esférico e exponencial se adequaram aos dados sem a necessidade de efetuar transformação logarítmica. Também chegaram à conclusão que os métodos agrícolas conservacionistas criam, ao longo do tempo, uma estabilização maior em comparação com os métodos tradicionais que alteram os atributos do solo pela elevada atividade mecanizada e emprego de químicos (CAVALCANTE *et al.*, 2011).

Além da densidade e matéria orgânica, a porosidade total também sofre alterações em razão dos sistemas de manejo implantado. Operações como gradagem podem aumentar a porosidade total, mas ao longo dos anos o tráfego de tratores pode adensar o solo, fazendo que a porosidade diminua. Fato elucidado por Oliveira *et al.* (2013), que concluíram que os sistemas agroflorestais são atividades de menor impacto ao solo em razão da baixa utilização de práticas agrícolas, que pode ser explicado pela baixa variabilidade dos atributos em relação a variabilidade apresentada pelas culturas de mandioca e cana-de-açúcar.

Para a representação espacial dos atributos do solo não há uma predominância dos modelos de semivariogramas. Mas os mais usuais são exponencial, esférico e gaussiano. Gomes *et al.* (2007) obtiveram forte dependência espacial para matéria orgânica e as frações texturais e moderado grau de dependência para a densidade do solo. Os semivariogramas ajustados para densidade do solo e matéria orgânica foram do tipo esférico e para as frações de textura foi o exponencial. Já na validação cruzada houve uma mudança dos atributos densidade e argila, que geraram os menores erros nos modelos exponencial para a densidade e esférico para argila. Os autores ainda salientam que a densidade do solo e a matéria orgânica herdaram a influência do manejo empregado, sendo bons indicadores das condições de uso e ocupação e equilíbrio dos recursos das bacias hidrográficas.

A variabilidade das frações texturais é influenciada, em menor escala, pelos segmentos de vertente, ou seja, as formas de relevo e o material de origem condicionam o fluxo de água na vertente, que transporta seletivamente as partículas do solo alterando os teores de areia, silte e argila em uma topossequência (CAMPOS *et al.*, 2007; CASTIONE *et al.*, 2015; LEÃO *et al.*, 2010). O que se espera é encontrar valores mais elevados de areia em unidades de maiores declividades e maiores concentrações de argila em menores declives, pois o fluxo acumulado favorece o transporte das partículas mais finas em maiores distâncias e as mais grosseiras a menores distâncias (CASTIONE *et al.*, 2015; SOUZA *et al.*, 2004). Para o silte se

espera maiores concentrações nas partes mais baixas das encostas, menores no topo e médias e medianas concentrações a meia encosta, devido à alta mobilidade dessa partícula, a qual é a primeira a ser desprendida pela ação das gotas de chuva, tornando-se a principal fração a ser arrastada (LEÃO *et al.*, 2010; LIMA *et al.*, 2015).

A alta variabilidade da condutividade hidráulica pode ser explicada pela presença de raízes, fissuras causadas por animais, rachaduras localizadas ocasionadas pelas épocas secas que podem elevar os valores (GUIMARÃES *et al.*, 2016; EGUCHI *et al.*, 2003), assim como cascalhos e calhaus podem bloquear a passagem da água. Deve se ter muita cautela no procedimento amostral, pois se houver o descuido na utilização do trado de Uhland, as amostras indeformadas podem sofrer compactação, o que subestima os resultados de condutividade hidráulica, assim como a presença demasiada de raízes e macroporos podem superestimar a condutividade. Menezes *et al.* (2016) avaliou a variabilidade de parâmetros do solo, em duas bacias em contextos distintos de uso e cobertura da terra, topografia e clima, e o atributo que apresentou a maior variabilidade, foi a condutividade hidráulica do solo saturado.

A condutividade hidráulica do solo saturado, densidade e porosidade total se relacionam e sofrem influência da declividade do terreno, conseqüentemente, afetam o deslocamento de água no perfil do solo (ALVARENGA *et al.*, 2012). Dentre esses atributos o que apresenta maior variabilidade espacial é a condutividade. Guimarães *et al.* (2016) realizaram um levantamento desses atributos em Argissolos, Cambissolos e Latossolos sob pastagens, e constataram maiores coeficientes de variação na condutividade do que nos outros atributos que geraram maiores índices de dependência espacial. Além disso os autores evidenciaram a interferência do manejo sobre os atributos do solo, por exemplo, o pisoteio do solo provocado pelos rebanhos, ao compactar o solo, aumenta a sua densidade e diminui a porosidade total, e a capacidade de infiltração de água.

Quando as variáveis apresentam alto coeficiente de variação, é necessária a transformação das mesmas, para que haja o atendimento à normalidade dos dados transformados, e a melhoria na estimativa do interpolador geoestatístico krigagem. No caso de Guimarães *et al.* (2016) e Alvarenga (2010), foi utilizada a transformação logarítmica para a condutividade hidráulica do solo saturado para obter maior grau de dependência espacial.

A qualidade dos resultados geoestatísticos depende do método de amostragem empregado. As amostragens sistemáticas são feitas em malha regular de pontos e oferecem melhores resultados que amostragens aleatórias (YAMAMOTO; LANDIM, 2013). Sendo assim o grau de dependência espacial dos atributos físicos do solo podem variar de um

trabalho para outro, visto que nem sempre as condições ambientais e de acesso da bacia hidrográfica são viáveis para uma amostragem sistemática.

## 2.4 VULNERABILIDADE À EROSÃO

A erosão tem sido reconhecida como problema ambiental, pois não somente afeta a fertilidade do solo, como também transporta sedimentos, assoreamento e eutrofização os corpos hídricos. A FAO (Food and Agricultural Organization) em 2015, publicou em seu relatório, “Status of the World’s Resources: main report”, que as perdas por erosão hídrica, alcançaram de 20 a 30 Gt.ano<sup>-1</sup>. Esse processo intensificado é oriundo das atividades antrópicas como desmatamento, atividades agropecuárias e o manejo inadequado do solo.

Sendo assim, faz-se necessário um bom conhecimento da área de interesse para adequar o manejo da bacia visando a sustentabilidade dos recursos naturais. Uma das maneiras mais eficientes de fornecer subsídios a gestão é a espacialização do potencial erosivo dos solos, que irá predizer a expectativa da perda de solo sob sistemas de ocupação do solo e das áreas de restrição (ARAGÃO *et al.*, 2011; DURÃES; MELLO, 2016).

Existem vários modelos para a predição da perda de solo, sendo eles empíricos e físicos. A utilização destes modelos depende das informações disponíveis sobre a área de estudo. Os modelos empíricos exigem menos informações e processamentos menos complexos do que os modelos físicos, mas são mais utilizados por sua simplicidade de formulação e baixa disponibilidade de informações (DURÃES; MELLO, 2016; DURÃES *et al.*, 2016).

A Equação Universal de Perda de Solos (EUPS) foi o primeiro modelo empírico que utilizou informações de erodibilidade do solo, erosividade das chuvas, fator topográfico, uso e manejo do solo para estimar a erosão. Isso possibilitou sua utilização em áreas agrícolas, de construção e com relevo irregular, auxiliando os gestores na projeção da erosão (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

Desde então, estudos foram realizados para desenvolver os modelos que são bastante empregados em Sistemas de Informação Geográfica e Geoprocessamento como a edição Revisada da EUPS (EUPSR). Apesar de utilizar os mesmos fatores da EUPS, a EUPSR inclui numerosos melhoramentos computacionais (DURÃES; MELLO, 2016; DURÃES *et al.*, 2016; KUMAR; KUSHWAHA, 2013).

Os melhoramentos computacionais permitem que os estudos sobre a espacialização da perda e do potencial de perda do solo abranjam trabalhos nas escalas micro (AVANZI *et al.*, 2013; BUENO *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2008); meso (CORREA *et al.*, 2016; DIDONÉ, 2013; OLIVETTI *et al.*, 2015) e macro (DURÃES; MELLO, 2016; DURÃES *et al.*, 2016) das bacias hidrográficas.

#### 2.4.1 Fator de Erosividade das Chuvas (R ou EI<sub>30</sub>)

O fator de erosividade das chuvas [ $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ], é a energia cinética das gotas de chuva capaz de desagregar as partículas de solo, gerando erosão (WISCHMEIER; SMITH, 1978; MELLO; SILVA, 2013). O cálculo da energia cinética total da chuva, componente do EI<sub>30</sub> ou R, requer a definição exata de chuva individual erosiva (CARVALHO *et al.*, 2004). Eventos isolados e independentes são considerados aqueles intercalados, por um período, de pelo menos 3 horas consecutivas, ou em que a precipitação nesse intervalo for menor do que 1 mm. As chuvas erosivas são aquelas maiores que 10 mm, que tenham intensidade média de precipitação em dez minutos maior que  $24 \text{ mm}\cdot\text{h}^{-1}$ , ou que apresentem energia cinética maior que  $3,6 \text{ MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$  (DE MARIA, 1994).

A erosividade pode ser estimada para eventos individuais, ou médias mensais ou anuais. Para eventos individuais as informações são retiradas de pluviogramas e para as médias podem-se aplicar equações empíricas que estima a erosividade a partir de séries históricas de precipitação de no mínimo 10 anos consecutivos. O Índice de Fournier Modificado é mais utilizado no Brasil devido à rede pluviométrica ser de predominância de pluviômetros os quais geram totais diários precipitados (MELLO; SILVA, 2013). Esse índice é calculado com informações de precipitações mensais e anuais, com pelo menos 10 anos consecutivos de dados (RENARD; FREIMUND, 1994).

Silva *et al.* (2009) utilizaram dados de pluviógrafos, ou seja, informações de chuvas individuais erosivas, e para determinara energia cinética da chuva utilizaram a equação de Wagner e Massambani (1988). A partir da multiplicação da energia cinética total pela intensidade máxima ocorrida em um período de 30 min consecutivos, os autores obtiveram o índice de erosividade (EI<sub>30</sub>). No estudo da perda de solo, em parcelas, os mesmos concluíram que períodos com maiores riscos à erosão hídrica, na cidade de Lavras, Minas Gerais,

ocorrem entre novembro e março devido ao maior potencial erosivo das chuvas e umidade antecedente do solo.

Bertol *et al.* (2002) também utilizaram dados de chuvas individuais erosivas e a equação de Wagner e Massambani (1988) para determinar os índices de erosividade referentes a 5, 10, 15, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60 minutos de chuva. O índice mais adequado para prever as perdas de solo no município de Lages, Santa Catarina, foi o EI<sub>30</sub>, 30 min de chuva. Apesar do clima do município de Lages ter uma classificação climática (Cfb) diferente de Lavras (Cwa) os períodos mais erosivos são os de primavera-verão que concentram 63% das chuvas erosivas.

Aquino *et al.* (2012) utilizaram 54 estações da Agência Nacional de Águas e determinaram uma equação, que utiliza o Índice de Fournier Modificado, para a estimativa do índice de erosividade (EI<sub>30m</sub>) da cidade de Lavras. Os autores chegaram à conclusão que o método interpolador krigagem é adequado para a espacialização da erosividade no Sul de Minas Gerais, que apresenta altos padrões de erosividade.

Mello *et al.* (2015) utilizaram o Índice de Fournier Modificado para avaliar o impacto das mudanças climáticas na erosividade, identificaram a importância em estimar as médias de perda de solo combinadas às chuvas erosivas, projetadas para o Século XXI, a fim de contribuir com as estratégias de conservação do solo.

#### 2.4.2 Fator de Erodibilidade do Solo (K)

O fator de erodibilidade [ $t \cdot ha^{-1} \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$ ] diz respeito a susceptibilidade do solo sofrer o processo de erosão (WISCHMEIER; SMITH, 1978). A erodibilidade é um fator intrínseco de cada solo e expressa a resistência aos processos erosivos, os quais são relacionados ao comportamento da infiltração da água, desagregação pelo impacto das gotas de chuva e a resistência ao transporte (ARAÚJO *et al.*, 2011). E os atributos do solo que interferem na erodibilidade são permeabilidade do solo à água, textura (principalmente os teores de silte), coesão, estrutura, carbono orgânico, teores de óxidos de ferro e alumínio e o tipo de argila (SILVA *et al.*, 2009).

Geralmente os fatores de erodibilidade, obtidos por métodos diretos, são determinados com a instalação de parcelas experimentais no padrão de 22,13 m de comprimento com um

declive de 9%, sem cobertura vegetal e sujeita a chuvas naturais (RENARD *et al.*, 1997; WISCHMEIER; SMITH, 1978).

As avaliações experimentais da erodibilidade, conforme o padrão da equação universal de perda de solos, demandam longos períodos de medições por dependerem da ocorrência de chuvas, e, demasiados recursos financeiros. Tais motivos levaram os pesquisadores a desenvolverem métodos mais viáveis para a determinação da erodibilidade, modificando as parcelas para situações de chuvas simuladas e com métodos indiretos, que a partir de informações sobre atributos do solo são capazes de prever a erodibilidade a partir de regressões múltiplas, que contenham atributos morfológicos, físicos, químicos e mineralógicos do solo (MANNIGEL *et al.*, 2002; MARQUES *et al.*, 1997; SILVA *et al.*, 2000).

Um dos primeiros métodos indiretos foi desenvolvido por Wischmeier *et al.* (1971), sendo conhecido como Nomograma de Wischmeier (método gráfico), que necessita de dados sobre a textura, teor de matéria orgânica, estrutura do solo e permeabilidade do perfil, para estimar a erodibilidade dos solos do meio-oeste dos Estados Unidos, de textura média, baixa agregação e teor de silte menor do que 70% (DEMARCHI; ZIMBACK, 2014). Além do Nomograma foram desenvolvidos outros métodos como Middleton (1930); Wischmeier e Mannering (1969); Roth *et al.* (1974); El-Swaify e Dangler (1977); Römkemset *et al.* (1977), Young e Mutchler (1977) entre outros (SILVA *et al.*, 2000).

Os modelos existentes para a determinação indireta da erodibilidade têm sido utilizados com sucesso nos EUA, entretanto, não se obteve essa resposta para os solos tropicais. Nem mesmo os modelos desenvolvidos ou adaptados para as regiões tropicais tem se mostrado adequados para a estimativa desse fator. Presume-se que o motivo dessa inadequação é pelo fato da grande variabilidade do comportamento dos solos tropicais em relação ao processo erosivo. Sendo assim, vários autores recomendam o desenvolvimento de modelos específicos para cada grupo de solos (SILVA *et al.*, 1999).

No Brasil, Denardin (1990) desenvolveu um modelo que a partir de dados de textura, teor de matéria orgânica e o código de permeabilidade de Wischmeier *et al.* (1971) de 31 solos brasileiros e 46 solos dos Estados Unidos. Além de Denardin existem outros pesquisadores Lombardi Neto e Bertoni (1975); Lima *et al.* (1990); Chaves (1994); Roloff e Denardin (1994) citados por Silva (1997); Marques *et al.* (1997), Silva *et al.* (1999), entre outros, envolvidos com o desenvolvimento e a melhoria das estimativas da erodibilidade dos solos tropicais brasileiros (SILVA *et al.*, 2000).

Silva *et al.* (1994) avaliaram o desempenho de quatro métodos indiretos Lombardi Neto e Bertoni (1975) adaptado de Middleton (1930); Lombardi Neto e Bertoni (1975) modificado; Wischmeier *et al.* (1971); e Denardin, (1990) para determinar a erodibilidade de Latossolos Vermelho-Escuros e Latossolos Vermelho-Amarelos; e apesar de nenhum desses métodos não ser estatisticamente exato, comparado ao método direto, o que mais se aproximou foi o método de Denardin (1990). Já Silva *et al.* (2000) fizeram essa avaliação com 23 métodos indiretos, dentre eles, métodos desenvolvidos no Brasil, Estados Unidos, Tunísia e Venezuela e nenhum dos métodos foi considerado recomendável para estimativa da erodibilidade, inclusive o método de Denardin (1990), fato que levou aos autores recomendarem o desenvolvimento de modelos específicos para cada grupamento de solo.

Lima *et al.* (2007) estudaram quatro métodos indiretos para a determinação da erodibilidade, numa bacia experimental do Distrito Federal, nenhum apresentou médias estatisticamente iguais aos valores de referência, mas dentre os métodos avaliados, o método de Denardin (1990) foi o que mais se aproximou. Os autores ressaltam a importância de se obter os valores de erodibilidade por métodos indiretos a partir de informações coletadas dos solos da região de estudo, ao invés de somente assumir valores genéricos que foram obtidos em outros contextos pedológicos, geológicos e ambientais.

#### 2.4.3 Fator Topográfico (LS)

O fator adimensional ‘L’, comprimento de rampa, e o fator adimensional ‘S’ declividade são condicionantes do escoamento da água sobre a superfície, pois influenciam a velocidade do escoamento superficial direto quando a capacidade de infiltração é excedida (LEPSCH, 2011). O fator LS representa a contribuição do escoamento superficial no processo erosivo. Sendo que o comprimento de rampa corresponde, na teoria, o início do escoamento até um ponto que este encontre um canal de drenagem ou uma situação de relevo que favoreça a sedimentação das partículas (RENARD *et al.*, 1997). A determinação do fator topográfico deve ser realizada em relação a parcela padrão, que contém 22,13 m de comprimento de rampa e 9% de declividade com condições uniformes de relevo (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

Os modelos (LS<sub>EUPS</sub>) calculavam o fator para terrenos uniformes com longas rampas de declive e que não apresentavam convexidade, concavidade (BERTONI; LOMBARDI

NETO, 2010). Sabendo que as condições topográficas nem sempre são uniformes, pesquisadores desenvolveram métodos empíricos ( $LS_{EUPSR}$ ), e métodos semiempíricos ( $LS_{EUPSR\_3D}$ ,  $LS_{USPED}$ ) e aplicaram esses métodos, incorporando os conceitos de potência de escoamento e área de contribuição específica ao ambiente de Geoprocessamento e Sistemas de Informação Geográfica para agilizar e melhorar a estimativa desse fator para terrenos complexos (DESMET; GOVERS, 1996; MINELLA *et al.*, 2010; MITASOVA *et al.*, 1996; VAN REMORTEL *et al.*, 2001).

Minella *et al.* (2010), salientaram em seu trabalho que os métodos de representação espacial oferecem um ganho significativo na informação do fator topográfico, pois, a partir destes, é possível calcular o fator para cada célula do Modelo Numérico de Elevação ou de Terreno (MNE, ou MNT), tendo-se assim maior detalhamento e uma variabilidade bidirecional do fator, em vista que no método tradicional de levantamento de campo corresponde a uma ou mais medidas unidirecionais, consideradas como representativas para a realidade da área. Em seu trabalho, os autores compararam dois modelos para determinação do fator topográfico Moore e Burch (1986) e Desmet e Govers (1996) e constataram que estes modelos geram resultados estatisticamente diferentes e que o modelo de Desmet e Govers (1996) gera resultados maiores em relação ao Moore e Burch (1986). Isso ocorre pelo fato, de que o Moore e Burch (1986) utilizam o conceito de área de contribuição específica e o Desmet e Govers (1996) o de fluxo acumulado de drenagem à montante.

Oliveira (2011) comparou modelos empíricos e semiempíricos, e, observou que as perdas de solo, estimada pelos modelos  $LS_{EUPSR\_3D}$  e  $LS_{USPED}$  não apresentaram diferenças estatísticas às perdas observadas em campo, enquanto os modelos  $LS_{EUPS}$  e  $LS_{EUPSR}$  superestimaram as perdas. A maior confiabilidade dos resultados dos modelos semiempíricos se dá pelo motivo que os parâmetros são normalmente obtidos por calibração em comparação com os dados observados.

#### 2.4.4 Fator de Uso e Manejo (C) e Fator de Práticas Conservacionistas (P)

O fator de uso-manejo do solo é o grau de proteção média à erosão fornecida pelo uso e pelo manejo do solo. O fator de práticas conservacionistas representa o efeito na erosão, relacionando a perda entre determinada prática conservacionista e a perda correspondente em uma cultura estabelecida morro abaixo (AMORIM *et al.*, 2010).

O fator C corresponde a relação esperada entre perdas de solo de um terreno que tenha qualquer tipo de cobertura vegetal e as perdas de um terreno de solo exposto e varia de 0 para usos conservacionistas e 1 para usos não conservacionistas (WISCHMEIER; SMITH, 1978). Para obter o fator C, as intensidades de perda de solo são relacionadas à porcentagem de distribuição do Índice de Erosividade Anual ( $EI_{30}$ ) para determinada região (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010). Martins *et al.* (2010) utilizaram a Razão de Perdas de Solo (RPS) e os Índices de Erosividade (EI) para determinar o fator de uso e manejo de cultivares de eucalipto e de matas nativas nos Tabuleiros Costeiros do estado do Espírito Santo.

Silva *et al.* (2008b), a partir de dados de perda de solo, mensuradas em parcelas, combinando com o uso e manejo e as classes de solo existentes na região de estudo, determinaram o fator de uso e manejo pelo método proposto por Prochnow *et al.* (2005) determina o Fator C com base nos outros fatores da Equação Universal de Perda de Solos. Os autores ainda comentam que este fator varia em relação a erodibilidade dos solos, visto que para uma mesma cobertura vegetal as taxas de erosão podem ser diferentes de acordo com as classes de solos sob essas coberturas.

As práticas conservacionistas mais comuns aplicadas em culturas anuais são: plantio em contorno, plantio em faixas de contorno, alternância de capinas mais plantio em contorno, terraceamento, plantio direto, plantios em consórcio e cordões de vegetação permanente. O Fator P varia de 0 a 1 e a utilização dessas práticas aproximam os valores de P para 0 e quando essas práticas não são empregadas o valor de P é 1 (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010; WISCHMEIER; SMITH, 1978).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

As bacias hidrográficas do córrego Gigante (BHCG) nas coordenadas 330200 W e 7577380 S e do córrego Chapadão (BHCC) 329364 W e 7574250 S, sistema WGS 84, fuso 23 S, são sub-bacias do ribeirão Cipó, na zona rural do município de Poços de Caldas, Minas Gerais. No ribeirão Cipó há um reservatório responsável por 47% do abastecimento público do município. A BHCG e a BHCC são importantes contribuintes do Ribeirão Cipó e participam com 25,18% da sua área de drenagem, conforme apresentado na Figura 1.

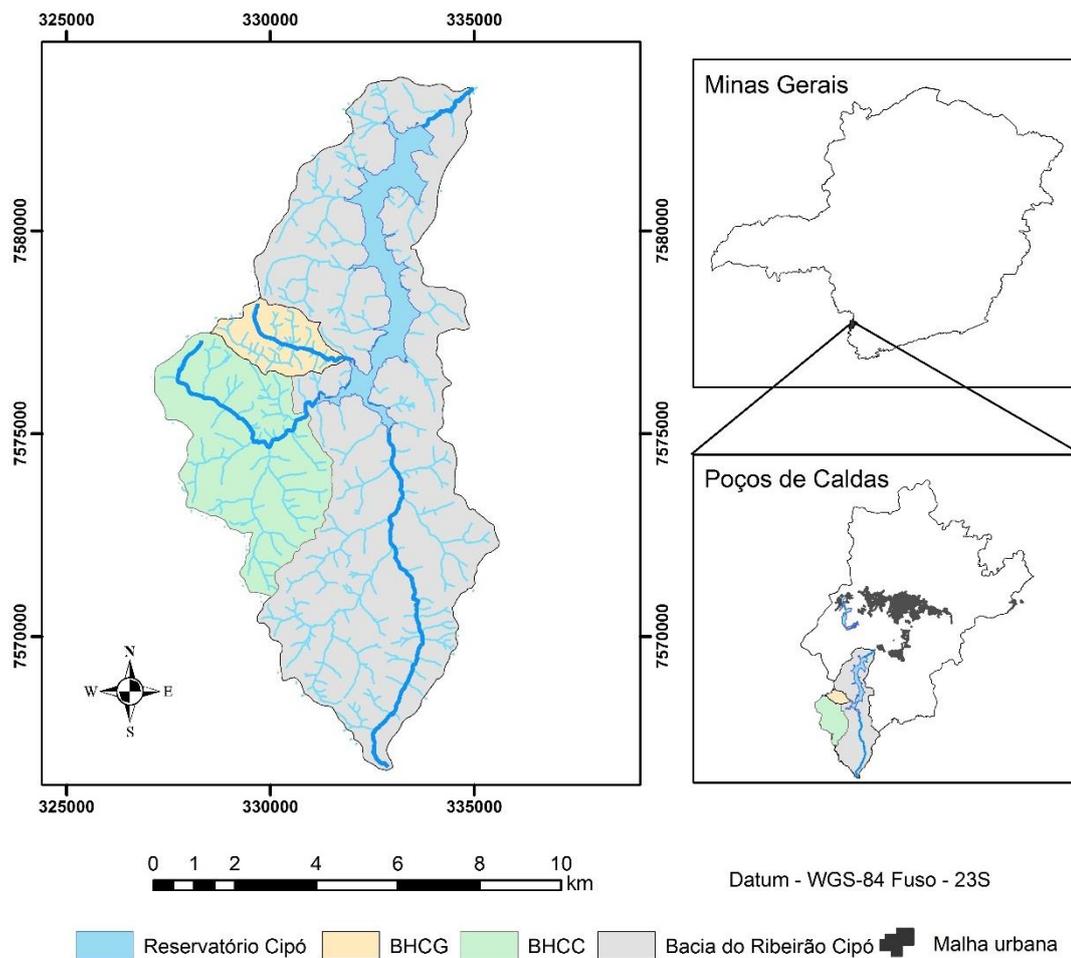


Figura 1 – Localização geográfica das bacias BHCG e BHCC.

Fonte: Do autor.

O regime pluvial do planalto de Poços de Caldas, assim como a região sudeste, é afetado pela Zona de Convergência do Atlântico Sul, caracterizando-se em verões chuvosos (novembro-março) e invernos secos (maio-setembro) (MELLO; CURI, 2013). Outros fatores, que se correlacionam com o regime pluvial da região são a altitude elevada e o relevo movimentado, que favorece os processos orográficos de formação de chuva, fazendo com que a região apresente concentração de uns dos maiores valores de erosividade do Sul de Minas Gerais, que se associados a solos rasos e a altas declividades contribuem para a intensificação da erosão (AQUINO *et al.*, 2012).

No Planalto de Poços de Caldas, segundo a classificação de Köppen (1948), ocorrem os climas dos subtipos Cwa e Cwb. Em locais com altitude superior a 1100 m há a predominância do Cwb e em áreas baixas, o Cwa. O Cwb possui inverno seco e verão brando e chuvoso. Sua temperatura no mês mais quente não chega a 22°C e no mais frio apresenta-se em torno de 16,5°C. Com o índice pluviométrico anual entre 1300 a 1700 mm. O período seco compreende de maio a setembro; com baixa evapotranspiração, devido à queda da temperatura nesse período; e o mês com maior precipitação, em geral, é janeiro. Já o clima Cwa possui inverno seco e verão quente e chuvoso. No mês mais quente a temperatura ultrapassa os 22°C e no mês mais frio a temperatura é inferior a 18°C. O a pluviometria anual varia entre 1100 e 1700 mm e o período seco está entre abril e setembro, sendo julho o mês com maior estresse hídrico e o mês mais chuvoso varia entre janeiro e fevereiro (MORAES, 2007).

O Planalto de Poços de Caldas é consequência de eventos tectônicos que promoveram a intrusão de rochas alcalinas em rochas encaixantes, gnaisses e granitoides, que constituíram fonólitos intrusivos, nefelina-sienitos, lavas fonolíticas, rochas piroclásticas e rochas sedimentares epiclásticas (LEINZ, 1998; ULBRICHT; ULBRILCH, 1992). Essa movimentação originou dois grandes grupos de paisagens, aluviais e as planálticas tectônicas. Os planaltos se dividem em muito baixos (800 a 900 m), baixos (900 a 1000 m), médios (1000 a 1200 m), altos (1200 a 1400 m) e muito altos (acima de 1400 m) (MORAES; JIMÉNEZ-RUEDA, 2008).

Os solos das paisagens planálticas se desenvolveram a partir de materiais regolíticos alóctones, com presença de cascalho, concreções lateríticas e fragmentos de rocha. Nas paisagens aluviais os solos apresentam volumes gleicos e material orgânico enterrado (MORAES; JIMÉNEZ-RUEDA, 2008).

Moreas (2007) fez um levantamento pedoestatigráfico no Planalto de Poços de Caldas e em suas observações constatou a presença de Neossolos Regolíticos e Cambissolos

Háplicos. As texturas desses solos variam conforme as rochas de origem, sendo que os fonólitos formam solos residuais argilosos e as nefelinas-sienitos formam solos por concreções lateríticas de textura argilo-siltosa (LIPORACI, 1994).

Complementou-se a identificação dos solos<sup>1</sup> da BHCG e BHCC a partir de um mapeamento digital de solos, utilizando o modelo digital de elevação SRTM e tomando como base os estudos prévios de Moraes (2007), e, o Mapa de Solos de Minas Gerais (FEAM, 2010), onde se identificam as Unidades de Mapeamento que ocorrem na região, quais sejam, LVAd25, CXbd18 e RLd5, e, sobretudo a contribuição pessoal de CURI & SILVA<sup>1</sup>, que permitiram elaborar o mapa de solos para as bacias.

### 3.1.1 Bacia Hidrográfica do Córrego Gigante (BHCG)

De acordo com a classificação de STRAHLER (1952) a BHCG é de terceira ordem, sendo assim, uma microbacia, segundo a classificação de Tucci (2003), com uma área de drenagem de 3,66 km<sup>2</sup>. Possui uma densidade de drenagem de 4,25 km/km<sup>2</sup> (bem drenada) e o coeficiente de compacidade de 1,29 (configurando uma bacia de média tendência a enchentes).

As classes predominantes de relevo da bacia são de 8% a 20% (ondulado) e 20% a 45% (fortemente ondulado), compreendendo 37,4 % e 46 % em área da bacia, respectivamente, como mostra Figura 2 e Tabela 1.

---

<sup>1</sup>Colaboração dos Prof. Dr. Nilton Curi e Prof. Dr. Marx Leandro N. Silva do Departamento de Ciência do Solo, da Universidade Federal de Lavras.

Tabela 1 – Classes de declividade e sua abrangência na BHCG.

<i>Classe de Declividade</i>	<i>Descrição</i>	<i>Área (ha)</i>	<i>%</i>
< 3	Plano	8,4	2,3
3 a 8	Suavemente ondulado	31,1	8,5
8 a 20	Ondulado	136,7	37,4
20 a 45	Fortemente ondulado	168,4	46,0
45 a 75	Montanhoso	20,7	5,6
>75	Fortemente montanhoso	0,8	0,2
	TOTAL	366,1	100

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (1979).

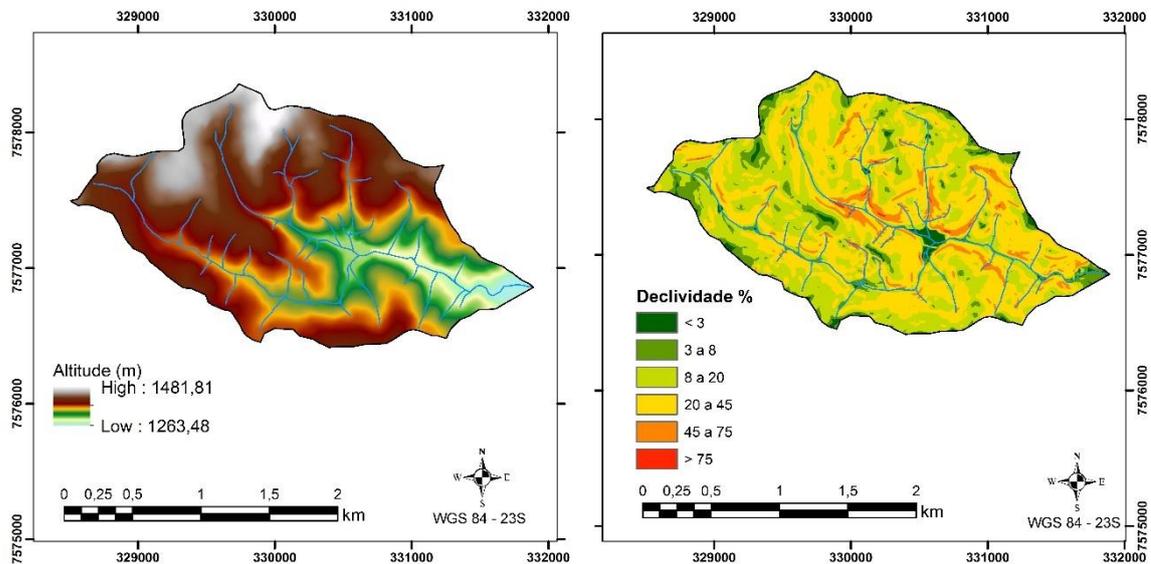


Figura 2 – Modelo digital de Terreno e Mapa de Declividade da BHCG.

Fonte: Do autor.

Os solos presentes na bacia são o Cambissolo Háplico (36,7% da área), Latossolo Vermelho-Amarelo (57,6% da área), Solos Indiscriminados de Várzea (5,7% da área), conforme a Figura 3. Assim como na descrição de Moraes (2007) em alguns pontos de amostragens foram encontrados solos cascalhentos, geralmente em partes com o declive mais acentuado.

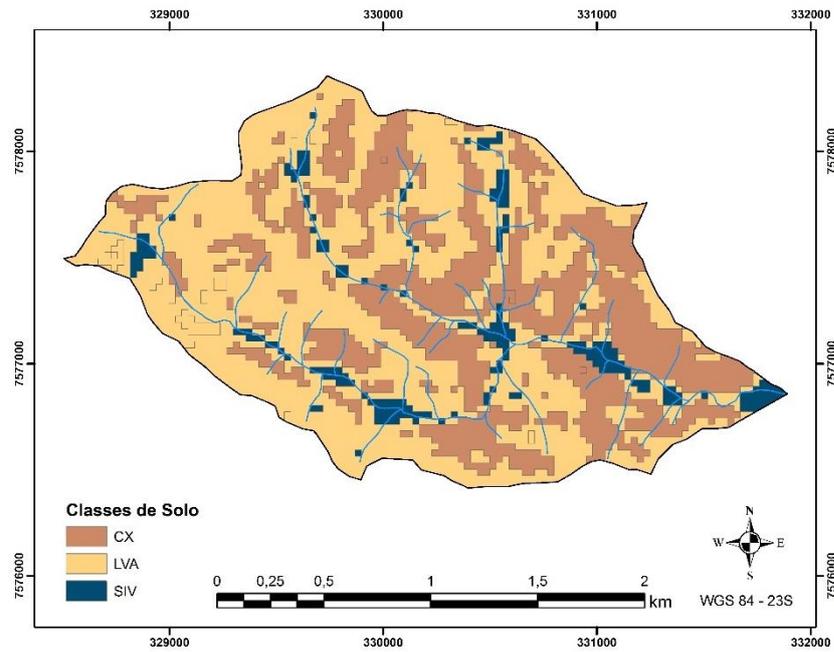


Figura 3 – Mapa de solos da BHCG.

Fonte: Do autor.

As informações de uso e ocupação da bacia do Córrego Gigante são apresentadas na Figura 4 e na Tabela 2.

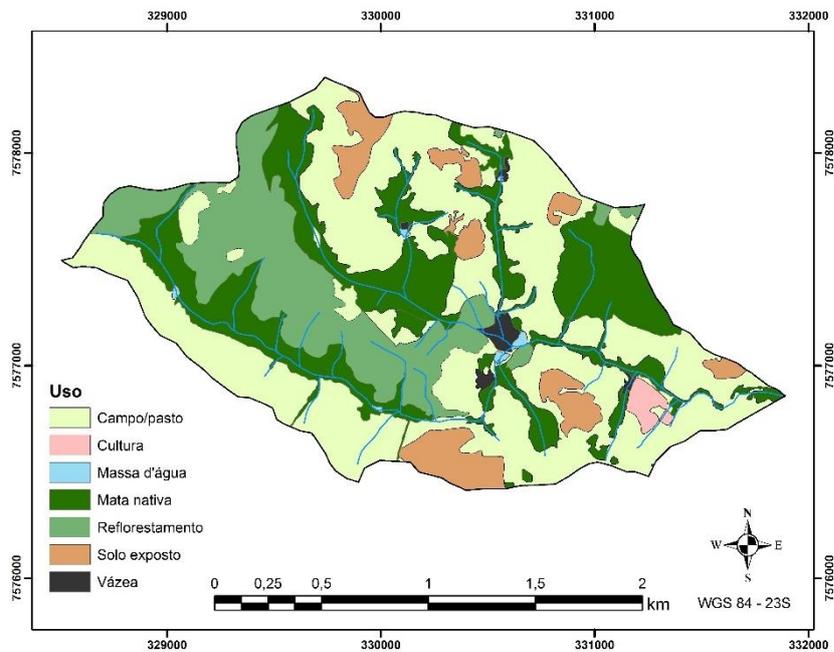


Figura 4 – Mapa de uso de ocupação da BHCG.

Fonte: Do autor.

Tabela 2 – Classes de uso e ocupação e sua abrangência na BHCG.

<i>Classe de uso</i>	<i>Área (ha)</i>	<i>%</i>
Campo/pasto	169,8	46,4
Cultura	3,1	0,8
Massa d'água	1,1	0,3
Mata nativa	97,0	26,5
Reflorestamento	64,3	17,6
Solo exposto	27,5	7,5
Várzea	3,3	0,9
TOTAL	366,1	100,0

Fonte: Do autor.

A classe predominante campo/pasto se dá em consonância com a alta declividade da bacia, que impossibilita ou dificulta a mecanização para a implantação de culturas. Nessa classe foi observada tanto a pastagem plantada com *Brachiaria*, quanto campos de altitude com espécies forrageiras nativas. Essas duas classes não foram mapeadas separadamente pela dificuldade de distinção pela classificação visual da imagem de satélite.

Importante contextualizar que essas classes, visualmente se apresentaram em estado de conservação, pois possuíam grande volume de biomassa e áreas com a cobertura pouco adensada quase inexistentes. No período de início das amostragens de solo (maio de 2016), as atividades de pecuária e pastejo se encontravam ativas. Em atividades posteriores na BHCG (abril de 2017) foi verificada a desativação das atividades de pecuária e pastejo, devido a motivos de insegurança na bacia. Tal fato pode ser benéfico à qualidade do solo, visto que ocorreu a diminuição do pisoteio das pastagens pelo gado.

Segunda maior classe em relação de área é a mata nativa. Para essa classe foram considerados os fragmentos de mata nativa e as matas ripárias. Esses fragmentos são florestas montanas com o dossel aproximadamente de 15 metros de altura (MORAES, 2007).

O reflorestamento com eucalipto é uma prática muito utilizada na região, para recuperar áreas degradadas por minerações, que além da recuperação as empresas responsáveis agregam valor a uma área que não seria utilizada para o aproveitamento econômico. Na BHCG foi verificado, em campo, certo abandono das práticas de silvicultura. Sendo identificados, em grande parte das áreas de reflorestamento, plantios mal conduzidos sem controle de rebrota e grande invasão de *Brachiaria*, nos sub-bosques dos eucaliptos. Outra característica dessa classe foi a presença de várias clareiras, indicando a morte de

eucaliptos que pode ser advinda de problemas com a qualidade do solo. Informações pessoais obtidas com trabalhadores da região, indicam que não há interesse em conduzir a silvicultura devido à dificuldade de mecanização pela alta declividade e o que há atualmente será destinado a produção de energia o que corrobora com o espaçamento de plantio utilizado, que configura um alto adensamento da população de eucaliptos.

A quarta classe e não menos importante é solo exposto, representada pelas minerações presentes na bacia. Nem todos os polígonos de solo exposto são frentes de lavra ativas, pois a empresa responsável pela atividade controla qual cava será ativada, mediante a maior demanda no mercado por determinado minério e aos teores de ocorrência do mesmo na área. Este é um sério problema para a bacia, visto que grandes áreas, de solo desprotegido, ficam expostas a capacidade erosiva das chuvas.

Mesmo que fora implantado um precário sistema para o controle de águas pluviais, a falta de manutenção nas bacias de contenção, a falta de terraços e o tempo que essas áreas ficam sujeitas a ação das chuvas, fazem com que, processos acelerados de erosão ocorram, como os já identificados em campo: erosão em sulcos, ravinamento e até início de voçorocamento.

Outra informação relevante que foi repassada, é que, não somente há o interesse em re-minerar as áreas de solo exposto, ou seja, minas desativadas, mas também, outras áreas em que a empresa possui o direito de lavra que já foram recuperadas, ou que ainda não foram mineradas. Essas áreas estão nas coberturas de reflorestamento e campo/pasto.

Os outros 2,05 % são as áreas de várzea, presentes em menores declividades e associadas aos cursos hídricos. As massas d'água que são pequenos barramentos construídos para diversos fins e as culturas são de batata, pouco estabelecidas na bacia devido a alta declividade. Foi observado em campo, que mesmo o local destinado para a lavoura tendo uma declividade acentuada, as práticas de preparo do solo eram efetuadas morro abaixo.

### 3.1.2 Bacia Hidrográfica do Córrego Chapadão (BHCC)

A BHCC é uma meso bacia com área de drenagem, de acordo com a classificação de Tucci (2003), de 15,85 km<sup>2</sup> e quarta ordem segundo a classificação de STRAHLER. A BHCC apresenta uma drenagem muito boa (densidade de drenagem de 2,74 km/km<sup>2</sup>) e um coeficiente de compacidade de 1,37, indicando média tendência a enchentes.

Diferente da BHCG a BHCC apresenta as maiores proporções nas classes de declividade ondulada e suavemente ondulada. A parte da bacia, onde se encontra maiores declividades é a de pequenos divisores dentro da bacia e a região em que se faz divisa com a BHCG. Na Figura 5 e na Tabela 3 são apresentados os mapas de modelo digital de terreno e declividade e as classes de declividade e sua abrangência na BHCC.

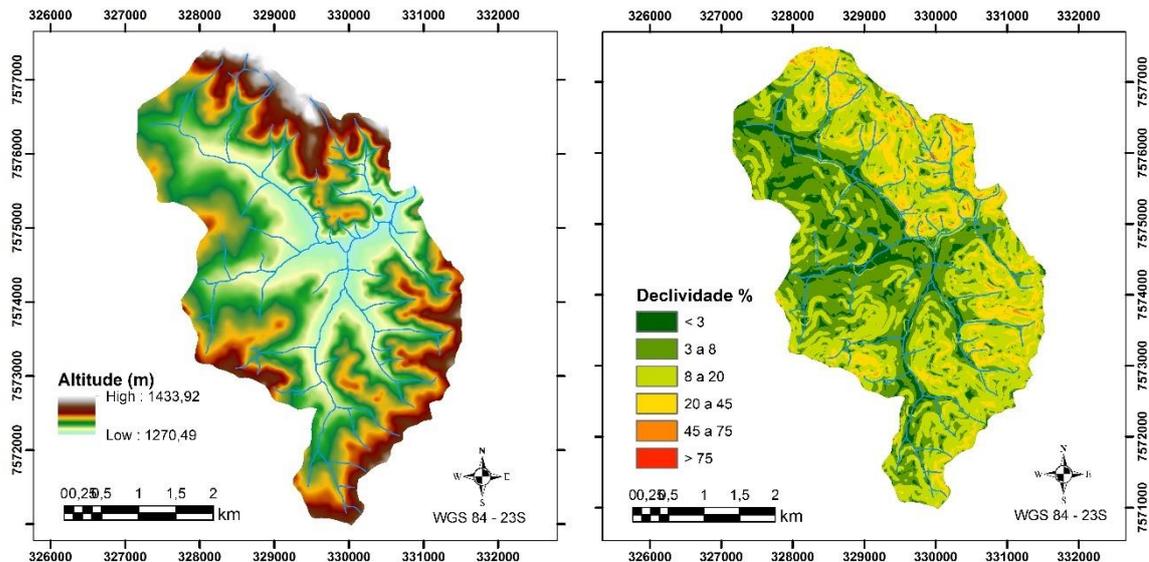


Figura 5 – Modelo Digital de Terreno e o Mapa de declividade da BHCC.

Fonte: Do autor.

Tabela 3 – Classes de declividade e sua abrangência na BHCC.

<i>Declividade</i>	<i>Descrição</i>	<i>Área ha</i>	<i>%</i>
< 3	Plano	155,6	9,8
3 a 8	Suavemente ondulado	520,5	32,8
8 a 20	Ondulado	659,7	41,6
20 a 45	Fortemente ondulado	239,4	15,1
45 a 75	Montanhoso	9,9	0,6
>75	Fortemente montanhoso	0,1	0,01
	TOTAL	1585,2	100

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (1979).

A BHCC apresenta as mesmas classes de solo da BHCG, mas em proporções diferentes. Latossolos Vermelho-Amarelo continuam sendo a classe de maior abrangência

(64,10% da área), seguido de Solos Indiscriminados de Várzea (26,95% da área) e os Cambissolos Háplicos (8,94% da área). Nos pontos de coleta de solos próximos a BHCG foram encontrados solos cascalhentos, mas no restante da bacia houve a diminuição de cascalho e a percepção de grande teor de argila. Na Figura 6 é apresentado o mapa de solos da BHCC.

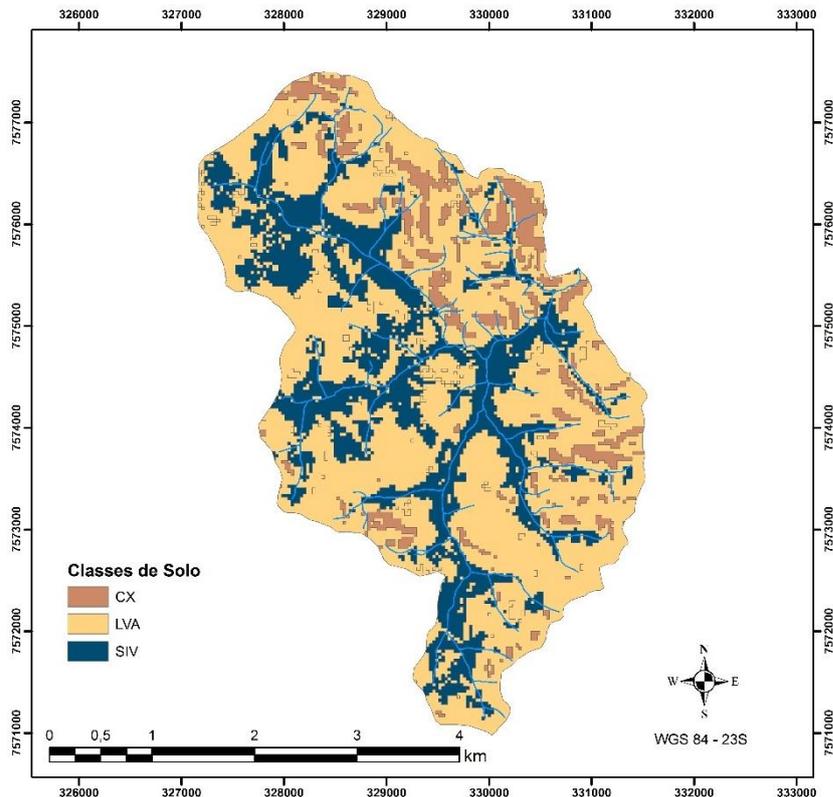


Figura 6 – Mapa de solos da BHCC.

Fonte: Do autor.

O mapa de uso e ocupação da BHCC e a relação de abrangência que cada classe apresenta na bacia estão apresentados na Figura 7 e na Tabela 4.

Em contraste a BHCG o reflorestamento, maior classe de abrangência em uso e ocupação, na BHCC não se originou de práticas de recuperação de áreas degradadas. As áreas de silvicultura eram pastos para pecuária, segundo moradores da região, e com a evolução do mercado e a crescente demanda por celulose e por biomassa para produção de energia as empresas proprietárias das fazendas optaram pela implantação das práticas de silvicultura. Foi observado maior cuidado das glebas de eucalipto em relação às glebas presentes na BHCG, com boa condução da rebrota, utilização de resíduos para formação de material de cobertura

do solo, construção e manutenção de aceiros para o controle de incêndio, manutenção de estradas e também a mecanização para otimizar o corte.

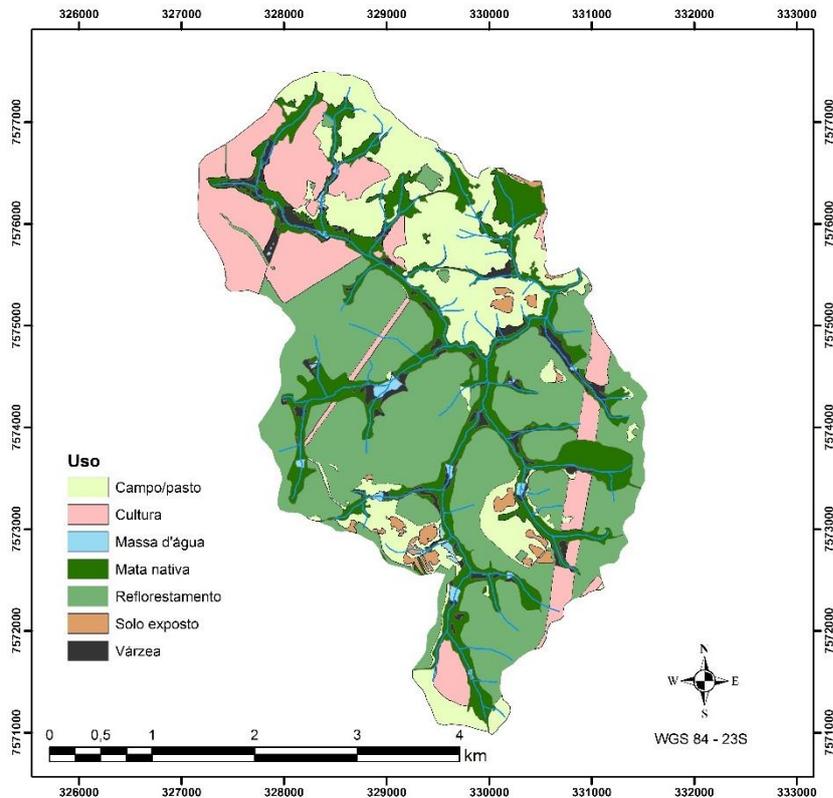


Figura 7 – Mapa de uso e ocupação da BHCC.

Fonte: Do autor.

Tabela 4 – Classes de uso e ocupação e sua abrangência na BHCC.

<i>Classe de uso</i>	<i>Área (km<sup>2</sup>)</i>	<i>%</i>
Várzea	0,53	3,30
Campo/pasto	3,33	20,93
Cultura	2,44	15,32
Massa d'água	0,12	0,78
Mata nativa	3,09	19,43
Reflorestamento	6,15	38,67
Solo exposto	0,25	1,57
<b>TOTAL</b>	<b>1585,2</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Do autor.

Nas áreas de campo/pasto, também foram encontrados os campos de altitude e os pastos com *Brachiaria*. Essas classes encontram-se nas regiões de maior declive, sendo identificado, em campo, atividade pecuária com baixa densidade de gado referente a área existente.

Para as matas nativas também foram considerados os remanescentes nativos e as matas ripárias.

Na BHCC foram observadas maiores áreas agrícolas, sendo estabelecidas as culturas de batata, milho e morango. Em campo foi observado a mecanização das culturas de batata e milho e o não emprego de práticas conservacionistas como plantio em nível, plantio direto. Além disso, foi observado que após a colheita, possivelmente, foi efetuada aragem ou gradagem e se manteve o solo desprotegido durante toda a campanha de amostragem (outubro a dezembro de 2016).

A classe solo exposto também representa as práticas de mineração que em relação de área total da bacia, são menores que na BHCG. Contrariamente ao tipo de gestão de exploração na BHCG, todas as minas encontravam-se em funcionamento.

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO E ESPACIALIZAÇÃO DE ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS

Para a caracterização dos atributos físico-hídricos do solo, primeiramente realizou-se um planejamento amostral sistemático em uma grade regular de 400 metros. Na BHCG foi verificado, que mesmo a grade sendo regular, os pontos de amostragem não eram representativos das classes de uso e ocupação e dos tipos de solos. Conforme a análise das interseções dos tipos de solo e as classes de uso, adaptações foram feitas em busca de uma melhor representatividade da área. Após análises geoestatísticas, percebeu-se a necessidade de detalhar a grade de amostragem para melhorar a inferência espacial na BHCG. A Figura 8 e a Figura 9 apresentam os mapas com os pontos de amostragem nas duas bacias de estudo.

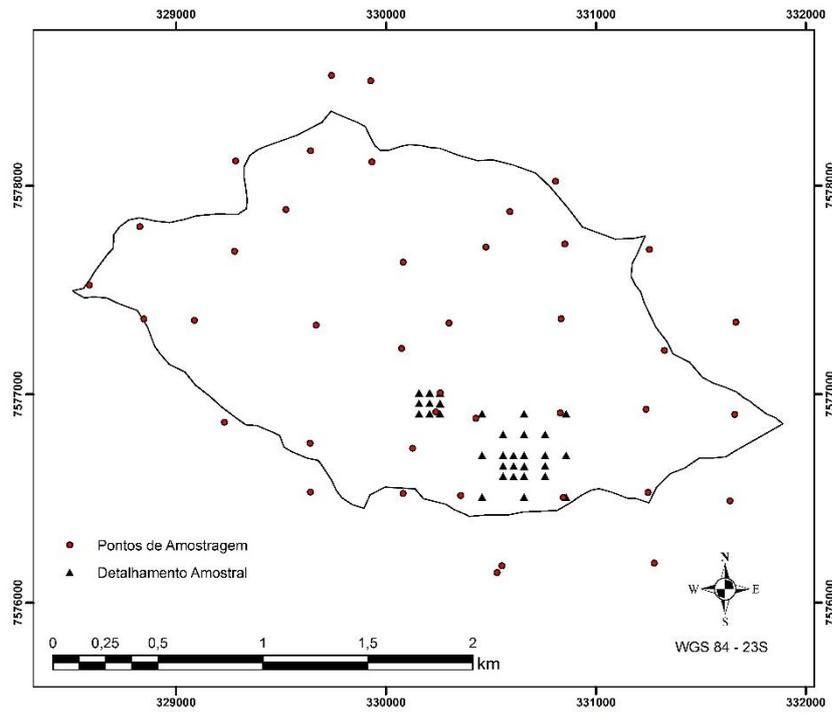


Figura 8 – Pontos de amostragem dos atributos dos solos da BHCG.

Fonte: Do autor.

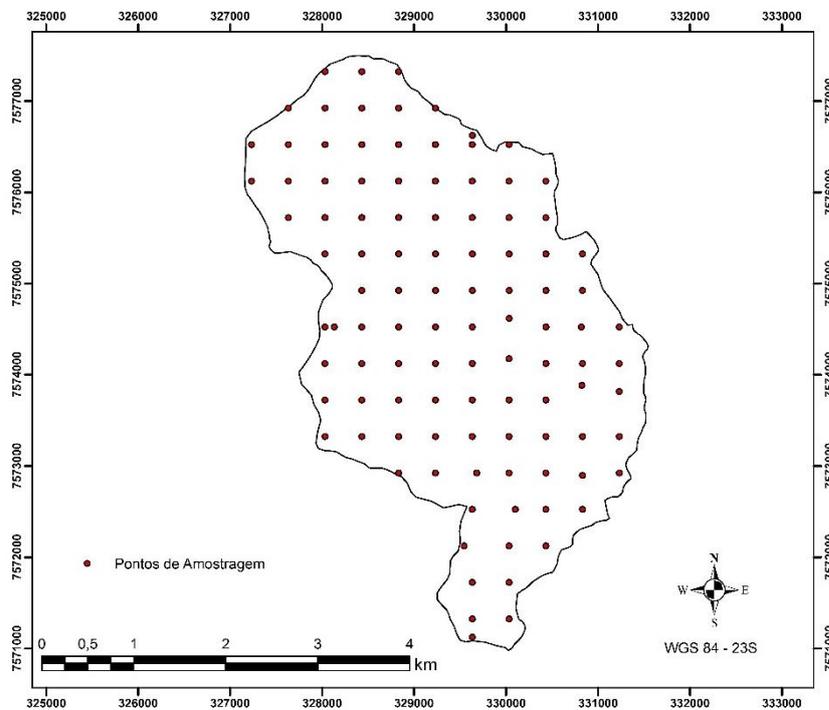


Figura 9 – Pontos de amostragem dos atributos dos solos da BHCC.

Fonte: Do autor.

Foram coletadas amostras deformadas e indeformadas em todos os pontos de amostragem. Primeiramente, limpava-se a camada superficial de 0 a 5 cm, retirando a serrapilheira e raízes. As amostras deformadas eram coletadas com enxada, na camada de 5 a 20 cm, e armazenada, por volta de 2 kg de amostra, em sacos plásticos transparentes, devidamente identificados. As amostras indeformadas foram coletadas na mesma camada, 5 a 20 cm, do solo com um trado de Uhland. Com as amostras deformadas foram determinados densidade de partículas, frações texturais e matéria orgânica e com as amostras indeformadas foram determinadas densidade do solo, porosidade total e condutividade hidráulica do solo saturado. Todas as análises dos parâmetros do solo seguiram a metodologia da EMBRAPA (1997).

A densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico. Para realizar essa análise uma amostra de 20 g de terra fina seca ao ar (TFSA) foi levada a temperatura aproximada de 105 °C, até sua completa desidratação. Posteriormente, transferiu-se para o balão volumétrico e foi adicionada uma quantidade de álcool suficiente para o preenchimento até o menisco, de um balão volumétrico de 50 ml. Importante ressaltar a eliminação de bolhas de ar que ficam presas entre as partículas de solo. A densidade de partículas é determinada a partir da Equação 1.

$$D_p = \frac{a}{50 - b} \quad (1)$$

Em que  $D_p$  é a densidade de partículas em  $[g \cdot cm^{-3}]$ ; a peso da amostra seca a 105 °C em [g]; e b é o volume de álcool gasto em [ml].

Amostras foram enviadas para o laboratório de análises de solo, do Departamento de Ciência do Solo, da Universidade Federal de Lavras, para análise da fração textural e matéria orgânica.

A densidade do solo, porosidade total e condutividade hidráulica do solo saturado foram analisadas em um único procedimento experimental. Após o preparo, as amostras foram levadas a saturação, que consiste em alocar as amostras em uma bandeja com água até aproximadamente dois terços da altura do anel volumétrico, em tempo suficiente para que todos os espaços vazios do solo fossem preenchidos pela água. A massa das amostras foi obtida e elas foram levadas ao permeâmetro de carga constante, para efetuar as medições que permitiram estimar os valores da condutividade hidráulica do solo saturado. Após o

procedimento de análise de condutividade, as amostras foram secas em estufa, a temperatura de aproximadamente 105 °C, para a obtenção da massa seca da amostra.

A densidade do solo foi determinada a partir da relação massa seca da amostra indeformada e do volume do anel. E a porosidade total pelo percentual de saturação, ou seja, determinação do volume de poros totais ocupados por água em relação ao volume total de solo.

O método de determinação da condutividade hidráulica do solo saturado consiste em utilizar uma carga constante de água sobre a amostra indeformada de solo e medir o volume drenado em função do tempo, com a utilização de uma proveta de 10 ml graduada de 0,1 ml e um cronômetro. No caso a entrada de água foi ligada na rede predial do laboratório de engenharia da Universidade Federal de Alfenas, *campus* Poços de Caldas, e ajustada uma vazão de entrada que mantinha a carga constante. Partindo da equação de Darcy, Equação 2, e utilizando operações matemáticas e a combinação da equação de Darcy-Buckingham para solo saturado, Equação 3, obtém-se a Equação 4 do cálculo da condutividade hidráulica do solo saturado para o experimento do permeâmetro de carga constante (YOUNGS, 1991).

$$Q = KA \frac{h_1 - h_2}{L} \quad (2)$$

$$\vec{q} = -K_{sat} \left( \frac{\partial \phi}{\partial z} \right) \cdot \hat{k} \quad (3)$$

$$K_{sat} = \frac{V.L}{A.t.(h + L)} \quad (4)$$

Em que Q é vazão de drenagem em [cm<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>]; K condutividade hidráulica em [cm.s<sup>-1</sup>]; h<sub>1</sub> – h<sub>2</sub> diferença da carga piezométrica em [cm]; L altura do anel volumétrico de amostra indeformada [cm]; a Equação 3 corresponde a vazão na direção vertical através de solo saturado; K<sub>sat</sub> é a condutividade hidráulica do solo saturado em [cm.s<sup>-1</sup>]; V volume de água coletado na proveta em [cm<sup>3</sup>]; A é a área da seção transversal em [cm<sup>2</sup>], onde se direciona o volume drenado; t é o tempo de medição em [s] e h é a carga hidráulica acima da amostra de solo em [cm].

Com a finalidade de realizar o mapeamento desses atributos físico-hídricos tanto para a BHCG quanto para BHCC foi realizada a análise exploratória dos dados por meio das medidas de tendência central, dispersão, coeficiente de variação, assimetria, histograma, teste

de normalidade, boxplot para a verificação de valores extremos e a verificação de tendência espacial.

A análise de continuidade espacial foi feita pela análise do semivariograma experimental, Equação 5, conforme descrito por Journel e Huijbregts (1978).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n [Z(x+h) - Z(x)]^2 \quad (5)$$

Em que  $n$  é o número de pares amostrados separados pelo vetor  $h$ .

Para ajustar um modelo ao semivariograma experimental utilizou-se os modelos de semivariogramas teóricos, Gaussiano, Exponencial e Esférico. Conforme segue as Equações 6, 7 e 8.

Modelo Gaussiano:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[ 1 - \exp\left(-\left(\frac{h}{a}\right)^2\right) \right] \quad (6)$$

Modelo Exponencial:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[ 1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right) \right] \quad (7)$$

Modelo Esférico:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[ 1,5 \frac{h}{a} - 0,5 \left(\frac{h}{a}\right)^3 \right] \text{ para } h < a \quad (8)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \text{ para } h \geq a$$

Em que  $C_0$  é o efeito pepita;  $C_1$  é a contribuição;  $h$  é a distância entre os pares de pontos e  $a$  é o alcance.

O programa *ArcGis Desktop 10.3* (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE – ESRI, 2015) utiliza o Método dos Mínimos Quadrados Ponderados (MQP) para fazer o ajuste do semivariograma. Com base na adaptação de Cambardella (1994) foi calculado o grau de dependência espacial, Equação (9)

$$GD = \frac{C_1}{C_0 + C_1} \cdot 100 \quad (9)$$

O grau de dependência espacial é considerado fraco quando GD é menor que 25%, moderado quando está entre 25% e 75% e alto grau de dependência espacial quando é maior do que 75%. Como critério de seleção do semivariograma teórico mais adequado para representação dos dados, foi utilizado o modelo que apresentou maior grau de dependência espacial.

Após a identificação do melhor ajuste do semivariograma teórico foi aplicada a técnica da krigagem ordinária para espacialização dos atributos e realizada a validação cruzada comparando os dados estimados aos observados. Para análise de desempenho da modelagem geoestatística foram aplicadas as estatísticas de precisão: Erro Médio (EM), Equação 10, Tendência de Estimativa (TE), Equação 11, e Desvio Padrão dos Erros Reduzidos ( $S_{ER}$ ), Equação 12.

$$EM(\%) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|\hat{z}_i - z_i|}{z_i} \cdot 100 \quad (10)$$

Em que:  $n$  representa o número de dados,  $z_i$  o valor observado no ponto  $i$  e  $\hat{z}_i$  corresponde ao valor estimado no ponto  $i$ .

$$TE(\%) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\hat{z}_i - z_i}{z_i} \right) \cdot 100 \quad (11)$$

$$S_{ER} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{\hat{z}_i - z_i}{\sigma \cdot \hat{z}_i} \right)^2} \quad (12)$$

Em que  $\sigma \hat{z}_i$  representa o desvio padrão da estimativa no ponto  $i$ .

### 3.3 ESTIMATIVA DOS FATORES DA EQUAÇÃO UNIVERSAL DE PERDA DE SOLOS REVISADA (EUPSR)

A erosividade da chuva foi estimada pelo Índice de Fournier ou coeficiente de chuva  $R_c$  [mm] para cada mês, Equação 13.

$$R_c = \frac{p^2}{P} \quad (13)$$

Em que  $p$  é a precipitação média do mês [mm]; e  $P$  é a precipitação média anual [mm]. Para isto, é necessária a existência de séries históricas com pelo menos 10 anos para obtenção do valor médio do respectivo mês e média anual, pois para séries menores, não haverá boa consistência da estimativa da erosividade, sendo o valor anual obtido pela soma dos valores mensais.

Para a região de Poços de Caldas, foram utilizadas as equações geradas para Lavras-MG, Campinas-SP e Mococa-SP, apresentadas a seguir na Tabela 5.

Tabela 5 – Equações utilizadas para a determinação no Índice de Erosividade.

<i>Localidade</i>	<i>Equação</i>	<i>Região</i>	<i>Referência</i>
Lavras - MG	$EI_{30} = 125,92 \cdot \left(\frac{Rc^2}{P}\right)^{0,603}$	Sudeste	Val et al. (1985)
Campinas - SP	$EI_{30} = 68,73 \cdot \left(\frac{Rc^2}{P}\right)^{0,841}$	Sudeste	Lombardi Neto & Moldenhauer (1992)
Mococa - SP	$EI_{30} = 111,173 \cdot Rc^{0,691}$	Sudeste	Carvalho et al. (1989)

Fonte: Do autor.

A erosividade foi estimada pela média dos valores fornecidos pelas 3 equações mostradas na Tabela 5. Foram identificadas 15 estações pluviométricas, da Agência Nacional de Águas, em torno da área de estudo. Com dados de precipitação diária foram constituídas séries de precipitação máxima anual e precipitação total mensal, relativos a períodos de no

mínimo 15 anos. A Tabela 6 apresenta a erosividade anual da chuva para as estações em questão, bem como, a erosividade para o período seco, que vai de abril a setembro e para o período úmido que vai de outubro a março.

Tabela 6 – Erosividade anual e dos períodos secos e úmidos.

<i>Estações</i>	<i>EI<sub>30</sub> (MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>)</i>		
	<i>Anual</i>	<i>Período Seco</i>	<i>Período Úmido</i>
Aguai	7295,21	645,17	6650,04
Andradas	8073,74	653,50	7420,24
Campestre	6262,77	477,62	5785,15
Casa Branca	7278,83	867,41	6411,42
Estação de Areado	5937,25	516,63	5420,62
Guaranésia	7937,30	851,77	7085,53
Guaxupé	7591,17	969,42	6621,74
Itapira	6790,53	696,86	6093,66
Jacutinga	8028,16	1010,14	7018,02
Machado	6483,71	603,08	5880,62
Mococa	7210,99	680,87	6530,11
Mogi Guaçu	6207,19	836,48	5370,71
Muzambinho	7557,76	971,59	6586,16
Poços de Caldas	8490,83	724,46	7766,37
Pouso Alegre	6780,49	738,61	6041,87
São João da Boa Vista	7261,68	962,89	6298,79

Fonte: Do autor.

Para a espacialização da erosividade das chuvas foi utilizado o método do inverso do quadrado das distâncias no programa *ArcGIS*®.

Para a determinação do fator de erodibilidade, foi utilizada a Equação 14 de Denardin (1990) e também valores encontrados na literatura para as classes de solos presentes nas bacias.

$$K = 7,48.10^{-6}.M + 0,0048059.P - 0,0631175.DMP + 0,01039567.R \quad (14)$$

Em que K é a erodibilidade em [t.h.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>], M = (silte + areia fina). (100 - argila) em [%], P é o código de permeabilidade de Wischmeier *et al.* (1971), DMP é o diâmetro médio ponderado das partículas de solo, em [mm], calculado pela Equação 15, R é calculado pela Equação 16.

$$DMP = \frac{0,65A_G + 0,15A_F + 0,0117S + 2,4 \cdot 10^{-4} A}{100} \quad (15)$$

$$R = A_G \frac{MO}{100} \quad (16)$$

Em que A<sub>G</sub> é a areia grossa, A<sub>F</sub> a areia fina, S o silte, A a argila, MO é o teor de matéria orgânica.

Para definir o código de permeabilidade geralmente é utilizada a classe textural do solo para inferir os valores do código, Tabela 7. Mas sabe-se que nos solos tropicais brasileiros, diferentemente dos solos temperados dos Estados Unidos, o atributo do solo que rege a infiltração é a estrutura do solo e não a textura (MELLO; SILVA, 2013). A determinação do código de permeabilidade gera dúvidas na sua inferência, em razão da falta de critérios precisos para sua determinação, que para condizer com a realidade dos solos tropicais deve ser um estimado por meio da experiência do observador, podendo assim aumentar a probabilidade do erro (SILVA *et al.*, 2000).

Tabela 7 – Código de permeabilidade das classes texturais.

<i>Classe Textural</i> <sup>1</sup>	<i>Classe de Permeabilidade</i> <sup>2</sup>	<i>Permeabilidade</i>
Muito argilosa, argilosa, argilo-siltosa	6	Muito lenta
Franco-argilo-siltosa, argilo-arenosa	5	Lenta
Franco-argilo-arenosa, franco-argilosa	4	Lenta a moderada
Franca, franco-siltosa, siltosa	3	Moderada
Areia-franca, franco-arenosa	2	Moderada a rápida
Arenosa	1	Rápida

Fonte: Adaptado de <sup>1</sup>USDA (1983); <sup>2</sup>Wischmeier *et al.* (1971).

Com o objetivo de criterizar a inferência do código de permeabilidade propôs-se a utilização de cinco metodologias para a determinação deste código com a introdução do conceito de Grupos Hidrológicos de Solos e também a incorporação de atributos físico-

hídricos, relacionados com a permeabilidade dos solos, a fim de tornar este parâmetro mais condizente com a realidade dos solos brasileiros.

A estimativa do fator de erodibilidade foi feita de sete maneiras:

**K<sub>1</sub>** – erodibilidade das classes de solos presentes nas bacias, conforme Tabela 8.

Tabela 8 – Valores de erodibilidade.

<i>Solo</i>	<i>Erodibilidade (t.h.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>)</i>	<i>Referência</i>
CX	0,0355	Silva <i>et al.</i> (2009)
LVA	0,01	Silva <i>et al.</i> (2000)
SIV	0,042	Silva (2004)

Fonte: Do autor.

Nota: CX – Cambissolo Háplico, LVA – Latossolo Vermelho-Amarelo, SIV – Solos Indiscriminados de Várzea.

**K<sub>2</sub>** – Erodibilidade estimada a partir da equação de Denardin (1990), utilizando como o código de permeabilidade os valores referentes a classe textural, conforme a Tabela 8.

**K<sub>3</sub>** – Erodibilidade estimada a partir da equação de Denardin (1990), conforme proposto por Silva (2014) para o enquadramento dos Solos de Minas Gerais, nos Grupos Hidrológicos e também o código de permeabilidade, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 – Código de permeabilidade referente aos Grupos Hidrológicos de Solo

<i>Grupo Hidrológico de Solo</i>	<i>Classe de permeabilidade (adimensional)</i>
A	1,00 a 2,25
B	2,26 a 3,50
C	3,51 a 4,75
D	4,75 a 6,00

Fonte: Do autor.

Para obter um valor específico de cada ponto amostrado, os valores de P foram estimados por interpolação simples, considerando o valor máximo de porosidade total, encontrado nos pontos amostrado em cada classe de solo, como par ordenado do valor mínimo da classe de permeabilidade, referente ao Grupo Hidrológico de Solo, em que cada ponto se insere.

Segundo Silva (2014), os solos que ocorrem nas bacias, o Latossolo Vermelho-Amarelo, Solos Indiscriminados de Várzea e o Cambissolo Háplico são enquadrados como Grupos Hidrológicos A, B e C respectivamente.

**K<sub>4</sub>** – Erodibilidade estimada a partir da equação de Denardin (1990), enquadrando os solos das bacias nos Grupos Hidrológicos de Solos, de Minas Gerais. Para obter um valor específico de cada ponto amostrado, os valores do código de permeabilidade, expostos na Tabela 9, foram obtidos com a interpolação simples, considerando o valor máximo de condutividade hidráulica do solo saturado como par ordenado do mínimo valor de cada classe de permeabilidade de cada Grupo Hidrológico de Solo, em que os pontos amostrados se encontram.

**K<sub>5</sub>** – Nesse processo de estimativa dos valores do código de permeabilidade foi utilizada a classificação de Ferreira (1999) sobre a condutividade hidráulica do solo saturado para enquadrar a condutividade dos pontos amostrados nas bacias e correlacionar com as classes de permeabilidade da Tabela 8, conforme mostra a Tabela 10. Por fim, a erodibilidade foi estimada a partir da equação de Denardin (1990).

Tabela 10 – Correlação das classes de condutividade hidráulica do solo saturado e as classes de permeabilidade.

<i>K<sub>sat</sub> (m.dia<sup>-1</sup>)<sup>1</sup></i>	<i>Classe de condutividade<sup>1</sup></i>	<i>Classe de permeabilidade<sup>2</sup></i>	<i>Permeabilidade<sup>2</sup></i>
< 0,03	Muito lenta	6	Muito lenta
0,031 a 0,12	Lenta	5	Lenta
0,121 a 0,48	Lenta a moderada	4	Lenta a moderada
0,481 a 1,50	Moderada	3	Moderada
1,501 a 3,00	Moderada a rápida	2	Moderada a rápida
3,001 a 6,00	Rápida	1	Rápida
> 6,001	Muito rápida	1	Rápida

Fonte: Adaptado de <sup>1</sup>Ferreira (1999), <sup>2</sup> Wischmeier *et al.* (1971).

**K<sub>6</sub>** – Para a estimativa da erodibilidade foi utilizada a equação de Denardin (1990) e para definir o código de permeabilidade, os solos da bacia foram enquadrados nos Grupos

Hidrológicos de Solo, de Minas Gerais. O valor de P utilizado foi o ponto médio das classes abordadas na Tabela 9.

**K<sub>7</sub>** – Para essa estimativa, também foi utilizada a equação de Denardin (1990). E para a determinação do código de permeabilidade, utilizou-se a condutividade hidráulica do solo saturado medido em cada ponto para enquadrá-los em Grupos Hidrológicos de Solos conforme as taxas mínimas de infiltração definidas por (TR-55, 1986), conforme mostra a Tabela 11.

Tabela 11 – Taxas mínimas de infiltração dos Grupos Hidrológicos de Solos.

<i>Grupo Hidrológico de Solo</i>	<i>Taxa mínima de infiltração (m.dia<sup>-1</sup>)</i>
A	> 0,183
B	0,091 a 0,183
C	0,030 a 0,091
D	< 0,030

Fonte: Adaptado de TR-55 (1986).

Com o enquadramento dos pontos nos Grupos Hidrológicos de Solos o valor de P utilizado foi o ponto médio das classes de permeabilidade da Tabela 9.

Para a comparação dos métodos supracitados foi utilizado o programa estatístico computacional *Minitab 18*, para fazer a análise de variância primeiramente foi efetuado o teste de normalidade, caso a normalidade fosse verificada, no conjunto de dados, a ANOVA seria empregada normalmente, caso os dados não fossem normais a análise de variâncias foi feita pelo teste de Welch conforme o padrão do programa, para dados com variâncias diferentes. Para os testes de comparação de médias em caso de normalidade foi utilizado o teste Tukey e para dados não normais o teste de Games-Howell, conforme o padrão do programa. Para todos os testes e análises estatísticas foi utilizado o nível de confiança igual a 95 %.

Como na BHCG somente para os pontos do detalhamento amostral, Figura 8, foram possíveis de se calcular a erodibilidade a sua espacialização pelos métodos geoestatísticos foi inviabilizada. Então optou-se por utilizar as médias de cada classe solo para representar a erodibilidade da classe de solo na bacia. Para os SIV foi considerada erodibilidade nula.

O Fator Topográfico LS foi estimado com o auxílio de um complemento do *ArcGIS®*, desenvolvido por Zhang *et al.* (2009), denominado *ArcMUSLE*. Esse complemento utiliza em

seus algoritmos o método de Moore e Burch (1986) para obter o Fator LS espacializado para as bacias, a partir da Equação 17.

$$LS = \left( \frac{A}{22,13} \right)^{0,4} \cdot \left( \frac{\text{sen}\theta}{0,0896} \right)^{1,3} \quad (17)$$

Em que A é o produto do acúmulo de fluxo com o tamanho da célula do Modelo Numérico de Elevação ou Terreno,  $\theta$  é o ângulo da declividade.

O Modelo Numérico de Terreno (MNT) foi obtido através de dados de um levantamento aerofotogramétrico realizado em 1997, pela Prefeitura Municipal de Poços de Caldas, em uma escala de 1:10.000. Após a correção topológica desses dados, foi utilizado o Modelo Numérico de Terreno hidrológicamente consistente *TOPOGRID*. E partir deste MNT foram gerados seus produtos derivados como mapa de declividade, direção e acúmulo de fluxo a fim de ser utilizados como parâmetros de entrada para o método de estimativa do fator topográfico.

Para o Fator de Uso e Manejo do solo, Fator C, foi feito um mapeamento da cobertura do solo das bacias de estudo a partir de imagens de satélite fornecidas pelo programa *Google Earth Pro*. Foi possível utilizar imagens de 16 de junho de 2016, que com distância de aproximação em torno de 2 km possibilitou a formação de cenas com o tamanho de pixel (resolução espacial) de aproximadamente 60 cm, o que configura as cenas utilizadas como imagens de alta resolução. Essas cenas compuseram um mosaico de imagens, que por meio de uma classificação manual e visual da cobertura possibilitaram a elaboração dos mapas de uso e ocupação do solo da BHCG e da BHCC. Com essas informações espacializadas e os valores de C foram incorporados ao Fator de Práticas conservacionistas (P) obtidos em referências bibliográficas, Tabela 12, obteve-se a espacialização do fator de uso e manejo do solo.

Tabela 12 – Fator de uso e manejo do solo.

<i>Uso e ocupação</i>	<i>Fator CP*</i>	<i>Referência</i>
Várzea	0,0004	Oliveira et al, (2007);
Cultura	0,25	Bertoni e Lombardi Neto (2010)
Massas d'água	0	Costa et al (2005)
Mata Nativa	0,00013	Martins (2005)
Campo/Pasto	0,0288	Costa et al (2005)
Reflorestamento	0,0026	Martins (2010)
Solo exposto	1	Costa et al (2005)

Fonte: Do autor.

Nota: \*Adimensional.

Como todos os fatores da Equação Universal de Perda de Solos, foram estimados em sua distribuição espacial, a partir da ferramenta *Raster Calculator*, do programa *ArcGIS®*, a expectativa de Perdas de Solos Atual da BHCG e da BHCC com a utilização da Equação 15.

$$A = RKLSCP \quad (15)$$

Em que A é a perda de solo em [t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>], R é o fator de erosividade da chuva em [MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>], K fator de erodibilidade do solo em [t.h.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>], LS fator topográfico [adimensional], C o fator de uso e manejo do solo [adimensional] e P fator de práticas conservacionistas [adimensional]. Já para o Potencial Natural de Erosão (PNE) foi utilizada a Equação 16.

$$PNE = RKLS \quad (16)$$

A análise do PNE e da Perda de Solo Atual das bacias foram extraídas as informações de todos os pixels do resultado da modelagem e feita uma interseção entre as classes de solo, classes de uso e manejo e declividade para verificar quais combinações contribuem significativamente no processo erosivo das bacias de estudo.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS

Nas Figuras 10 e 11 a seguir são apresentados, respectivamente, para a BHCG e BHCC os gráficos de valores extremos (“boxplot”) e os gráficos de tendência espacial em função da latitude e longitude, respectivamente, para os atributos densidade do solo (a, b e c), porosidade total (d, e e f), condutividade hidráulica do solo saturado (g, h e i), matéria orgânica (j, k e l), areia (m, n e o), silte (p, q e r), argila (s, t e u) e densidade de partícula (v, x e z).

Ao analisar o comportamento dos atributos do solo nas direções Norte-Sul (latitude) e Leste-Oeste (longitude), constata-se uma distribuição uniforme em todas as direções tanto na BHCG quanto na BHCC, indicando a ausência de tendenciosidade direcional nas bacias, princípio fundamental para aplicação da geoestatística. Comportamento similar foi observado para a BHCC.

Com relação à análise dos valores extremos, todos os atributos apresentaram pontos com características discrepantes em comparação ao conjunto amostral. Destaque, na BHCC, para o atributo matéria orgânica com 7 valores identificados como extremos. Já na BHCC os atributos  $K_{SAT}$  (11 pontos), matéria orgânica (5 pontos) e areia total (7 pontos) destacaram-se dos demais atributos em relação a presença de valores considerados extremos.

Apesar da possibilidade dos valores extremos afetarem a variância aleatória dos dados aumentando a sua variabilidade e comprometendo a análise de correlação espacial, optou-se neste estudo por realizar uma análise complementar sugerida por Libardi e Melo Filho (2006), onde os valores detectados como discrepantes são removidos do conjunto amostral apenas se apresentarem diferença acentuada quando comparados aos seus vizinhos mais próximos. Nenhum dos valores identificados como extremos apresentou grandes discrepâncias quando comparados aos vizinhos, o que sustentou a não remoção dos mesmos na análise espacial.

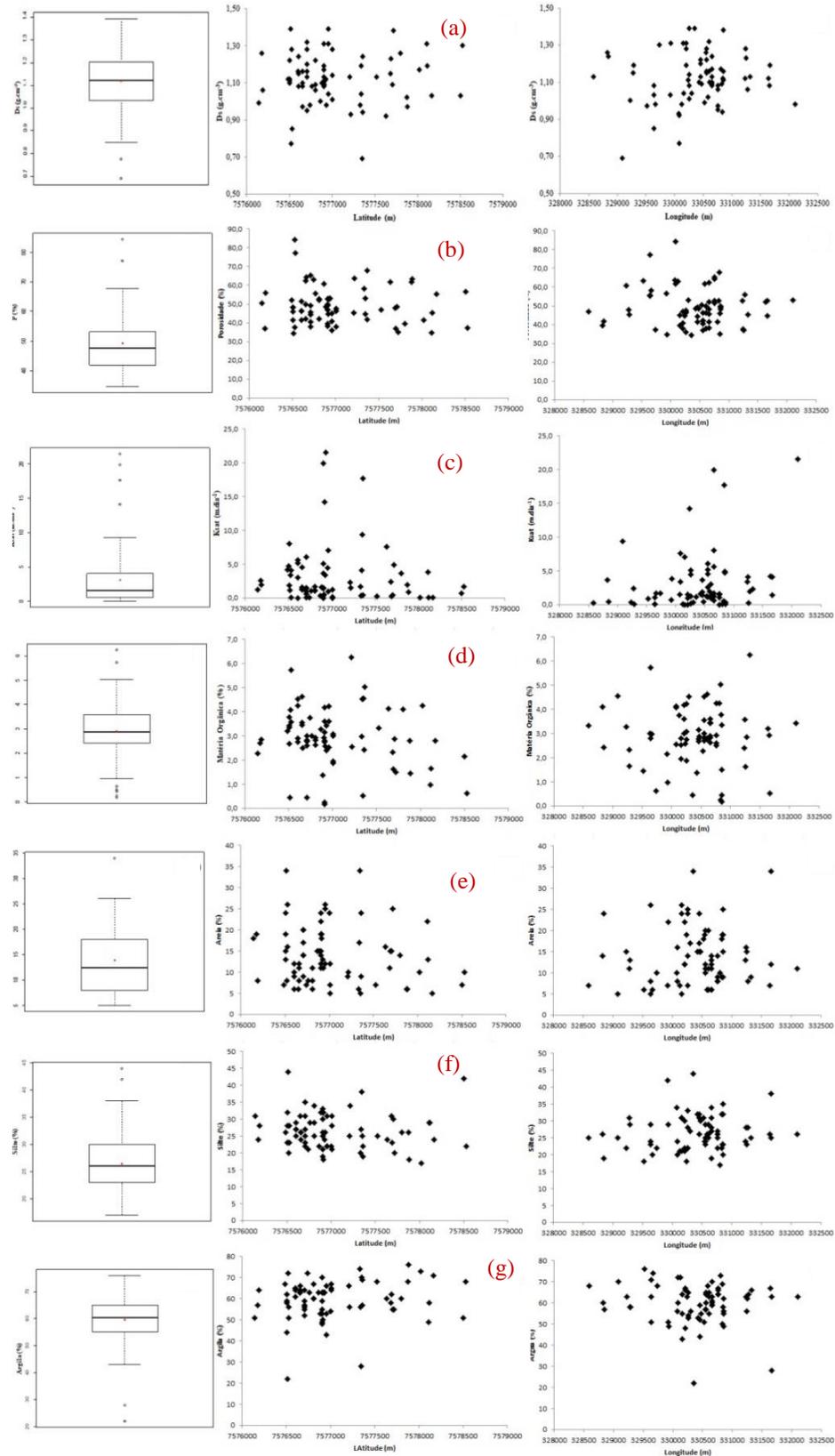


Figura 10 – Gráficos de box-plot e tendência espacial em função da latitude e longitude na BHCg para densidade do solo (a), porosidade total (b), condutividade hidráulica do solo saturado (c), matéria orgânica (d), areia (e), silte (f) e argila (g).

Fonte: Do autor.

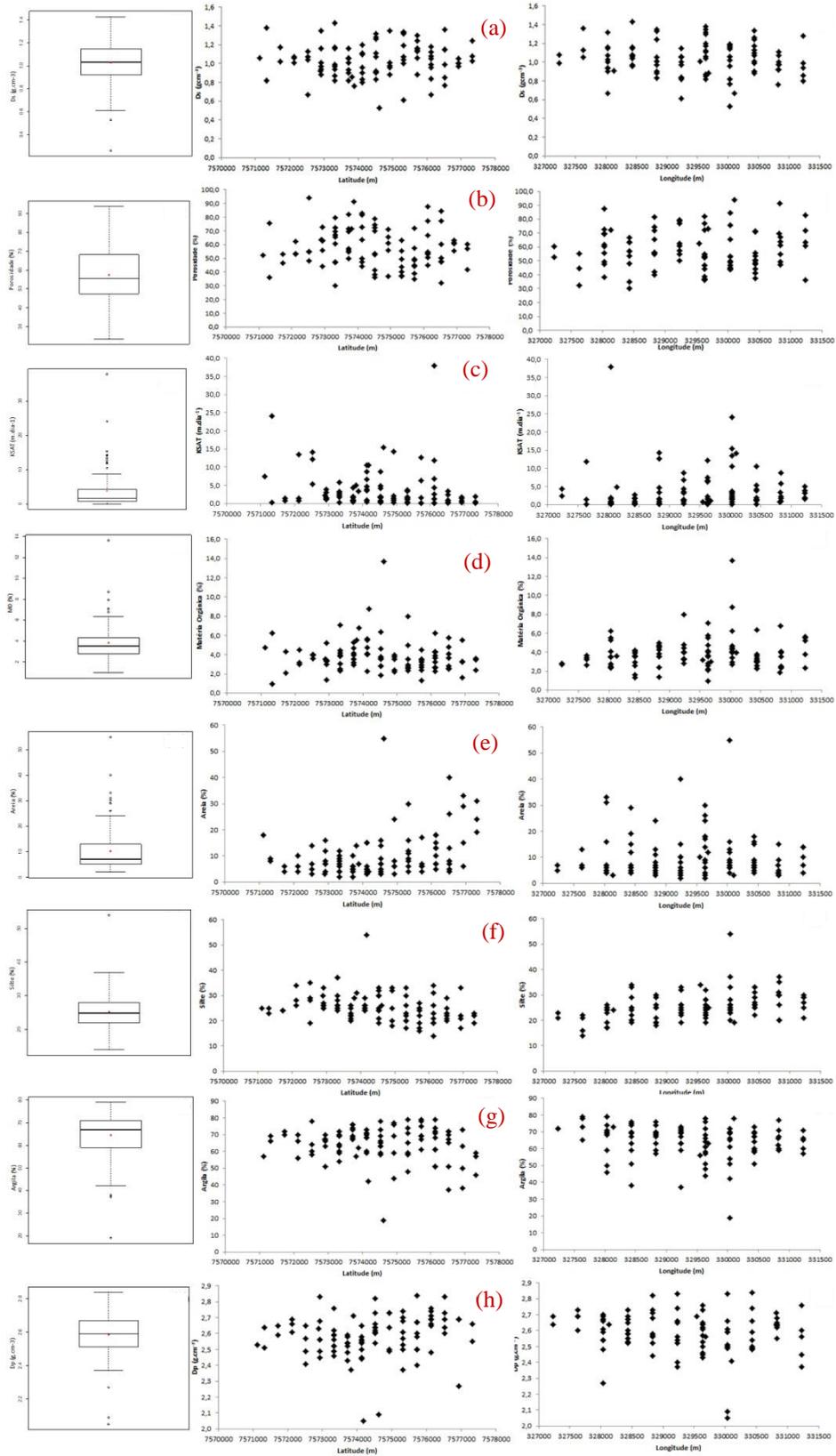


Figura 11 – Gráficos de valores extremos e tendência espacial em função da latitude e longitude na BHCC para os atributos densidade do solo (a), porosidade total (b), condutividade hidráulica do solo saturado (c), matéria orgânica (d), areia (e), silte (f), argila (g) e densidade de partícula (h).

Fonte: Do autor.

Na Figura 11 observa-se que os parâmetros medidos variam em especificamente em determinadas coordenadas, tanto na direção leste-oeste, quanto na direção norte-sul, configurando um aspecto de linhas verticais separadas por distâncias regulares aos gráficos de tendência espacial. Esse comportamento pode ser explicado pelo método de amostragem em grade regular.

Na Tabela 13 é apresentado um resumo das estatísticas descritivas e o resultado do teste de normalidade de Shapiro-Wilk para todos os atributos do solo na BHCG e BHCC.

Tabela 13 – Parâmetros estatísticos dos atributos físico-hídricos do solo na BHCG e BHCC.

<i>Atributos do solo</i>	<i>Média</i>	<i>Mediana</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>Ass.</i>	<i>CV %</i>	<i>p-valor</i>
<b>BHCG</b>						
D <sub>s</sub> (g.cm <sup>-3</sup> )	1,12	1,12	0,1358	-0,37	12,14	0,2681 <sup>NS</sup>
P <sub>t</sub> (%)	49,21	47,70	9,9619	0,97	20,25	0,0012*
K <sub>SAT</sub> (m.d <sup>-1</sup> )	3,12	1,55	4,3326	2,63	138,75	0,0001*
MO (%)	2,90	2,87	1,2089	-0,09	41,67	0,0632 <sup>NS</sup>
Areia (%)	13,92	12,50	6,8020	0,86	48,87	0,0003*
Silte (%)	26,47	26,00	5,2739	0,80	19,92	0,0119*
Argila (%)	59,61	60,50	9,1992	-1,37	15,43	0,0001*
<b>BHCC</b>						
D <sub>s</sub> (g.cm <sup>-3</sup> )	1,03	1,04	0,1920	-0,64	18,68	0,0111*
P <sub>t</sub> (%)	57,55	55,54	14,5998	0,24	25,37	0,6402 <sup>NS</sup>
K <sub>SAT</sub> (m.d <sup>-1</sup> )	3,93	1,80	5,6344	3,26	143,21	0,0001*
MO (%)	3,83	3,57	1,6814	2,40	43,85	0,0001*
Areia (%)	10,22	7,00	8,6382	2,40	84,52	0,0001*
Silte (%)	25,31	25,00	5,6007	1,45	22,13	0,0001*
Argila (%)	64,47	67,00	10,1130	-1,42	15,69	0,0001*
D <sub>p</sub> (g.cm <sup>-3</sup> )	2,59	2,59	0,1327	-1,15	5,13	0,0001*

Fonte: Do autor.

Nota: \* - p-valor significativo a 5,0 % no teste de normalidade de Shapiro-Wilk, <sup>NS</sup> - p-valor não significativo a 5,0 % no teste de normalidade de Shapiro-Wilk, Ass é a assimetria, D<sub>s</sub> – Densidade do solo, P<sub>t</sub> – Porosidade total, K<sub>SAT</sub> – Condutividade hidráulica do solo saturado.

Constata-se para a BHCG que apenas os atributos densidade do solo e matéria orgânica apresentam os dados normalmente distribuídos em relação à média, enquanto que os atributos restantes não seguem uma distribuição normal de acordo com o teste de Shapiro-Wilk. Já para a BHCC apenas o atributo porosidade total apresentou-se normalmente distribuído entorno da média. Esta condição de não normalidade observada na maioria dos atributos do solo analisados em ambas as bacias gera uma dificuldade adicional na modelagem dos semivariogramas experimentais com efeito direto no parâmetro alcance.

Todos os atributos são classificados como de média variabilidade segundo Warrick e Nielsen (1980), a exceção da condutividade hidráulica do solo saturado para ambas as bacias e areia para a BHCC que apresentam alta variabilidade. Alvarenga et al. (2011) e Junqueira Júnior et al. (2008) também observaram a alta variabilidade da condutividade hidráulica do solo saturado em suas áreas de estudo, principalmente na camada superficial do solo.

Na Figura 12 são apresentados os resultados da análise variográfica dos atributos físico-hídricos do solo na BHCG. Para todos os atributos o modelo de semivariograma teórico que melhor representou o conjunto de dados foi o exponencial quando comparado aos ajustes dos modelos esférico e gaussiano. Foram encontrados valores reduzidos de efeito pepita para todos os atributos, o que resulta em um incremento do grau de dependência espacial.

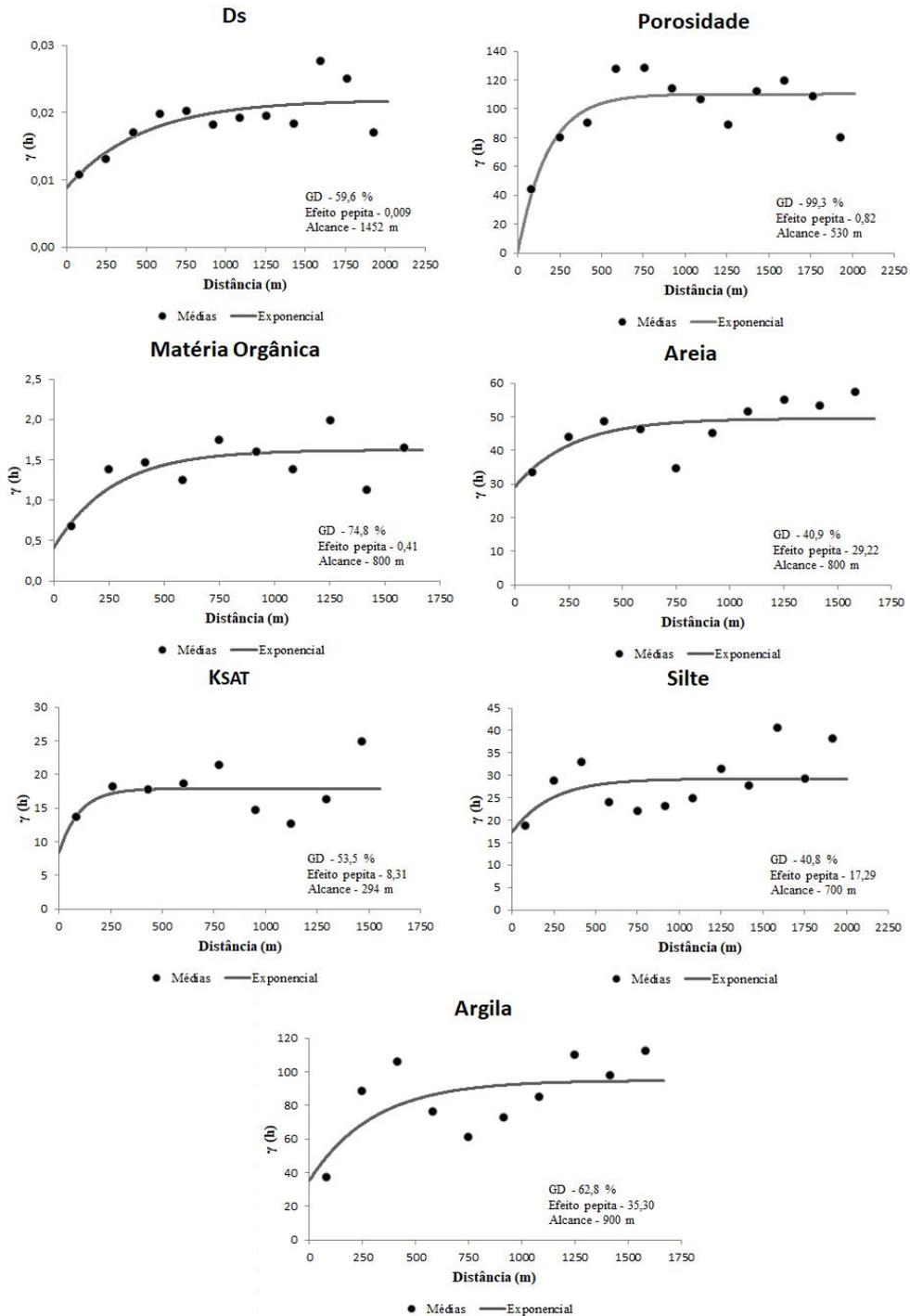


Figura 12 – Semivariogramas ajustados para os atributos físico-hídricos do solo na BHCG.

Fonte: Do autor.

Na Figura 13 são apresentados os resultados da análise variográfica dos atributos físico-hídricos do solo para a BHCC.

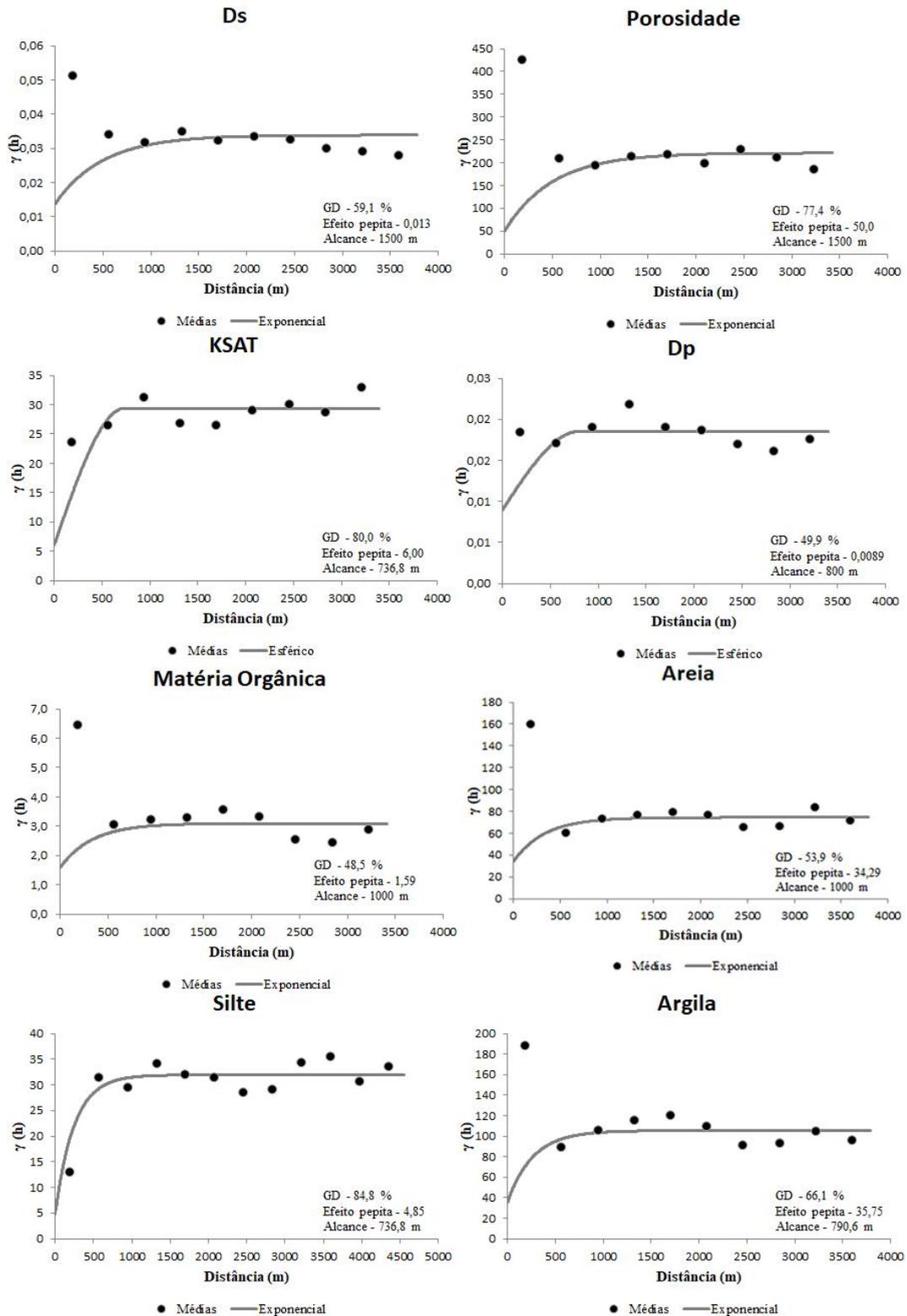


Figura 13 – Semivariogramas ajustados para os atributos físico-hídricos do solo na BHCG.

Fonte: Do autor.

Para a BHCC o modelo de semivariograma teórico esférico melhor representou os atributos condutividade hidráulica do solo saturado e densidade de partícula, enquanto que o

modelo exponencial melhor representou os atributos restantes. Todos os ajustes reproduziram valores reduzidos de efeito pepita para todos os atributos, o que resulta em um incremento do grau de dependência espacial.

De acordo com os resultados encontrados para o parâmetro alcance é possível afirmar que a distância máxima na qual um atributo consegue explicar sua variabilidade a partir de um ponto de observação variou entre 736,8 e 1500 metros, em que a densidade do solo e porosidade total apresentaram o maior valor e a condutividade hidráulica do solo saturado e silte o menor valor de alcance. Tais valores podem ser considerados satisfatórios, pois viabilizam um esforço amostral em campo menor em relação à metodologia inicial utilizada com distância de 400 metros entre os pontos.

Ambas as bacias apresentaram alta variabilidade da condutividade hidráulica do solo saturado, o que afetou o desempenho da sua modelagem variográfica resultando um valor reduzido para o alcance quando comparado aos valores dos outros atributos. Uma solução para esta questão seria a aplicação da transformação logarítmica a este conjunto de dados na tentativa de reduzir esta variabilidade. Alvarenga et al. (2011) aplicaram modelagem geoestatística a dados de condutividade hidráulica do solo saturado com e sem transformação logarítmica e concluíram que o mapa gerado com base no conjunto de dados transformados apresentou melhor detalhamento e representatividade da variável para a realidade da área onde aplicaram o estudo. Na Tabela 14 são apresentados os valores das estatísticas referentes à análise variográfica dos atributos físico-hídricos do solo para a BHCG.

Tabela 14 – Estatísticas de precisão da análise variográfica dos atributos físico-hídricos do solo na BHCG.

<i>Atributo</i>	<i>GD<sup>1</sup></i>	<i>Classificação do GD</i>	<i>EM<sup>2</sup> (%)</i>	<i>TE<sup>3</sup> (%)</i>	<i>SER<sup>4</sup> (%)</i>
D <sub>s</sub>	59,6	Moderado	5,73	0,78	0,70
P <sub>t</sub>	99,3	Forte	0,23	0,04	0,88
K <sub>SAT</sub>	53,5	Moderado	48,84	165,23	0,61
MO	74,8	Moderado	15,35	19,01	0,57
Areia	40,9	Moderado	26,59	17,19	0,76
Silte	40,8	Moderado	11,19	2,36	0,77
Argila	62,8	Moderado	6,67	1,79	0,67

Fonte: Do autor.

Nota: <sup>1</sup> GD – Grau de dependência espacial, <sup>2</sup> EM – Erro Médio da Estimativa, <sup>3</sup> TE – Tendência de estimativa, <sup>4</sup>

SER – Desvio padrão dos Erros Reduzidos,  $D_s$  – Densidade do solo,  $P_t$  – Porosidade total,  $K_{SAT}$  – condutividade hidráulica do solo saturado.

Observa-se que os dados estimados pelos variogramas ajustados guardam semelhança com os dados observados. De acordo com a classificação proposta por Cambardella et al. (1994) todos os modelos foram validados, com destaque para o ajuste do atributo porosidade com alto grau de dependência espacial. Em relação aos erros médios, os valores encontrados são aceitáveis sendo, para a maioria dos atributos, considerados baixos (menores que 20,0 %).

Todos os atributos apresentaram como característica comum uma tendência de superestimativa quando comparado aos dados observados, com destaque negativo para os valores de  $K_{SAT}$  com valores 165 vezes maiores que os observados. Para o desvio padrão dos erros reduzidos todos os atributos apresentaram valores aceitáveis, tendo como melhor ajuste o atributo porosidade total. Na Tabela 15 são apresentados os valores das estatísticas referentes à análise variográfica dos atributos físico-hídricos do solo para a BHCC.

Tabela 15 – Estatísticas de precisão da análise variográfica dos atributos físico-hídricos do solo na BHCC.

<i>Atributo</i>	<i>GD<sup>1</sup></i>	<i>Classificação do GD</i>	<i>EM<sup>2</sup> (%)</i>	<i>TE<sup>3</sup> (%)</i>	<i>SER<sup>4</sup> (%)</i>
$D_s$	59,1	Moderado	7,37	1,73	0,67
$P_t$	77,4	Forte	6,93	2,06	0,54
$K_{SAT}$	80,0	Forte	29,29	56,31	0,40
MO	48,5	Moderado	15,78	9,48	0,61
Areia	53,9	Moderado	24,10	21,22	0,55
Silte	84,8	Forte	2,44	0,61	0,30
Argila	66,1	Moderado	4,35	1,27	0,45
$D_p$	49,9	Moderado	1,89	0,11	0,56

Fonte: Do autor.

Nota: <sup>1</sup> GD – Grau de dependência espacial, <sup>2</sup> EM – Erro Médio da Estimativa, <sup>3</sup> TE – Tendência de estimativa, <sup>4</sup> SER – Desvio padrão dos Erros Reduzidos,  $D_s$  – Densidade do solo,  $P_t$  – Porosidade total,  $K_{SAT}$  – condutividade hidráulica do solo saturado,  $D_p$  – Densidade de partículas.

Segundo Cambardella et al. (1994) todos os modelos foram validados, com destaque para o ajuste dos atributos porosidade total,  $K_{SAT}$  e silte com alto grau de dependência espacial. Em relação aos erros médios, os valores encontrados são aceitáveis sendo, para a maioria dos atributos, considerados baixos (menores que 20,0 %). Todos os ajustes

apresentaram tendência de superestimativa na BHCC, com destaque para a  $K_{SAT}$  e areia que apresentaram valores 56 e 21 vezes maiores que os observados, respectivamente.

De maneira geral, não foi possível observar semelhança para os ajustes dos atributos entre as bacias estudadas. Apenas o atributo densidade do solo guardou alguma similaridade entre os coeficientes de desempenho e os valores dos semivariogramas.

Na Tabela 16 são apresentadas as estatísticas básicas associadas aos dados observados na BHCG e estimados pelo método da krigagem ordinária para a bacia.

Tabela 16 – Estatísticas básicas para os dados observados e estimados na BHCG.

<i>Dados</i>	<i>Ds</i>	<i>K<sub>SAT</sub></i>	<i>P<sub>t</sub></i>	<i>MO</i>	<i>Areia</i>	<i>Silte</i>	<i>Argila</i>	
	<i>g.cm<sup>-3</sup></i>	<i>m.d<sup>-1</sup></i>			<i>%</i>			
Observado	Média	1,12	3,12	49,21	2,90	13,92	26,47	59,61
	Máximo	1,39	21,53	84,37	6,26	34,00	44,00	76,00
	Mínimo	0,69	0,01	34,54	0,17	5,00	17,00	22,00
	Desvio	0,1358	4,3326	9,9619	1,2089	6,8020	5,2739	9,1992
	CV	12,14	138,75	20,25	41,67	48,87	19,92	15,43
Estimado	Média	1,08	3,16	49,21	2,91	13,92	26,42	59,62
	Máximo	1,23	11,11	84,13	5,12	21,66	33,24	69,97
	Mínimo	0,91	0,31	34,72	0,78	8,63	21,98	39,37
	Desvio	0,0600	1,4647	9,8691	0,8376	2,8867	2,0373	5,0291
	CV	5,56	46,35	20,06	28,81	20,73	7,71	8,43

Fonte: Do autor.

Nota:  $Ds$  – Densidade do solo,  $K_{SAT}$  – Condutividade hidráulica do solo saturado,  $P_t$  – Porosidade total,  $MO$  – Matéria orgânica.

Nota-se claramente um dos efeitos da aplicação da técnica de krigagem para espacialização de um atributo que não é normalmente distribuído entorno da média, pela redução da amplitude dos valores atribuídos a este atributo, buscando melhor representar os dados próximos do seu valor médio. Este comportamento pode ser observado para todos os atributos aqui analisados onde a média dos dados estimados manteve forte similaridade com os dados observados.

Destaca-se também o efeito do melhor ajuste para ao atributo porosidade total do solo que, com GD de 99,3 %, conseguiu representar toda a faixa de valores observados com maior similaridade. Ressaltam-se ainda as significativas reduções do coeficiente de variação para os dados estimados para todos os atributos.

Com base no desempenho satisfatório dos modelos selecionados foi realizado o mapeamento dos atributos físico-hídricos do solo para a BHCG aplicando-se a técnica de krigagem ordinária (FIGURA 14; FIGURA 15).

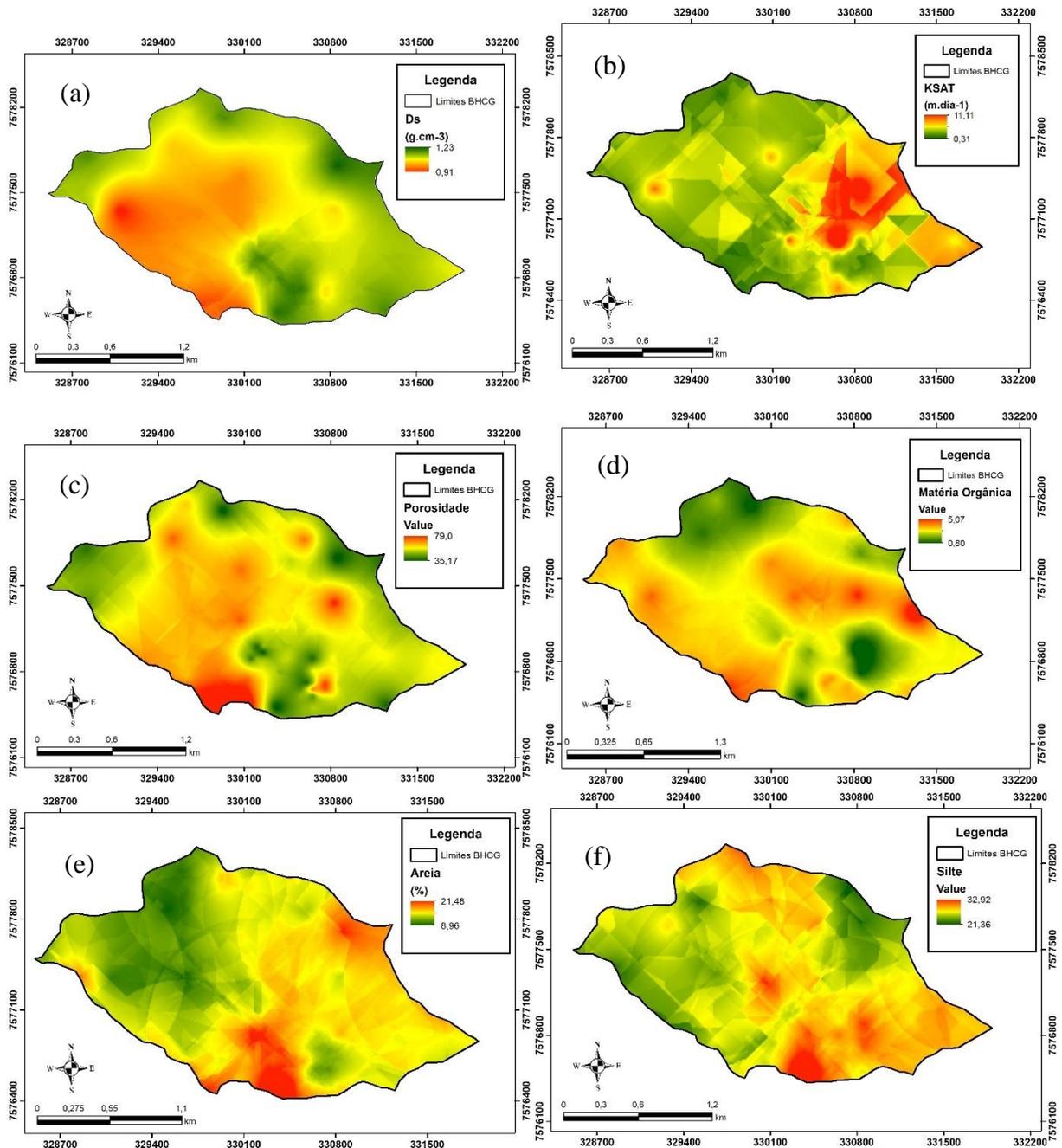


Figura 14 – Distribuição espacial da densidade do solo (a), condutividade hidráulica do solo saturado (b), porosidade (c), matéria orgânica (d), areia (e) e silte (f) na BHCG.

Fonte: Do autor.

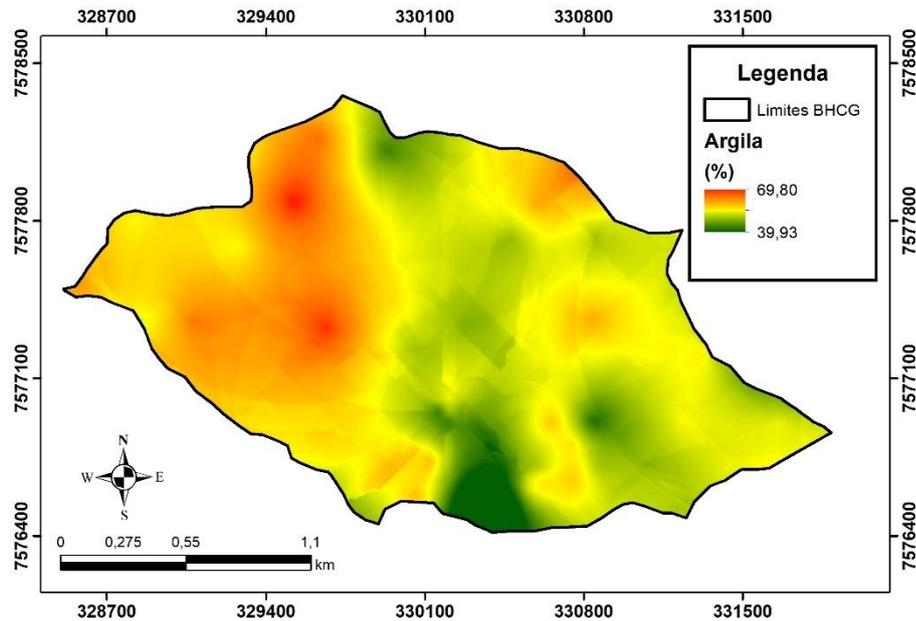


Figura 15 – Distribuição espacial da argila na BHCG.

Fonte: Do autor.

Os atributos areia e silte sinalizam valores crescentes na direção Norte-Sul da bacia, enquanto que o atributo argila, valores decrescentes nesta mesma direção. Os atributos matéria orgânica, condutividade hidráulica do solo saturado e porosidade também guardam forte relação, sendo que seus tendem para um acréscimo a partir das bordas para o interior da bacia com predomínio na direção Oeste-Leste. Já o atributo densidade do solo aumenta na direção Oeste-Leste.

De maneira geral, a porção central do terço médio da BHCG apresenta as melhores qualidades físico-hídricas de toda a área. Em termos hidrológicos, esta não é a região mais eficiente para manutenção do regime hídrico da bacia. As regiões mais altas, de cabeceira, na bacia têm como característica a presença de campos de altitude, plantios de eucalipto em segundo ou terceiro ciclo de corte e áreas com minas ativas para exploração de bauxita, que seriam áreas ótimas para a recarga dos aquíferos e aumentar o rendimento específico da bacia.

Na Tabela 17 são apresentadas as estatísticas básicas associadas aos dados observados na BHCC e estimados pelo método da krigagem ordinária para a bacia.

Tabela 17 – Estatísticas básicas para os dados observados e estimados na BHCC.

<i>Dados</i>	<i>D<sub>s</sub></i>	<i>D<sub>p</sub></i>	<i>K<sub>SAT</sub></i>	<i>P<sub>t</sub></i>	<i>MO</i>	<i>Areia</i>	<i>Silte</i>	<i>Argila</i>	
	<i>g.cm<sup>-3</sup></i>		<i>m.d<sup>-1</sup></i>			%			
Obs.	Média	1,04	2,59	3,93	57,91	3,83	10,22	25,31	64,47
	Máximo	1,43	2,84	37,87	93,91	13,65	55,00	54,00	79,00
	Mínimo	0,56	2,05	0,10	30,29	0,95	2,00	14,00	19,00
	Desvio	0,18	0,13	5,63	14,24	1,68	8,64	5,60	10,11
	CV	16,94	5,12	143,37	24,60	43,90	84,52	22,13	15,69
Est.	Média	1,04	2,59	3,95	57,92	3,84	10,18	25,32	64,49
	Máximo	1,23	2,76	30,87	80,66	8,38	31,41	49,33	77,07
	Mínimo	0,82	2,25	0,30	40,07	2,57	4,17	15,00	34,25
	Desvio	0,086	0,079	4,50	9,86	0,83	5,53	4,85	7,30
	CV	8,36	3,03	114,01	17,03	21,65	54,34	19,15	11,32

Fonte: Do autor.

Nota: Obs. – Observados, Est. – Estimados, D<sub>s</sub> – Densidade do solo, K<sub>SAT</sub> – Condutividade hidráulica do solo saturado, P<sub>t</sub> – Porosidade total, MO – Matéria orgânica.

A BHCC demonstrou comportamento similar a BHCG na análise da validação cruzada. Em termos médios, o ajuste de todos os atributos foi satisfatório, porém, houve achatamento dos valores máximo e mínimos efeito provocado pelo método geoestatístico aplicado que assume como preceito que a variável espacializada apresenta uma distribuição normal. Apenas o atributo porosidade total é normalmente distribuído entorno da média, fato constatado pelas menores diferenças, proporcionais, entre os dados observados e estimados pelo modelo.

Com base no desempenho satisfatório dos modelos selecionados foi realizado o mapeamento dos atributos físico-hídricos do solo para a BHCC aplicando-se a técnica de krigagem ordinária (FIGURA 16; FIGURA 17).

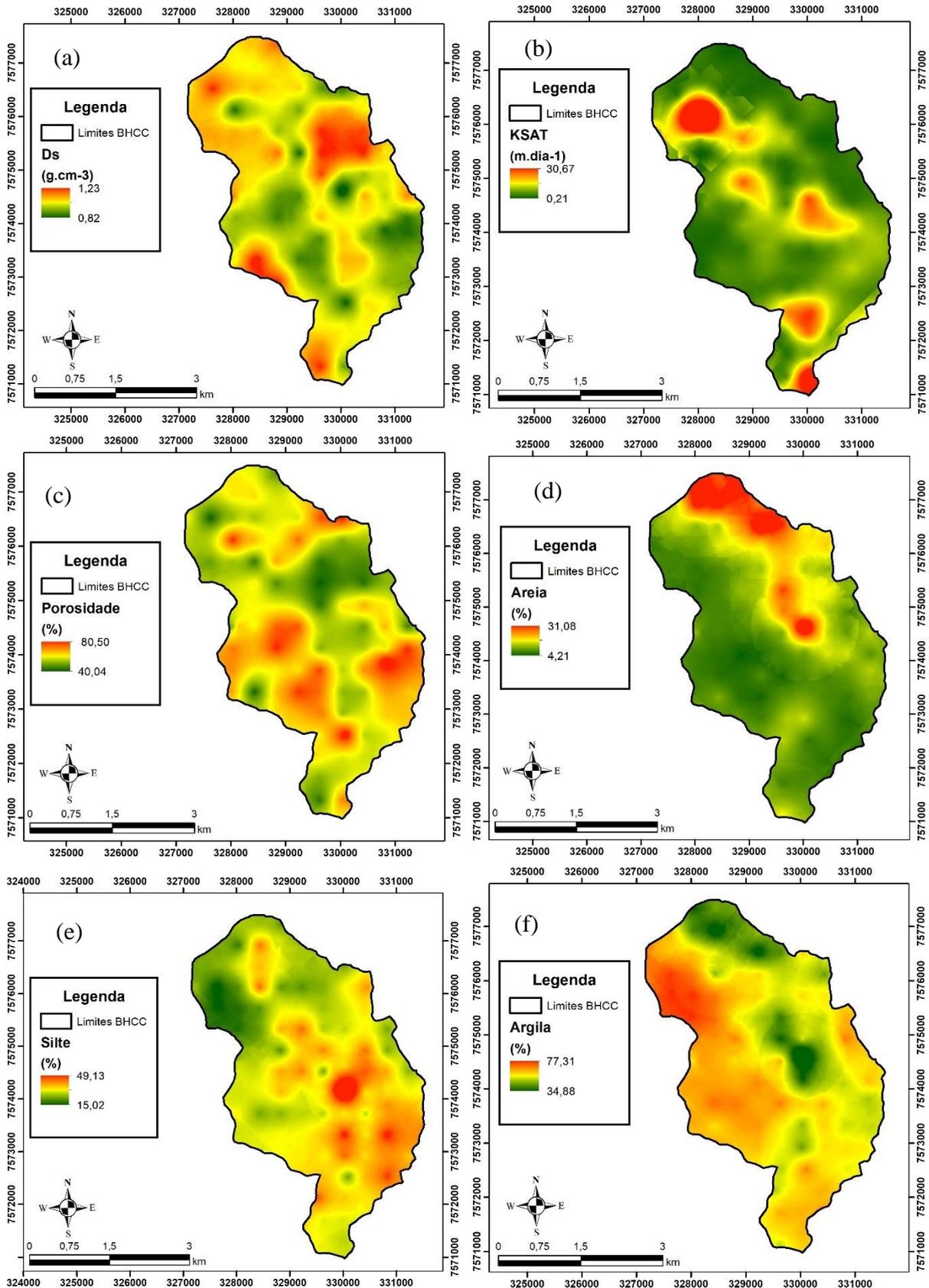


Figura 16 – Distribuição espacial da densidade do solo (a), condutividade hidráulica do solo saturado (b), porosidade (c), areia (d), silte (e) e argila (f) na BHCC.

Fonte: Do autor.

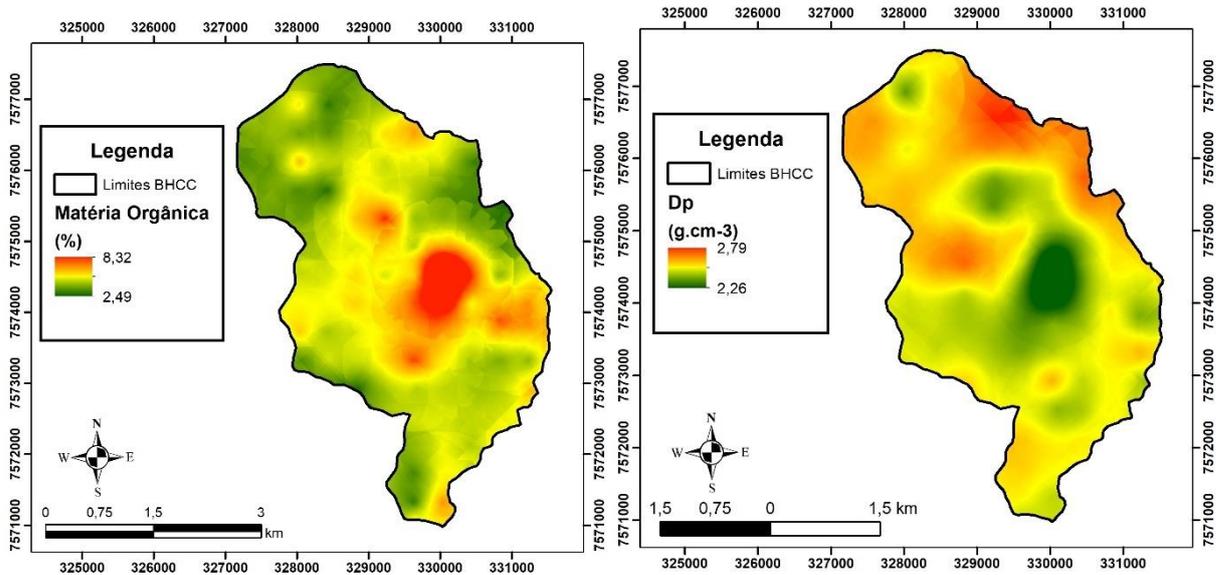


Figura 17 – Distribuição espacial da matéria orgânica e da densidade de partículas.

Fonte: Do autor.

Para a BHCC, os padrões espaciais de variação dos atributos físico-hídricos do solo foram mais difíceis de serem identificados quando comparado a BHCG. Os atributos areia, silte e matéria orgânica proporcionaram a identificação de um padrão claro, com o atributo areia crescendo na direção Sul-Norte, silte na direção Noroeste-Sudeste e matéria orgânica das bordas da bacia para a região central.

Na Tabela 18 são apresentadas as estatísticas básicas dos atributos físico-hídricos do solo obtidos a partir da modelagem espacial em função da classe de uso do solo na BHCG.

Tabela 18 – Estatísticas básicas dos atributos físico-hídricos do solo por classe de uso na BHCG.

<i>Uso</i>		<i>D<sub>s</sub></i>	<i>K<sub>SAT</sub></i>	<i>P<sub>t</sub></i>	<i>MO</i>	<i>Areia</i>	<i>Silte</i>	<i>Argila</i>
		<i>g.cm<sup>-3</sup></i>	<i>m.d<sup>-1</sup></i>			<i>%</i>		
Mata	Média	1,07	3,55	53,12	3,16	12,81	25,53	62,18
	Máximo	1,20	10,91	67,35	5,07	17,49	29,33	69,80
	Mínimo	0,91	0,71	40,67	1,65	8,96	21,48	53,09
	Desvio	0,059	1,59	4,89	0,52	1,72	1,16	2,62
	CV	5,50	44,84	9,20	16,53	13,41	4,52	4,21
C / p	Média	1,09	3,19	51,73	3,02	13,36	25,92	60,90
	Máximo	1,22	11,11	78,51	4,36	19,37	31,29	67,38
	Mínimo	0,94	0,31	37,84	1,26	9,53	22,11	45,70
	Desvio	0,058	1,55	5,95	0,50	1,45	1,30	2,35
	CV	5,34	48,51	11,50	16,64	10,83	5,03	3,87
Reflo.	Média	1,06	2,73	51,73	2,88	12,02	25,14	63,36
	Máximo	1,21	6,31	60,65	3,90	18,65	27,58	68,96
	Mínimo	0,92	1,01	37,32	1,87	9,20	21,36	55,23
	Desvio	0,06	0,77	4,86	0,40	2,15	0,87	2,80
	CV	5,96	28,29	9,39	13,98	17,89	3,46	4,42
Se.	Média	1,12	2,44	48,30	2,15	14,60	27,71	56,61
	Máximo	1,23	6,08	79,00	3,70	21,48	32,92	64,39
	Mínimo	0,96	0,99	35,16	0,80	10,90	22,28	39,93
	Desvio	0,047	0,83	6,55	0,57	2,70	1,85	5,17
	CV	4,19	33,97	13,56	26,43	18,49	6,68	9,14

Fonte: Do autor.

Nota: *D<sub>s</sub>* – Densidade do solo, *K<sub>SAT</sub>* – Condutividade hidráulica do solo saturado, *P<sub>t</sub>* – Porosidade total, *MO* – Matéria orgânica, C / p – Campo/pasto, Reflo. – Reflorestamento, Se – Solo exposto.

Ao analisar os atributos físico-hídricos do solo na BHCG em função dos usos na bacia percebe-se um gradiente qualitativo que vai do ambiente mata nativa (melhor qualidade físico-hídrica do solo) para o ambiente de solo exposto (pior qualidade físico-hídrica do solo) na camada superficial do solo.

O ambiente de mata nativa tem como característica um estado de equilíbrio dinâmico dos processos que ocorrem no sistema solo-planta-atmosfera adquirido com o tempo e, desta maneira, tendem a apresentar uma melhor estruturação do solo e agregação de seus

constituintes sólidos o que impacta de forma positiva nos seus atributos físico-hídricos. Destaca-se aqui uma menor variabilidade para todos os atributos nesta classe de uso expresso pelo coeficiente de variação enquadrado como baixo ( $D_s$ ,  $P_t$ , silte e argila) a médio ( $K_{SAT}$ ,  $MO$  e areia).

Outra observação relevante é sobre o efeito positivo do reflorestamento na qualidade físico-hídrica dos solos na bacia. Uma das estratégias de recuperação de áreas já mineradas na região é a implementação de povoamentos florestais, principalmente com espécies de eucalipto, para recondicionar o solo. Ressalta-se ainda que os povoamentos na bacia são implementados em áreas com declividade média de 15,0 % e a extração se dá, na maioria das áreas, com motosserra, reduzindo assim, o impacto pela ausência da movimentação de maquinário pesado nas áreas.

Em contrapartida, as áreas com solo exposto, sejam pela recente reconstrução da paisagem ou por minas ativas para exploração de bauxita, expressam os impactos negativos associados ao processo de extração mineral. Maior amplitude dos dados para todos os atributos, com destaque para presença de material com maior granulometria expresso pelas maiores quantidades de areia e silte, maior densidade com conseqüente redução da porosidade e menor permeabilidade comprometem o processo de infiltração e recarga nestas áreas podendo potencializar, principalmente, as perdas de solo na bacia, pela erosão hídrica.

Na Tabela 19 são apresentadas as estatísticas básicas dos atributos físico-hídricos do solo obtidos a partir da modelagem espacial em função da classe de uso do solo na BHCC.

Tabela 19 – Estatísticas básicas dos atributos físico-hídricos do solo espacializados por classe de uso na BHCC.

<i>Uso</i>		<i>D<sub>s</sub></i>	<i>D<sub>p</sub></i>	<i>P<sub>t</sub></i>	<i>K<sub>SAT</sub></i>	<i>MO</i>	<i>Areia</i>	<i>Silte</i>	<i>Argila</i>
		<i>g.cm<sup>-3</sup></i>		%	<i>m.d<sup>-1</sup></i>			%	
Mata	Média	1,01	2,58	59,55	4,41	4,00	10,96	26,24	62,89
	Máx	1,19	2,79	80,29	28,57	8,32	31,08	49,13	74,98
	Mínimo	0,82	2,26	42,47	0,41	2,64	4,21	18,19	34,88
	Desvio	0,06	0,09	7,58	4,14	0,79	5,06	3,39	5,84
	CV	6,17	3,50	12,73	93,90	19,69	46,13	12,93	9,29
C / p	Média	1,06	2,61	55,31	3,44	3,68	13,44	24,97	61,43
	Máx	1,22	2,79	78,70	30,67	6,77	28,18	40,61	75,94
	Mínimo	0,88	2,30	40,04	0,32	2,64	4,32	17,08	44,99
	Desvio	0,07	0,07	7,45	3,77	0,49	5,26	2,75	5,20
	CV	6,26	2,82	13,46	109,49	13,30	39,16	11,01	8,46
Reflo.	Média	1,02	2,57	59,31	4,18	4,08	7,96	26,21	65,85
	Máx	1,23	2,79	80,50	19,83	7,99	29,01	48,28	76,65
	Mínimo	0,84	2,26	40,64	0,48	2,49	4,35	16,65	37,39
	Desvio	0,05	0,07	6,08	2,67	0,61	2,83	3,09	4,74
	CV	5,07	2,73	10,26	63,86	14,93	35,59	11,77	7,20
Cult.	Média	1,06	2,63	54,82	5,22	3,41	9,33	22,91	67,88
	Máx	1,20	2,73	78,67	26,97	5,14	23,54	35,51	77,31
	Mínimo	0,90	2,48	40,16	0,21	2,65	4,81	15,02	49,61
	Desvio	0,05	0,04	5,35	4,37	0,37	4,10	4,19	6,23
	CV	4,42	1,44	9,76	83,74	10,86	43,96	18,29	9,17
Se	Média	1,05	2,58	57,21	2,90	3,55	8,94	27,00	64,15
	Máx	1,19	2,73	72,34	6,66	4,25	14,82	34,01	70,79
	Mínimo	0,93	2,53	43,52	0,96	2,67	5,35	22,01	58,89
	Desvio	0,06	0,04	6,53	1,28	0,26	2,64	1,99	2,48
	CV	5,79	1,67	11,41	44,29	7,44	29,54	7,37	3,87

Fonte: Do autor.

Nota: *D<sub>s</sub>* – Densidade do solo, *D<sub>p</sub>* – Densidade de partículas, *K<sub>SAT</sub>* – Condutividade hidráulica do solo saturado, *P<sub>t</sub>* – Porosidade total, *MO* – Matéria orgânica, C / p – Campo/pasto, Reflo. – Reflorestamento, Cult. – Cultura, Se – Solo exposto.

Foi observado na BHCC um comportamento semelhante à BHCG sobre a qualidade físico-hídrica dos atributos do solo em função da classe de uso mata nativa, em que esta apresenta as melhores características do solo. Entretanto, a classe de solo com pior qualidade dos atributos físico-hídricos está associada às áreas de cultivo agrícola seguida pelas áreas com solo exposto.

Apesar de haver uma rotação entre culturas implementadas na BHCC (milho, batata e feijão) não são aplicadas práticas de manejo do solo, principalmente no que tange a conservação da água neste. Em boa parte do tempo o solo fica descoberto, entre os períodos de implementação das culturas, fator este que favorece o selamento superficial reduzindo a capacidade de infiltração, maior perda de água por evaporação e redução da fertilidade.

As áreas de reflorestamento são expressivas na BHCC e apresentam um comportamento dos atributos físico-hídricos do solo similar ao ambiente de mata nativa, reforçando os na manutenção da qualidade do solo comparados ao ambiente nativo. Destaca-se uma diferença no manejo das áreas de reflorestamento entre as bacias estudadas. Na BHCC a colheita é 100 % mecanizada, fato que, em tese, poderia reduzir a qualidade físico-hídrica dos solos, entretanto, devido ao manejo agrícola os efeitos da movimentação de máquinas pesadas reduz a qualidade físico-hídrica dos solos.

Na Tabela 20 são apresentadas as estatísticas associadas aos atributos físico-hídricos do solo em função da classe de solo e classe de uso e ocupação na BHCG.

Tabela 20 – Estatísticas básicas dos atributos físico-hídricos do solo espacializados por classe de solo e uso na BHCG. (continua)

<i>Solo</i>	<i>Uso</i>	<i>D<sub>s</sub></i>	<i>P<sub>t</sub></i>	<i>K<sub>SAT</sub></i>	<i>MO</i>	<i>Areia</i>	<i>Silte</i>	<i>Argila</i>	
		<i>g.cm<sup>-3</sup></i>	<i>%</i>	<i>m.d<sup>-1</sup></i>		<i>%</i>			
LVA	Mata	Média	1,06	52,99	3,21	3,12	12,42	25,45	62,71
		Máximo	1,20	65,03	8,91	5,07	17,45	28,51	69,80
		Mínimo	0,91	41,24	0,71	1,65	8,96	21,48	54,13
		Desvio	0,06	4,60	1,41	0,53	1,72	1,13	2,68
		CV	5,60	8,68	43,95	16,97	13,88	4,44	4,28
	Campo / Pastagem	Média	1,08	52,55	2,88	3,08	13,19	25,61	61,45
		Máximo	1,22	78,51	10,46	4,36	19,01	30,96	67,38
		Mínimo	0,94	37,84	0,31	1,74	9,53	22,67	46,71
		Desvio	0,06	6,73	1,50	0,48	1,56	1,27	2,19
		CV	5,93	12,81	52,25	15,50	11,81	4,94	3,56
	Reflorestamento	Média	1,06	51,45	2,66	2,87	11,79	25,07	63,72
		Máximo	1,21	60,34	6,31	3,90	18,65	27,58	68,96
		Mínimo	0,92	37,32	1,06	1,87	9,20	21,36	55,31
		Desvio	0,07	4,96	0,74	0,43	2,10	0,88	2,7583
		CV	6,21	9,65	27,64	14,98	17,86	3,52	4,33
	Solo exposto	Média	1,12	48,35	2,45	2,14	14,79	27,74	56,30
		Máximo	1,23	79,00	6,08	3,70	21,48	32,92	64,36
		Mínimo	0,96	35,16	0,99	0,80	10,90	22,28	39,93
		Desvio	0,05	7,73	0,90	0,62	2,76	1,99	5,35
		CV	4,63	15,99	36,82	28,93	18,63	7,19	9,51
CX	Mata	Média	1,08	53,05	4,09	3,25	13,32	25,63	61,46
		Máximo	1,20	67,35	10,91	4,54	17,48	29,33	69,16
		Mínimo	0,91	40,26	1,21	1,72	9,07	22,03	53,23
		Desvio	0,06	5,26	1,74	0,51	1,62	1,21	2,36
		CV	5,58	9,91	42,54	15,62	12,17	4,73	3,84
	Campo / Pastagem	Média	1,10	50,47	3,51	2,94	13,59	26,34	60,09
		Máximo	1,21	67,71	11,11	4,34	19,47	31,39	66,84
		Mínimo	0,98	38,45	0,71	1,26	9,60	22,11	45,35
		Desvio	0,04	4,56	1,51	0,54	1,28	1,27	2,42
		CV	4,20	9,04	43,07	18,39	9,43	4,83	4,03
	Reflorestamento	Média	1,07	52,39	2,98	2,87	12,56	25,31	62,49
		Máximo	1,20	60,34	5,16	3,45	18,58	27,57	68,57
		Mínimo	0,98	39,26	1,01	1,90	9,20	23,10	55,23
		Desvio	0,06	4,50	0,82	0,32	2,12	0,81	2,78
		CV	5,24	8,58	27,52	10,98	16,89	3,18	4,45
	Solo exposto	Média	1,13	48,18	2,46	2,19	14,39	27,67	56,95
		Máximo	1,22	59,12	5,01	3,38	20,60	32,32	64,18
		Mínimo	1,04	37,07	0,99	1,03	11,19	22,93	42,20
		Desvio	0,04	4,19	0,72	0,49	2,57	1,62	4,80
		CV	3,40	8,69	29,24	22,42	17,87	5,85	8,43

(conclusão)

<i>Solo</i>	<i>Uso</i>		<i>D<sub>s</sub></i>	<i>P<sub>t</sub></i>	<i>K<sub>SAT</sub></i>	<i>MO</i>	<i>Areia</i>	<i>Silte</i>	<i>Argila</i>
			<i>g.cm<sup>-3</sup></i>	%	<i>m.d<sup>-1</sup></i>		%		
SIV	Mata	Média	1,07	53,97	3,22	2,96	12,88	25,53	62,20
		Máximo	1,17	63,12	7,11	3,72	17,49	28,13	69,41
		Mínimo	0,97	43,42	0,78	1,83	9,08	22,82	54,35
		Desvio	0,05	4,77	1,35	0,45	1,60	1,05	2,61
		CV	4,28	8,83	41,92	15,12	12,46	4,10	4,19
	Campo / Pastagem	Média	1,09	52,10	3,96	2,95	13,55	26,05	60,99
		Máximo	1,15	68,97	7,10	3,94	16,89	28,10	66,66
		Mínimo	0,97	43,34	0,76	1,96	9,67	23,50	54,49
		Desvio	0,04	4,21	1,55	0,35	1,06	0,95	1,78
		CV	3,28	8,09	39,04	11,76	7,85	3,66	2,93
	Reflorestamento	Média	1,09	53,74	2,38	3,28	15,17	25,61	60,59
		Máximo	1,13	60,61	5,55	3,40	16,40	26,53	62,87
		Mínimo	1,06	44,74	1,71	3,11	11,13	24,51	58,56
		Desvio	0,02	4,55	0,96	0,07	1,28	0,51	1,11
		CV	1,81	8,46	40,11	2,13	8,42	1,99	1,83

Fonte: Do autor.

Nota:  $D_s$  – Densidade do solo,  $K_{SAT}$  – Condutividade hidráulica do solo saturado,  $P_t$  – Porosidade total,  $MO$  – Matéria orgânica.

Analisando os dados para os atributos físico-hídricos do solo na BHCG percebe-se que os usos apresentam comportamento similar de seus efeitos para as classes de solo LVA e SIV mantendo um gradiente do uso mata nativa (melhor qualidade) para o uso solo exposto (pior qualidade). Destacam-se os valores das áreas com campo nativo/pastagem e reflorestadas com eucalipto que apresentam valores similares aos observados no ambiente de mata nativa. As áreas de Cambissolo (CX) na BHCG apresentam um comportamento similar ao das outras classes para os usos mata nativa, campo nativo/pastagem e reflorestamento.

As áreas com solo exposto foram observadas somente em Latossolos Vermelho-Amarelo (LVA) e Cambissolos Háplicos (CX). Estas áreas são as mais compactadas, e conseqüentemente apresentam menor porosidade total, e apresentam uma textura mais grosseira quando comparado as outras classes de solo. Destaca-se aqui que, apesar de suas pequenas áreas, esta classe de uso apresenta como resultados dados superestimados devido ao efeito de borda característico do processo de espacialização da informação. Uma alternativa para minimizar tais efeitos seria a coleta de amostras próxima a bordadura destas áreas na tentativa de captar a variabilidade dos atributos nesta faixa de transição.

Na Tabela 21 são apresentadas as estatísticas associadas aos atributos físico-hídricos do solo em função da classe de solo e classe de uso e ocupação na BHCC.

Tabela 21 – Estatísticas básicas dos atributos físico-hídricos do solo por classe de solo e uso na BHCC. (continua)

<i>Solo</i>	<i>Uso</i>		<i>D<sub>s</sub></i>	<i>D<sub>p</sub></i>	<i>P<sub>t</sub></i>	<i>K<sub>SAT</sub></i>	<i>MO</i>	<i>Areia</i>	<i>Silte</i>	<i>Argila</i>
			<i>g.cm<sup>-3</sup></i>		%	<i>m.d<sup>-1</sup></i>		%		
	Mata	Média	1,02	2,60	59,66	3,71	3,86	11,94	25,74	62,31
		Máximo	1,19	2,79	80,20	24,15	6,83	27,18	46,98	74,69
		Mínimo	0,89	2,27	47,49	0,41	2,64	4,21	18,29	46,31
		Desvio	0,06	0,07	7,81	3,44	0,56	5,51	2,90	5,33
		CV	6,26	2,80	13,09	92,68	14,60	46,11	11,27	8,56
	C / p	Média	1,07	2,62	54,48	3,10	3,66	13,97	24,87	60,95
		Máximo	1,21	2,79	77,08	27,38	6,24	26,77	35,47	75,81
		Mínimo	0,89	2,35	40,04	0,33	2,64	4,32	17,09	45,89
		Desvio	0,06	0,07	7,05	3,01	0,44	5,19	2,62	4,78
		CV	6,02	2,80	12,94	96,94	11,90	37,15	10,53	7,84
LVA	Reflo.	Média	1,02	2,57	59,10	4,12	4,04	7,71	26,18	66,11
		Máximo	1,23	2,79	80,50	19,83	6,76	24,80	44,93	76,65
		Mínimo	0,89	2,27	40,64	0,48	2,57	4,35	16,65	46,53
		Desvio	0,05	0,07	5,98	2,64	0,56	2,29	3,17	4,34
		CV	5,10	2,56	10,13	63,96	13,82	29,71	12,13	6,56
	Cult.	Média	1,06	2,62	54,99	4,85	3,45	9,68	23,53	66,96
		Máximo	1,20	2,73	78,88	24,15	5,11	23,35	35,51	77,31
		Mínimo	0,90	2,48	40,16	0,52	2,73	4,91	15,58	49,69
		Desvio	0,05	0,04	5,35	3,78	0,38	4,30	4,25	6,16
		CV	4,36	1,49	9,73	77,84	10,88	44,39	18,08	9,20
Se	Média	1,05	2,58	56,91	2,96	3,57	8,97	27,15	64,00	
	Máximo	1,19	2,73	72,34	6,66	4,25	14,82	34,01	70,79	
	Mínimo	0,93	2,53	43,52	0,96	2,69	5,35	22,10	59,13	
	Desvio	0,06	0,05	6,26	1,26	0,27	2,65	2,11	2,37	
	CV	5,84	1,78	10,99	42,55	7,61	29,54	7,77	3,70	
SIV	Mata	Média	1,01	2,56	59,30	5,37	4,17	9,67	26,59	63,87
		Máximo	1,19	2,76	80,29	28,57	8,32	31,08	49,13	74,98
		Mínimo	0,82	2,26	42,68	0,50	2,74	4,25	18,14	34,88
		Desvio	0,06	0,10	7,04	4,79	0,93	4,49	3,80	6,39
		CV	5,85	3,79	11,87	89,20	22,38	46,47	14,31	10,01
	C / p	Média	1,02	2,59	59,07	6,08	3,87	9,84	25,60	64,76
		Máximo	1,19	2,75	78,70	30,67	6,77	23,96	40,61	75,94
		Mínimo	0,88	2,30	41,90	0,61	2,71	4,36	17,09	44,99
		Desvio	0,071	0,07	8,12	5,99	0,64	3,57	3,46	4,94
		CV	6,87	2,81	13,75	98,44	16,56	36,24	13,51	7,64

(conclusão)

Solo	Uso		$D_s$	$D_p$	$P_t$	$K_{SAT}$	$MO$	$Areia$	$Silte$	$Argila$
			$g.cm^{-3}$		%	$m.d^{-1}$		%		
SIV	Reflo.	Média	1,00	2,56	59,85	4,54	4,26	8,46	26,25	65,44
		Máximo	1,14	2,73	78,65	12,69	7,99	29,01	48,49	76,55
		Mínimo	0,84	2,26	46,60	0,49	2,76	4,38	17,05	37,39
		Desvio	0,04	0,09	6,24	2,91	0,77	3,91	2,86	6,06
		CV	4,52	3,38	10,43	64,14	18,14	46,22	10,91	9,26
	Cult.	Média	1,07	2,63	54,17	6,16	3,33	8,48	21,21	70,28
		Máximo	1,18	2,72	70,94	26,97	5,14	23,55	31,77	77,17
		Mínimo	0,92	2,50	43,66	0,21	2,65	4,81	15,02	49,61
		Desvio	0,05	0,03	5,18	5,44	0,33	3,44	3,40	5,70
		CV	4,30	1,21	9,56	88,29	9,96	40,58	16,03	8,11
	Se	Média	1,01	2,58	62,36	4,36	3,56	8,41	26,73	64,57
		Máximo	1,06	2,59	68,08	6,42	3,91	9,63	28,57	66,69
		Mínimo	0,95	2,55	57,27	1,87	3,37	6,23	26,31	62,96
		Desvio	0,02	0,01	1,27	1,17	0,10	0,69	0,25	1,02
		CV	1,84	0,28	2,04	26,93	2,76	8,21	0,93	1,59
	Mata	Média	1,01	2,65	60,43	2,56	3,75	13,31	26,50	60,44
		Máximo	1,18	2,77	78,47	12,24	4,99	27,63	30,41	69,40
		Mínimo	0,90	2,49	43,09	0,55	2,70	6,20	19,64	46,66
		Desvio	0,07	0,06	8,96	1,44	0,54	4,06	2,76	3,54
		CV	6,77	2,40	14,83	56,31	14,47	30,50	10,42	5,86
C / p	Média	1,08	2,62	54,48	2,05	3,56	15,18	24,67	59,86	
	Máximo	1,21	2,79	72,89	7,28	4,98	28,18	33,53	69,05	
	Mínimo	0,91	2,48	41,57	0,32	2,67	5,51	20,05	45,51	
	Desvio	0,05	0,07	6,95	1,49	0,44	5,31	2,28	5,43	
	CV	5,04	2,71	12,77	72,73	12,43	34,96	9,25	9,07	
CX	Reflo.	Média	1,01	2,59	60,64	3,69	3,96	9,98	26,50	63,26
		Máximo	1,19	2,78	73,61	12,39	5,26	24,87	32,55	70,61
		Mínimo	0,89	2,42	42,23	0,49	2,61	5,29	20,80	46,95
		Desvio	0,06	0,06	6,75	1,94	0,49	4,35	2,52	4,05
		CV	5,66	2,47	11,13	52,54	12,37	43,58	9,49	6,41
Cult.	Média	1,02	2,60	58,77	3,51	3,60	10,37	27,42	62,63	
	Máximo	1,14	2,73	73,59	16,05	4,79	21,65	37,11	68,59	
	Mínimo	0,92	2,48	46,81	0,61	2,85	5,58	20,54	51,14	
	Desvio	0,05	0,05	5,72	2,25	0,50	4,50	3,35	3,95	
	CV	4,87	2,05	9,73	64,09	14,00	43,40	12,23	6,30	
Se	Média	1,08	2,59	56,38	1,89	3,46	9,15	26,35	64,70	
	Máximo	1,19	2,71	66,57	3,18	4,07	14,33	32,62	68,67	
	Mínimo	1,00	2,55	44,00	1,01	2,85	5,85	27,79	58,89	
	Desvio	0,06	0,04	8,31	0,44	0,25	3,12	1,59	3,35	
	CV	5,42	1,42	14,73	23,51	7,32	34,11	6,04	5,18	

Fonte: Do autor.

Nota:  $D_s$  – Densidade do solo,  $D_p$  – Densidade de partículas,  $K_{SAT}$  – Condutividade hidráulica do solo saturado,

$P_t$  – Porosidade total, MO – Matéria orgânica, C / p – Campo/pasto, Reflo. – Reflorestamento, Cult. – Cultura, Se – Solo exposto.

Na BHCC as interações entre as classes de solo e classes de uso são mais homogêneas quando comparadas as mesmas interações na BHCG. Destaque para os usos associados à classe de Solos Indiscriminados de Várzea (SIV) com menor amplitude dos valores e, em termos médios, melhor qualidade físico-hídrica do solo.

O gradiente observado analisando somente as classes de uso modifica-se nas interações classes de uso e classes de solo na BHCC com o ambiente de reflorestamento apresentando melhor desempenho qualitativo que o ambiente de mata nativa.

Os efeitos de borda nas áreas de solo exposto ficam mais explícitos na BHCC em relação à BHCG. Uma justificativa para esta condição deve ser a grade regular implementada (400 metros) que forneceu poucos pontos, proporcionalmente, amostrados nas áreas de solo exposto, potencializando o efeito de borda dos usos vizinhos.

#### 4.2 FATOR DE ERODIBILIDADE DO SOLO (K)

A Tabela 22 apresenta as estatísticas básicas dos dados de erodibilidade do Cambissolo Háptico, gerados para a BHCG, a partir da equação de Denardin (1990). Importante ressaltar que a erodibilidade só foi estimada para os pontos do refinamento amostral, pois, para os pontos amostrados na primeira campanha, a análise de textura não contemplou a divisão da areia nas subclasses areia grossa e areia fina, o que impossibilitou a utilização do modelo de estimativa da erodibilidade.

Para o método 1 ( $K_1$ ) não há nenhuma variação, pois, o valor foi obtido de literatura, sendo, portanto, constante para uma mesma classe de solo. Já os métodos  $K_4$ ,  $K_5$  e  $K_7$  apresentaram os maiores coeficientes de variação, que se explica porque incluem, no processo de cálculo, a condutividade hidráulica do solo saturado, atributo que em geral, apresenta elevada variabilidade espacial. Apesar disto, os valores apresentados os enquadram como de média variabilidade segundo classificação de Warrick e Nielsen (1980). No caso do  $K_4$  o coeficiente é menor, pois os pontos de amostragem foram associados à classe de solo em que estavam alocados na área, e, classificados segundo os Grupos Hidrológicos dos Solos de Minas Gerais, em acordo com SILVA (2014), para estimativa do código de permeabilidade. Para o Cambissolo Háptico, no método  $K_4$ , apesar de cada ponto possuir seu próprio valor do

código de permeabilidade, sendo a referência para o mesmo, o valor da condutividade hidráulica do solo saturado no referido ponto, estas variaram somente entre 3,51 a 4,75, conforme a Tabela 9, o que reduziu a variabilidade do fator K deste solo.

Tabela 22 – Estatísticas síntese dos dados estimados por diferentes métodos para a erodibilidade do solo (K) da BHCG, nos Cambissolos Háplicos.

<i>Método</i>	<i>Média</i>	<i>DesvPad</i>	<i>CV (%)</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Q1</i>	<i>Mediana</i>	<i>Q3</i>	<i>Máximo</i>
K <sub>1</sub>	0,0355	0	0	0,0355	0,0355	0,0355	0,0355	0,0355
K <sub>2</sub>	0,0360	0,0031	8,5	0,0311	0,0341	0,0351	0,0384	0,0410
K <sub>3</sub>	0,0290	0,0030	10,2	0,0253	0,0268	0,0284	0,0315	0,0341
K <sub>4</sub>	0,0292	0,0043	14,8	0,0199	0,0275	0,0283	0,0323	0,0350
K <sub>5</sub>	0,0186	0,0087	46,9	0,0087	0,0117	0,0171	0,0234	0,0372
K <sub>6</sub>	0,0282	0,0031	10,9	0,0233	0,0263	0,0273	0,0305	0,0332
K <sub>7</sub>	0,0180	0,0065	36,2	0,0114	0,0144	0,0154	0,0209	0,0344

Fonte: Do autor.

Nota: Erodibilidades em t.h.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>.

O método K<sub>7</sub> possui menor variação do que o método K<sub>5</sub>, porque os pontos amostrados foram enquadrados nos Grupos Hidrológicos de Solo, segundo os valores de condutividade hidráulica do solo saturado e a taxa mínima de infiltração, apresentados na Tabela 11, desconsiderando, portanto, a classe de solo em que o ponto se localizava. Portanto, dependendo da condutividade mensurada, o Cambissolo Háplico poderia se enquadrar como solo de Grupos Hidrológicos de Solo, distintos ao que é classificado, conforme Silva (2014), pois ao atribuir o código de permeabilidade, pode-se estar incorporando o efeito das características que o uso e ocupação conferem a condutividade hidráulica do solo saturado. Já o método K<sub>5</sub>, como depende da condutividade hidráulica do solo saturado e a sua correlação de classe com os códigos de permeabilidade, sendo assim, apresentou maior variabilidade.

Para o método K<sub>2</sub>, a sua baixa variabilidade se deu, devido aos solos da região onde se insere a bacia, se apresentarem em maioria, como solos muito argilosos, argilosos e argilo-siltosos, recebendo assim, em quase a sua totalidade o valor 6 do código de permeabilidade de Wischmeier *et al.* (1971).

É válido ressaltar, entretanto, que a variação da erodibilidade, não ocorre somente devido ao código de permeabilidade, visto que unidades texturais e a matéria orgânica, também são variáveis de entrada do modelo de Denardin (1990). O que pode explicar a não

semelhança dos coeficientes de variação entre os Cambissolos Háplicos e os Latossolos Vermelho-Amarelos. A Tabela 23 descreve as estatísticas básicas das sete erodibilidades do LVA, para a BHCG.

Tabela 23 – Estatísticas síntese dos dados estimados por diferentes métodos para a erodibilidade do solo (K) da BHCG, nos Latossolos Vermelho-Amarelos.

<i>Método</i>	<i>Média</i>	<i>DesvPad</i>	<i>CV (%)</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Q1</i>	<i>Mediana</i>	<i>Q3</i>	<i>Máximo</i>
K <sub>1</sub>	0,010	0	0	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
K <sub>2</sub>	0,035	0,002	6,0	0,032	0,033	0,034	0,036	0,040
K <sub>3</sub>	0,016	0,002	14,3	0,012	0,015	0,016	0,018	0,022
K <sub>4</sub>	0,017	0,002	10,8	0,015	0,016	0,017	0,018	0,021
K <sub>5</sub>	0,021	0,008	35,7	0,011	0,015	0,019	0,026	0,035
K <sub>6</sub>	0,015	0,002	14,0	0,012	0,014	0,015	0,016	0,020
K <sub>7</sub>	0,018	0,006	34,7	0,012	0,014	0,016	0,020	0,032

Fonte: Do autor.

Nota: Erodibilidades em t.h.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>.

Como esperado os métodos K<sub>5</sub> e K<sub>7</sub> apresentaram as maiores variações e o K<sub>2</sub> a menor variação. Contrariamente ao Cambissolo Háplico o Latossolo Vermelho-Amarelo da BHCG, apresentou, nos métodos K<sub>3</sub> e K<sub>6</sub>, coeficientes de variabilidade de 14,3 e 14,0 %, que são maiores do que no Cambissolo.

O conjunto de dados de erodibilidade para a comparação dos sete métodos nas classes de solo, não apresentou normalidade, requerendo então para essas comparações, a análise ANOVA para dados que não apresentam igualdade de variâncias. Somente os métodos K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub> e K<sub>5</sub> apresentaram dados normais para a análise de comparação das médias da erodibilidade do Cambissolo Háplico e do Latossolo Vermelho-Amarelo. A Tabela 24 apresenta as comparações das médias.

Tabela 24 – Comparação das médias entre os métodos de estimativa da erodibilidade para a BHCG.

<i>Estimativa da erodibilidade</i>	<i>CX</i>	<i>Estimativa da erodibilidade</i>	<i>LVA</i>
K <sub>2</sub>	0,0360 <sup>a</sup>	K <sub>2</sub>	0,035 <sup>a</sup>
K <sub>1</sub>	0,0355 <sup>a</sup>	K <sub>5</sub>	0,021 <sup>b</sup>
K <sub>4</sub>	0,0292 <sup>b</sup>	K <sub>7</sub>	0,018 <sup>bc</sup>
K <sub>3</sub>	0,0290 <sup>b</sup>	K <sub>4</sub>	0,017 <sup>bc</sup>
K <sub>6</sub>	0,0282 <sup>bc</sup>	K <sub>3</sub>	0,016 <sup>bc</sup>
K <sub>5</sub>	0,0186 <sup>cd</sup>	K <sub>6</sub>	0,015 <sup>c</sup>
K <sub>7</sub>	0,0180 <sup>d</sup>	K <sub>1</sub>	0,010 <sup>d</sup>

Fonte: Do autor.

Nota: Erodibilidades em t.h.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>.

Pela análise das informações da Tabela 22 fica evidenciada a semelhança dos métodos K<sub>3</sub>, K<sub>4</sub> e K<sub>6</sub> tanto para o CX, quanto para o LVA. Isso ocorre, pois nesses três métodos os solos são enquadrados em Grupos Hidrológicos de Solo, e independente da variação pela atribuição de valores únicos, no caso de K<sub>3</sub> e K<sub>4</sub>, e a utilização do valor médio das classes, previstas na Tabela 9, os valores do código de permeabilidade sempre vão variar nas referidas classes.

Os métodos K<sub>5</sub> e K<sub>7</sub> também apresentam semelhança estatística, o que pode ser explicado pelo fato dos dois métodos utilizarem a condutividade hidráulica do solo saturado na valoração do código de permeabilidade, e excluírem as classes de solo. O que reflete na igualdade estatística da erodibilidade do CX e do LVA.

O método K<sub>2</sub>, se difere dos demais e apresenta igualdade significativa entre o CX e LVA. Isso ocorre por esse método se basear na textura para inferir o código de permeabilidade. O que não é adequado para os solos brasileiros, visto que estes apresentam alto grau de intemperismo, que configura a estrutura do solo, a qual é atributo mais relevante no que diz respeito a infiltração de água no solo (MELLO; SILVA, 2013), conseqüentemente aos processos erosivos.

Para a BHCG, os Solos Indiscriminados de Várzea não foram utilizados nas análises, pois nenhum dos pontos amostrados no refinamento da grade de amostragem estavam em ocorrência de SIV.

A Tabela 25 apresenta as estatísticas básicas das erodibilidades obtidas pelos sete métodos para a classe dos Cambissolos Háplicos da BHCC.

Tabela 25 – Estatísticas síntese dos dados estimados por diferentes métodos para a erodibilidade do solo (K) da BHCC, nos Cambissolos Háplicos.

<i>Método</i>	<i>Média</i>	<i>DesvPad</i>	<i>CV (%)</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Q1</i>	<i>Mediana</i>	<i>Q3</i>	<i>Máximo</i>
K <sub>1</sub>	0,0355	0	0	0,0355	0,0355	0,0355	0,0355	0,0355
K <sub>2</sub>	0,0343	0,0036	10,4	0,0304	0,0313	0,0331	0,0378	0,0404
K <sub>3</sub>	0,0266	0,0052	19,5	0,0194	0,0232	0,0257	0,0291	0,0374
K <sub>4</sub>	0,0276	0,0054	19,6	0,0213	0,0229	0,0264	0,0307	0,0388
K <sub>5</sub>	0,0178	0,0071	39,6	0,0081	0,0116	0,0190	0,0218	0,0314
K <sub>6</sub>	0,0269	0,0047	17,4	0,0226	0,0234	0,0252	0,0300	0,0370
K <sub>7</sub>	0,0156	0,0046	29,5	0,0107	0,0118	0,0143	0,0181	0,0251

Fonte: Do autor.

Nota: Erodibilidades em t.h.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>.

Todos os métodos exceto o K<sub>2</sub> apresentaram médias variabilidades. Apesar disso, os métodos que apresentaram maiores variabilidades foram o K<sub>5</sub> e K<sub>7</sub>, por serem métodos que utilizam somente a condutividade hidráulica sem a classificação dos pontos em classes de solo. O que explica o aumento da variabilidade em relação a BHCG, Tabela 20, é que os atributos físico-hídricos, na BHCC, possuem maiores variabilidades do que na BHCG. Isso também pode ser observado para os LVA da BHCC, que mantém o padrão dos métodos K<sub>5</sub> e K<sub>7</sub> serem os de maior variabilidade. A Tabela 26 mostra as estatísticas básicas para as erodibilidades dos Latossolos da BHCC.

Tabela 26 – Estatísticas síntese dos dados estimados por diferentes métodos para a erodibilidade do solo (K) da BHCC, nos Latossolos Vermelho-Amarelos.

(continua)

<i>Método</i>	<i>Média</i>	<i>DesvPad</i>	<i>CV (%)</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Q1</i>	<i>Mediana</i>	<i>Q3</i>	<i>Máximo</i>
K <sub>1</sub>	0,010	0	0	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
K <sub>2</sub>	0,034	0,003	8,5	0,029	0,032	0,033	0,035	0,041
K <sub>3</sub>	0,014	0,003	21,0	0,009	0,012	0,014	0,017	0,021
K <sub>4</sub>	0,016	0,003	18,2	0,010	0,015	0,016	0,018	0,024

(conclusão)

<i>Método</i>	<i>Média</i>	<i>DesvPad</i>	<i>CV (%)</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Q1</i>	<i>Mediana</i>	<i>Q3</i>	<i>Máximo</i>
K <sub>5</sub>	0,019	0,008	41,0	0,007	0,013	0,017	0,024	0,040
K <sub>6</sub>	0,014	0,003	20,4	0,009	0,012	0,013	0,016	0,021
K <sub>7</sub>	0,016	0,006	35,9	0,010	0,013	0,015	0,018	0,038

Fonte: Do autor.

Nota: Erodibilidades em t.h.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>.

Em vários pontos de amostragem, na BHCC, foram feitas coletas na classe dos Solos Indiscriminados de Várzea, por isso as análises estatísticas para esta bacia contemplam este tipo de solo. Os métodos K<sub>5</sub> e K<sub>7</sub> apresentaram as maiores variações, alto grau de variabilidade segundo a classificação de Warrick e Nielsen (1980), e, todos os outros métodos, apresentaram média variabilidade.

O aumento da variabilidade do fator K estimada para os Solos Indiscriminados de Várzea pode ser explicado, pois são solos alóctones, ou seja, se formam em função da origem diversificada de materiais, do ambiente deposicional e do fluxo de transporte de sedimentos, que são muito heterogêneos em sua composição mineralógica e granulométrica, atribuindo assim grande variabilidade dos atributos físico-hídricos e químicos desses solos (SANTOS *et al.*, 2012; PINTO *et al.*, 2004; REHFELDT *et al.*, 1992). A Tabela 27 apresenta as estatísticas básicas para os sete métodos de estimativa da erodibilidade dos SIV da BHCC.

Tabela 27 – Estatísticas síntese dos dados estimados por diferentes métodos para a erodibilidade do solo (K) da BHCC, nos Solos Indiscriminados de Várzea.

<i>Variável</i>	<i>Média</i>	<i>DesvPad</i>	<i>CV (%)</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Q1</i>	<i>Mediana</i>	<i>Q3</i>	<i>Máximo</i>
K <sub>1</sub>	0,042	0	0	0,042	0,042	0,042	0,042	0,042
K <sub>2</sub>	0,035	0,010	26,9	0,028	0,031	0,032	0,037	0,077
K <sub>3</sub>	0,022	0,012	54,6	0,013	0,017	0,019	0,022	0,078
K <sub>4</sub>	0,024	0,012	51,6	0,015	0,019	0,021	0,025	0,082
K <sub>5</sub>	0,019	0,012	65,6	0,006	0,011	0,018	0,024	0,072
K <sub>6</sub>	0,022	0,013	58,7	0,014	0,016	0,018	0,022	0,080
K <sub>7</sub>	0,017	0,013	74,6	0,009	0,012	0,013	0,017	0,075

Fonte: Do autor.

Nota: Erodibilidades em t.h.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>.

Do conjunto de dados para a comparação estatística das médias entre as erodibilidades dos diferentes métodos em cada grupo de solo, somente para o Cambissolo Háptico apresentou normalidade, sendo efetuados os testes paramétricos para a comparação das médias. Para o Latossolo Vermelho-Amarelo e Solos Indiscriminados de Várzea os conjuntos de dados não apresentaram normalidade, assim como todas as comparações da média das erodibilidades entre os solos em cada método de estimativa, sendo necessário efetuar os testes para variâncias diferentes. A Tabela 28 apresenta as comparações estatísticas efetuadas para cada método de estimativa e entre os solos da BHCC.

Tabela 28 – Comparação das médias entre os métodos de estimativa da erodibilidade e comparação das médias entre os solos para a BHCC.

<i>Estimativa de erodibilidade</i>	<i>CX</i>	<i>Estimativa de erodibilidade</i>	<i>LVA</i>	<i>Estimativa de erodibilidade</i>	<i>SIV</i>
K <sub>1</sub>	0,0355 <sup>a</sup>	K <sub>2</sub>	0,034 <sup>a</sup>	K <sub>1</sub>	0,042 <sup>a</sup>
K <sub>2</sub>	0,0343 <sup>ab</sup>	K <sub>5</sub>	0,019 <sup>b</sup>	K <sub>2</sub>	0,035 <sup>b</sup>
K <sub>4</sub>	0,0276 <sup>bc</sup>	K <sub>7</sub>	0,016 <sup>bc</sup>	K <sub>4</sub>	0,024 <sup>c</sup>
K <sub>6</sub>	0,0269 <sup>c</sup>	K <sub>4</sub>	0,016 <sup>bc</sup>	K <sub>3</sub>	0,022 <sup>c</sup>
K <sub>3</sub>	0,0266 <sup>c</sup>	K <sub>3</sub>	0,014 <sup>c</sup>	K <sub>6</sub>	0,022 <sup>c</sup>
K <sub>5</sub>	0,0178 <sup>d</sup>	K <sub>6</sub>	0,014 <sup>c</sup>	K <sub>5</sub>	0,019 <sup>c</sup>
K <sub>7</sub>	0,0156 <sup>d</sup>	K <sub>1</sub>	0,010 <sup>d</sup>	K <sub>7</sub>	0,017 <sup>c</sup>

Fonte: Do autor.

Nota: Erodibilidades em t.h.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>.

Tanto para o CX, quanto para o LVA os métodos K<sub>3</sub>, K<sub>4</sub> e K<sub>6</sub> são iguais estatisticamente e os métodos K<sub>5</sub> e K<sub>7</sub> também apresentam semelhança estatística. O que segue os resultados das análises feitas para a BHCG, indicando que a estimativa da erodibilidade pelos métodos propostos tem o mesmo comportamento, independente da diferença da variabilidade dos atributos de uma bacia para outra. Assim como a semelhança estatística entre as erodibilidades das classes de solo dos métodos K<sub>5</sub> e K<sub>7</sub>. A Tabela 29 apresenta a comparação da erodibilidade de cada método em função do solo entre as bacias de estudo.

Tabela 29 – Comparação das médias das erodibilidades entre a BHCG e BHCC.

<i>Métodos de estimativa da erodibilidade</i>	<i>CX</i>		<i>LVA</i>	
	<i>BHCG</i>	<i>BHCC</i>	<i>BHCG</i>	<i>BHCC</i>
K <sub>1</sub>	0,0355 (a)	0,0355 (a)	0,010 (h)	0,010 (h)
K <sub>2</sub>	0,0360 (b)	0,0343 (b)	0,035 (i)	0,034 (i)
K <sub>3</sub>	0,0290 (c)	0,0266 (c)	0,016 (j)	0,014 (k)
K <sub>4</sub>	0,0292 (d)	0,0276 (d)	0,017 (l)	0,016 (l)
K <sub>5</sub>	0,0186 (e)	0,0178 (e)	0,021 (m)	0,019 (m)
K <sub>6</sub>	0,0282 (f)	0,0269 (f)	0,015 (n)	0,014 (n)
K <sub>7</sub>	0,0180 (g)	0,0156 (g)	0,018 (o)	0,016 (o)

Fonte: Do autor.

Nota: Erodibilidades em t.h.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>.

Para o Cambissolo Háplico, somente a comparação das erodibilidades entre as bacias no método K<sub>7</sub> que não apresentou normalidade. Nos Latossolos, somente a comparação das erodibilidades entre as bacias, no método K<sub>3</sub>, que apresentou normalidade, além de não oferecer igualdade estatística significativa entre a estimativa da erodibilidade na BHCG e BHCC.

Essa semelhança estatística é interessante, visto que, mesmo para dois ambientes distintos, a erodibilidade tende a ser igual estatisticamente na mesma classe de solo, apesar de existir uma diferença numérica, que pode ser explicada pela variabilidade espacial dos atributos do solo.

Considerando-se o contido em bibliografia sobre as erodibilidades estimadas a partir de métodos diretos e indiretos, observa-se que os valores obtidos pelos sete métodos, não se distanciam muito dos valores apresentados na Tabela 30.

Tabela 30 – Erodibilidades levantadas na bibliografia.

<i>Solo</i>	<i>Erodibilidade</i>	<i>Método</i>	<i>Referência</i>
CX	0,0355	Direto	Silva et al. (2009)
CX	0,036	Direto	Silva et al. (2001)
CX	0,039	Indireto	Farinasso et al (2006)
CX	0,06	---	Chaves (1994)
CX	0,0237	Indireto	Bloise et al (2001)
CX	0,0158	Indireto	Bloise et al (2001)
CX	0,0263	Indireto	Bloise et al (2001)
CX	0,021	Indireto	Bloise et al (2001)
LVA	0,01	Direto	Silva et al. (1994)
LVA	0,0002	Direto	Silva et al. (2014)
LVA	0,015	Indireto	Silva et al. (2009)
LVA	0,02	---	Chaves (1994)
LVA	0,0171	Indireto	Bloise et al (2001)
LVA	0,0237	Indireto	Bloise et al (2001)
LVA	0,0144	Indireto	Bloise et al (2001)
LVA	0,0118	Indireto	Bloise et al (2001)
LVA	0,032	Indireto	Silva et al (2004)
SIV	0,025	Indireto	Bloise et al (2001)
SIV	0,0158	Indireto	Bloise et al (2001)
SIV	0,0273	Indireto	Bloise et al (2001)
SIV	0,0395	Indireto	Bloise et al (2001)
SIV	0,0355	Indireto	Bloise et al (2001)
SIV	0,042	Indireto	Silva et al (2004)

Fonte: Do autor.

Nota: Erodibilidades em t.h.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>.

Analisando a Tabela 30, outro fato que se observa é que os valores variam consideravelmente, pois como a erodibilidade é um fator intrínseco de cada solo, esses valores mudam de acordo com os atributos físico-hídricos, químicos e a classificação que o solo apresenta (ARAÚJO *et al.*, 2011). Ou seja, como a heterogeneidade espacial é uma característica dos solos e as diversas paisagens sofrem diferentes processos pedogenéticos, cada ambiente terá a sua própria erodibilidade.

A erodibilidade ainda apresenta valores diferentes em um mesmo ambiente, por exemplo, no trabalho de Silva *et al.* (2009), em uma mesma parcela, a erodibilidade apresentou um coeficiente de variação de 69%, alto grau de variabilidade, dentro de 5 anos de medição direta. Mesmo que o método de estimativa indireta não seja tão preciso para a modelagem da perda de solo com informações restritas sobre a área, é recomendado que se utilizem estes valores obtidos por esses métodos. Apesar de serem empíricos, os valores tem relação de base física com os processos erosivos, pois, refletem a integração das características que interferem na susceptibilidade a erosão (LIMA *et al.*, 2007).

Observa-se que para os solos indiscriminados de várzea os valores encontrados na bibliografia advêm de métodos indiretos. Geralmente, os pesquisadores não fazem trabalhos de perda de solo em áreas de várzea, pois são ambientes deposicionais e o processo erosivo pode ser considerado nulo (ARAGÃO *et al.*, 2011). Pesquisas realizadas sobre o tema consideraram o fator de erodibilidade nulo, como por exemplo, nos trabalhos de Tavares *et al.* (2017), Mendes Júnior (2017), Ayer *et al.* (2015) e Silva *et al.* (2014).

Geralmente a erodibilidade dos Cambissolos é maior, por ser este, um solo altamente susceptível a erosão, devido a sua maior concentração de caulinita, menores teores de óxidos de ferro, e, a sua estrutura em forma de blocos, favorece a uma permeabilidade menor (SILVA *et al.*, 2005). Além de ser um solo raso, que combinado a alta umidade antecedente favorece um intenso processo erosivo (SILVA *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2009).

Geralmente os Latossolos apresentam menores valores de erodibilidade, por apresentarem um alto grau de intemperismo, elevados teores de óxidos de ferro e alumínio, que conferem a classe, boa estrutura. Mas os Latossolos Vermelho-Amarelos possuem menores teores de óxidos de ferro e maior relação caulinita-gibbsita, configurando a estrutura em blocos angulares, sub-angulares, ocasionando maior coerência entre as partículas e agregados, o que resulta em uma menor permeabilidade, e conseqüentemente, maior escoamento superficial, quando comparados a outros Latossolos (LIMA, 1987; RESENDE, 1985).

Para a espacialização da erodibilidade foram escolhidos os métodos K<sub>1</sub>, K<sub>4</sub> e K<sub>7</sub>, pois K<sub>1</sub> representa os valores de referência bibliográfica, K<sub>4</sub> a classificação dos solos das bacias em Grupo Hidrológicos de Solo e K<sub>7</sub> a classificação a partir da condutividade hidráulica do solo saturado. Nessa escolha foi levada em consideração a igualdade estatística entre os métodos K<sub>3</sub>, K<sub>4</sub> e K<sub>6</sub> e a igualdade entre K<sub>5</sub> e K<sub>7</sub>. O método K<sub>3</sub> foi excluído pois apresentou valores diferentes de erodibilidade nos Latossolos entre as duas bacias de estudo, Tabela 29, o K<sub>7</sub> foi escolhido ao invés do K<sub>5</sub> pois os valores de erodibilidade dos Latossolos para este método são

mais coerente com as erodibilidades das bibliográficas e o  $K_6$  foi excluído pelo fato de não representar individualmente cada ponto com um valor de permeabilidade. Para a espacialização da erodibilidade na Bacia do Córrego Gigante considerou-se a média das erodibilidades das classes de solo como representativas para os solos da bacia, para os métodos  $K_4$  e  $K_7$  a erodibilidade nos SIV foi considerada nula. A Bacia do Córrego Chapadão os métodos  $K_4$  e  $K_7$  apresentaram efeito pepita puro, sendo assim o método de interpolação espacial utilizado foi o Inverso do Quadrado das Distâncias (IQD). As Figuras 18 e 19 apresentam os mapas de erodibilidade para as duas bacias.

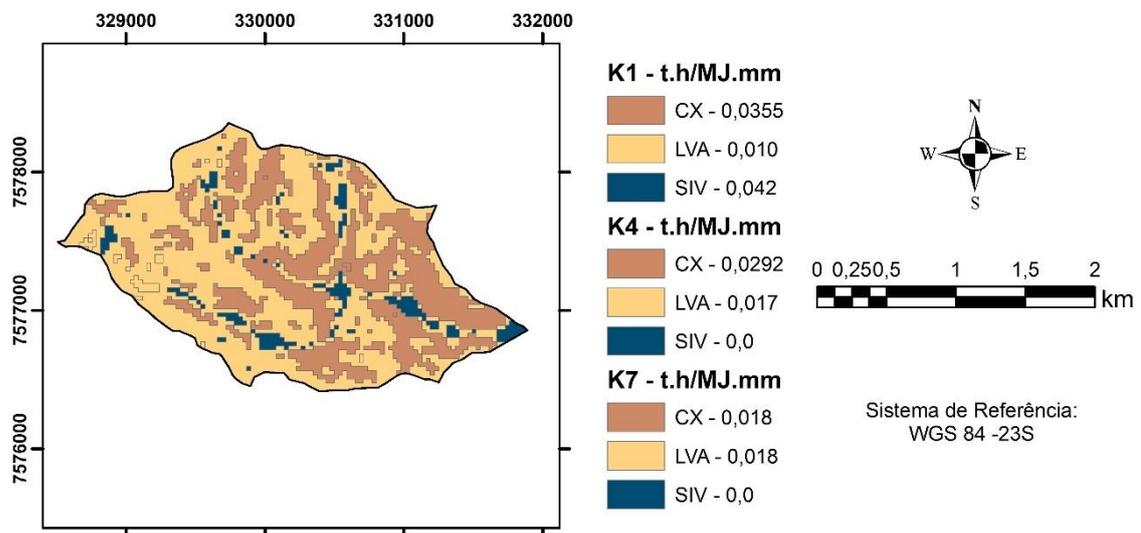


Figura 18 – Mapas de erodibilidade para a BHCG.

Fonte: Do autor.

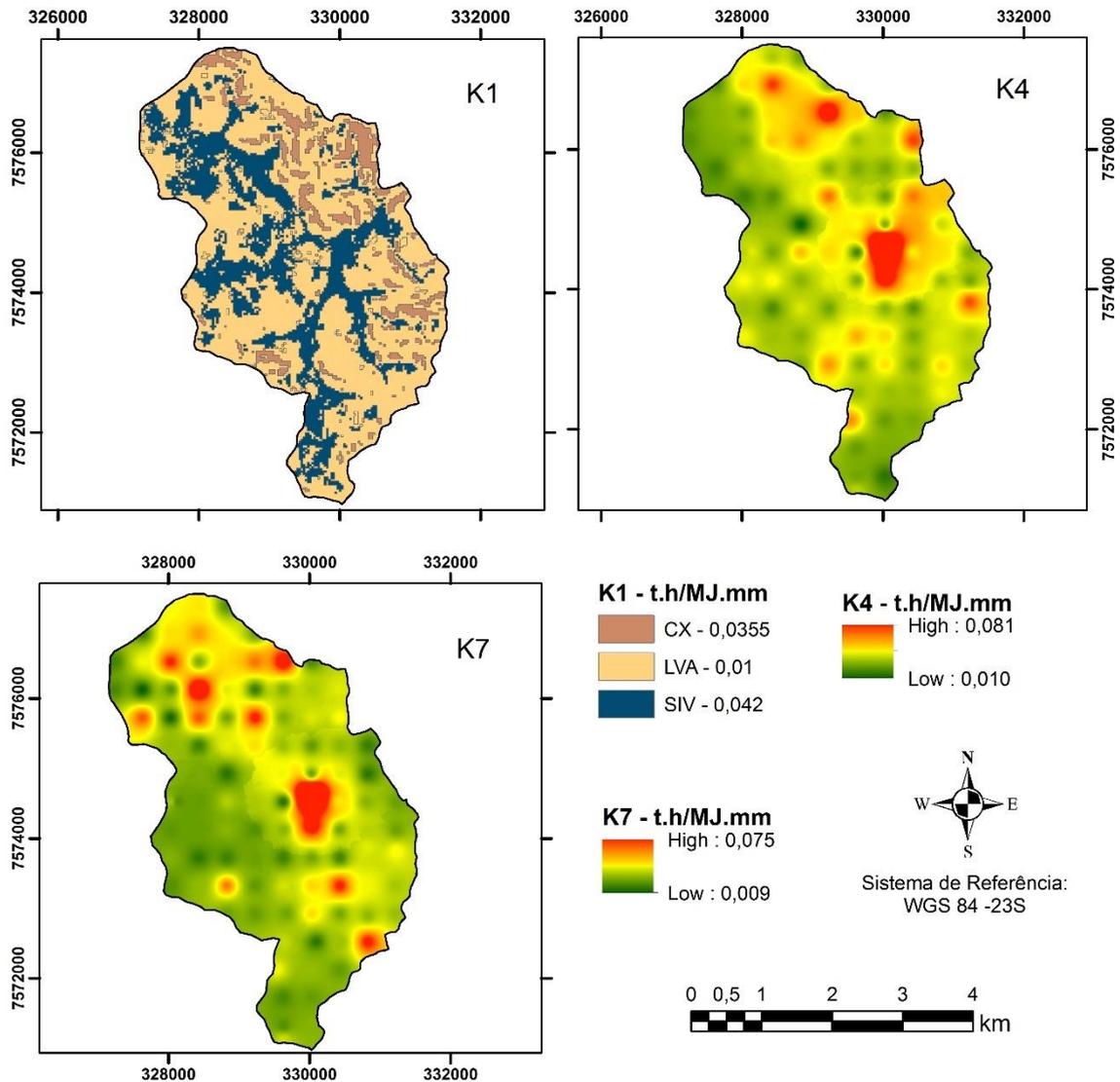


Figura 19 – Mapas de erodibilidade da BHCC.

Fonte: Do autor.

#### 4.3 POTENCIAL NATURAL DE EROSIÃO (PNE)

Os parâmetros da Equação Universal de Perda de Solos, tanto da BHCG quanto da BHCC estão na Figura 20. As erosividades estimadas para as duas bacias são bem próximas por serem bacias vizinhas, sendo que os maiores valores do fator topográfico estão em áreas de maiores declividades.

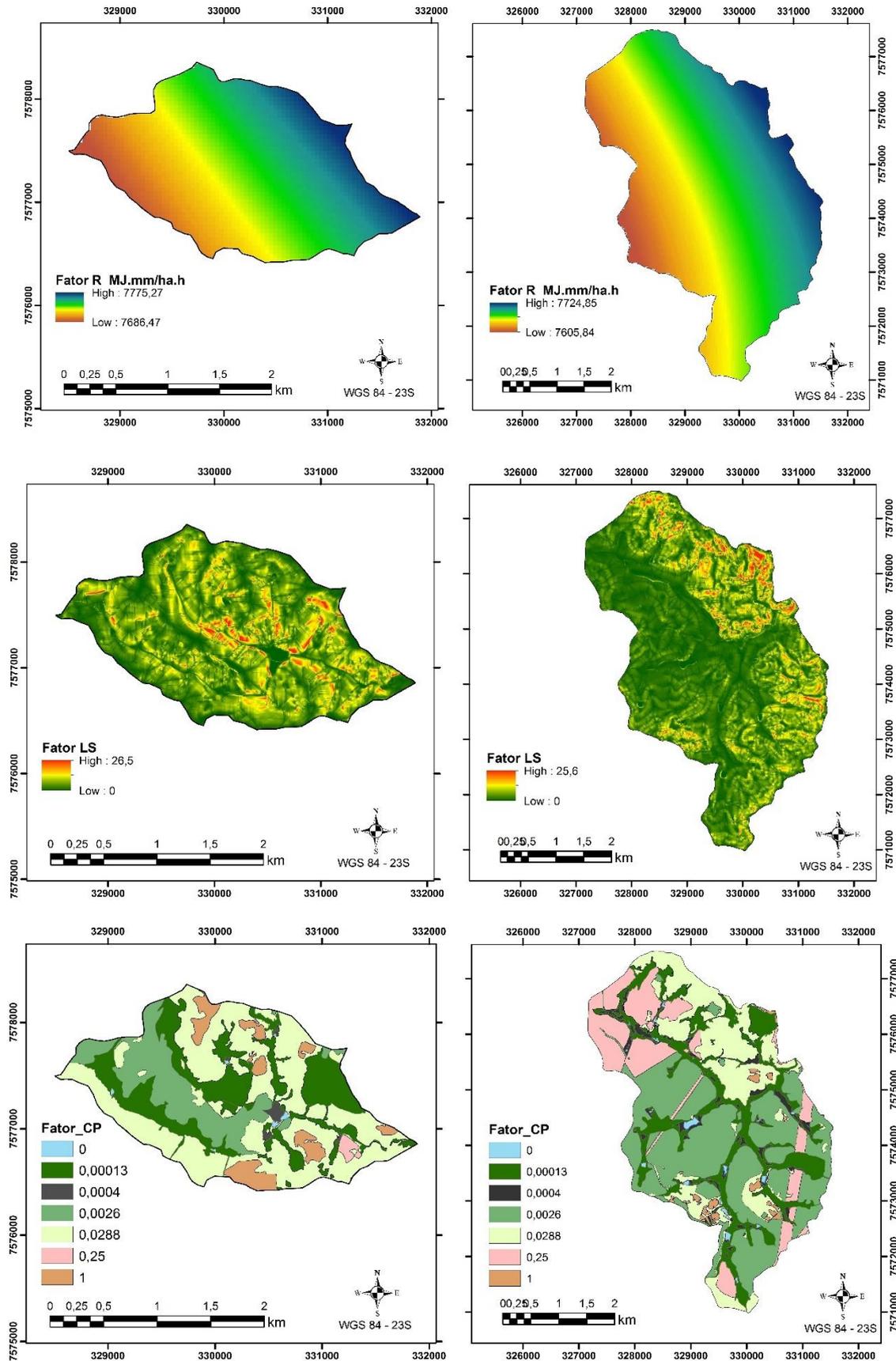


Figura 20 – Fatores erosividade R, topográfico LS e uso e manejo e práticas conservacionistas

CP da EUPSR para a BHCG e BHCC.

Fonte: Do autor.

A Figura 21 e a Tabela 31 apresentam a distribuição espacial e a distribuição relativa das classes do Potencial Natural de Erosão da BHCG, segundo a classificação de Silva (2008).

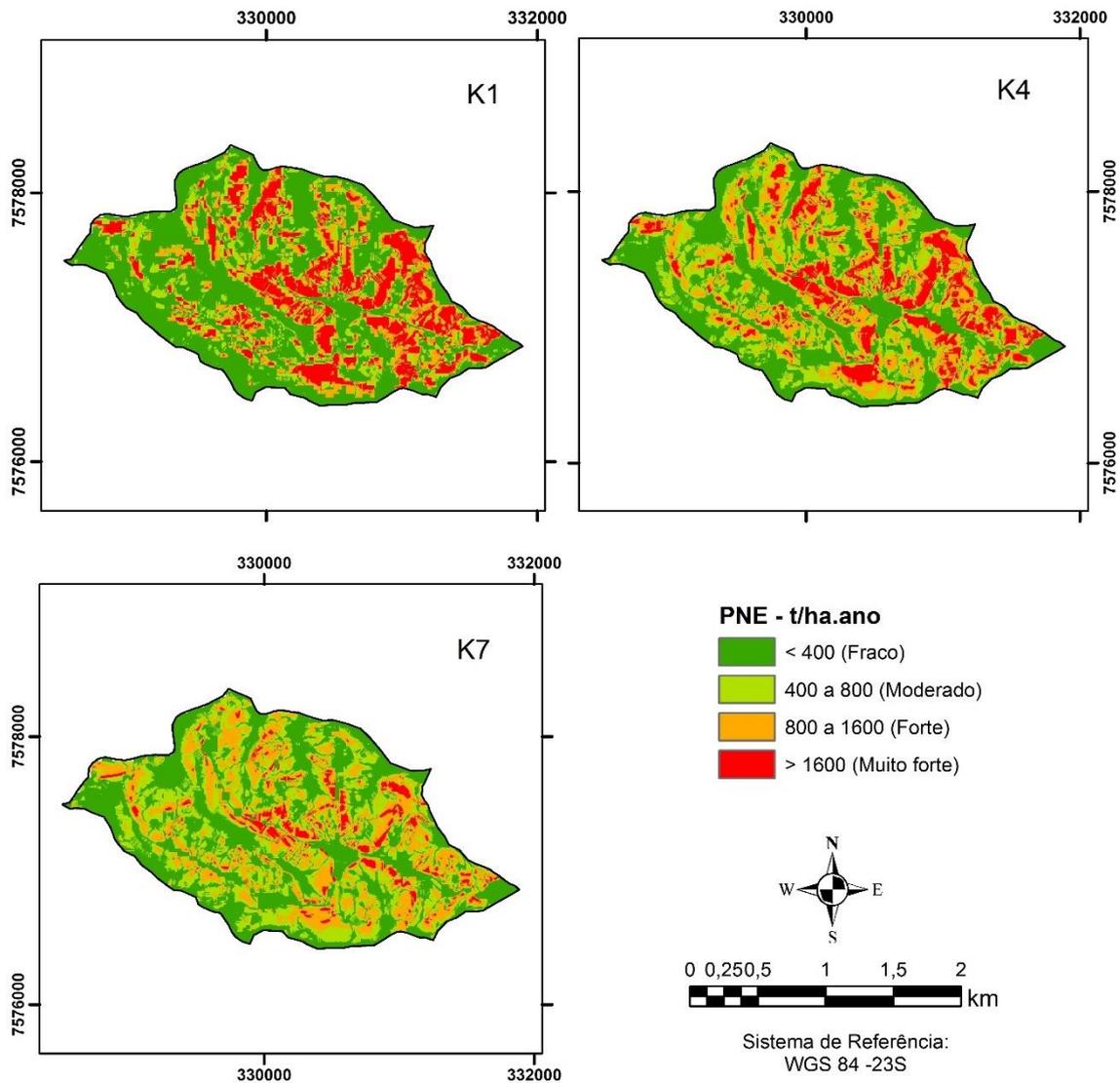


Figura 21 – Espacialização do Potencial Natural de Erosão da BHCG.

Fonte: Do autor.

Tabela 31 – Média do PNE e a abrangência em área na BHCG.

<i>Método</i>	<i>Classe PNE (t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>)</i>	<i>Descrição</i>	<i>Média PNE (t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>)</i>	<i>Área %</i>
K <sub>1</sub>	0 a 400	Fraco	198,3	48,9
	400 a 800	Moderado	575,1	16,0
	800 a 1600	Forte	1130,9	15,6
	> 1600	Muito Forte	2959,1	19,6
K <sub>4</sub>	0 a 400	Fraco	132,2	39,1
	400 a 800	Moderado	594,9	23,4
	800 a 1600	Forte	1140,8	23,1
	> 1600	Muito Forte	2355,2	14,4
K <sub>7</sub>	0 a 400	Fraco	136,4	40,8
	400 a 800	Moderado	576,8	29,8
	800 a 1600	Forte	1156,5	24,2
	> 1600	Muito Forte	2114,1	5,1

Fonte: Adaptado de Silva (2008).

Em todos os métodos utilizados para estimar a erodibilidade, ocorre a predominância da classe de fraco Potencial Natural de Erosão. Como o PNE depende somente das condições climáticas (erosividade das chuvas), da erodibilidade do solo e das condições topográficas da bacia, espera-se que, locais onde ocorram solos mais vulneráveis combinados a relevos mais movimentados e com alta erosividade, o PNE tenha altos valores (DURÃES; MELLO, 2016). As Tabelas 32 e 33 apresentam a interseção do Potencial Natural de Erosão com os tipos de solo e as classes de declividade.

Tabela 32 – Potencial Natural de Erosão por classe de solo, da BHCG. (continua)

<i>Método</i>	<i>Solo</i>	<i>Mín PNE</i>	<i>Máx PNE</i>	<i>Média PNE</i>
		<i>t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup></i>		
K <sub>1</sub>	CX	0,0	7304,1	1086,5
	LVA	0,0	1988,7	574,4
	SIV	0,0	8409,4	1270,8
K <sub>4</sub>	CX	0,0	6003,8	1020,7
	LVA	0,0	3432,7	802,0
	SIV	0,0	0,0	0,0

(conclusão)

<i>Método</i>	<i>Solo</i>	<i>Mín PNE</i>	<i>Máx PNE</i>	<i>Média PNE</i>
		<i>t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup></i>		
K <sub>7</sub>	CX	0,0	3707,6	818,5
	LVA	0,0	3653,2	828,2
	SIV	0,0	0,0	0,0

Fonte: Do autor.

O método K<sub>7</sub>, os valores de PNE estão próximos, e ainda contrário ao que se encontra na literatura, pois, o valor do PNE se apresenta menor para a classe dos Cambissolos do que para os Latossolos. Isso se deve pelo fato dos Cambissolos terem apresentado maior condutividade hidráulica do solo saturado em relação aos Latossolos, sendo um indicativo de que a qualidade dos Cambissolos está melhor e por consequência menos susceptível à erosão, tomando como base a K<sub>sat</sub>.

Tabela 33 – Potencial Natural de Erosão por classe de declividade, da BHCG. (continua)

<i>Método</i>	<i>Declividade</i>	<i>Mín PNE</i>	<i>Máx PNE</i>	<i>Média PNE</i>
	<i>%</i>	<i>t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup></i>		
K <sub>1</sub>	0 a 3	0,0	384,7	23,0
	3 a 8	7,1	859,1	286,0
	8 a 20	25,2	2306,1	708,5
	20 a 45	81,5	4637,3	964,0
	45 a 75	213,5	7608,8	1504,3
	> 75	350,0	8409,4	2962,3
K <sub>4</sub>	0 a 3	0,0	149,5	12,2
	3 a 8	0,0	706,1	154,7
	8 a 20	0,0	1895,5	537,3
	20 a 45	0,0	3240,4	868,8
	45 a 75	0,0	5302,7	1173,4
	> 75	0,0	6003,8	1936,4
K <sub>7</sub>	0 a 3	0,0	147,2	9,3
	3 a 8	0,0	480,9	129,0
	8 a 20	0,0	1707,0	407,8

(conclusão)

<i>Método</i>	<i>Declividade</i> %	<i>Mín PNE</i>	<i>Máx PNE</i> <i>t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup></i>	<i>Média PNE</i>
K <sub>7</sub>	20 a 45	0,0	2038,1	832,5
	45 a 75	0,0	3328,1	1026,9
	> 75	0,0	3707,6	1528,7

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (1979).

Como já apresentado em vários estudos relatados na literatura, os maiores Potenciais Naturais de Erosão estão associados as maiores declividades, visto que estas propiciam o aumento da velocidade do escoamento superficial, favorecendo o desprendimento das partículas de solo. Quando combinados ao uso e manejo do solo, o Potencial Natural de Erosão pode gerar perdas de solo significativas. No tocante a conservação de solo e água, essas áreas com potencial elevado à erosão deveriam ser prioritariamente protegidas, a fim de evitar e reduzir os processos erosivos nas bacias hidrográficas. Nesse aspecto, levantou-se qual é o Potencial Natural de Erosão mínimo, máximo e médio nas classes de uso e cobertura do solo presentes na BHCG, conforme pode ser visualizado na Tabela 34.

Tabela 34 – Potencial Natural de Erosão onde as classes de uso e manejo ocorrem na BHCG.

(continua)

<i>Método</i>	<i>Uso</i>	<i>Mín PNE</i>	<i>Máx PNE</i> <i>t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup></i>	<i>Média PNE</i>
K <sub>1</sub>	Campo/pasto	0,0	8409,4	1162,6
	Cultura	26,0	4205,1	784,3
	Massa d'água	0,0	0,0	0,0
	Mata Nativa	0,0	7304,1	1150,9
	Reflorestamento	0,0	7457,1	1051,9
	Solo Exposto	0,2	4316,7	714,2
	Várzea	0,0	8326,8	1024,5
K <sub>4</sub>	Campo/pasto	0,0	5419,0	877,6
	Cultura	0,0	3074,6	721,3
	Massa d'água	0,0	0,0	0,0
	Mata Nativa	0,0	6003,8	908,3
	Reflorestamento	0,0	5673,5	887,1

(conclusão)

<i>Método</i>	<i>Uso</i>	<i>Mín PNE</i>	<i>Máx PNE</i>	<i>Média PNE</i>
			<i>t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup></i>	
K <sub>4</sub>	Solo Exposto	0,3	3548,2	754,3
	Várzea	0,0	3069,1	667,9
K <sub>7</sub>	Campo/pasto	0,0	3653,2	776,2
	Cultura	0,0	2149,0	713,2
	Massa d'água	0,0	0,0	0,0
	Mata Nativa	0,0	3707,6	773,9
	Reflorestamento	0,0	3547,3	802,7
	Solo Exposto	0,4	2191,2	683,5
	Várzea	0,0	2895,7	623,5

Fonte: Do autor.

Analisando a Tabela 34, nota-se que as classes campo/pasto, mata nativa e reflorestamento, nos métodos K<sub>1</sub> e K<sub>4</sub>, estão em áreas de forte Potencial Natural de Erosão, pois essas classes abrangem juntas 90,5 % da área da BHCG, estando presente nas encostas com declividades mais acentuadas e em boa parte no relevo fortemente ondulado, o qual possui forte PNE. A mudança desse padrão para o K<sub>7</sub> pode ser explicado pelos solos da bacia, CX, terem rápida condutividade hidráulica do solo saturado e o LVA moderada à rápida. Analisando a K<sub>sat</sub>, mediante as classes de uso, Tabela 18, campo/pasto e as matas nativas tem uma rápida condutividade e o reflorestamento moderada à rápida, o que explica, no método K<sub>7</sub>, o reflorestamento apresentar forte Potencial Natural de Erosão e o campo/pasto e a mata nativa moderado PNE.

A classe de solo exposto e cultura apresentaram moderado PNE, essa classe (mineração) está em áreas de topos de morro, onde a declividade é um pouco mais suavizada do que nas encostas. E as culturas em declives menos acentuados para facilitar a mecanização.

A diferença da predominância do fraco Potencial Natural de Erosão na BHCC é facilmente percebida em relação à BHCG. Tal fato se dá, devido o relevo se apresentar-se como suavemente ondulado e ondulado nesta bacia. A Figura 22 e a Tabela 35 informam as classes de PNE na BHCC.

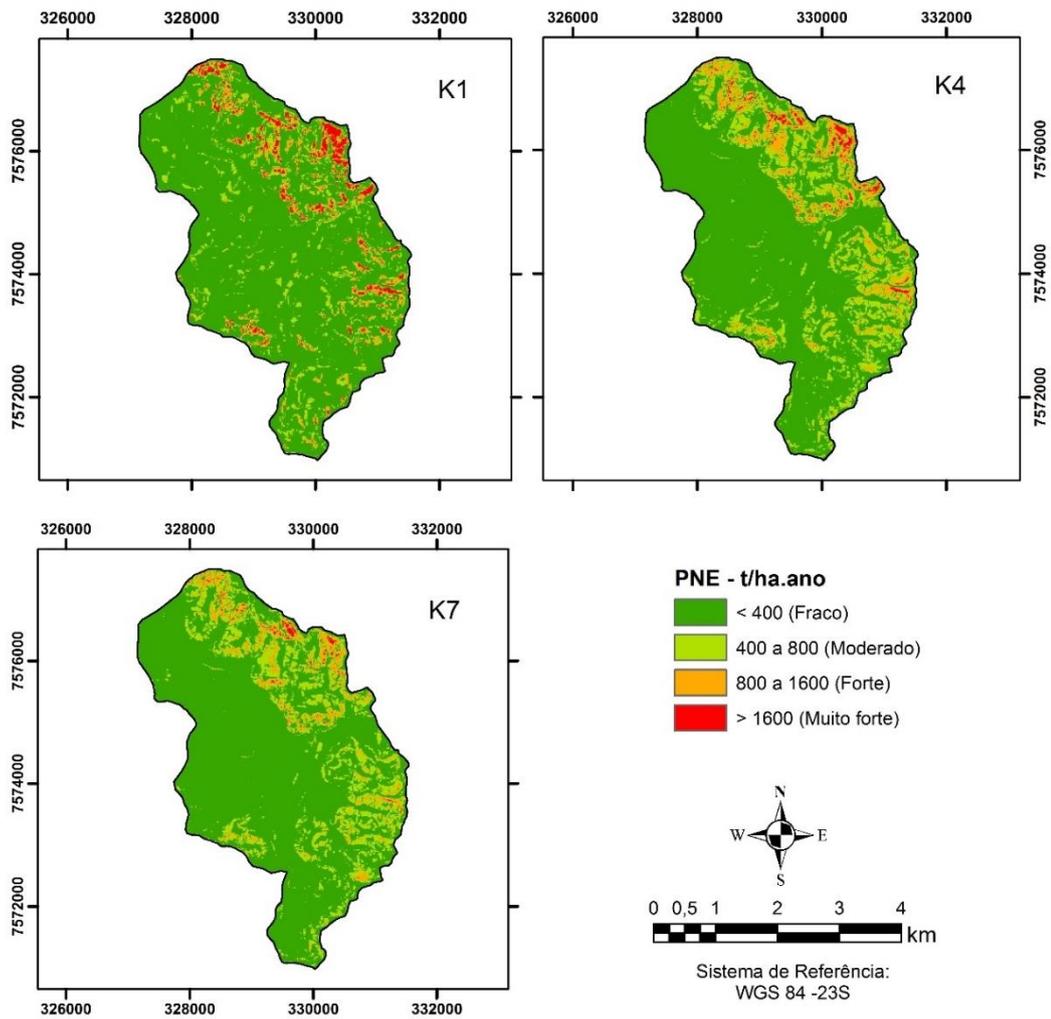


Figura 22 – Mapas de Potencial Natural de Erosão da BHCC.

Fonte: Do autor.

Tabela 35 – Potencial Natural de Erosão para a BHCC.

(continua)

<i>Método</i>	<i>Classe PNE (t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>)</i>	<i>Descrição</i>	<i>Média PNE (t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>)</i>	<i>Área %</i>
K <sub>1</sub>	0 a 400	Fraco	199,6	81,4
	400 a 800	Moderado	555,8	9,8
	800 a 1600	Forte	1084,8	5,5
	> 1600	Muito Forte	2208,5	3,4
K <sub>4</sub>	0 a 400	Fraco	184,4	73,7
	400 a 800	Moderado	560,6	17,8
	800 a 1600	Forte	1042,2	7,3
	> 1600	Muito Forte	2114,5	1,2

(conclusão)

<i>Método</i>	<i>Classe PNE (t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>)</i>	<i>Descrição</i>	<i>Média PNE (t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>)</i>	<i>Área %</i>
K <sub>7</sub>	0 a 400	Fraco	177,9	78,1
	400 a 800	Moderado	560,4	16,2
	800 a 1600	Forte	1006,2	5,3
	> 1600	Muito Forte	2019,1	0,5

Fonte: Adaptado de Silva (2008).

Nas classes de solo, o PNE também é menor para a BHCC, devido a influência da declividade e dos parâmetros físico-hídricos. Apesar de estarem na mesma classe de potencial os Cambissolos para os métodos K<sub>4</sub> e K<sub>7</sub> apresentam menor potencial do que os Latossolos, conforme a Tabela 36.

Tabela 36 – Potencial Natural de Erosão nas classes de solo da BHCC.

<i>Método</i>	<i>Solo</i>	<i>Mín PNE (t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>)</i>	<i>Máx PNE (t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>)</i>	<i>Média PNE (t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>)</i>
K <sub>1</sub>	CX	0,0	6799,6	976,6
	LVA	0,0	1963,1	499,2
	SIV	0,0	5324,9	788,8
K <sub>4</sub>	CX	0,0	5893,3	807,6
	LVA	0,0	5500,6	813,3
	SIV	0,0	2950,5	602,1
K <sub>7</sub>	CX	0,0	4899,7	728,0
	LVA	0,0	4522,3	750,2
	SIV	0,0	3848,4	549,3

Como já relatado em bibliografia, as maiores declividades apresentam os maiores potenciais a erosão, comparando os valores da Tabela 33 com a Tabela 37, observa-se que estes não se distanciam e que estão na mesma magnitude de grandeza numérica e também apresentam-se na mesma classe de PNE.

Tabela 37 – Potencial Natural de Erosão nas classes de declividade da BHCC.

<i>Método</i>	<i>Declividade</i>	<i>Mín PNE</i>	<i>Máx PNE</i>	<i>Média PNE</i>
	<i>%</i>		<i>t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup></i>	
K <sub>1</sub>	0 a 3	0,0	214,2	34,0
	3 a 8	7,0	1037,6	338,9
	8 a 20	25,0	2098,9	698,1
	20 a 45	80,7	4247,5	905,3
	45 a 75	212,0	6405,6	1274,8
	> 75	351,5	6799,6	1735,7
K <sub>4</sub>	0 a 3	0,0	287,9	22,8
	3 a 8	7,5	946,4	275,5
	8 a 20	26,6	2033,1	569,5
	20 a 45	96,8	3986,0	916,8
	45 a 75	365,6	5893,3	1225,2
	> 75	794,1	5500,6	1908,6
K <sub>7</sub>	0 a 3	0,0	265,3	19,3
	3 a 8	6,6	905,5	240,8
	8 a 20	25,9	1863,3	541,2
	20 a 45	98,2	3490,5	815,1
	45 a 75	278,3	4773,3	1101,6
	> 75	674,3	4899,7	1690,7

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (1979).

A Tabela 38 apresenta as médias dos valores de PNE que se encontram nas classes de solo.

Tabela 38 - Potencial Natural de Erosão onde as classes de uso e manejo ocorrem na BHCC.

<i>Método</i>	<i>Uso e Manejo</i>	<i>Mín PNE</i>	<i>Máx PNE</i>	<i>Média PNE</i>
		<i>t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup></i>		
K <sub>1</sub>	Campo/pasto	0,0	6405,6	814,0
	Cultura	0,0	3927,8	761,1
	Massa d'água	0,0	0,0	0,0
	Mata Nativa	0,0	6799,6	978,8
	Reflorestamento	0,0	4152,8	750,0
	Solo Exposto	0,1	3981,9	635,0
	Várzea	0,0	3436,2	710,7
K <sub>4</sub>	Campo/pasto	0,0	5893,3	811,9
	Cultura	0,1	1769,8	633,8
	Massa d'água	0,0	0,0	0,0
	Mata Nativa	0,0	5500,6	938,7
	Reflorestamento	0,0	3344,1	718,2
	Solo Exposto	0,1	3003,1	641,6
	Várzea	0,0	3779,1	754,8
K <sub>7</sub>	Campo/pasto	0,0	3886,9	783,1
	Cultura	0,1	1777,3	582,7
	Massa d'água	0,0	0,0	0,0
	Mata Nativa	0,0	4899,7	908,0
	Reflorestamento	0,0	2707,9	656,2
	Solo Exposto	0,0	1669,9	464,3
	Várzea	0,0	2983,0	634,8

Fonte: Do autor.

A única classe de uso e manejo que está alocada em áreas de forte potencial para os 3 métodos de estimativa do Fator K, é a mata nativa. Este é um fato muito interessante, visto que, do ponto de vista conservacionista, em áreas de maior potencial, o uso que deve prevalecer é a mata nativa e usos de baixo impacto, ou usos em que são aplicadas as práticas conservacionistas. Nos métodos K<sub>1</sub> e K<sub>4</sub> a classe campo/pasto também está compreendida na classe de forte potencial, porque esses métodos diferenciam a erodibilidade dos Cambissolos para os Latossolos, em vista de que o método K<sub>7</sub> considera as condições atuais da erodibilidade do solo em função da condutividade hidráulica do solo saturado.

Assim como na BHCG as classes de uso - solo exposto e cultura - estão em áreas de moderado Potencial Natural de Erosão. Nesta bacia, alguns polígonos de solo exposto se encontram em regiões de topo de morro, outros em locais de baixa declividade. E a cultura em locais, onde a declividade favorece a utilização de práticas mecanizadas de preparo e plantio.

Em comparação com a BHCG, percebe-se que, apesar dos parâmetros físico-hídricos e a erodibilidade na BHCC serem indicadores de melhor qualidade do solo, a mata nativa apresenta maiores valores de PNE. Fato que pode ser explicado pela adoção de uma erodibilidade nula para os Solos Indiscriminados de Várzea nas simulações dos métodos  $K_4$  e  $K_7$ , visto que as matas ripárias ocorrem, em muitos casos, concomitantes aos SIV, e neste estudo foram consideradas como parte da classe de mata nativa.

#### 4.4 PERDA DE SOLOS ATUAL

As perdas de solo atuais para BHCG são apresentadas na Figura 23 e na Tabela 39, conforme a classificação de Beskow et al. (2009).

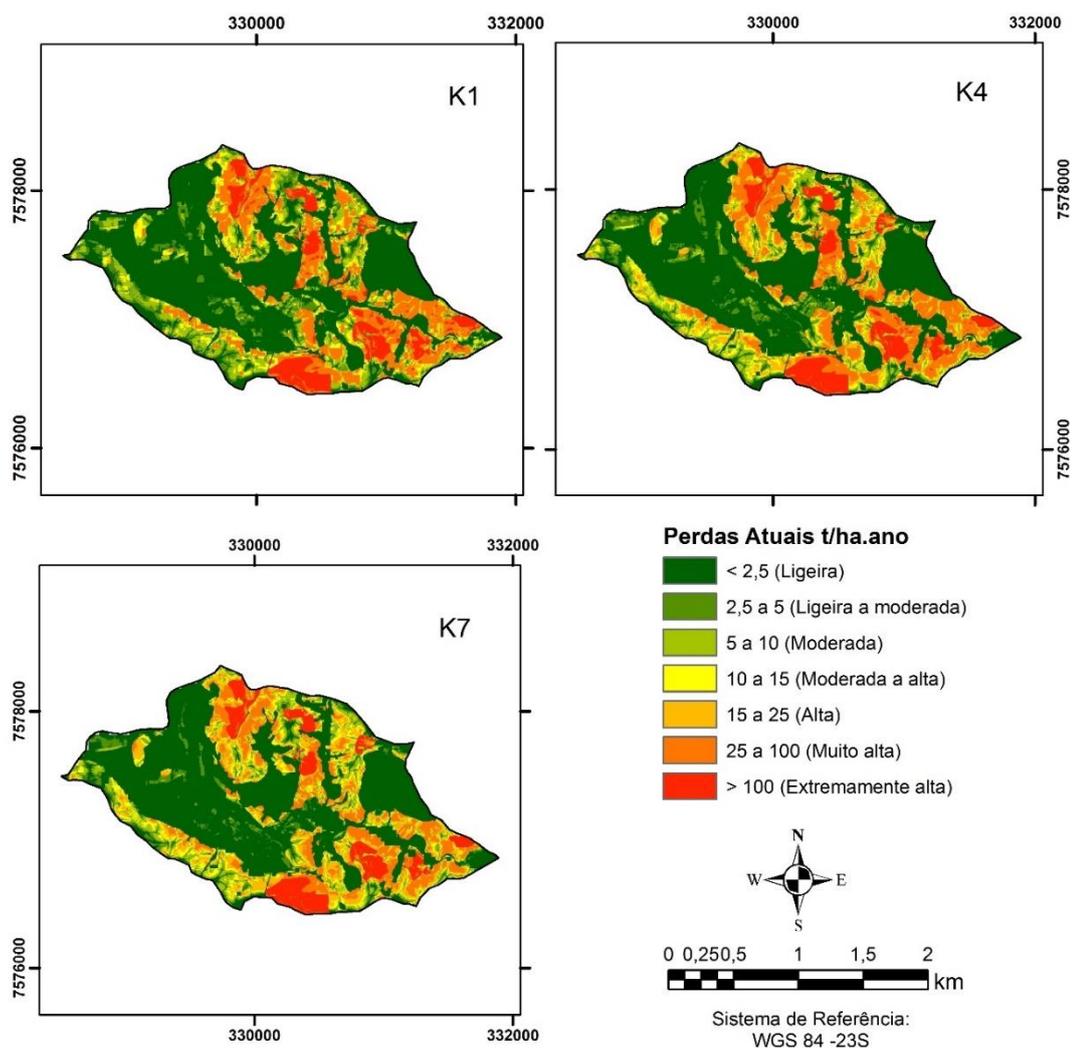


Figura 23 – Mapa de Perdas Atuais na BHCG.

Fonte: Do autor.

Tabela 39 – Perdas atuais da BHCG.

<i>Método</i>	<i>Classe de Perda</i>	<i>Média da classe*</i>	<i>Área</i>	<i>Perda total</i>	<i>Perda</i>
	<i>t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup></i>		<i>%</i>	<i>t.ano<sup>-1</sup></i>	<i>%</i>
K <sub>1</sub>	0 a 2,5 <sup>1</sup>	0,6	47,4	77,2	0,3
	2,5 a 5 <sup>2</sup>	3,5	8,4	113,9	0,5
	5 a 10 <sup>3</sup>	7,3	10,5	278,1	1,1
	10 a 15 <sup>4</sup>	11,8	5,6	248,3	1,0
	15 a 25 <sup>5</sup>	19,5	4,3	304,3	1,2
	25 a 100 <sup>6</sup>	56,3	16,2	3141,7	12,5
	> 100 <sup>7</sup>	424,2	7,6	20911,2	83,4
			TOTAL	25074,8	
K <sub>4</sub>	0 a 2,5	0,4	46,6	75,3	0,3
	2,5 a 5	3,6	6,8	89,7	0,4
	5 a 10	7,1	7,9	212,9	0,9
	10 a 15	12,6	6,1	279,7	1,2
	15 a 25	19,7	8,9	633,2	2,7
	25 a 100	57,1	16,2	2776,7	11,8
	> 100	515,9	7,6	19544,4	82,8
			TOTAL	23612,0	
K <sub>7</sub>	0 a 2,5	0,3	47,9	80,1	0,5
	2,5 a 5	3,7	5,9	77,1	0,4
	5 a 10	7,0	8,1	220,5	1,3
	10 a 15	12,6	7,2	328,3	1,9
	15 a 25	19,5	11,8	849,1	4,9
	25 a 100	56,8	12,0	1695,2	9,7
	> 100	433,9	7,2	14140,9	81,3
			TOTAL	17391,1	

Fonte: Adaptado de Beskow (2009).

Nota: <sup>1</sup> Ligeira, <sup>2</sup> Ligeira a moderada, <sup>3</sup> Moderada, <sup>4</sup> Moderada a alta, <sup>5</sup> Alta, <sup>6</sup> Muito Alta, <sup>7</sup> Extremamente Alta,

\* valor extraído pelas estatísticas do programa ArcGIS ®.

Em termos de perdas e tendo como referência a abrangência espacial (área), a classe predominante para todos os métodos de estimativa de K, é a de ligeira perda de solo (0 a 2,5 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), seguida da classe muito alta (25 a 100 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>), resultados em conformidade com os obtidos por Durães e Mello (2016) e Oliveira *et al.* (2015) para a região do Sul de Minas. Ao cotejar estes resultados com os obtidos para o Potencial Natural de Erosão, constata-se que há coerência entre os mesmos, visto que a classe de fraco PNE é também a de maior abrangência na bacia.

Entretanto, há que se atentar para não considerar que a bacia esteja em boas condições de conservação ambiental, pois, em termos de perda de solo, esta mesma classe predominante em área, representa somente 0,3 %, para K<sub>1</sub> e K<sub>4</sub>, e 0,5 %, para K<sub>7</sub>, das perdas de solos estimadas, ou seja, a análise somente baseada em área não fornece as devidas informações e interpretações, no tocante ao processo de erosão bruta.

Em média, para os métodos K<sub>1</sub>, K<sub>4</sub> e K<sub>7</sub>, a BHCG perde respectivamente 68,5; 64,5 e 47,5 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, ou seja, valores de perdas muito altas de solo. É válido ressaltar que este estudo é de caráter qualitativo, sendo esses valores obtidos por simulação e utilizados para dar uma noção de grandeza do processo erosivo nas bacias de estudo, a fim de proporcionar informações relevantes a gestão de recursos hídricos.

A Tabela 40 fornece os dados de perda de solos para as classes de solo presente na BHCG.

Tabela 40 – Perdas de solo por classe de solo, na BHCG.

<i>Método</i>	<i>Solo</i>	<i>% Área</i>	<i>Perda total (t.ano<sup>-1</sup>)</i>	<i>% Perda total</i>	<i>Perda Média (t.ha<sup>-1</sup>.ano)</i>
K <sub>1</sub>	CX	36,7	21074,0	84,0	156,9
	LVA	57,6	3643,9	14,5	17,3
	SIV	5,7	356,9	1,4	17,1
K <sub>4</sub>	CX	36,7	17322,2	73,4	129,0
	LVA	57,6	6289,7	26,6	29,8
	SIV	5,7	0,0	0,0	0,0
K <sub>7</sub>	CX	36,7	10697,3	61,5	79,7
	LVA	57,6	6693,8	38,5	31,7
	SIV	5,7	0,0	0,0	0,0

É consenso no meio técnico-científico que os Cambissolos Háplicos são solos mais frágeis que os Latossolos Vermelho-Amarelos, e, em todos os casos analisados, houve coerência com essa afirmação (SILVA *et al.*, 2014). Aquino *et al.*, (2013) evidenciaram que as perdas de solo no Cambissolo Háplico são maiores que no Latossolo Vermelho, na cidade de Lavras, Minas Gerais, e que dependendo do padrão das chuvas erosivas e da umidade antecedente essas perdas podem variar de 43,2 t.ha<sup>-1</sup> até 415,9 t.ha<sup>-1</sup> e alcançaram 776 t.ha<sup>-1</sup> no período de estudo. No Latossolo Vermelho, chuvas intensas produziram perdas de 37,8 t.ha<sup>-1</sup> e totalizaram, conjuntamente com padrões intermediários e atrasados de chuva, 50 t.ha<sup>-1</sup> no período de 5 anos de experimento. Silva *et al.* (2009) desenvolveram um trabalho com parcelas, no mesmo local de Aquino *et al.*, (2013), e em cinco anos de coletas de dados nas parcelas experimentais chegaram na média de 175 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para o Cambissolo Háplico, e 13,4 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para o Latossolo Vermelho. E no trabalho de Silva *et al.* (2005) as perdas foram de 205,6 e 14,9 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, para o CX e LV respectivamente. Não sem muito diferente dos valores encontrados pelo presente trabalho, sendo que as médias de perda de solo para os Cambissolos estão entre as classes consideradas como muito altas e extremamente altas.

Como os Latossolos Vermelho-Amarelos são mais frágeis do que os Latossolos Vermelhos, espera-se perdas maiores para esse grupamento de solos. Silva *et al.* (1994) em seu trabalho, conferiram perdas de 29,4 toneladas durante o verão e 9,8 toneladas para o Latossolo Vermelho na mesma estação. Já Carvalho *et al.* (2014) em um estudo de perdas de solo e água analisadas por parcelas experimentais, obtiveram 117, 8 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> na parcela de solo exposto e 20,5 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> na parcela com *Brachiaria* e em consórcio com lavoura de milho, no município de Coronel Pacheco, Minas Gerais, que apresenta a mesma classe climática da área de estudo deste trabalho.

Em um estudo sobre a resistência à penetração em Gleissolos, no Rio Grande do Sul, Oliveira e Souza (2015), constataram que apesar de estarem em condições topográficas menos favoráveis a erosão os Gleissolos, que se enquadram no grupo dos Solos Indiscriminados de Várzea, apresentaram possíveis processos erosivos em função dos usos destinados para esta região. Paim (2012), em seu estudo verificou que os Gleissolos participaram com aproximadamente 3 % do total de perdas na bacia do Rio Piçarras, em Santa Catarina.

Sabe-se que, o uso e manejo do solo pode interferir potencializando, ou reduzindo o processo erosivo, por isso, na sequência são apresentadas nas Tabelas 41, 42, 43 informações da interseção do tipo de solo, classe de uso e as suas perdas na BHCG.

Tabela 41 – Perdas de solo a partir da interseção da classe de solo e uso manejo, para o método  $K_1$  na BHCG.

<i>Solo</i>	<i>Uso e Manejo</i>	<i>% Área</i>	<i>Perda total (t.ano<sup>-1</sup>)</i>	<i>% Perda total</i>	<i>Perda Média (t.ha<sup>-1</sup>.ano)</i>
CX	Campo/pasto	18,1	3289,6	13,1	49,6
	Cultura	0,3	347,9	1,4	272,2
	Massa d'água	0,1	0,0	0,0	0,0
	Mata Nativa	10,1	10,6	0,0	0,3
	Reflorestamento	4,7	66,4	0,3	3,9
	Solo Exposto	3,2	17359,2	69,2	1463,3
	Várzea	0,1	0,4	0,001	0,7
LVA	Campo/pasto	26,5	688,1	2,7	7,1
	Cultura	0,3	91,6	0,4	72,0
	Massa d'água	0,2	0,00	0,00	0,00
	Mata Nativa	13,3	2,4	0,01	0,05
	Reflorestamento	12,7	27,6	0,1	0,6
	Solo Exposto	4,3	2834,2	11,3	181,7
	Várzea	0,3	0,1	0,00	0,1
SIV	Campo/pasto	1,8	181,7	0,7	27,7
	Cultura	0,1	169,5	0,7	314,2
	Massa d'água	0,1	0,0	0,0	0,0
	Mata Nativa	3,1	1,5	0,01	0,1
	Reflorestamento	0,2	4,0	0,02	5,7
	Solo Exposto	0	0	0	0
	Várzea	0,4	0,2	0,0	0,1

Fonte: Do autor.

Tabela 42 – Perdas de solo a partir da interseção da classe de solo e uso manejo, para o método K<sub>4</sub> na BHCG.

<i>Solo</i>	<i>Uso e Manejo</i>	<i>% Área</i>	<i>Perda total (t.ano<sup>-1</sup>)</i>	<i>% Perda total</i>	<i>Perda Média (t.ha<sup>-1</sup>.ano)</i>
CX	Campo/pasto	18,1	2703,9	11,5	40,8
	Cultura	0,3	286,0	1,2	223,8
	Massa d'água	0,1	0,0	0,0	0,0
	Mata Nativa	10,1	8,7	0,0	0,2
	Reflorestamento	4,7	54,6	0,2	3,2
	Solo Exposto	3,2	14268,8	60,4	1202,8
	Várzea	0,1	0,3	0,0	0,6
LVA	Campo/pasto	26,5	1187,7	5,0	12,2
	Cultura	0,3	158,1	0,7	124,2
	Massa d'água	0,2	0,0	0,0	0,0
	Mata Nativa	13,3	4,1	0,0	0,1
	Reflorestamento	12,7	47,7	0,2	1,0
	Solo Exposto	4,3	4892,1	20,7	313,6
	Várzea	0,3	0,2	0,0	0,2
SIV	Campo/pasto	1,8	0,0	0,0	0,0
	Cultura	0,1	0,0	0,0	0,0
	Massa d'água	0,1	0,0	0,0	0,0
	Mata Nativa	3,1	0,0	0,0	0,0
	Reflorestamento	0,2	0,0	0,0	0,0
	Solo Exposto	0	0	0	0
	Várzea	0,4	0,0	0,0	0,0

Fonte: Do autor.

Tabela 43 - Perdas de solo a partir da interseção da classe de solo e uso manejo, para o método  $K_7$  na BHCG.

<i>Solo</i>	<i>Uso e Manejo</i>	<i>% Área</i>	<i>Perda total (t.ano<sup>-1</sup>)</i>	<i>% Perda total</i>	<i>Perda Média (t.ha<sup>-1</sup>.ano)</i>
CX	Campo/pasto	18,1	1669,8	9,6	25,2
	Cultura	0,3	176,6	1,0	138,2
	Massa d'água	0,1	0,0	0,0	0,0
	Mata Nativa	10,1	5,4	0,03	0,1
	Reflorestamento	4,7	33,7	0,2	2,0
	Solo Exposto	3,2	8811,6	50,7	742,8
	Várzea	0,1	0,2	0,001	0,4
LVA	Campo/pasto	26,5	1264,0	7,3	13,0
	Cultura	0,3	168,2	1,0	132,2
	Massa d'água	0,2	0,0	0,0	0,0
	Mata Nativa	13,3	4,3	0,02	0,1
	Reflorestamento	12,7	50,7	0,3	1,1
	Solo Exposto	4,3	5206,4	29,9	333,7
	Várzea	0,3	0,2	0,001	0,2
SIV	Campo/pasto	1,8	0,0	0,0	0,0
	Cultura	0,1	0,0	0,0	0,0
	Massa d'água	0,1	0,0	0,0	0,0
	Mata Nativa	3,1	0,0	0,0	0,0
	Reflorestamento	0,2	0,0	0,0	0,0
	Solo Exposto	0	0	0	0
	Várzea	0,4	0,0	0,0	0,0

Fonte: Do autor.

Analisando as Tabelas fica evidente a importância da categoria de uso - solo exposto – como contribuinte para a perda de solo, em todos os três métodos analisados de estimativa da erodibilidade. Esta classe de uso e manejo apresentou maior contribuição tanto para os Cambissolos quanto para os Latossolos, onde em termos espaciais, 7,5% da área da bacia, contribuem com aproximadamente 80% da perda total. A perda média evidencia que tanto a classe de uso solos expostos como a cultura, proporcionam perdas extremamente altas, segundo a classificação de Beskow et al. (2009), evidenciando o efeito negativo destes usos

em termos ambientais, pois essas classes de uso estão associadas a áreas de Potencial Natural de Erosão moderado, conforme pode ser constatado na Tabela 31.

Por outro lado, fica também evidenciado o efeito positivo da categoria de uso – mata nativa e reflorestamento que proporcionam ligeiras perdas de solo. Nesse sentido vale destacar que o reflorestamento, tem sido uma das principais estratégias para promover a recuperação de áreas degradadas pela atividade de mineração, fato que sinaliza o acerto da iniciativa. Esta afirmação se estende também para a classe de uso campo-pasto que com menor eficácia, proporciona perdas de solo não tão elevadas e se enquadram dentre as alternativas de recuperação de áreas degradadas, porém deve-se salientar que esta performance tem a ressalva, de que no presente caso em estudo, não se identificou atividades de pastoreio na área, o que certamente concorre para esta situação de moderada eficácia no controle da erosão hídrica do solo.

Buscando investigar quais as combinações de classe de solo, uso e manejo e declividade que proporcionaram essas perdas extremas, promoveu-se a interseção dessas classes- informações, e as maiores perdas são apresentadas na Tabela 44.

Tabela 44 – Perdas de solo mais relevantes para a interseção classe de solo, uso e manejo e declividade para a BHCG.

<i>Método</i>	<i>Solo</i>	<i>Uso e manejo</i>	<i>Declividade</i> (%)	<i>% Área total</i>	<i>% Perda</i> <i>Total</i>	<i>Perda</i> <i>Média</i> ( <i>t.ano<sup>-1</sup></i> )
K <sub>1</sub>	CX	Solo Exposto	20 a 45	2,3	56,5	1687,5
	LVA	Solo Exposto	8 a 20	2,0	5,7	196,8
	LVA	Solo Exposto	20 a 45	0,8	4,3	377,2
K <sub>4</sub>	CX	Solo Exposto	20 a 45	2,3	49,4	1387,1
	CX	Solo Exposto	8 a 20	0,8	10,0	738,3
	LVA	Solo Exposto	8 a 20	2,0	11,8	291,9
	LVA	Solo Exposto	20 a 45	0,8	7,9	639,1
K <sub>7</sub>	CX	Solo Exposto	20 a 45	2,3	41,4	856,5
	CX	Solo Exposto	8 a 20	0,8	8,4	462,0
	LVA	Solo Exposto	8 a 20	2,0	17,1	307,4
	LVA	Solo Exposto	20 a 45	0,8	11,5	680,2

Fonte: Do autor.

Os resultados apresentados mostram que as perdas estimadas, estão em consonância com o Potencial Natural de Erosão, visto que as declividades entre 20 a 45 % se configuram em forte potencial e é a classe de maior abrangência na bacia. Interessante ressaltar que, apesar da classe de 8 a 20 % apresentar moderado Potencial Natural de Erosão, quando combinada a usos não conservacionistas, pode gerar perdas extremamente altas.

Considerando a Bacia do Córrego Chapadão BHCC, os resultados estimados para a distribuição das classes de perda de solo estão apresentados na Figura 24 e a Tabela 45.

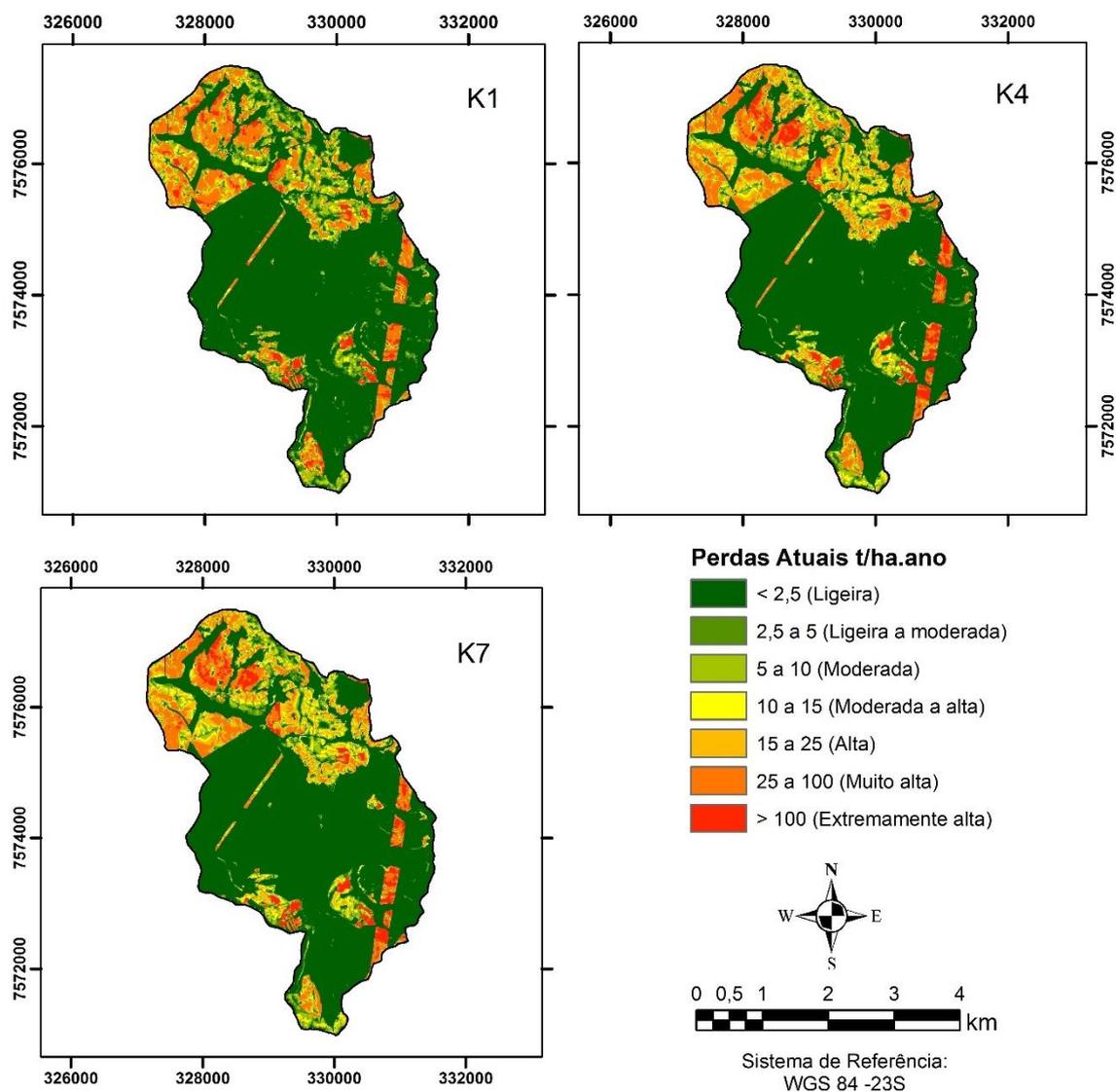


Figura 24 – Mapas de Perda Atual para a BHCC.

Fonte: Do autor.

Tabela 45 – Perdas Atuais para a BHCC.

<i>Método</i>	<i>Classe de Perda</i>	<i>Média da</i>	<i>Área</i>	<i>Perda total</i>	<i>Perda</i>
		<i>Classe</i>			
	<i>t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup></i>		<i>%</i>	<i>t.ano<sup>-1</sup></i>	<i>%</i>
K <sub>1</sub>	0 a 2,5	0,5	64,8	369,0	1,5
	2,5 a 5	3,6	5,4	317,2	1,3
	5 a 10	7,6	7,2	823,1	3,3
	10 a 15	12,0	3,8	747,1	3,0
	15 a 25	20,1	4,1	1281,0	5,1
	25 a 100	56,5	12,0	9504,0	37,9
	> 100	407,0	2,7	12050,2	48,0
			TOTAL		25091,6
K <sub>4</sub>	0 a 2,5	0,6	63,7	434,0	1,6
	2,5 a 5	3,6	3,7	214,4	0,8
	5 a 10	7,5	6,0	711,5	2,7
	10 a 15	12,4	5,1	1006,4	3,8
	15 a 25	19,6	7,0	2175,0	8,1
	25 a 100	50,5	10,7	7820,1	29,2
	> 100	345,1	3,8	14405,7	53,8
			TOTAL		26767,1
K <sub>7</sub>	0 a 2,5	0,5	64,5	387,8	1,7
	2,5 a 5	3,6	3,7	220,5	0,9
	5 a 10	7,6	6,5	768,2	3,3
	10 a 15	12,3	5,3	1036,9	4,4
	15 a 25	20,0	6,8	2101,4	9,0
	25 a 100	48,9	9,7	7489,7	32,0
	> 100	258,8	3,4	11379,0	48,7
			TOTAL		23383,6

Fonte: Do autor.

Assim como na BHCG, a BHCC possui a predominância, em área, da classe - ligeira perda de solos, mostrando coerência com o fraco Potencial Natural de Erosão, conforme a Tabela 35. A mesma avaliação apresentada para a BHCG vale para a BHCC quanto à

participação dessas classes nas perdas de solo em termos totais das bacias, pois, contribuem muito pouco, menos que 1,7%.

Em termos totais, a BHCC perde 15,8; 16,8 e 14,8 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, estimadas pelos métodos K<sub>1</sub>, K<sub>4</sub> e K<sub>7</sub> respectivamente, configurando, a perda da bacia como alta para K<sub>1</sub>, K<sub>4</sub>, e, moderada a alta para K<sub>7</sub>. Estes valores são bem inferiores aos estimados para a BHCG o que poderá ser entendido a partir das análises apresentadas na sequência, por agrupamento de classe de solo, associada a classe de uso, e, com classe de declive. As perdas por agrupamento de solo estão na Tabela 46.

Tabela 46 – Perdas de solo nas classes de solo da BHCC.

<i>Método</i>	<i>Solo</i>	<i>% Área</i>	<i>Perda total (t.ano<sup>-1</sup>)</i>	<i>% Perda total</i>	<i>Perda Média (t.ha<sup>-1</sup>.ano)</i>
K <sub>1</sub>	CX	9,0	8848,7	35,3	62,3
	LVA	64,0	9558,9	38,1	9,4
	SIV	27,0	6684,0	26,6	15,6
K <sub>4</sub>	CX	9,0	5429,1	20,3	38,2
	LVA	64,0	18456,9	69,0	18,2
	SIV	27,0	2881,1	10,8	6,7
K <sub>7</sub>	CX	9,0	4104,6	17,6	28,9
	LVA	64,0	16666,0	71,3	16,4
	SIV	27,0	2613,0	11,2	6,1

Fonte: Do autor.

Como esperado os Cambissolos apresentaram maiores perdas do que os Latossolos e Solos Indiscriminados de Várzea. Os Solos Indiscriminados de Várzea, para K<sub>1</sub>, estão na classe de alta perda de solos para a BHCG e BHCC. Tal perda é alta devido ao alto valor de erodibilidade apresentado na literatura. Observa-se que para os métodos K<sub>4</sub> e K<sub>7</sub> esses valores baixam para moderada perda de solo, como não foi possível amostrar pontos nessa classe para a BHCG as perdas foram consideradas como nulas. Apesar desses tipos de solos se concentrarem em regiões onde a deposição do material é favorecida em detrimento do transporte, dependendo das condições de uso e manejo essas regiões podem apresentar perdas (OLIVEIRA; SOUZA, 2015).

Sabe-se que o uso do solo interfere muito no processo erosivo, pois este se relaciona com os atributos físico-hídricos do solo, e perante as análises do tópico 4.1 deste trabalho. As Tabelas 47, 48 e 49 mostram os valores de perda por classe de solo e uso em manejo.

Tabela 47 – Perdas de solo a partir da interseção da classe de solo e uso manejo, para o método  $K_1$  na BHCC.

<i>Solo</i>	<i>Uso e Manejo</i>	<i>% Área</i>	<i>Perda total (t.ano<sup>-1</sup>)</i>	<i>% Perda total</i>	<i>Perda Média (t.ha<sup>-1</sup>.ano)</i>
CX	Campo/pasto	4,5	2889,6	11,5	40,3
	Cultura	0,4	1588,6	6,3	266,4
	Massa d'água	0,0	0,0	0,0	0,0
	Mata Nativa	2,0	7,2	0,03	0,2
	Reflorestamento	1,8	90,2	0,4	3,1
	Solo Exposto	0,2	4272,9	17,0	1212,4
	Várzea	0,03	0,2	0,0	0,5
LVA	Campo/pasto	14,4	1399,0	5,6	6,1
	Cultura	10,2	5142,7	20,5	31,9
	Massa d'água	0,2	0,0	0,0	0,0
	Mata Nativa	7,8	3,4	0,01	0,03
	Reflorestamento	29,4	162,7	0,6	0,3
	Solo Exposto	1,2	2850,3	11,4	145,6
	Várzea	0,8	0,7	0,0	0,1
SIV	Campo/pasto	1,9	418,3	1,7	13,5
	Cultura	4,7	5673,3	22,6	75,6
	Massa d'água	0,6	0,0	0,0	0,0
	Mata Nativa	9,7	6,1	0,02	0,04
	Reflorestamento	7,4	89,6	0,4	0,8
	Solo Exposto	0,1	493,6	2,0	281,3
	Várzea	2,4	3,2	0,0	0,1

Fonte: Do autor.

Tabela 48 – Perdas de solo a partir da interseção da classe de solo e uso manejo, para o método K<sub>4</sub> na BHCC.

<i>Solo</i>	<i>Uso e Manejo</i>	<i>% Área</i>	<i>Perda total (t.ano<sup>-1</sup>)</i>	<i>% Perda total</i>	<i>Perda Média (t.ha<sup>-1</sup>.ano)</i>
CX	Campo/pasto	4,5	1727,4	6,5	24,1
	Cultura	0,4	906,2	3,4	152,0
	Massa d'água	0,01	0,0	0,0	0,0
	Mata Nativa	2,0	4,6	0,02	0,1
	Reflorestamento	1,8	52,2	0,2	1,8
	Solo Exposto	0,2	2738,6	10,2	777,0
	Várzea	0,03	0,1	0,0	0,3
LVA	Campo/pasto	14,4	2804,7	10,5	12,3
	Cultura	10,2	9667,9	36,1	59,9
	Massa d'água	0,2	0,0	0,0	0,0
	Mata Nativa	7,8	7,2	0,03	0,1
	Reflorestamento	29,4	307,6	1,1	0,7
	Solo Exposto	1,2	5668,0	21,2	289,6
	Várzea	0,8	1,6	0,0	0,1
SIV	Campo/pasto	1,9	200,5	0,7	6,5
	Cultura	4,7	2386,7	8,9	31,8
	Massa d'água	0,6	0,0	0,0	0,0
	Mata Nativa	9,7	3,1	0,0	0,02
	Reflorestamento	7,4	43,8	0,2	0,4
	Solo Exposto	0,1	245,4	0,9	139,8
	Várzea	2,4	1,5	0,0	0,04

Fonte: Do autor.

Tabela 49 – Perdas de solo a partir da interseção da classe de solo e uso manejo, para o método K<sub>7</sub> na BHCC.

<i>Solo</i>	<i>Uso e Manejo</i>	<i>% Área</i>	<i>Perda total (t.ano<sup>-1</sup>)</i>	<i>% Perda total</i>	<i>Perda Média (t.ha<sup>-1</sup>.ano)</i>
CX	Campo/pasto	4,5	1450,5	6,2	20,2
	Cultura	0,4	802,6	3,4	134,6
	Massa d'água	0,01	0,0	0,0	0,0
	Mata Nativa	2,0	3,4	0,01	0,1
	Reflorestamento	1,8	41,3	0,2	1,4
	Solo Exposto	0,2	1806,6	7,7	512,6
	Várzea	0,03	0,1	0,0	0,2
LVA	Campo/pasto	14,4	2445,7	10,5	10,7
	Cultura	10,2	9474,6	40,5	58,7
	Massa d'água	0,2	0,0	0,0	0,0
	Mata Nativa	7,8	6,0	0,03	0,05
	Reflorestamento	29,4	254,8	1,1	0,5
	Solo Exposto	1,2	4483,6	19,2	229,1
	Várzea	0,8	1,3	0,01	0,1
SIV	Campo/pasto	1,9	179,0	0,8	5,8
	Cultura	4,7	2225,4	9,5	29,7
	Massa d'água	0,6	0,0	0,0	0,0
	Mata Nativa	9,7	2,6	0,01	0,02
	Reflorestamento	7,4	34,3	0,1	0,3
	Solo Exposto	0,1	170,4	0,7	97,1
	Várzea	2,4	1,3	0,01	0,03

Fonte: Do autor

Analisando as Tabelas 47, 48 e 49 é possível observar que, diferentemente da BHCG, as classes que perdem mais solo não estão concentradas somente na classe de solo exposto, mas também nas classes campo/pasto e cultura principalmente. Relativamente os solos expostos da BHCC abrangem uma área muito pequena da bacia 1,6 % ao contrário de 7,5 % na BHCG. Como a BHCC possui um relevo mais suave as práticas de agriculturas são mais empregadas na região, por isso a predominância dessa classe de uso e manejo nas perdas de

solo. A Tabela 50 apresenta as maiores perdas referentes as combinações de classe de solo, uso e manejo e declividade.

Tabela 50 – Perdas de solo mais relevantes para a interseção classe de solo, uso e manejo e declividade para a BHCC.

<i>Método</i>	<i>Solo</i>	<i>Uso e manejo</i>	<i>Declividade (%)</i>	<i>% Área total</i>	<i>% Perda Total</i>	<i>Perda Média (t.ano<sup>-1</sup>)</i>
K <sub>1</sub>	CX	Campo/pasto	20 a 45	2,8	8,6	48,6
	CX	Solo Exposto	20 a 45	0,1	12,4	1437,4
	LVA	Cultura	8 a 20	4,2	12,7	47,9
	LVA	Solo Exposto	8 a 20	0,8	5,7	185,1
	SIV	Cultura	3 a 8	2,4	8,8	58,5
	SIV	Cultura	8 a 20	0,7	8,3	188,9
K <sub>4</sub>	CX	Solo Exposto	20 a 45	0,1	7,3	2327,1
	LVA	Cultura	8 a 20	3,5	12,5	60,0
	LVA	Cultura	8 a 20	1,5	12,5	266,4
	LVA	Cultura	20 a 45	0,4	4,9	186,2
	LVA	Solo Exposto	8 a 20	0,6	12,0	315,5
	LVA	Solo Exposto	20 a 45	0,2	6,8	660,9
K <sub>7</sub>	CX	Solo Exposto	20 a 45	0,1	5,6	602,6
	LVA	Cultura	8 a 20	3,5	15,1	61,7
	LVA	Cultura	8 a 20	1,5	12,9	133,5
	LVA	Cultura	20 a 45	0,4	5,1	183,5
	LVA	Solo Exposto	8 a 20	0,6	10,6	259,7
	LVA	Solo Exposto	20 a 45	0,2	6,2	525,9

Fonte: Do autor.

Observa-se que as classes de 8 a 20 % de declividade apresentam moderado Potencial Natural de Erosão, mas que combinadas a atividades não conservacionistas causam perdas de solo muito altas ou extremamente altas. Tanto para as estimativas a partir de K<sub>4</sub>, quanto de K<sub>7</sub> aparecem perdas diferentes para a mesma combinação, isso se dá pela variabilidade espacial da erodibilidade, que além de variar de solo para solo, varia com os atributos físico-hídricos e com as características da paisagem (AVALOS, 2016).

Outra questão interessante é de que as áreas que mais contribuem com a perda total bruta, não são representativas em área, ou seja, o processo esperado de erosão, em que a bacia maior perde muito mais solo do que uma bacia menor, depende das condições de relevo, clima, solo, conservação e o uso e manejo (TABELA 51).

Tabela 51 – Síntese das perdas de solo atual e da relação entre as bacias.

Bacias	Perda de Solo					
	K <sub>1</sub>		K <sub>4</sub>		K <sub>7</sub>	
	Total t.ano <sup>-1</sup>	Por unidade de área t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	Total t.ano <sup>-1</sup>	Por unidade de área t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>	Total t.ano <sup>-1</sup>	Por unidade de área t.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>
BHCG	25074,8	68,5	23612,0	64,5	17391,1	47,5
BHCC	25091,6	15,8	26767,1	16,8	23383,6	14,8
CC/CG*	1,0007	0,23	1,13	0,26	1,34	0,31
$A_{CC}/A_{CG}^{**}$	4,33					

Fonte: Do autor.

Nota: \* Relação das perdas da BHCC em relação a BHCG, \*\* Relação da área da BHCC pela área da BHCG.

A síntese apresentada na Tabela 51 permite ratificar esta afirmação, pois a BHCC é 4,33 vezes maior que a BHCG, mas as perdas totais são muito próximas. Entretanto os valores de perda por unidade de área demonstram diferenças entre as bacias. A BHCG possui um relevo mais movimentado e as atividades antrópicas e econômicas praticadas e empregadas nas bacias são muito diferentes, a BHCG é voltada para a exploração mineral, e as áreas são dificilmente agricultáveis para as atividades de pastejo, praticamente, foram extintas na região. Enquanto as atividades predominantes na BHCC são a agricultura e a silvicultura.

Além disso o uso e manejo é fator condicionante da melhoria ou não da qualidade do solo, que irá refletir na vulnerabilidade a erosão. A predominância do reflorestamento na BHCC, é muito importante para a qualidade do solo e para a redução dos processos erosivos, visto que este gera uma proteção, quanto a interceptação da chuva, e também a formação de serapilheira que aumenta a matéria orgânica do solo e conseqüentemente melhora a sua estrutura e permeabilidade e qualidade.

Sendo assim, é importante que se utilize as informações obtidas por levantamentos de campo, para utilização na modelagem da erosão, visto que os atributos do solo e a erosão são dependentes, do contexto em que cada bacia está inserida.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O resultado da análise variográfica demonstrou que todos os atributos físico-hídricos do solo, considerados neste estudo, apresentam-se estruturados espacialmente na camada superficial dos solos de ambas as bacias com grau de dependência espacial variando entre moderado a forte.

O modelo de semivariograma que melhor representou os conjuntos de dados foi o exponencial, e, a técnica de krigagem ordinária gerou mapas confiáveis dos atributos físico-hídricos do solo para as bacias estudadas com base na validação cruzada.

A continuidade espacial dos atributos físico-hídricos do solo na BHCG e BHCC guarda forte relação com as classes de uso do solo, sendo que as áreas de mata nativa apresentaram melhor qualidade físico-hídrica do solo e as áreas com solo exposto, os piores valores destes atributos, sinalizando os impactos decorrentes do processo de exploração mineral.

As áreas ocupadas com plantações de eucalipto na BHCG e BHCC apresentam boa resposta físico-hídrica dos solos na camada superficial, sinalizando que esta estratégia de ocupação do solo em áreas antes mineradas auxilia o processo de recuperação dos solos degradados.

As informações dos atributos físico-hídricos levantadas puderam melhorar a inferência do código de permeabilidade, excluindo a sua subjetividade e adequando a estimativa do fator de erodibilidade ao estado atual dos ambientes. Porém as análises que tratam a variabilidade da erodibilidade não puderam ser feita somente em via dos métodos de determinação da permeabilidade do solo, visto que a erodibilidade é um fator intrínseco do solo que depende de outros atributos para se caracterizar a vulnerabilidade do solo à erosão.

Por mais que ocorra a predominância, em área, de fraco Potencial Natural de Erosão e ligeira perda de solo, esta não é uma via adequada para se avaliar a intensidade dos processos erosivos numa bacia, pois pequenas áreas quando possuem as características de relevo movimentado, uso não conservacionista e solos mais susceptíveis à erosão são capazes de gerar perdas extremamente altas.

Apesar de estarem em áreas de moderado Potencial Natural de Erosão, as classes solo exposto e cultura, apresentaram perdas altas e extremamente altas de solo, mostrando que o manejo impróprio do solo oferece um impacto muito grande às bacias hidrográficas, no

tocante as perdas por erosão, corroborando com os resultados dos atributos físico-hídricos que indicaram menor qualidade do solo para essas classes de uso.

Em coerência com os atributos físico-hídricos do solo as perdas em mata nativa e reflorestamento são baixas se enquadrando nas classes de ligeira a moderada perda de solo. Sendo assim conclui-se que a prática de recuperar as áreas degradadas com eucalipto, melhora a qualidade dos solos e diminui as perdas de solo. Outra prática utilizada para recuperação, é implantação de campo/pasto, que apesar de apresentarem maiores perdas, são importantes para melhoria da qualidade do solo, desde que o pastoreio seja reduzido.

Os dois ambientes estudados são diferentes em termos de uso e manejo do solo e condições de relevo o que interfere na inferência das perdas e solo e indica as condições ambientais em relação uma a outra.

Para dar continuidade aos estudos de perda de solo nas bacias estudadas recomenda-se:

1. Efetuar campanhas de classificação dos solos para melhorar e detalhar os mapas de solo;
2. Realizar análise granulométrica e fracionar as areias para os demais pontos da BHCG para melhorar a espacialização da erodibilidade nesta bacia;
3. Levantar mais informações sobre os solos, e, como recomendado por Silva *et al.* (2000) utilizar as equações específicas para cada grupamento de solo, para melhorar a inferência e a espacialização da erodibilidade dos solos das bacias;
4. Desenvolver estudos em parcelas experimentais, a fim de determinar e calibrar os fatores da EUPSR para região e averiguar se realmente os métodos propostos de inferência do código de permeabilidade são eficientes.
5. Estudar a tolerância de perdas de solo para região a fim de verificar se os usos existentes estão sendo capazes de manter a qualidade do solo.
6. Desenvolver estudos sobre a taxa de transferência de sedimentos e monitoramentos hidrossedimentométricos para investigar possível aporte de sedimentos para o reservatório do Cipó.

## REFERÊNCIAS

ALVARENGA, C. C. **Indicadores hidrológicos do solo para identificação de áreas potenciais de recarga subterrânea**. 2010. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

ALVARENGA, C. C. et al. Continuidade espacial da condutividade hidráulica saturada do solo na bacia hidrográfica do Alto Rio Grande, MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 35, n. 5, p. 1745-1757, 2011.

ALVARENGA, C. C. et al. Índice de qualidade do solo associado à recarga de água subterrânea IQSra na Bacia Hidrográfica do Alto Rio Grande, MG. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 36, p. 1608-1619, 2012.

AMORIM, R. S. S. et al. Avaliação do desempenho dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para diferentes condições edafoclimáticas do Brasil. **Rev. Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 6, p. 1046-1049, 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos: informe 2016 / Agência Nacional de Águas**. Brasília: ANA, 2016. 96p.

AQUINO, R. F. et al. Spatial variability of the rainfall erosivity in Southern Region of Minas Gerais State, Brazil. **Rev. Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, n. 5, p. 533-542, set./out. 2012.

AQUINO, R. F. et al. Soil losses from typic cambisols na red latosol as related to three erosive rainfall patterns. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 213-220, 2013.

AQUINO, R. E. et al. Use of scaled semivariograms in the planning sample of soil physical properties in Southern Amazonas, Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, p. 21-30, 2015.

ARAGÃO, R. et al. Mapeamento do potencial de erosão laminar na Bacia do Rio Japarutuba, SE, via SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 7, p. 731-740, 2011.

ARAÚJO, F. S. et al. Estimativa da erodibilidade de Latossolos do Piauí. **Rev. Scientia Plena**, v. 7, n. 10, 2010.

ARAÚJO, A. R. de. **Solos da bacia do Alto Rio Grande, MG: base para estudos hidrológicos e aptidão agrícola**. 2006. 345 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Alfenas, Lavras, 2006.

ARCOVERDE, S. N. S. et al. Qualidade Física dos solos em uso agrícola na região semiárida do Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 39, p. 1473-1482, 2015.

AVALOS, F. A. P. **Variabilidade espacial da erodibilidade do solo em relações com a paisagem na sub-bacia das posses, Extrema-MG**. 2016. 48 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

AVANZI, J. C. et al. Spatial distribution of water erosion risk in a watershed with eucalyptus na atlantic forest. **Rev. Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 37, n. 5, p. 427-434, set/out, 2013.

AYER, J. E. B. et al. Erosão hídrica em Latossolos Vermelho distróficos. **Rev. Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 2, p. 180-191, abr./jun. 2015.

BERNARDI, E. C. S. et al. Bacia hidrográfica como unidade de gestão ambiental. **Rev. Disciplinarium Scientia. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas**. Santa Maria, v.13, n.2, p. 159-168, 2012.

BERTOL, I. et al. Erosividade das chuvas e sua distribuição entre 1989 e 1998 no município de Lages (SC). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 455-464, 2002.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 7ed. São Paulo: Editora Ícone. 2010.

BESKOW, S. et al. Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling, **Catena**, v. 79, p. 49-59, 2009.

BLOISE, G. L. F. et al. **Avaliação da suscetibilidade natural à erosão dos solos da Bacia do Olaria - DF**. Planaltina-DF: EMBRAPA, 2001.

BORDAS, M. P.; SEMMELMANN, F. R. Elementos de Engenharia de Sedimentos. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, v. 4, 2007. cap. 24, p. 915-943.

BRAGA, B. P. F. et al. Pacto federativo e gestão das águas. **Rev. Estudos Avançados**. v. 22, n. 63, p. 17-42. 2008.

BUENO, C. R. P. et al. Análise multivariada na determinação do risco de erosão em solos sob irrigação. **Rev. Irriga**, Botucatu, v. 15, n. 1, p. 23-35, jan/mar, 2010.

CAMBARDELLA, C. A. et al. Field scale variability of soil properties in central Iowa soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 47, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

CAMPOS, M. C. C. et al. Variabilidade espacial da textura de solos de diferentes materiais de origem em Pereira Barreto, SP. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 38, n.2, p. 149-157, 2007.

CARVALHO, A. C. B. et al. Erosão potencial laminar hídrica em um Latossolo Vermelho-Amarelo sob três formas de cultivo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 1, p. 194-206, 2014.

CARVALHO, M. P.; et al. Índices de erosividade da chuva correlacionadas com as perdas de um podzólico vermelho-amarelo eutrófico de textura argilosa/muito argilosa de Mococa (SP):

primeira aproximação do fator de erodibilidade. **Revistas Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13, p. 237-242, 1989.

CARVALHO, M. P. et al. Critérios de classificação de chuva individual erosiva para o Estado de São Paulo. **Rev. Acta Scientiarum Agronomu**, Maringá, v. 26, n. 2, p. 175-183, 2004.

CARVALHO, R. G. As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. **Rev. Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente - SP, v. especial, n. 36, p. 26-43, 2014.

CASTIONE, G. A. F. et al. Variabilidade espacial da textura do solo em área irrigada por pivô central em diferentes posições da paisagem. **Revista Agro@ambiente**, v. 9, n. 3, p. 219-226, jul-set, 2015.

CAVALCANTE, E. G. S. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grade, v. 15, n. 3, p. 237-243, 2011.

CENTURION, J. F. et al. Physical Attributes of Kaolinitic and Oxidic Oxisols. **Rev. Brazialian Archives of Biology and Technology**. v. 47, n. 5, p. 725-732, 2004.

CHAVES, H. M. L. **Estimativa da erosão atual e potencial no vale do São Francisco: relatório final de consultoria**. Brasília: CODEVASF, 1994. 35 p.

CORREA, S. W. et al. Soil erosion risk associated with climate change at Mantaro River basin, Peruvian Andes. **Catena**, v. 147, p. 110-124, 2016.

COSTA, T. C. C. et al. **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).

DE MARIA, I. C. Cálculo da erosividade da chuva. In: Instituto Agrônômico de Campinas. **Manual de programas de processamento de dados de campo e laboratório para fins de experimentação em conservação do solo**. Campinas: IAC-SCS, 1994.

DEMARCHI, J. C.; ZIMBACK, C. R. L. Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na sub-bacia do Ribeirão das Perobas. **Rev. Energia na Agricultura**, v. 29, n. 2, p 102-114, abr/jun, 2014.

DENARDIN, J. E. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. 1990. 115 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1990.

DESMET, P. J. J.; GOVERS G. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 51, n. 5, p. 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 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

DURÃES, M. F.; MELLO, C. R. Distribuição espacial da erosão potencial e atual do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Sapucaí, MG. **Rev.Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 2, n. 4, out/dez, 2006.

DURÃES, M. F. et al. Water erosion vulnerability and sediment delivery rate in upper Iguazu river basin - Paraná. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 21, n. 4, p. 728-741, out/dez, 2016.

EGUCHI. et al. Variabilidade espacial da condutividade hidráulica do solo saturado e da taxa de infiltração básica determinadas ""in situ"". **Rev. Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, p. 1607-1613, dez. 2003. Edição Especial.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997.

FAO, Food and Agricultural Organization Of The United Nations. **Status of the world's soil resources: main report**. Rome, 2015.

FARINASSO, M. et al. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS – Equação Universal de Perdas de Solos utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba –PI-MA. **Revista Brasileira de morfologia**, v. 7, n. 2, p. 73-85, 2006.

FERREIRA, P. A. **Drenagem de terras agrícolas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 187p.

GOMES, N. M. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo associados ao uso e ocupação da paisagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 4, p. 427-435, 2007.

GUIMARÃES, W. D. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos de solos ocupados por pastagens. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 47, n. 2, p. 247-255, abr/jun, 2016.

JOURNEL, A. G.; HUIJBREGTS, J. C. H. **Mining geostatistics**. New York: Academy Press, 1978. p.600.

JUNQUEIRA JÚNIOR, J. A. et al. Continuidade espacial de atributos físico-hídricos do solo em sub-bacia hidrográfica de cabeceira. **Rev. Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 3, p. 914-922, 2008.

KUMAR, S.; KUSHWAHA, S. P. S. Modelling soil erosion risk based on RUSLE-3D using GIS in a Shivalik sub-watershed. **Journal of Earth Systems Science**, v. 122, n. 2, p. 389-398, 2013.

KOPPEN, W. **Climatología**: con un estudio de los climas de la tierra. Fondo de Cultura Económica. México, 1948. 479 p.

LANNA, A. E. Gestão de Recursos Hídricos. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, v. 4, 2007. Cap. 19, p. 727-768.

LEÃO, M. G. A. et al. Variabilidade espacial da textura de um Latossolo sob cultivo de citros. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n.1, p. 121-131, jan./fev. 2010.

LEINZ, V. **Geologia Geral**. São Paulo: Editora nacional, 1998.

LEPSCH, I. F. **19 lições de pedologia**. Oficina de Textos: São Paulo, 2011.

LIBARDI, P. L.; MELO FILHO, J. F. Análise exploratória e variabilidade dos parâmetros da equação da condutividade hidráulica, em um experimento de perfil instantâneo. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 197-206, 2006.

LIMA, J. E. F. W. et al. Desenvolvimento e verificação de métodos indiretos para a estimativa da erodibilidade dos solos da bacia experimental do Alto Rio Jardim - DF. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 8, n. 2, p. 23-36, 2007.

LIMA, P. M. de P. **Perda de solo e água em dois latossolos sob cerrado, com diferentes preparos e chuva simulada**. Lavras: ESAL, 1987. 88f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1987.

LIMA, M. M. L. **Mapeamento da suscetibilidade à inundação na bacia hidrográfica do arroio do Salso, Porto Alegre-RS**. 2010. 175 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2010.

LIPORACI, S. R. **Procedimentos e metodologias de mapeamento geotécnico: Aplicado na cidade e parte do município de Poços de Caldas, Minas Gerais – escala 1: 25.000 – Visando o planejamento do uso e ocupação do meio físico**. 1994. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo – USP, 1994.

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

MANNIGEL, A. R. et al. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Rev. Acta Scientiarum, Maringá**, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.

MARQUES, J. J. G. S. M. et al. Estimativa da erodibilidade a partir de atributos de solos com horizonte B textural no Brasil. **Revista brasileira de ciência do solo**, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 457-465, 1997.

MARTINS, S. G. **Erosão hídrica em povoamento de eucalipto sobre solos coesos nos Tabuleiros Costeiros, ES**. 2005. 117 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

MARTINS, S. G. et al. Rainfall erosivity and rainfall return period in the experimental watershed of Aracruz, in the coastal plain of Espírito Santo, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 999-1004, 2010.

MELLO, C. R. et al. Multivariate models for annual rainfall erosivity in Brazil. **Geoderma**, v.202-203, p.88-102, 2013.

MELLO, C. R. et al. Assessing the climate change impacts on the rainfall erosivity throughout the twenty-first century in the Grande River Basin (GRB) headwaters, Southeastern Brazil. **Rev. Environmental Earth Science**, v. 73, p. 8683-8698, 2015.

MELLO, C. R. D.; SILVA, A. M. D. **Hidrologia: Princípios e Aplicações em Sistemas Agrícolas**. Lavras - MG: Editora UFLA, 2013.

MELO NETO, J. O. **Análise de sensibilidade escalar do modelo hidrológico SWAT**. Lavras-MG. 2012. 149f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas). Universidade Federal de Lavras - Lavras, 2012.

MENDES JÚNIOR, H. **Modelagem da erosão hídrica em latossolos sob cultura de café**. 2017. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, 2017.

MENEZES, M. D. Dinâmica hidrológica de duas nascentes, associada ao uso do solo, características pedológicas e atributos físico-hídricos na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Lavrinha - Serra da Mantiqueira (MG). **Rev. Scientia Forestalis**. v. 37, n. 82, p. 175-184, jun, 2009.

MENZEZES, M. D. et al. Spatial prediction of soil properties in two contrasting physiographic regions in Brazil. **Rev. Scientia Agrícola**, v.73, n. 3, p. 274-285, maio/jun., 2016.

MINELLA, J. P. G. et al. Utilização de métodos de representação espacial para cálculo do fator topográfico na Equação Universal de Perda de Solo Revisada em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p 1455-1462, 2010.

MITASOVA, H. et al. Modelling topographic potential for erosion deposition using GIS. **International Journal of Geographical Information Systems**, London, v. 10, n. 5, p. 629-641, 1996.

MOORE, I.D.; BURCH, G.J. Physical basis of the length-slope factor in the universal soil loss equation. **Soil Science Society American Journal**, v. 50, p. 1294-1298, 1986.

MORAES, F. T.; JIMÉNEZ-RUEDA, J. R. Fisiografia da região do planalto de Poços de Caldas, MG/SP. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 38, n. 1, p. 196-208, mar., 2008.

MORAES, F. T. **Zoneamento geomanbienta do Planalto de Poços de Caldas, MG/SP a partir de análise fisiográfica e pedoestratigráfica**. 2007. 173f. Tese (Doutorado em Geociências) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 2007.

O'GEEN, A. T. et al. Research connects soil hydrology and stream water chemistry in California oak woodlands. **Rev. California Agriculture**. v. 64, n. 2, p. 78-84, abr./jun. 2010.

OLIVEIRA, M. X.; SOUZA, B. S. P. Resistência à penetração em gleissolos: um ensaio sobre a possibilidade de erosão superficial na bacia hidrográfica do Arroio Ribeirão - São Pedro do Sul/RS. **Rev. Geografia Ensaio & Pesquisa**, v. 19, n. 2, p. 91-106, maio/ago. 2015.

OLIVEIRA, I. A. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos em um cambissolo háplico, sob diferentes usos na região sul do Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1103-1112, 2013.

OLIVEIRA, A. M. M. et al. Caracterização de indicadores da erosão do solo em bacias hidrográficas com o suporte de geotecnologias e modelo preditivo. **Est. Geogr.**, v. 5, p. 63-86, 2007.

OLIVEIRA, P. T. S. et al. Rainfall erosivity in Brazil: a review. **Catena**, v. 100, p. 139-147, 2012.

OLIVEIRA, F. G. et al. Estimativa de perdas de solo e do potencial natural de erosão da bacia de contribuição da microcentral hidrelétrica do Lageado, Botucatu - SP. **Rev. Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 30, n. 3, p. 302-309, jul./set. 2015.

OLIVEIRA, A. H. **Erosão hídrica e seus componentes na sub-bacia hidrográfica do horto florestal Terra dura, Eldorado do Sul (RS)**. 2011. 179 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

OLIVETTI, D. et al. Spatial and temporal modeling of water erosion in dystrophic red latosol (oxisol) used for farming and cattle raising activities in a sub-basin in de South of Minas Gerais. **Rev. Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 39, n.1, p. 58-57, jan./fev. 2015.

PAIM, J. B. **Avaliação do potencial de produção de sedimentos na Bacia Hidrográfica do Rio Piçarras utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**. 2012. 125 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Vale do Itajaí, Itajaí, 2012.

PINTO, L. F. S. et al. Solos de várzea do Sul do Brasil cultivados com arroz irrigado. In: GOMES, A. da S., MAGALHÃES JR., A. M. (ed) técnicos. **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p.75-95.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de Bacias Hidrográficas. **Rev. Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 43-60. 2008.

PROCHNOW, D. et al. Razão de perdas de terra e fator C da cultura do cafeeiro em cinco espaçamentos, em Pindorama (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 91-98, 2005.

REHFELDT, K.R.; BOGGS, J.M.; GELHAR, L.W. Field study of dispersion in a heterogeneous aquifer 3. Geostatistics analysis of hydraulic conductivity. **Water Resource Research**, Washington, v.28, n.12, p.3309-3324, 1992.

RENARD, K. G.; FREIMUND, J. R. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. **Journal of Hydrology**, v. 157, n. 1-4, p. 287-306, 1994.

RENARD, K. G. et al. **Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**. U. S. Department of Agriculture, Agricultura Handbook, v. 703, 1997.

RESENDE, M. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. **Informe Agropecuário**, v.11, n.128, p.27-37, ago. 1985.

RIBEIRO JÚNIOR, P. J. **Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros do solo**. 1995. 99 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1995.

SANTOS, K. S. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos em solos de vale aluvial do semiárido de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 8, p. 828-835, 2012.

SILVA, A. M. Potencial natural de erosão no município de Sorocaba, São Paulo, Brasil. **Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil**, Mayagüez, v. 8, n. 1, p. 5-14, 2008.

SILVA, M. L. N. et al. Avaliação de métodos indiretos de determinação da erodibilidade de latossolos brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.6, p.1207-1220, jun. 2000.

SILVA, A. M. et al. Perdas por erosão e erodibilidade de cambissolo e latossolo roxo no sul de Minas Gerais - Resultados Preliminares. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 7, 2001, Goiânia. **Anais...** Goiânia: ABGEA, 2001. 8p.

SILVA, V. C. Estimativa da erosão atual da bacia do Rio Paracatu (MG/GO/DF). **Rev. Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia: UFG, n. 34, v. 3, 147-159, 2004.

SILVA, A. M. et al. Perdas de solo, água, nutrientes e carbono orgânico em cambissolo e latossolo sob chuva natural. **Rev. Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 12, p. 1223-1230, dez. 2005.

SILVA, M. A. et al. Water erosion risk prediction in eucalyptus plantations. **Rev. Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 2, p. 160-172, 2014.

SILVA, M. L. N. et al. Comparação entre métodos direto e indiretos para a determinação da erodibilidade em latossolos sob cerrado. **Rev. Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 11, p 1751-1761, nov. 1994.

SILVA, M. L. N. et al. Proposição de modelos para estimativa da erodibilidade dos latossolos brasileiros. **Rev. Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 12, p. 2287-2298, dez. 1999.

SILVA, M. L. N. et al. Avaliação de métodos indiretos de determinação da erodibilidade de latossolos Brasileiros. **Rev. Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 1207-1220, jun. 2000.

SILVA, A. M. et al. Erosividade da chuva e erodibilidade de cambissolo e latossolo na região de Lavras, Sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1811-1820, 2009.

SILVA, A. M. et al. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, Sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1811-1820, 2009.

SILVA, A. M. et al. Simulação da variabilidade espacial da erosão hídrica em uma sub-bacia hidrográfica de latossolos no Sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2125-2134, 2008.

SILVA, L. A. **Deflúvio Superficial em Minas Gerais – caracterização e associação com fatores físicos e ambientais**. 2014. 121p. Tese (Doutorado, Programa de Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

SOUZA, Z. M. et al. Variabilidade espacial da textura de um latossolo vermelho eutroférico sob cultivo de cana de açúcar. **Rev. Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v. 24, n. 2, p. 309-319, maio/ago. 2004.

STRAHLER, A. N. Dynamic basis of geomorphology. **The Geological Society of America Bulletin**, v. 63, p. 923-938, 1952.

TAVARES, A. S. et al. Modelos de erosão hídrica e tolerância das perdas de solo em latossolos distróficos no Sul de Minas Gerais. **Revista do Departamento de Geografia USP**, v. especial, p. 268-277, 2017.

TECHINAL RELEASE 55 (TR-55). **Urban Hydrology of Small Watersheds**. USDA, NRCS, 1986.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: Revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre - RS, v. 2, n. 1, p. 135-152, jan/jun. 1997.

TUCCI, C. E. M. **Impactos da variabilidade climática e do uso do solo nos recursos hídricos**. Brasília: ANA, 2002. p. 150.

\_\_\_\_\_. Processos hidrológicos e os impactos do uso do solo. In: \_\_\_\_\_.; BRAGA, B. P. F. **Clima e recursos hídricos no Brasil**. Brasília: ABRH, 2003.

\_\_\_\_\_. Controle de Enchentes. In: \_\_\_\_\_. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4ª Edição. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, v. 4, 2007. Cap. 4.

TUNDISI, J. G. Governança da água. **Rev. UFMG**. Belo Horizonte, v. 20, n. 2, p. 222-235, jul/dez. 2013.

ULBRICHT, H. H.; ULBRILCH, M. N. O maciço alcalino de Poços de Caldas MG-SP: características petrográficas e estruturais. In: ROTEIRO DAS EXCURSÕES DO CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. 37, 1992, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1992.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION (UNESCO). **The United Nations world water development report 2015**: Water for a sustainable world. Italy: 2015. p. 121.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **National Soil Survey Handbook**. Washington, DC: USDA, 1983.

VAL, L. A. **Avaliação da erosividade das chuvas do município de Lavras (MG)**. 1985. 72f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras. 1985.

VAN REMORTEL, R. et al. Estimating the LS facto for RUSLE through iterative slope length processin of digital elevation data within ArcInfo Grid. **Journal Cartography**, v. 30, n. 1, p. 27-35, 2001.

VIOLA, M. R. **Simulação hidrológica na região do Alto Rio Grande a montante do reservatório de Camargos/CEMIG**. 2008. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

WAGNER, C. S.; MASSAMBANI, O. Análise da relação intensidade de chuva: energia de Wischmeier & Smith e sua aplicabilidade à região de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 12, p. 197-203, 1988.

WARRICK, A. W.; NIELSEN, D. R. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: HILLEL, D., ed. **Application of soil physics**. New York, Academic Press, 1980. p.319-344.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. 1978.**Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning**. Washington: United States Department of Agriculture, 1978. 58p.

WISCHMEIER, W. H. et al. Soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 26, n.5, p. 189-193, 1971.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

YOUNGS, E. G. Hydraulic conductivity of saturated soils. In: SMITH, K. A.; MULLINS, C. E. **Soil analysis: physical methods**. New York: Marcel Dekker. Cap. 4. p. 161-207.

ZHANG, Y. et al. Integration of Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE) into a GIS framework to assess soil erosion risk. **Land Degradation & Development**, v. 20, p. 84-91, 2009.

ZHENG, F. L. Effect of vegetations changes in soil erosion on the Loess Plateau. **Pedosphere**. v. 16, n. 4, p. 420-427, 2006.