

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUALIDADE AMBIENTAL

YARA CRISTINA BATISTA DE SOUSA

**ABSTRAÇÃO INICIAL EM DUAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DE
UBERLÂNDIA/MG**

UBERLÂNDIA

2022

YARA CRISTINA BATISTA DE SOUSA

**ABSTRAÇÃO INICIAL EM DUAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DE
UBERLÂNDIA/MG**

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia (ICIAG/UFU), como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental (PPGMQ) – Mestrado, área de concentração Meio Ambiente e Qualidade Ambiental, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Hudson de Paula Carvalho

UBERLÂNDIA

2022

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

S725 2022	<p>Sousa, Yara Cristina Batista de, 1982- Abstração Inicial em duas Bacias Hidrográficas de Uberlândia/MG [recurso eletrônico] / Yara Cristina Batista de Sousa. - 2022.</p> <p>Orientador: Hudson de Paula Carvalho. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Qualidade Ambiental. Modo de acesso: Internet. Disponível em: http://doi.org/10.14393/ufu.di.2022.519 Inclui bibliografia. Inclui ilustrações.</p> <p>1. Desenvolvimento sustentável. I. Carvalho, Hudson de Paula, 1976-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Qualidade Ambiental. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 502.33</p>
--------------	--

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2: Gizele
Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
 Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Qualidade Ambiental
 BR 050, Km 78, Bloco 1CCG, Sala 206 - Bairro Glória, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
 Telefone: (34) 2512-6717 - www.ppgmq.iciag.ufu.br - ppgmq@iciag.ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Qualidade Ambiental (PPGMQ)				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico, 09/2022, PPGMQ				
Data:	29 de agosto de 2022	Hora de início:	09:00	Hora de encerramento:	11:00
Matrícula da Discente:	11812MQA015				
Nome da Discente:	YARA CRISTINA BATISTA DE SOUSA				
Título do Trabalho:	ABSTRAÇÃO INICIAL EM DUAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DE UBERLÂNDIA-MG				
Área de concentração:	Meio Ambiente e Qualidade Ambiental				
Linha de pesquisa:	Monitoramento e Gestão Ambiental				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Sem vínculo				

Reuniu-se por meio de web conferência, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental (PPGMQ), assim composta: Prof. Dr. Hudson de Paula Carvalho (orientador); Prof. Dr. Rildo Aparecido Costa (UFU); e Prof.ª Dr.ª Jaqueline Borges Inácio (Secretaria Estadual de Educação de MG).

Iniciando os trabalhos o presidente da mesa Prof. Dr. Hudson de Paula Carvalho apresentou a Comissão Examinadora e a candidata, agradeceu a presença do público, e concedeu a Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir a candidata. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando a candidata:

[A]provada.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Hudson de Paula Carvalho, Professor(a) do Magistério Superior**, em 29/08/2022, às 10:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rildo Aparecido Costa, Professor(a) do Magistério Superior**, em 29/08/2022, às 13:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jaqueline Borges Inácio, Usuário Externo**, em 29/08/2022, às 17:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3830687** e o código CRC **09F5BD9E**.

Referência: Processo nº 23117.058065/2022-56

SEI nº 3830687

YARA CRISTINA BATISTA DE SOUSA

**ABSTRAÇÃO INICIAL EM DUAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DE
UBERLÂNDIA/MG**

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia (ICIAG/UFU), como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental (PPGMQ) – Mestrado, área de concentração Meio Ambiente e Qualidade Ambiental, para a obtenção do título de Mestre.

AGRADECIMENTOS

Grata a Deus, por tudo que me ensina, mesmo diante da dor, e por me guiar e sustentar nos momentos mais difíceis, pois, por meio deles, vejo a Tua face.

Agradeço à minha mãe, irmã biológica e de “alma” (ela saberá que é ela ao ler, pois me refiro a ela assim em nossos momentos de reflexão e compartilhamento dos momentos da vida emocional, profissional e, principalmente, espiritual), além de meu esposo, pelo incentivo e auxílio durante o período do curso. À minha filha Laura, presente em todos os momentos nos quais pensei em desistir e que, com seu olhar amoroso e alegre, me levantou e motivou a continuar.

Ao Prof. Dr. Hudson de Paula Carvalho, pelo apoio e desafio relativo à minha orientação. Aos “anjos” disfarçados de amigos e colegas de curso, que cruzaram meu caminho durante esse processo: Ana Carolina, Leidielen, Gabriel e Jordana. E aos membros da banca que, prontamente, se dispuseram a participar desse evento.

Àqueles que, direta ou indiretamente, também participaram dessa jornada. Por fim e, não menos importante, agradeço ao colegiado do Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental (PPGMQ), sobretudo aos professores Adriane, Dráusio e Fábio, que fizeram (e fazem) de tudo para os discentes conseguirem concluir o curso com êxito.

RESUMO

SOUSA, Yara Cristina Batista de. **Abstração inicial em duas bacias hidrográficas de Uberlândia/MG**. 50 p. 2022. Dissertação (Mestrado em Gestão e Qualidade Ambiental – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022).

O presente trabalho objetiva encontrar um parâmetro de abstração inicial (iA) para duas bacias hidrográficas do município de Uberlândia, Minas Gerais, Brasil: Bacia Hidrográfica Experimental do Córrego do Glória (BHEGL) e Bacia Hidrográfica Experimental do Córrego Água Vermelha (BHEAV). As condições de resposta às chuvas e produção de vazão de água consistem em um dos desafios nos estudos hidrográficos; assim, entre os estudos disponíveis na área, o método Curva Número (CN), do Serviço de Conservação do Solo (*Soil Conservation Service – SCS*), é bastante utilizado por sua praticidade, com base em limites visíveis, uso do solo, dados de localização e pluviosidade, medição de vazão e possível armazenamento de água, o que favorece melhores informações hidrológicas para a tomada de decisão. Além de consultas em artigos, livros e periódicos para compreender a bacia hidrográfica, o ciclo hidrológico e a abstração inicial, foi aplicado o método SCS-CN para determinação de um parâmetro de iA, com valores calculados a partir de dados de chuva e vazão de 2015 a 2021. De fato, a iA pode ser considerada uma “perda” nas condições de aumento da taxa de vazão, ao ocorrer pelos processos de interceptação e infiltração que, juntos, indicam que nem todos os eventos de chuva se convertem em escoamento direto. O parâmetro médio de captação de água das duas bacias estudadas foi inferior ao valor obtido pela metodologia aplicada, que determina 20% (0,2) de armazenamento de água no solo. Nesse sentido, os resultados desta investigação podem ser relevantes para estimar o escoamento superficial e serem empregados em estudos nos setores de hidrologia e gestão ambiental, além de determinar o que pode ser executado para evitar perdas sociais e econômicas na gestão de bacias hidrográficas de pequeno porte existentes em diversas regiões do Brasil.

Palavras-chave: parâmetro de abstração inicial (λ); SCS-CN; escoamento superficial; bacias hidrográficas; ciclo hidrológico.

ABSTRACT

SOUSA, Yara Cristina Batista de. **Initial abstraction in two watersheds of Uberlândia/MG**. 49p. 2022. Dissertation (Master's degree in Environmental Management and Quality) – Federal University of Uberlândia, Uberlândia, 2022.

The present work aims to find an initial abstraction (iA) parameter for two watersheds in the municipality of Uberlândia, Minas Gerais, Brazil: Experimental Watershed of Córrego do Glória and Experimental Watershed of Córrego Água Vermelha (respectively BHEGL and BHEAV, in Portuguese abbreviation). The conditions of response to rainfall and production of water flow are one of the challenges in hydrographic studies. Thus, among the studies available in the area, the Number Curve (CN) method, of *Soil Conservation Service* – SCS, is widely used due to its practicality, based on visible boundaries, land usage, location and rainfall data, flow measurement and possible water storage, which favors better information water resources for decision-making. In addition to consulting articles, books and periodicals to understand the watershed, the hydrological cycle and the initial Abstraction, the SCS-CN method was applied to determine an iA parameter, with values calculated from rainfall and flow data from 2015 to 2021. In fact, the iA can be considered a “loss” under the conditions of increased flow rate, as it occurs through the interception and infiltration processes, which, together, indicate that not all rainfall events convert to direct flow. The average parameter of water collection from the two basins studied was lower than the value obtained by the applied methodology, which determines 20% (0.2) of water storage in the soil. Then, the results of this investigation may be relevant to estimate surface runoff and be used in studies in the hydrology and environmental management sectors, in addition to determine what can be done to avoid social and economic losses in the management of watersheds of small scale existing in several regions of Brazil.

Keywords: initial abstraction parameter (λ); SCS-CN; Surface Runoff; Watersheds; Hydrological Cycle.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma	17
Figura 2. Mapa da Bacia Hidrográfica Experimental do Córrego do Glória (BHEGL), Uberlândia/MG, com as respectivas estações de monitoramento	18
Figura 3. Mapa da Bacia Hidrográfica Experimental do Córrego Água Vermelha (BHEAV), Uberlândia/MG, e as estações de monitoramento	19
Figura 4. Mapa de solos da BHEGL	22
Figura 5. Mapa de solos da BHEAV	24
Figura 6. Mapa de declividade da BHEGL	27
Figura 7. Mapa de declividade da BHEAV	28
Figura 8. Mapa de uso e ocupação do solo da BHEGL.....	30
Figura 9. Mapa de uso e ocupação do solo da BHEAV	32
Figura 10. Procedimento linear para separação do Escoamento Superficial Direto (ESD)	33
Figura 11. Representação da lâmina de iA e do Tempo de abstração inicial (Tabs).....	36
Figura 12. Dados do índice de iA (λ) obtidos para a BHEGL – dezembro/2015 a abril/2021.....	41
Figura 13. Dados do índice de iA (λ) obtidos para a BHEAV – dezembro/2016 a agosto/2021.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Tipos de solos com as respectivas áreas e os valores percentuais observados na BHEGL.....	23
Tabela 2. Tipos de solo com as respectivas áreas e os valores percentuais observados na BHEAV	25
Tabela 3. Grupo de declividade e tipos de relevo com as respectivas áreas e os valores percentuais de declividade do solo observados na BHEGL	25
Tabela 4. Grupos de declividade e tipos de relevo com as respectivas áreas e os valores percentuais de declividade observados na BHEAV	29
Tabela 5. Uso e ocupação do solo com as respectivas áreas e os valores percentuais observados na BHEGL	31
Tabela 6. Uso e ocupação do solo com as respectivas áreas e os valores percentuais observados na BHEAV	33
Tabela 7. Eventos de precipitação e vazão monitorados de dezembro/2015 a abril/2019 na BHEGL.....	39
Tabela 8. Eventos de precipitação e vazão monitorados no período de dezembro/2016 a agosto/2019 na BHEAV	40
Tabela 9. Correlações entre as variáveis associadas ao índice de iA (λ) da BHEGL e da BHEAV	43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	10
2.1 CICLO HIDROLÓGICO, ESCOAMENTO SUPERFICIAL E A IMPORTÂNCIA DA BACIA HIDROGRÁFICA.....	10
2.2 ABSTRAÇÃO INICIAL E MÉTODO CURVA NÚMERO	11
2.3 ESTUDOS SOBRE O COEFICIENTE DA ABSTRAÇÃO INICIAL.....	14
3 METODOLOGIA.....	17
3.1 IMAGENS DE SATÉLITES E FERRAMENTAS CARTOGRÁFICAS.....	17
3.2 CAMPO DE ESTUDO	18
3.3 CONTROLE HIDROLÓGICO	21
3.4 TIPOS DE SOLO	21
3.5 DECLIVIDADE DO SOLO	25
3.6 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO.....	29
3.7 MÉTODO PARA DETERMINAR O ESCOAMENTO SUPERFICIAL DIRETO (ESD).....	33
3.8 MÉTODO PARA DETERMINAR O INDICADOR/EXPOENTE	35
3.9 MÉTODO PARA DETERMINAR OS NÍVEIS DA LÂMINA E DO TEMPO DE ABSTRAÇÃO.....	35
3.10 MÉTODO PARA DETERMINAR O ÍNDICE DE ABSTRAÇÃO INICIAL (Λ).....	36
3.11 MÉTODO CURVA NÚMERO E A INCORPORAÇÃO DA ABSTRAÇÃO INICIAL	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
5 CONCLUSÕES.....	44
REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

Nos estudos sobre a abstração inicial (iA), faz-se necessário abordar primeiramente a definição de ciclo hidrológico e as principais características de uma bacia hidrográfica para se chegar a um ponto de análise, a exemplo da iA, do escoamento superficial e da representatividade desses fatores em uma bacia hidrográfica para os pesquisadores. Vale ressaltar que a utilização e o manejo do solo são atividades primordiais para o desenvolvimento social e agrícola no mundo, o que direciona e caracteriza a conduta e a forma de existir do o ecossistema de uma bacia hidrográfica.

Bacias de pequeno porte no Brasil são analisadas com menor frequência, o que dificulta o monitoramento devido à quantidade de dados hidrológicos insuficientes para compor as informações hidrológicas das características físicas e bióticas de tais bacias, como tipo e uso de solo, cobertura vegetal, formato, área, relevo, dentre outras. Essas características são de suma importância para pesquisas mais robustas, ao proporcionarem uma compreensão apropriada do comportamento do ciclo hidrológico nas bacias.

Devido às diversas alterações climáticas globais e dos regimes de chuvas, há maior interesse dos pesquisadores e da sociedade sobre o comportamento hidrológico, visto que obter dados hidrológicos e estabelecer um procedimento simples para estimar as vazões de água em bacias hidrográficas tem sido cada vez mais necessário. O método Curva Número (CN) utilizado neste trabalho foi desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo (*Soil Conservation Service* – SCS) dos Estados Unidos da América (EUA) em 1930, com o objetivo de obter dados de infiltração em várias bacias americanas, a fim de controlar os processos contra a erosão e a perda de solo. Esse método se tornou popular em todo o mundo devido à praticidade nos processos hidrológicos para “ajustar parâmetros”, no tocante às diversas condições edafoclimáticas encontradas, ao se adequar a cada realidade climática e regional.

O valor de CN corresponde à combinação das variáveis de textura do solo, cobertura hídrica e práticas de conservação adotadas no complexo solo-cobertura vegetal. No caso deste trabalho, outro parâmetro importante na utilização do método SCS-CN é a captação/iA – parte da chuva que ocorre antes do início da formação do fluxo de água –, que inclui o objeto de algumas pesquisas no mundo, uma vez que resultados indicam que o índice de 20% da capacidade de armazenamento de água no solo – especificado pelo SCS, atual Serviço de Conservação dos Recursos Naturais (*Natural Resources Conservation Service* – NRCS) – é alto ou supera até as grandes mudanças, o que pode ou não subestimar a vazão determinada pelo método SCS-CN (iA e S), a depender de cada região estudada.

Dessa forma, o presente trabalho objetiva apresentar um parâmetro de iA por meio do método SCS-CN, com ênfase nas pesquisas e discussões dos parâmetros valor CN e iA nas pequenas bacias hidrográficas do Córrego Glória e Água Vermelha, situadas em Uberlândia, Minas Gerais, Brasil, e pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba. Visa-se, principalmente, incrementar dados – nesse caso, o parâmetro ideal de iA para as bacias citadas, com o intuito de subsidiar o estudo hidrológico no referido estado.

Pesquisas que estabelecem novos valores CN e índices de iA mais precisos são necessárias e podem aumentar a eficácia do método nas regiões onde é aplicado. Nesses termos, o trabalho é estruturado pelo processo de desenvolvimento do método SCS-CN para iA , com abordagem dos fatores e das variáveis da evolução da metodologia, como o tipo, a declividade, o uso e as classes de tratamento do solo; a condição hidrológica (monitoramento hidrológico); a condição antecedente de umidade; e a iA . Em cada item são apresentados mapas e gráficos para ressaltar os valores CN tabelados e empíricos obtidos a partir dos dados locais de estudo hidrológico e do parâmetro de iA .

Evidentemente, é de suma importância o desenvolvimento de modelos físico-matemáticos capazes de prever as vazões das bacias hidrográficas por meio de vários cenários de uso e ocupação dos solos nas bacias. Os resultados deste trabalho poderão contribuir para o método SCS-CN alcançar melhores estimativas do escoamento superficial em pequenas bacias hidrográficas brasileiras, além de adequados procedimentos de manejo e uso do solo na região.

2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

2.1 CICLO HIDROLÓGICO, ESCOAMENTO SUPERFICIAL E A IMPORTÂNCIA DA BACIA HIDROGRÁFICA

O ciclo hidrológico acontece de forma fechada pela água, entre a atmosfera e a superfície terrestre estimulada pela energia solar, juntamente com a rotação terrestre e a gravidade (TUCCI, 2015). Para Mello e Silva (2013), isso corresponde ao comportamento da água em seus estados físicos da natureza que, simultaneamente, ocorrem na atmosfera, solo, montanhas, oceanos etc; e que o componente hidrológico mais importante do ciclo é a precipitação, na qual os outros estão associados diretamente às suas características temporais, espaciais e fisiográficas. Dessa forma, a precipitação é a principal maneira que propicia a entrada de água no ciclo hidrológico e depende das características e variações meteorológicas e ambientais. Em um evento de chuva, por exemplo, diante do potencial precipitado, uma parte é interceptada pela cobertura vegetal e a outra atinge a superfície do solo que, por seu turno, é subdividida em duas partes: uma que infiltra no solo e outra que gera o escoamento (MELLO; SILVA, 2013).

Geralmente, os escoamentos são definidos como superficial, caracterizado pelo fluxo sobre a superfície do solo; e subsuperficial, relativo ao fluxo que ocorre junto às raízes da cobertura vegetal e subterrâneo, de acordo com a contribuição do aquífero. O escoamento subsuperficial normalmente é contabilizado em um dos outros escoamentos, pelo fato de sua contribuição ser menor que a dos demais, sendo possível o identificar somente a partir de análise de hidrogramas (TUCCI, 2015). Nesse caso, o excesso de precipitação que escoar sobre a superfície do solo caracteriza o escoamento superficial relativo à saturação do solo, ao diminuir a capacidade de infiltração e armazenamento de água por grandes precipitações que, por seu turno, podem exceder a capacidade atual de infiltração de solo (MELLO; SILVA, 2013).

Tucci (2015) postula que a bacia hidrográfica é a parte mais importante de análise do ciclo hidrológico, ao envolver a fase terrestre do comportamento da água. Ela é caracterizada por uma área de captação de água natural onde os escoamentos são direcionados a apenas um ponto de saída (exutório), componente bastante utilizado para analisar como os principais parâmetros hidrológicos variam e se comportam, com o intuito de compreender os fenômenos e estudá-los.

Água, solo, flora e fauna são os principais elementos presentes em uma bacia hidrográfica e estão em constante e dinâmica interação, em que são expostas as interferências

naturais e antrópicas que afetam o ecossistema e que, nas bacias hidrográficas, podem ser analisadas a partir de indicadores como os recursos hídricos e seu comportamento (SOUZA *et al.*, 2002). Esse tipo de bacia corresponde a ótimas unidades de gestão natural e social, pois, a partir delas, é possível acompanhar, planejar e gerenciar as mudanças geradas pelo homem e pela natureza acerca dos usos e interesses.

Sob esse viés, a hidrologia que envolve estudos em bacias hidrográficas conceitua e modela processos distintos que interagem em condições ambientais variáveis no tempo e espaço. Assim, verifica-se a importância de parâmetros hidrológicos em eventos de precipitação, com o objetivo de prever o comportamento e as respostas hidrológicas nas bacias hidrográficas pesquisadas (COLLISCHONN; DORNELLES, 2015).

O comportamento e a influência de vários componentes fisiográficos, hidrometeorológicos e hidrológicos em uma bacia podem ser expressos em hidrogramas, as quais exemplificam em gráficos o comportamento da vazão em virtude do tempo e a partir de eventos de precipitação (TUCCI, 2015). Segundo Mello e Silva (2013), os hidrogramas são análises representativas das vazões de cursos d'água pelo tempo, que podem extrair importantes informações acerca das parcelas de Escoamento Superficial Direto (ESD) e base. Entretanto, a forma do hidrograma depende de inúmeros fatores como forma da bacia, relevo, condições do solo, cobertura, variação espacial e temporal da precipitação, rede de drenagem, entre outros (MELLO; SILVA, 2013; TUCCI, 2015).

2.2 ABSTRAÇÃO INICIAL E MÉTODO CURVA NÚMERO

De acordo com Mello e Silva (2013), iA é considerada a parcela da precipitação total que antecede a precipitação efetiva, ou seja, ocorre anteriormente ao início do escoamento superficial – essa parte, inclusive, pode infiltrar no solo e/ou ficar retida nos obstáculos do solo e/ou na vegetação. Segundo Ponce e Hawkins (1996) a iA é caracterizada como uma quantidade de chuva retida como interceptação, infiltração e armazenamento antes de iniciar o escoamento. Nesse caso, a capacidade total de infiltração – ou retenção potencial máxima – se refere às perdas ocorridas em um evento, devido à infiltração contínua na bacia hidrográfica, cujo parâmetro está associado às características físicas da área de estudo, como uso e ocupação de solos e cobertura vegetal. Apesar das associações com os parâmetros físicos, a capacidade máxima de infiltração não é uma característica física identificável, pois pode ser correlacionada apenas para eventos particulares de precipitação.

A retenção potencial máxima é encontrada a partir do parâmetro CN, que apresenta valores tabelados para combinações de uso e cobertura de solo, classificações hidrológicas de solo e condições de umidades antecedentes. Esse tipo de retenção é inversamente proporcional ao CN, que varia de zero a 100; por conseguinte, quando CN for próxima a zero, S tenderá ao infinito e, quanto mais próximo o CN for a 100, mais próximo a zero será S – a mesma relação também acontece com o escoamento superficial (MELLO; SILVA, 2013; TUCCI, 2015). SCS (2004) afirma que a variabilidade acerca do parâmetro CN, resultante das condições de umidade de solo, intensidade e duração da chuva, total precipitado, entre outros fatores, está englobada no parâmetro AMC que designa as condições de umidade antecedente, divididas em três classes:

- AMC I: solos secos, com precipitação antecedente (nos últimos cinco dias) menores que 13 mm na época das secas e inferiores a 36 mm no período úmido.
- AMC II: solos com umidade próxima à capacidade de campo, com precipitação antecedente (nos últimos cinco dias) de 13 a 28 mm no período seco e, no úmido, de 36 a 53 mm.
- AMC III: solo úmido próximo à saturação, com precipitação antecedente (nos últimos cinco dias) maiores que 28 mm no período seco e 53 mm, no úmido.

Além das classificações das condições da umidade antecedente, Mello e Silva (2013) classificam as características de solo em quatro grupos:

- Grupo A: solos caracterizados por escoamento baixo e infiltração alta, arenosos e com baixo teor de argila. São bastante profundos e possuem alta permeabilidade.
- Grupo B: maior potencial de gerar escoamento que o solo A, devido à menor permeabilidade. É arenoso, com menor profundidade e maior teor de argila.
- Grupo C: solos com profundidade de 0,5 a 2,0 m e que produzem ESD maior que o solo 2, com baixa permeabilidade superficial.
- Grupo D: solos com pouca profundidade, constituída por solos argilosos e com baixa capacidade de infiltração. Sendo assim, é o solo que apresenta maior capacidade de geração de ESD (TUCCI, 2015).

Utiliza-se a relação linear entre iA e S para reduzir os números dos parâmetros do método SCS-CN. Tradicionalmente, a iA é definida como 20 % da capacidade máxima de infiltração; entretanto, essa correlação tem sido questionada em relação à aplicabilidade e validade. A correlação não pode ser validada, pois a perda inicial da precipitação total é ocasionada por fatores físicos e características especiais de cada evento. Verificou-se que a correlação não é linearmente proporcional, como descrito pelo método que, nesse contexto, tem sido questionado a respeito dos aspectos ligados a coeficiente de iA , parâmetro CN, condições de umidade antecedente e aplicações em bacias com variadas características

(MISHRA; JAIN; SINGH, 2004). De acordo com Ponce e Hawkins (1996), tal método pode ser considerado inconsistente devido a fatores como variabilidade espacial e temporal da precipitação, assim como a modificações relacionadas às precipitações antecedentes e qualidade dos dados analisados. Para Cunha *et al.* (2005), a utilização dos valores definidos como referências pelo método SCS-CN superestimam aqueles correspondentes às vazões de cheias analisadas por pesquisadores na área de recursos hídricos, quando aplicados a bacias com características distintas daquelas determinadas pelo método. O número CN tabelado, por exemplo, pode apresentar um desempenho inadequado, quando utilizado em bacias com características geomorfológicas distintas, além de ser influenciado pela precipitação antecedente de cada evento estudado.

Ponce e Hawkins (1996) listaram os principais problemas acerca do método SCS-CN descritos pela literatura ao longo do tempo:

1. O método foi desenvolvido por meio dos dados de bacias regionais do centro-oeste dos EUA e, desde então, é utilizado em outros locais daquele país e de outras nações com os mesmos parâmetros, sem as necessárias adaptações das tabelas de CN para as bacias estudadas.
2. Para valores de CN e volumes de chuva baixos, o método se torna sensível à escolha do parâmetro e da umidade antecedente.
3. O método SCS-CN foi desenvolvido para calcular o escoamento superficial em áreas agrícolas e, posteriormente, sua aplicação foi estendida a locais urbanos. Em contextos florestais, tal método não apresenta bom desempenho, por ser mais apropriado para regiões onde o escoamento subterrâneo é baixo, no qual o escoamento superficial corresponde a grande parte do escoamento total.
4. Tal método é adequado para bacias menores que 250 km², por desconsiderar os efeitos de escala espacial. Na literatura, alguns autores enfatizam que o número de curvas tende a diminuir, na medida em que se aumenta a área de captação da bacia em estudo.
5. O fator de *iA* definido como 0,2 para o desenvolvimento do método deve ser interpretado como um parâmetro regional para compreender o efeito do método na bacia hidrográfica e suas características.

Essas incertezas são analisadas por Hawkins *et al.* (2009), que propuseram um método analítico para determinar o coeficiente de *iA* a partir do método SCS-CN, no qual os

parâmetros, o coeficiente de iA e S foram determinados por precipitação total, escoamento superficial e iA , com obtenção de um valor específico para cada evento a partir dos dados hidrológicos. Tal procedimento foi reestruturado por Shi *et al.* (2008), cuja forma de aplicação foi proposta por meio de um método de análise do coeficiente de iA e conforme o referido método. Primeiramente, o processo determinou o escoamento superficial com base na razão entre o volume do escoamento superficial e a área da bacia para cada evento investigado. De fato, a separação do fluxo é relevante nesse contexto, porque apenas os dados de fluxo de superfície são usados para a análise.

Posteriormente, ao utilizar hidrogramas gerados para cada evento, a partir de dados de precipitação e vazão ao longo do tempo, o uso determina que toda precipitação anterior ao início do escoamento superficial é considerada iA do evento. Sendo assim, ao implementar os valores de precipitação total, escoamento superficial e iA para cada evento, pode-se obter a capacidade máxima de infiltração e, em seguida, definir os coeficientes de iA . Esse novo modelo analítico proposto por Hawkins *et al.* (2009), também empregado por Shi *et al.* (2009), analisa o escoamento superficial gerado para coeficientes de abstração iniciais predefinidos e os correlaciona com a observação de dados reais.

2.3 ESTUDOS SOBRE O COEFICIENTE DA ABSTRAÇÃO INICIAL

O coeficiente de iA expresso como 0,20 se justifica pela documentação oficial do Capítulo 10 do Manual Nacional de Engenharia de Hidrologia – *Hydrology National Engineering Handbook* (SCS, 2004) que, a partir de dados de campo para bacias hidrológicas de vários locais dos Estados Unidos, encontrou um gráfico para definir tal valor constante. No entanto, diversos estudos têm apresentado resultados inconsistentes ao utilizar um coeficiente de iA de 0,20, portanto, as suposições sugeridas pelo método SCS-CN. De acordo com Ling e Yusop (2014), o principal fator dessa inconsistência se refere às feições geomórficas de cada bacia de estudo; logo, vários estudiosos têm realizado pesquisas regionais para obter correlações com métodos originais e validar seus modelos em regiões específicas.

Com a análise dos dados de escoamento, precipitação total e iA , Mello *et al.* (2003) observaram que a relação entre iA e S não apresentou nenhum padrão comportamental, o que determina a alta sensibilidade da variável de iA . Os coeficientes iniciais de dizimação variaram de 0 a 0,081 para as bacias estudadas, com média de 0,015, índice abaixo dos 0,200 sugeridos pelo método SCS-CN. A predefinição do coeficiente de iA pode não corresponder às diferenças apresentadas em cada evento de precipitação, pois tal parâmetro não será constante em eventos

curtos e intensos e/ou longos e menos intensos. Sugere-se ainda que λ pode ser interpretado como um parâmetro característico de 26 regiões com feições geomorfológicas semelhantes, o que eleva a capacidade de mitigar a diversidade climática e geológica (PONCE; HAWKINS, 1996).

Definir a iA como fração da capacidade máxima de infiltração pode ignorar a real magnitude dos parâmetros que dependem diretamente das mudanças topográficas na bacia. Estudos realizados em várias bacias hidrográficas localizadas na Pensilvânia, EUA, que definiu a iA como o parâmetro, apresentou o maior erro na estimativa do escoamento superficial e concluiu que o coeficiente de iA está abaixo do índice recomendado (0,200). Por seu turno, Jiang (2001) utilizou dados de mais de 300 bacias hidrográficas e verificou que não havia interação entre a iA e a captação máxima de água. Vale ressaltar que a padronização dos valores iniciais dos coeficientes de iA pode ser aceitável em estudos simplificados, mas entender a bacia hidrográfica e suas características é fundamental para reduzir os erros envolvidos nos cálculos do método SCS-CN – os valores do coeficiente de iA variaram de 0 a 0,996, em que o valor de 0,05 apresentou melhor ajuste que 0,200. Ao utilizar dados de eventos de chuva e escoamento observados em uma bacia hidrográfica da Ática, o fator de iA para a área total da bacia corresponde a 0,014 e, para uma sub-bacia, encontrou-se 0,037. Essa diferença pode ser explicada por diferentes distribuições de tipos de solo e formações geológicas (BALTAS; DERVOS; MIMIKOU, 2007).

O método SCS-CN subestimava grandes eventos de escoamento, ao indicar que o valor de λ igual a 0,050 seria o ideal em estudos realizados em bacias chinesas. Shi *et al.* (2009). Nesse entremeio, Hawkins *et al.* (2009) propuseram dois métodos diferentes para determinação do coeficiente de iA a partir de dados de eventos de chuva-vazão, cujos resultados demonstraram que um valor de 0,05 apresenta melhor ajuste de dados e seria mais apropriado na utilização no método SCS-CN. Tal modificação é verificada, principalmente, em eventos de precipitação que geram menores quantidades de escoamento superficial ou apresentam CNs inferiores.

Segundo Hawkins *et al.* (2009), há falta de informações para a determinação da iA e do armazenamento máximo da água no solo, os quais são influenciados pelo tipo de bacia e pelo número e grandeza dos eventos de chuva. Ponce e Hawkins (1996) resumem que o índice da iA (λ) pode ser definido como um parâmetro local capaz de representar a resposta do método à diversidade geológica e climática.

Nesse entremeio, o SCS-CN modificado por Mishra *et al.* (2003) consiste em uma releitura do método original, com o objetivo de aperfeiçoar a relação entre a iA e o potencial de armazenamento de água no solo, ao considerar a umidade antecedente como função da precipitação acumulada nos últimos cinco dias. Estudos comprovam a abrangência do SCS-CN, que está incorporado em modelos como os de erosão do solo e controle de enchentes (BARTLETT *et al.*, 2016).

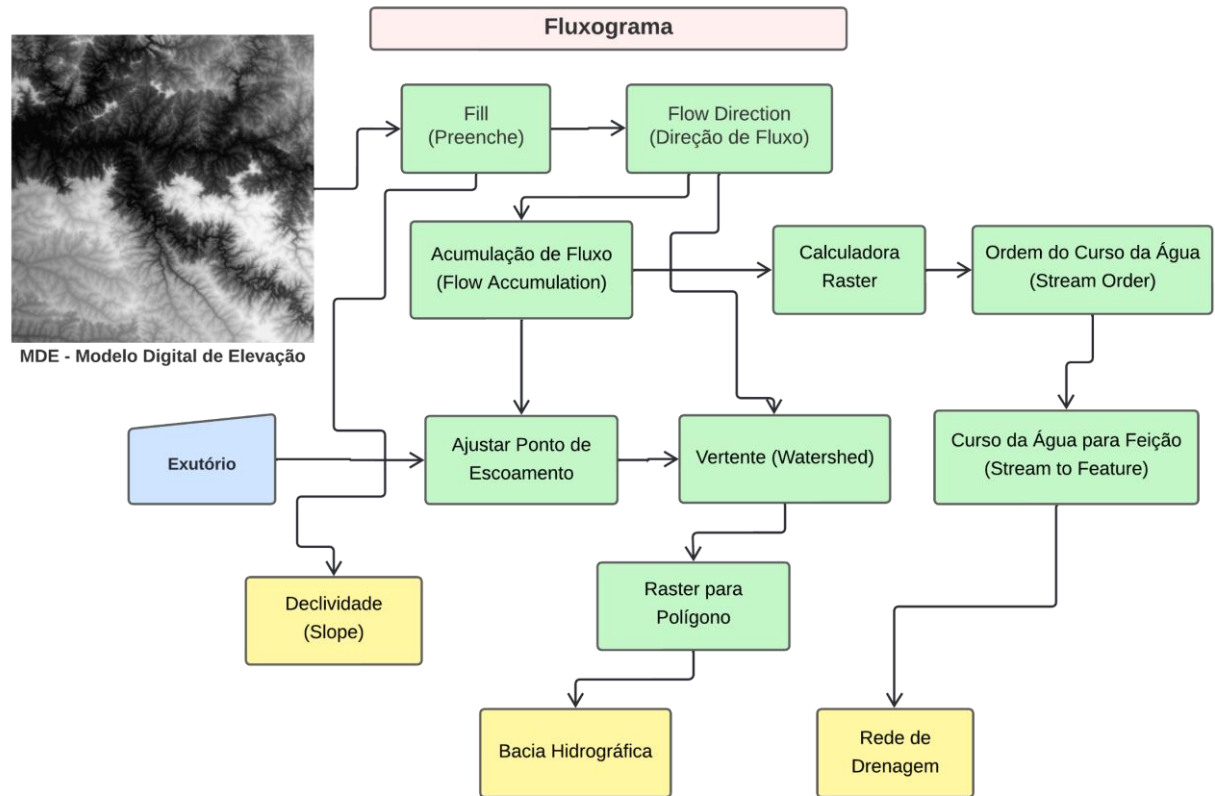
Convém salientar que o SCS-CN é bastante utilizado no Brasil, em se tratando da previsão do escoamento superficial a partir de eventos de chuva (OLIVEIRA *et al.*, 2016), assim como da estimativa de vazões em pequenas bacias hidrográficas. No entanto, tais índices não foram ajustados às pequenas bacias hidrográficas do país, visto que os valores de SCS-CN são modificados conforme os diferentes usos e tipos de solos, além das condições hidrológicas propriamente ditas.

3 METODOLOGIA

3.1 IMAGENS DE SATÉLITES E FERRAMENTAS CARTOGRÁFICAS

Para obter informações sobre as bacias hidrográficas – área, rede de drenagem e declividade, por exemplo –, foram extraídas imagens da Missão Topográfica Radar Shuttle (*Shuttle Radar Topography Mission – SRTM*) – Modelo Digital de Elevação (*Digital Elevation Model – DEM*) e sensores de abertura sintética *phased-array* (arranjo em fases, em tradução literal) – banda L. PALSAR do Satélite de Observação Terrestre Avançada do Japão (*Advanced Land Observing Satellite – ALOS*), com resolução de 12,5 m, disponível na Instalação de Satélite do Alasca (*Alaska Satellite Facility – ASF*, 2021).

A Figura 1 demonstra o fluxograma referente ao processo de delimitação de bacia hidrográfica, à rede de drenagem e declividade e às respectivas ferramentas utilizadas no *software* ESRI ArcGis Pro 2.8:

Figura 1 – Ferramentas Spatial Analyst Tools/Hidrology

Fonte: Elaboração da autora (2021).

O mapa de uso e ocupação do solo foi elaborado com base em imagens disponíveis nos satélites do Google em 2021, sendo confirmada a verdade do terreno por meio de acesso técnico que pode aprimorar e corrigir informações obtidas por meio da classificação de uso do solo no ambiente digital. Cumpre afirmar que, nas escalas disponíveis no método SCS-CN, as categorias de uso e ocupação do solo estão associadas a categorias semelhantes.

3.2 CAMPO DE ESTUDO

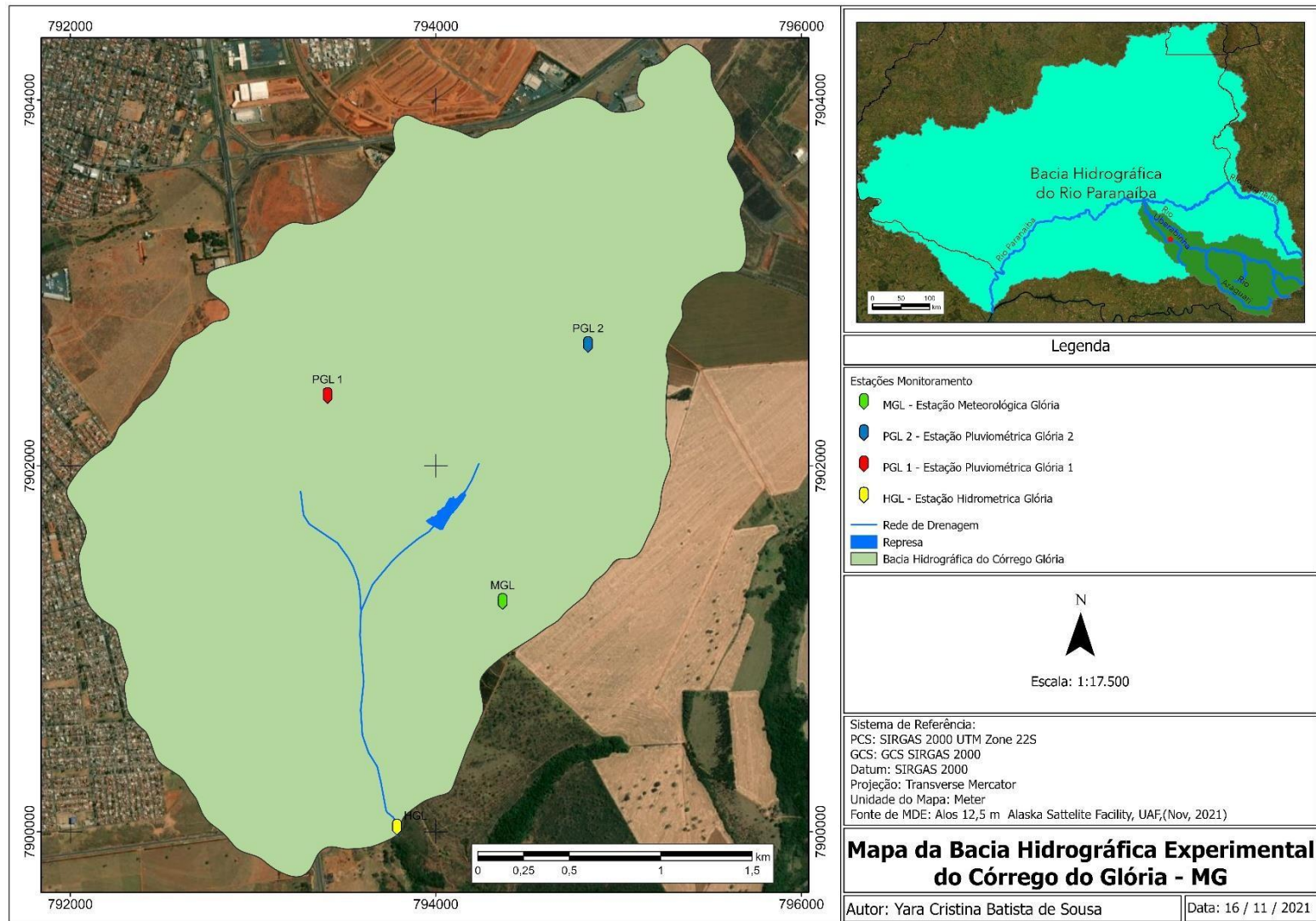
O campo de estudo corresponde a duas pequenas bacias situadas em Uberlândia/MG e são denominadas como Bacia Hidrográfica Experimental do Córrego do Glória (BHEGL) e Bacia Hidrográfica Experimental do Córrego Água Vermelha (BHEAV). A seguir, serão transcorridos os tipos de mapas e informações de cada bacia citada, a iniciar com a BHEGL.

O Córrego Glória é um afluente do Rio Uberabinha, importante colaborador do Rio Araguari que, por sua vez, forma a Bacia Hidrográfica do Rio Paranaíba. Para este estudo, foi utilizado o banco de dados oriundos das quatro estações automatizadas, monitoradas pelos Laboratórios de Hidrologia e de Climatologia e Meteorologia Ambiental do Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) da UFU, localizadas na área da BHEGL: uma estação meteorológica, uma estação hidrológica e duas estações pluviométricas distribuídas por toda a bacia hidrográfica, conforme a Figura 2.

A BHEGL (Figura 2) está localizada na região sudeste de Uberlândia/MG, com área total de 9,50 km². As áreas da bacia e de controle são delineadas e localizadas a 18°58'18" de latitude sul e 48°12'36" de longitude oeste. Trata-se de uma bacia parcialmente urbanizada com o *Campus* Glória em seu interior, pertencente à UFU.

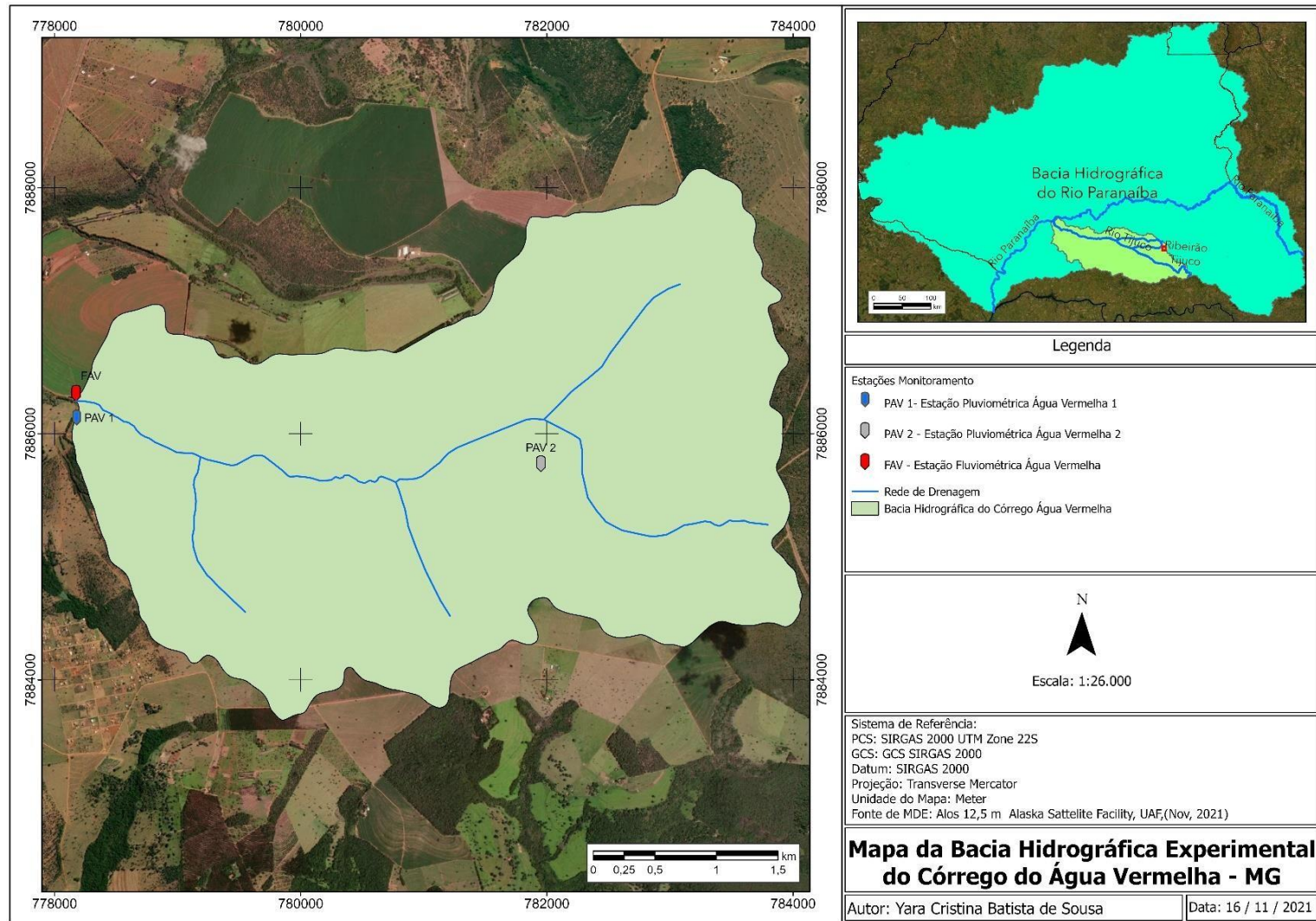
Um dos afluentes e localizado à margem do Rio Uberabinha, o Córrego Glória possui altitude máxima de 940 metros e se localiza à jusante da Cachoeira Sucupira que, por seu turno, é um dos principais afluentes do Rio Araguari. BHEAV (Figura 3) está localizada na região sul de Uberlândia/MG, com área total de 16,64 km². As áreas da bacia e de controle são delineadas e localizadas a 19°05'53" S de latitude e 48°21'21" W – trata-se de uma bacia totalmente rural.

Figura 2. Mapa da Bacia Hidrográfica Experimental do Córrego do Glória (BHEGL), Uberlândia/MG, com as respectivas estações de monitoramento



Fonte: Elaboração da autora (2021).

Figura 3. Mapa da Bacia Hidrográfica Experimental do Córrego Água Vermelha (BHEAV), Uberlândia/MG, e as estações de monitoramento



Fonte: Elaboração da autora (2021).

3.3 CONTROLE HIDROLÓGICO

De acordo com as estações sinalizadas no mapa (Figura 3), as informações de vazão e precipitação apresentadas foram coletadas de 16 de novembro de 2015 a 24 de maio de 2020. A regularidade de armazenamento dos dados de chuva e a cota foram medidos em um intervalo de cinco minutos, ao passo que o controle de medição e armazenamento foi totalmente automatizado.

Obtiveram-se as informações de vazão e precipitação utilizadas neste trabalho conforme as estações de medição de vazão e precipitação instaladas nas bacias mencionadas (Figuras 2 e 3). As vazões nos córregos Glória e Água Vermelha foram alcançadas conforme o monitoramento do nível d'água (altitude) medido na seção de controle por meio de curvas-chave (Equações 1 e 2) (MELLO; SILVA, 2013):

$$Q = 6,2376 \times H^{0,8978} \quad (\text{Equação 1})$$

$$Q = 9,004 \times H^{0,6174} \quad (\text{Equação 2})$$

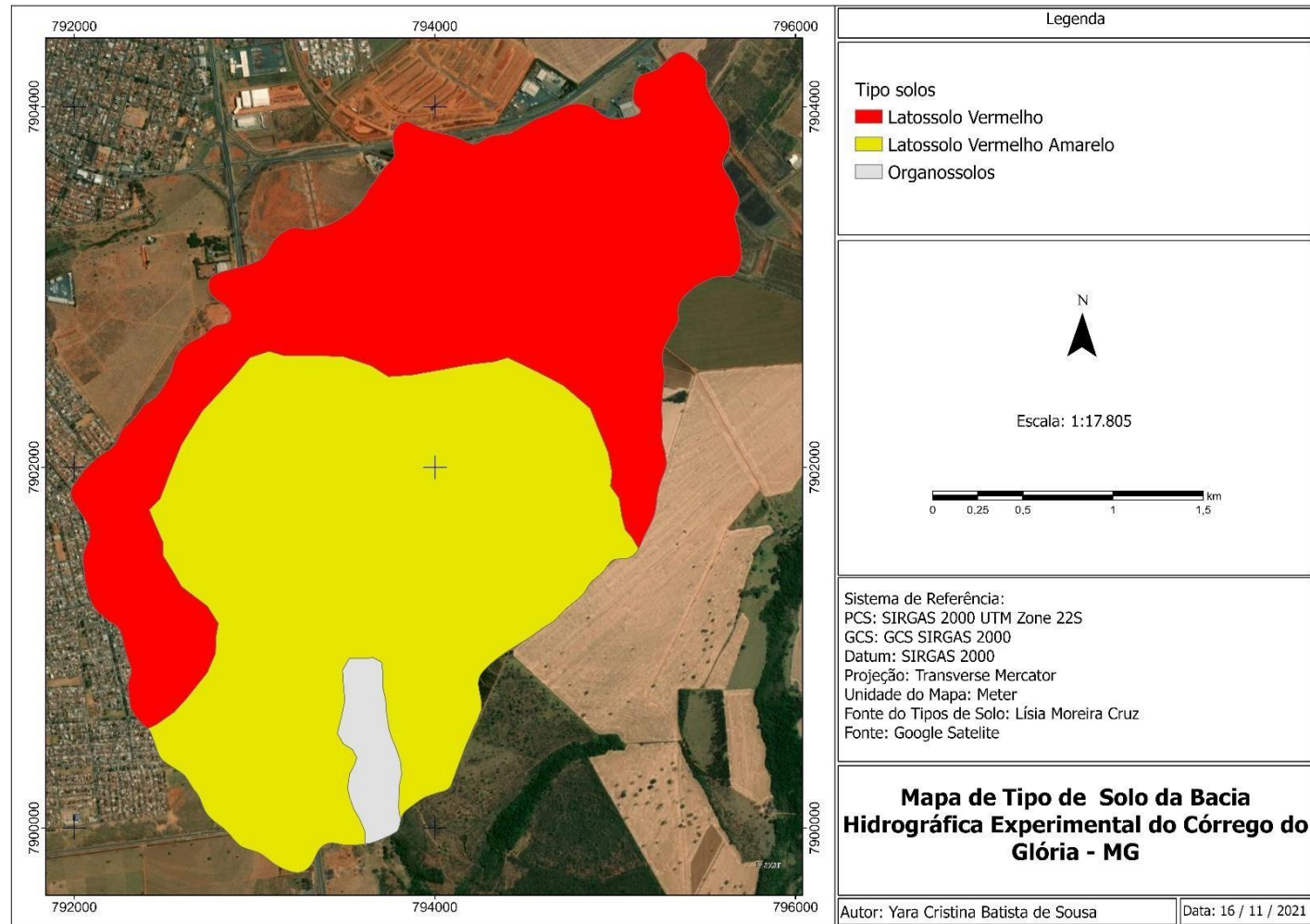
Em que: Q é a vazão ($L s^{-1}$); e H , a altura ou cota do nível da água (cm).

3.4 TIPOS DE SOLO

No trabalho desenvolvido por Cruz, Pinese Júnior e Rodrigues (2010), os autores estratificaram e classificaram os solos da bacia hidrográfica do Glória de acordo com a metodologia recomendada no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) editado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1999). Para seguir a categorização do trabalho citado, a BHEGL apresenta os seguintes tipos de solo: latossolo vermelho, latossolo vermelho amarelo e organossolo, conforme demonstrado na Figura 4 e detalhado na Tabela 1.

Os latossolos são solos minerais e homogêneos (com pouca diferenciação entre horizontes e cor homogênea que se altera com a profundidade), normalmente profundos e bem drenados. Outra característica comum é a acidez, o que requer manejo adequado na correção e adubação fertilizante (EMBRAPA, 2014).

Figura 4. Mapa de solos da BHEGL



Fonte: Elaboração da autora (2021).

Segundo dados da Embrapa (2014), os latossolos correspondem a 31,49% dos solos brasileiros, em uma área de aproximadamente 2.681.588,69 km². Mello e Silva (2013) elencam quatro categorias de solo – inclusive, a bacia do Glória se enquadra, em grande parte, no Grupo A (solos caracterizados por escoamento baixo e infiltração alta, arenosos e com baixo teor de argila; profundos e com alta permeabilidade):

- Latossolos vermelhos amarelos: com teores medianos de Fe₂O₃, são solos ácidos e muito ácidos, com saturação de base baixa e teor de alumínio normalmente alto. Suas principais limitações são a acidez elevada e a fertilidade química baixa.
- Latossolo vermelho distrófico: correspondem a solos minerais com teores médios a altos de Fe₂O₃, conhecidos anteriormente como latossolos vermelhos escuros. Possuem textura argilosa, muito argilosa ou média. Suas condições físicas, aliadas ao relevo plano ou suavemente ondulado, favorecem o uso na agricultura, e os de textura média são mais pobres e podem ser degradados facilmente por compactação e erosão.
- Organossolos: são constituídos preponderantemente por elevadas taxas de matéria orgânica, em diferentes graus de decomposição, assentados sobre camadas minerais de diferentes texturas ou rochas. Para verificar o acúmulo de matéria orgânica, existem duas possibilidades: formação em ambientes altomontanos (grandes altitudes com predomínio de clima frio), onde não se encontram saturados por água ou sob forte grau de alagamento, normalmente em planícies de rios ou nascentes – neste último, a bacia do Glória possui apenas 3% (EMBRAPA, 2014).

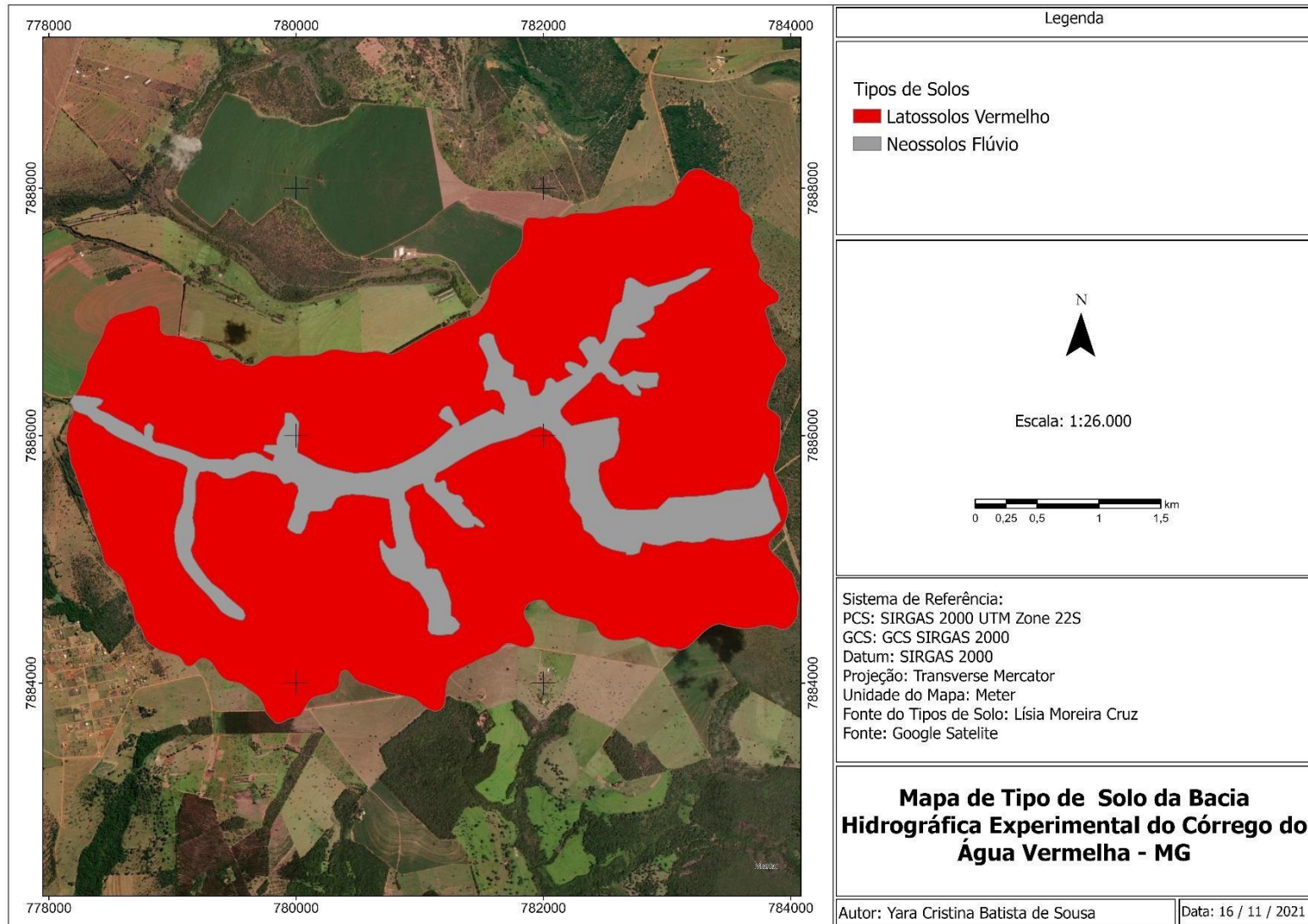
Na sequência, a Tabela 1 e a Figura 5 sintetizam as principais características da BHEGL e da BHEAV, respectivamente:

Tabela 1. Tipos de solos com as respectivas áreas e os valores percentuais observados na BHEGL

TIPOS DE SOLO	ÁREA (KM ²)	PERCENTUAL (%)
Latossolo vermelho amarelo	4,9	51,58
Latossolo vermelho	4,41	46,43
Organossolo	0,19	2,00
TOTAL	9,5	100,01

Fonte: Elaboração da autora (2021).

Figura 5. Mapa de solos da BHEAV



Fonte: Elaboração da autora (2021).

A disposição das classes de solo da BHEAV foi alcançada com o levantamento de dados detalhados dos solos da Estação Experimental Regional do Triângulo Mineiro, realizado pelo Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA, 1982). Os solos foram classificados em dois tipos – neossolo flúvico e latossolo vermelho –, como ilustra a Figura 5 e detalha a Tabela 2.

Tabela 2. Tipos de solo com as respectivas áreas e os valores percentuais observados na BHEAV

TIPOS DE SOLO	ÁREA (KM ²)	PERCENTUAL (%)
Latossolo vermelho	13,943	83,79
Neossolo flúvico	2,7	16,23
TOTAL	16,643	100,02

Fonte: Elaboração da autora (2021).

De acordo com a Embrapa (2014), os neossolos ocupam aproximadamente 13,18% do território brasileiro e constituem o terceiro maior tipo de solo do país. Como principal característica, normalmente são de pequena profundidade (rasos) ou predominam áreas quartzosas divididas em cinco subgrupos: neossolos litólicos ou neossolos regolíticos de baixa profundidade; neossolos quartzarênicos de baixa retenção de água; e neossolos flúvicos de elevada suscetibilidade à inundação – estes últimos caracterizam as bacias ora estudadas.

Os neossolos de baixa profundidade ou baixa retenção de água apresentam maior restrição ao uso agrícola, ao requererem adubações, correção de acidez (calagem) e de excesso de alumínio, cuidados contra erosão e, em alguns casos, irrigação. Nesses solos, há ausência de gleização – processo de formação do solo característico das condições de excesso de água (hidromorfismo) –, expressiva em 50 cm da superfície do solo.

3.5 DECLIVIDADE DO SOLO

A declividade do solo das bacias estudadas foi classificada como plana, suave ondulada, ondulada, forte-ondulada e montanhosa. Na sequência, a Figura 6 indica a declividade do solo na BHEGL, enquanto os valores percentuais e as áreas ocupadas em cada classe se encontram Tabela 3 e demonstram a predominância de relevo suave ondulado e ondulado:

Tabela 3. Grupo de declividade e tipos de relevo com as respectivas áreas e os valores percentuais de declividade do solo observados na BHEGL

GRUPOS DE DECLIVIDADE (%)	TIPOS DE RELEVO	ÁREA (KM ²)	PERCENTUAL (%)
0 a 3	Plano	1,1	11,58
3 a 5	Suave/ondulado	5,8	61,06
8 a 20	Ondulado	2,56	26,95
20 a 45	Forte/ondulado	0,04	0,42
	TOTAL	9,5	100,01

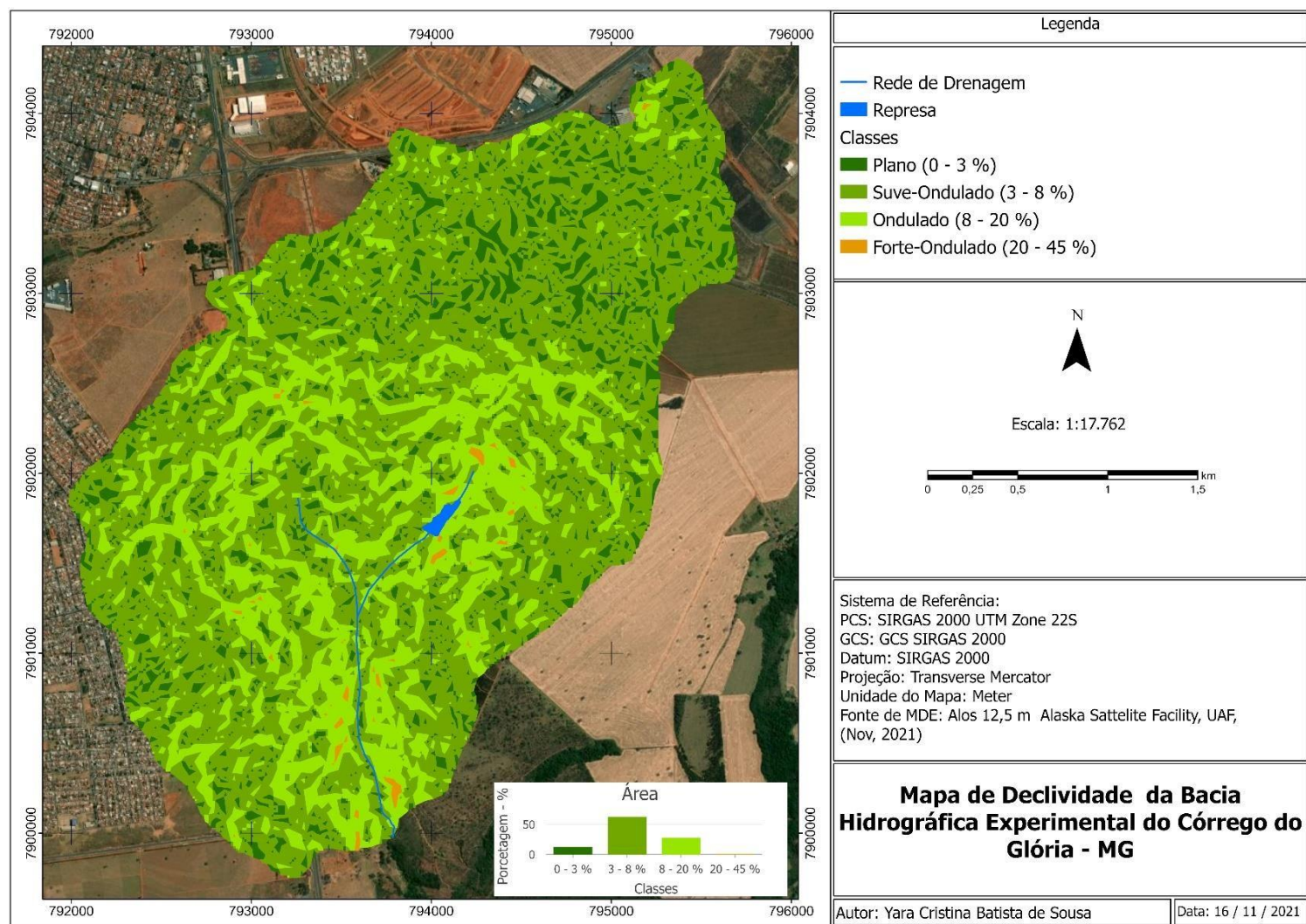
Fonte: Elaboração da autora (2021).

De fato, a declividade de uma bacia hidrográfica se relaciona com os processos hidrológicos, tais como infiltração, escoamento superficial, umidade do solo etc. Além disso, é um dos fatores principais que regulam o tempo de duração do escoamento superficial e de concentração da precipitação nos leitos dos cursos d'água. A diferença entre as elevações máxima e mínima define a “amplitude altimétrica” da bacia: ao se dividir a amplitude altimétrica pelo comprimento da bacia, obtém-se uma medida do gradiente ou da declividade geral da bacia que, por sua vez, possui relação com o processo erosivo.

Apesar de a declividade influir na relação entre a precipitação e o deflúvio, principalmente devido ao aumento da velocidade de escoamento superficial – o que reduz, em consequência, a possibilidade de infiltração da água no solo –, não se deve desprezar a influência secundária da direção geral da declividade, ou seja, da orientação da bacia. Tal orientação define a direção geral para a qual a declividade está exposta e afeta as perdas por evapotranspiração, devido à sua influência sobre a quantidade de radiação solar recebida pela bacia – esta pode, sem dúvidas, impactar nas relações entre a precipitação e o deflúvio.

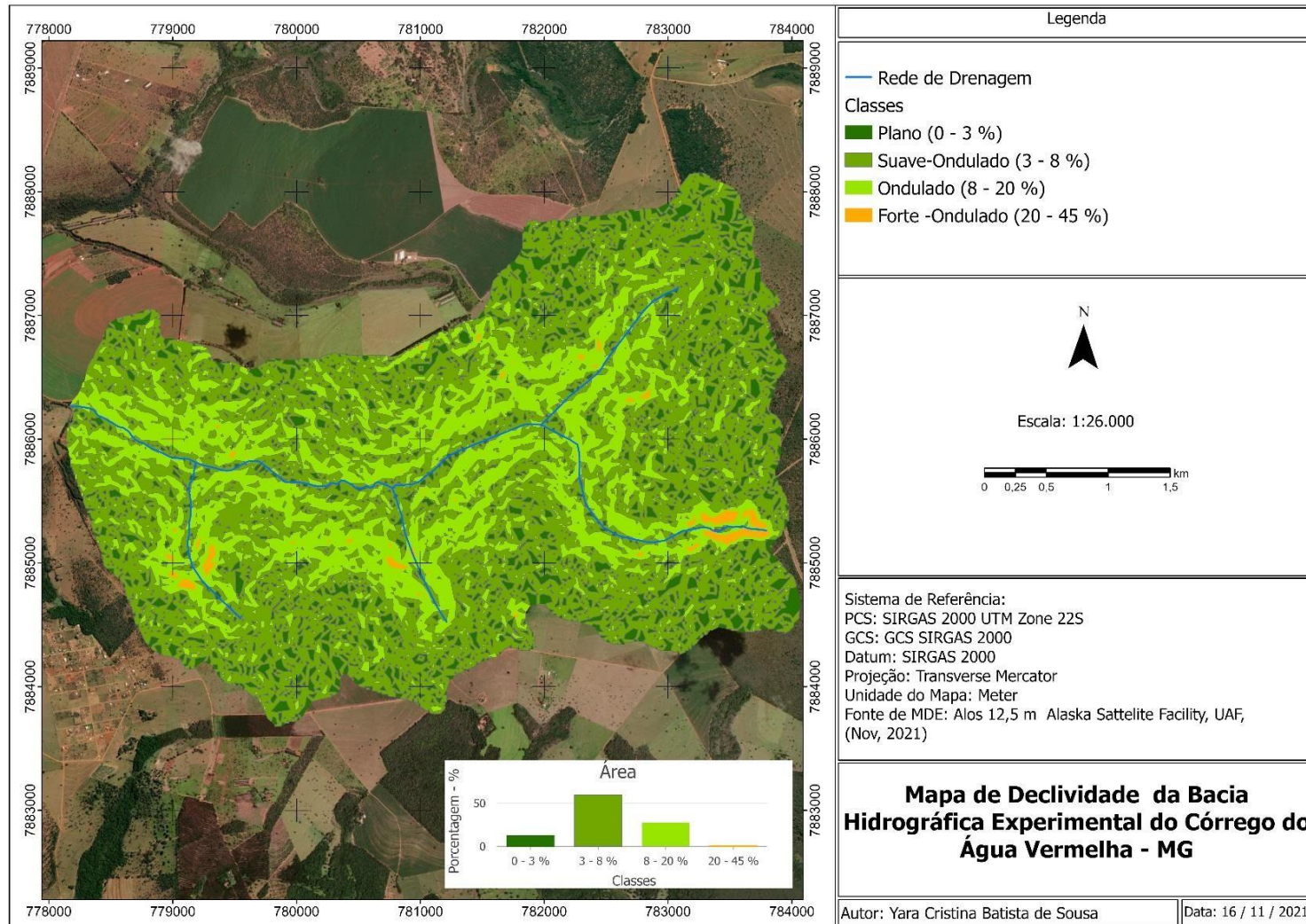
No tocante à BHEAV, esta apresentou declividade composta pelos seguintes grupos: plano, suave ondulado, ondulado, forte-ondulado e montanhoso. Eles estão representados na Figura 7, e, assim como na bacia anterior, a porcentagem de valores e áreas ocupadas foi definida na Tabela 4:

Figura 6. Mapa de declividade da BHEGL



Fonte: Elaboração da autora (2021).

Figura 7. Mapa de declividade da BHEAV



Fonte: Elaboração da autora (2021).

Tabela 4. Grupos de declividade e tipos de relevo com as respectivas áreas e os valores percentuais de declividade observados na BHEAV

GRUPOS DE DECLIVIDADE (%)	TIPOS DE RELEVO	ÁREA (KM²)	PORCENTUAL (%)
0 a 3	Plano	2,063	12,40
3 a 5	Suave ondulado	9,8677	59,30
8 a 20	Ondulado	4,573	27,48
20 a 45	Forte-Ondulado	0,134	0,81
	Total	16,6377	99,99

Fonte: Elaboração da autora (2021).

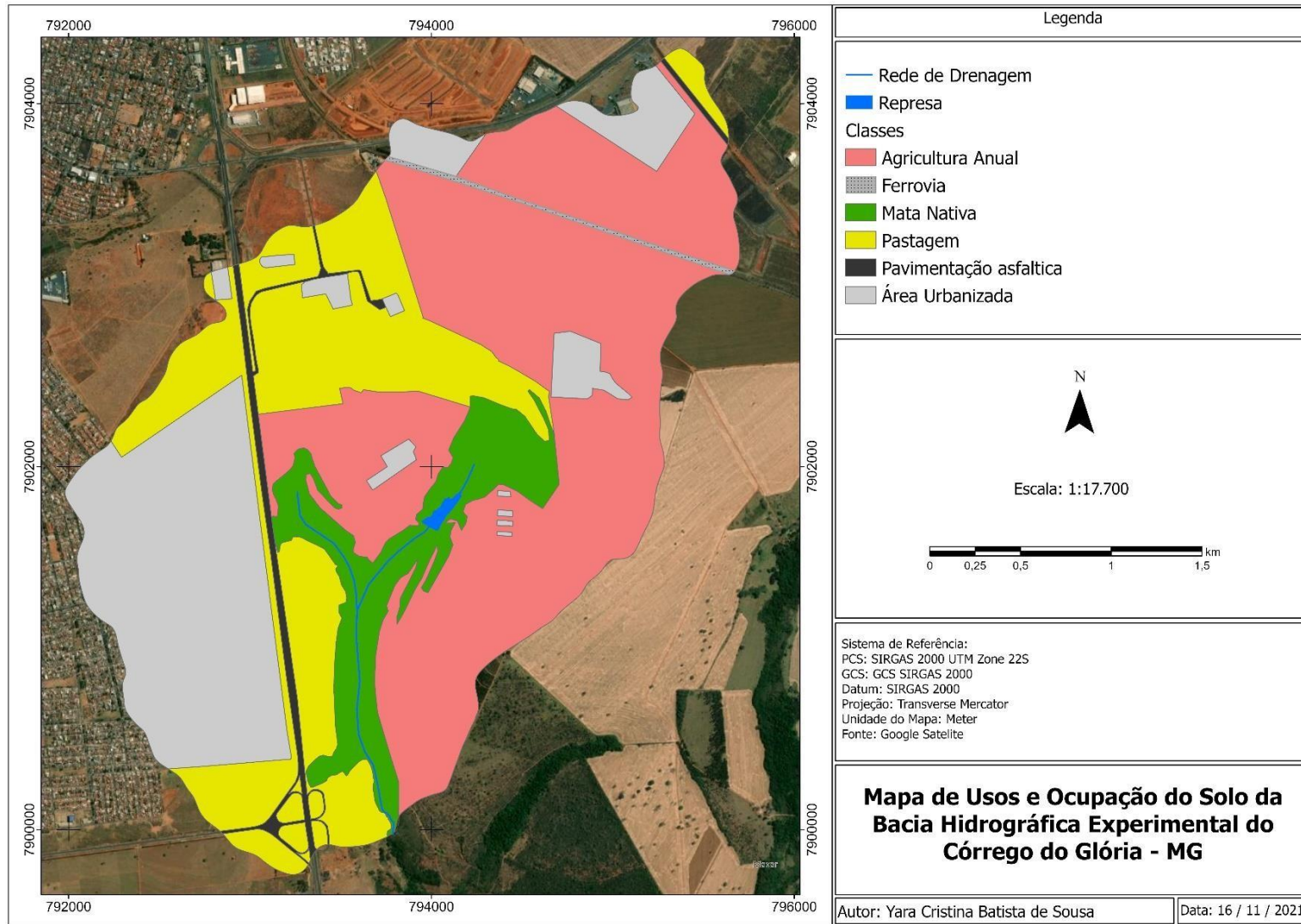
A seguir, serão abordados o uso e a ocupação do solo nas bacias investigadas neste estudo.

3.6 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

O estudo de uso e ocupação consiste em buscar conhecimento de toda a sua utilização por parte do homem ou pela caracterização dos tipos e categorias de vegetação natural que reveste o solo. Segundo Rosa, a expressão “uso do solo” pode ser entendida como a forma pela qual o espaço é ocupado pelo homem, cujo estudo é fundamental para o entendimento dos processos ocorridos no ambiente urbano. (ROSA 2009 apud FRATARI, M. F.; MORAIS, M. E. de 2017.). O estudo constante dessa ocupação tem se mostrado importante na determinação dos conflitos sobre o emprego dos recursos naturais, ao ser aplicado no monitoramento e na investigação das condições ambientais das cidades. (THOMLINSON; RIVIERA, 2000)

Neste trabalho, o uso e a ocupação do solo na BHEGL levou à catalogação de sete classes de uso do solo, conforme a Figura 8 e a Tabela 5: represa, agricultura anual, ferrovia, mata nativa, pastagem, pavimentação asfáltica e área urbanizada. A área composta pela agricultura anual demonstrada na Figura 8 determina a maior parte de uso e ocupação da BHEGL, o que traduz o aumento e a diminuição da impermeabilização, além do avanço das áreas urbanas e de uso agrícola e dos solos frágeis com argilas que induzem à formação do escoamento superficial. Convém salientar que as áreas de pastagens foram urbanizadas, o que resultou no aumento dos índices de escoamento.

Figura 8. Mapa de uso e ocupação do solo da BHEGL



Fonte: Elaboração da autora (2021).

Tabela 5. Uso e ocupação do solo com as respectivas áreas e os valores percentuais observados na BHEGL

CLASSES	ÁREA (KM ²)	PERCENTUAL (%)
Agricultura anual	4,12	43,37
Área urbanizada	2,23	23,48
Ferrovia	0,04	0,46
Mata nativa	0,91	9,58
Pastagem	2,01	21,21
Pavimentação asfáltica	0,18	1,89
TOTAL	9,50	100,00

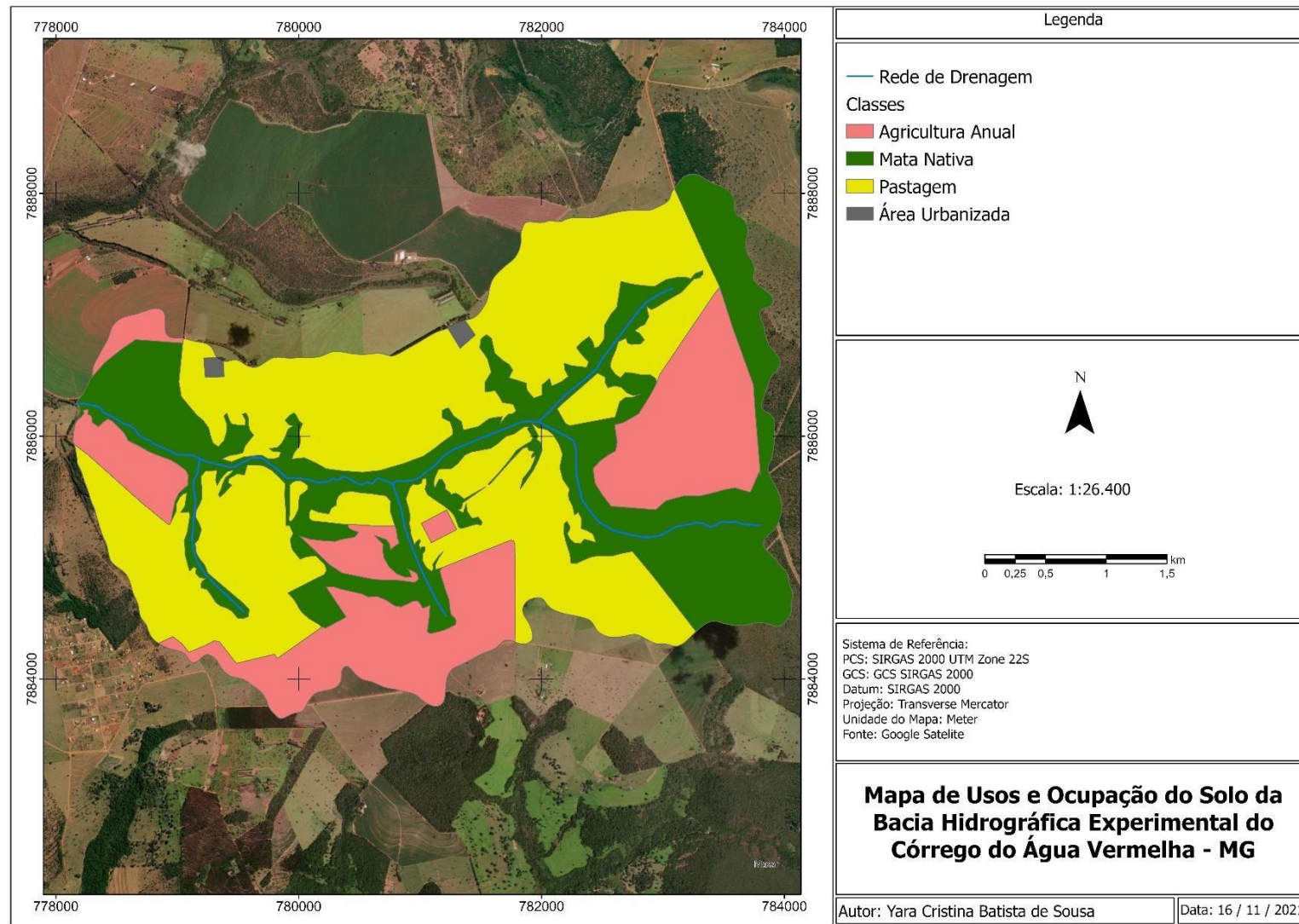
Fonte: Elaboração da autora (2021).

Cumpra destacar que o disciplinamento do uso e da ocupação do solo visa assegurar a qualidade e a quantidade dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica, no qual se torna relevante para organizar o desenvolvimento de uma bacia e, ao mesmo tempo, proteger os recursos naturais (SILVA, 2016). Sendo assim, conforme a Tabela 5, verifica-se maior área e ocupação do solo na BHEGL com agricultura e urbanização e pastagem, práticas que estão em constante crescimento com ocupação e uso indevido do solo, ao ocasionar processos erosivos como sulcos e voçorocas, o que justifica a fragilidade do solo em algumas regiões, de acordo com as declividades.

Ao sul da bacia do Glória se encontra uma área de intensos processos erosivos e, atualmente, há a voçoroca fortemente impactada por ações antrópicas naquela região, além de um processo de recuperação em que pesquisadores desenvolvem práticas de recuperação de áreas degradadas. Os locais de solo exposto apresentaram umidade do solo variável devido à ausência de cobertura e oscilações em função das intempéries.

No que diz respeito à BHEAV, foram categorizadas quatro classes de uso e ocupação do solo – agricultura anual, mata nativa, pastagem e área urbanizada –, as quais são detalhadas na Figura 9 e na Tabela 6 de porcentagem:

Figura 9. Mapa de uso e ocupação do solo da BHEAV



Fonte: Elaboração da autora (2021).

Tabela 6. Uso e ocupação do solo com as respectivas áreas e os valores percentuais observados na BHEAV

CLASSES	ÁREA (KM ²)	PERCENTUAL (%)
Agricultura anual	3,68	22,12
Área urbanizada	0,05	0,31
Mata nativa	5,06	30,40
Pastagem	7,85	47,16
TOTAL	16,64	99,98

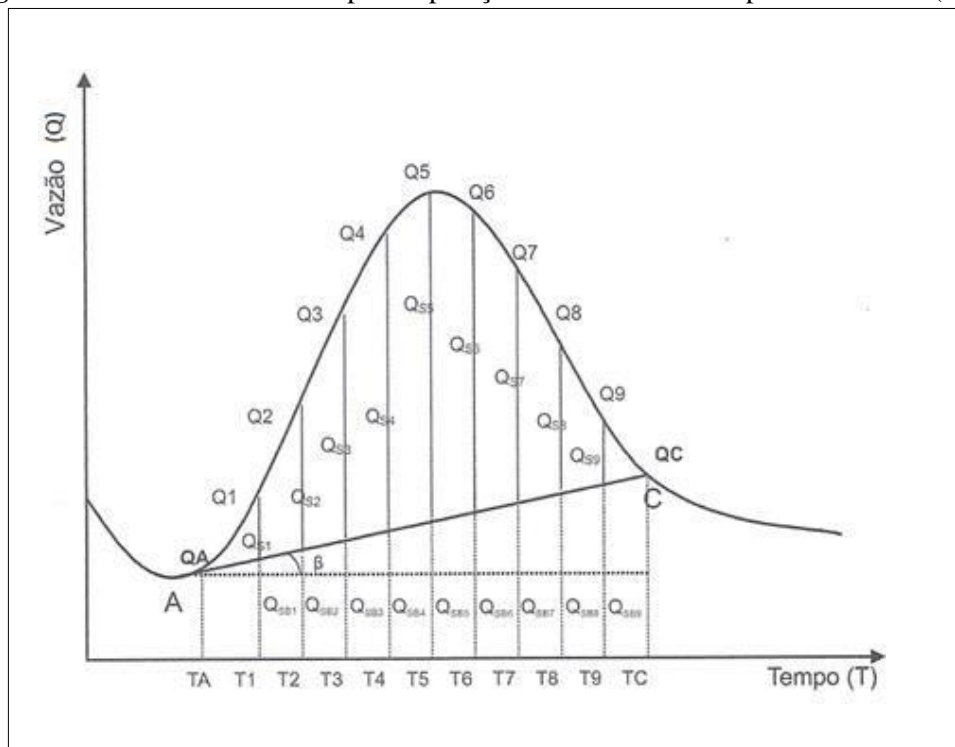
Fonte: Elaboração da autora (2021).

De acordo com a tabela acima, o uso e a ocupação do solo na BHEAV apresentam um percentual totalmente diferente da BHEGL, na qual a agricultura anual e a pastagem são predominantes, o que caracteriza poucas ondulações da área e causa uma fragilidade média a alta do solo. Essas ações geram constantemente processos de desestabilização do relevo que podem ser temporários ou permanentes, em especial a erosão e o movimento de massa.

3.7 MÉTODO PARA DETERMINAR O ESCOAMENTO SUPERFICIAL DIRETO (ESD)

Neste trabalho, o ESD foi estimado por meio da regra dos trapézios, a partir de diversos hidrogramas obtidos em cada bacia hidrográfica experimental. Tal metodologia consiste em multiplicar a vazão, em cada instante, pelo intervalo de tempo entre as medições – neste trabalho, o intervalo foi de cinco minutos.

Figura 10. Procedimento linear para separação do Escoamento Superficial Direto (ESD)



Fonte: Mello e Silva (2013).

A área do hidrograma foi dividida em retângulos de altura igual à vazão e largura equivalente ao intervalo de tempo entre as medições (Figura 10). Para a separação do escoamento superficial direto e subterrâneo, realizou-se uma aproximação linear entre os pontos A e C, dada pela reta AC representada na Figura 11. Após isso, foi calculada a inclinação da reta AC por meio da Equação 3:

$$m = \operatorname{tg}(\beta) = \left(\frac{QC - QA}{TC - TA} \right) \quad (\text{Equação 3})$$

Em que: m é inclinação da reta AC ($L s^{-2}$); QC , vazão superficial medida no ponto C ($L s^{-1}$); QA , vazão superficial medida no ponto A ($L s^{-1}$); TC , tempo no ponto C (s); e TA , tempo no ponto A (s).

Ao obter a inclinação da reta AC, foi calculado o valor a ser incrementado às vazões de escoamento em cada intervalo de tempo das vazões a partir de QA , conforme a Equação 4:

$$J = m \cdot \Delta t \quad (\text{Equação 4})$$

Em que: J é o valor a ser incrementado às vazões ($L s^{-1}$); e Δt , intervalo de tempo entre as vazões (s).

Após a obtenção do valor a ser incrementado a partir do escoamento em QA , foram determinadas as vazões subterrâneas (Q_{SB}) por meio da Equação 5:

$$Q_{SB1} = QA + J; Q_{SB2} = Q_{SB1} + J; Q_{SB3} = Q_{SB2} + J; \dots \quad (\text{Equação 5})$$

Em que: $Q_{SB1,2,3\dots}$ é a vazão subterrânea nos tempos 1, 2 e sucessivamente ($L s^{-1}$).

Dessa forma, a soma da vazão antecedente ao ponto de inflexão C, adicionado a J , será igual a QC . Após isso, foram calculadas as vazões do ESD por meio da Equação 6:

$$Q_{S1} = Q_1 - Q_{SB1}; Q_{S2} = Q_2 - Q_{SB2}; Q_{S3} = Q_3 - Q_{SB3} \dots \quad (\text{Equação 6})$$

Em que: $Q_{S1,2,3\dots}$ é a vazão superficial direta nos tempos 1, 2 e sucessivamente ($L s^{-1}$); e $Q_{1,2,3\dots}$, vazões medidas pelo linígrafo referente ao ponto 1, 2 sucessivamente da hidrógrafa ($L s^{-1}$).

Finalmente, por meio do método numérico da regra dos trapézios aproximados determinou-se o ESD na Equação 7:

$$ESD = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{Si} \times \Delta T)}{A_{BH}} \quad (\text{Equação 7})$$

Em que: ESD é a lâmina de escoamento superficial direto (mm), e A_{BH} , a área da bacia hidrográfica (m²).

3.8 MÉTODO PARA DETERMINAR O INDICADOR/EXPOENTE ϕ

O indicador utilizado para determinar a lâmina de abstração capaz de gerar o ESD, segundo Tucci *et al.* (2015), representa a infiltração média em cada evento de chuva na bacia (Equação 8):

$$\phi = \frac{PT - ESD}{N_0} \quad (\text{Equação 8})$$

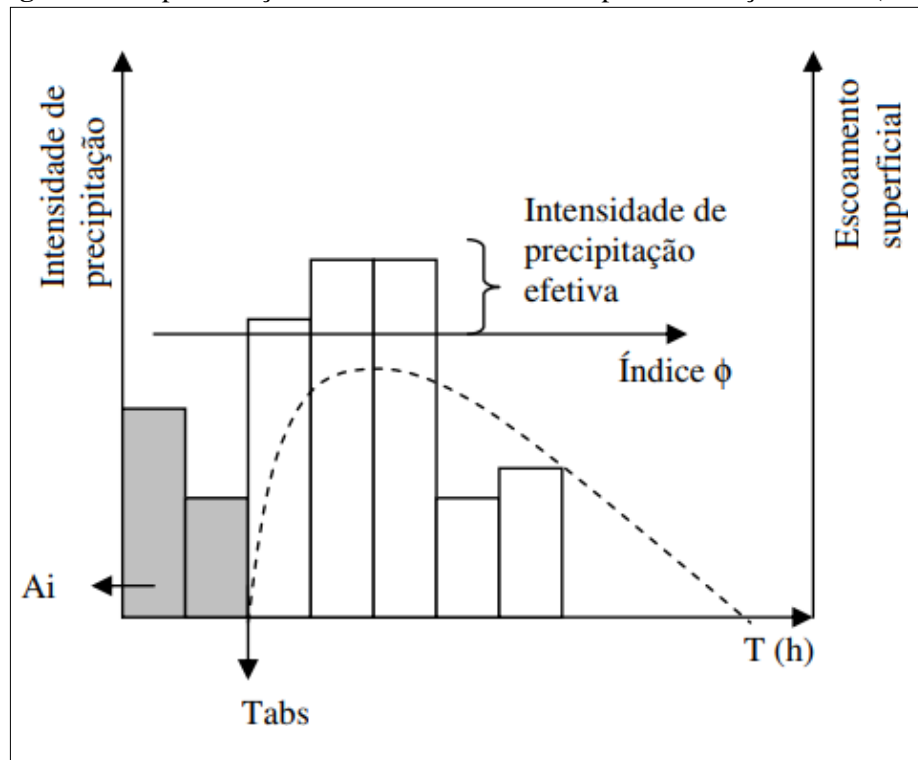
Em que: ϕ é a taxa de retenção média no solo de cada evento (mm); PT , a precipitação total de evento (mm); e N_0 , o número de ocorrência de cada evento de chuva.

Convém afirmar que o uso desse índice pressupõe que a parcela de absorção máxima do solo é igual ao valor. Qualquer evento de chuva em determinado intervalo de tempo que gerar um volume maior irá contribuir para o ESD na bacia.

3.9 MÉTODO PARA DETERMINAR OS NÍVEIS DA LÂMINA E DO TEMPO DE ABSTRAÇÃO

De acordo com Mello *et al.* (2003), uma iA pode ser obtida pela combinação das linhas do lençol freático (hidrograma) com os correspondentes mapas hidráulicos (heterogramas) que geram eventos diretos de escoamento superficial (Figura 11):

Figura 11. Representação da lâmina de iA e do tempo de abstração inicial (T_{abs})



Fonte: Mello *et al.* (2003).

O método é baseado nos seguintes conceitos: tempo de abstração, que corresponde ao tempo decorrido entre os inícios da precipitação e do escoamento superficial; e profundidade de captação, relativa à camada de precipitação que ocorre antes da precipitação efetiva, determinada de acordo com o índice. Nesse caso, tal lâmina representa a permeabilidade média na bacia.

3.10 MÉTODO PARA DETERMINAR O ÍNDICE DE ABSTRAÇÃO INICIAL (λ)

Neste trabalho, a determinação do índice de iA (λ) seguiu parametrizações de Mishra e Singh (1999) (Equações 9, 10 e 11), conforme preconizado no método SCS-CN:

$$P = I_a + F + Q \quad (\text{Equação 9})$$

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P - iA} \quad (\text{Equação 10})$$

$$I_a = \lambda S \quad (\text{Equação 11})$$

Em que: P é a precipitação total (mm); iA , abstração inicial (mm); F , a infiltração acumulada ao longo da chuva (mm); Q , o ESD durante uma chuva (mm) e; S , a capacidade máxima de armazenamento de água do solo (mm).

Hawkins *et al.* (2009) pontuam que, para obter o índice de iA (λ), deve-se conhecer a iA e a capacidade máxima de armazenamento de água do solo (S) (Equação 12).

$$\lambda = \frac{I_a}{S} \quad (\text{Equação 12})$$

O valor da iA foi obtido em cada hidrograma, ao somar a lâmina de chuva incidente na bacia até verificar o início da chuva efetiva, conforme ilustrado na Figura 11, na qual Mello *et al.* (2003) denominou a lâmina de chuva como iA . Por seu turno, o potencial máximo de infiltração no solo (S) foi determinado a partir da Equação 13 (HAWKINS *et al.*, 2009):

$$S = \frac{\sqrt{(P - I_a - Q)}}{Q} \quad 0 \leq Q \leq P \quad (\text{Equação 13})$$

Subsequentemente, serão abordados o método curva número e a incorporação da abstração inicial.

3.11 MÉTODO CURVA NÚMERO E A INCORPORAÇÃO DA ABSTRAÇÃO INICIAL

Com a incorporação da iA , a equação geral do método SCS-CN se estabeleceu por meio de estudos da relação entre a iA e a capacidade de armazenamento. A relação entre a iA e a capacidade de armazenamento foram determinadas em bases de dados obtidos em grandes e pequenas bacias hidrográficas. Instituiu-se que a iA possui 20% da capacidade de armazenamento de água do solo, ou seja, $iA = 0,2 \cdot S$. Ao assumir que a iA representa 20% da capacidade de armazenamento de água, a Equação 14 é substituída pela 15 na determinação do escoamento superficial (NRCS, 2004):

$$Q = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{P + 0,8 \cdot S} \quad \text{Se } P > I_a \quad (\text{Equação 14})$$

$$Q = 0 \quad \text{Se } P < I_a \quad (\text{Equação 15})$$

A capacidade de armazenamento de água em milímetros é obtida em função do valor CN, com o emprego da Equação 16 (NRCS, 2004):

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (\text{Equação 16})$$

Fonte: (NRCS, 2004).

Em que: S é a capacidade de armazenamento de água do solo (mm), e CN, a *Curve Number*.

A cada complexo solo-cobertura vegetal (*soil-cover complex*), atribui-se um valor CN preestabelecido em gráficos e tabelas. O valor CN indica o potencial de escoamento superficial para cada complexo, ao variar de zero a 100, em que, teoricamente, zero é atribuído para áreas com baixo poder de produzir escoamento superficial e elevada capacidade de armazenamento de água, e 100 se volta a áreas com alto poder de produção do escoamento superficial e reduzida capacidade de armazenamento do água (HAWKINS, 1993; HAWKINS *et al.*, 2009; NRCS, 2004; WOODWARD *et al.*, 2002).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores de chuva, duração e intensidade da chuva, lâmina escoada, capacidade de armazenamento de água no solo e índice de iA (λ) em BHEGL e BHEAV são detalhados nas Tabelas 7 e 8:

Tabela 7. Eventos de precipitação e vazão monitorados de dezembro/2015 a abril/2019 na BHEGL

DATA	CHUVA (MM)	LÂMINA ESCOADA (MM)	DURAÇÃO DA CHUVA (MIN)	INTENSIDADE DA CHUVA (MM/H)	S (MM)	λ (%)
16/11/2015	29,00	0,1220	50	34,8	42,6	4,22
22/11/2015	42,00	0,1850	60	42,0	33,2	12,04
29/11/2015	33,80	0,1564	120	16,9	28,3	49,40
08/12/2015	22,00	0,0375	135	9,8	101,9	7,26
19/12/2015	25,00	0,0582	100	15,0	83,1	1,93
04/01/2016	14,00	0,0295	60	14,0	118,3	1,52
05/01/2016	12,60	0,0708	135	5,6	44,0	6,36
06/01/2016	1,40	0,0012	20	4,2	886,5	0,02
11/01/2016	21,80	0,1430	160	8,2	31,0	6,45
13/01/2016	7,60	0,0243	75	6,1	91,9	2,83
17/01/2016	15,80	0,0506	105	9,0	73,3	2,73
27/01/2016	17,60	0,0110	75	14,1	366,7	0,38
11/02/2016	27,00	0,1214	160	10,1	38,9	11,83
03/03/2016	6,60	0,0200	140	2,8	115,7	1,04
10/03/2016	17,00	0,0528	95	10,7	77,6	0,26
11/03/2016	6,20	0,0327	45	8,3	63,9	2,82
14/03/2016	10,00	0,0202	35	17,1	155,1	0,13
13/05/2016	1,80	0,0018	30	3,6	708,6	0,03
03/06/2016	6,00	0,1730	30	12,0	13,7	1,46
09/12/2017	1,92	0,0011	40	2,9	1215,2	0,02
08/12/2017	2,66	0,0023	60	2,7	705,2	0,01
15/12/2017	10,29	0,0140	250	2,5	216,4	0,53
19/12/2017	1,68	0,0018	35	2,9	481,1	0,19
03/01/2018	8,85	0,0281	110	4,8	74,4	5,98
07/01/2018	15,78	0,0552	410	2,3	71,1	0,48
29/03/2018	2,84	0,0060	115	1,5	253,2	0,20
03/04/2018	27,76	0,0740	180	9,3	63,6	8,74
24/12/2018	15,87	0,1565	70	13,6	21,8	18,78
13/01/2019	2,26	0,0009	45	3,0	1617,5	0,02
26/01/2019	2,36	0,0024	105	1,3	599,7	0,05
12/02/2019	1,28	0,0032	35	2,2	308,3	0,09
14/02/2019	1,58	0,0043	75	1,3	275,0	0,05
18/02/2019	1,82	0,0080	40	2,7	157,8	0,13
20/02/2019	4,74	0,0004	30	9,5	5523,6	0,01
26/02/2019	11,33	0,0113	190	3,6	229,0	2,01
01/03/2019	6,47	0,0037	35	11,1	587,4	0,28
04/03/2019	0,90	0,0018	75	0,7	481,1	0,03
09/03/2019	1,71	0,0146	35	2,9	85,1	0,17
06/04/2019	1,62	0,0019	50	1,9	598,3	0,05
08/04/2019	2,71	0,0020	105	1,5	816,5	0,01
07/10/2019	123,91	0,0257	125	59,5	395,8	5,08
09/10/2019	132,49	0,0176	145	54,8	615,4	2,43
23/11/2019	162,39	0,0533	155	62,9	236,2	1,54
26/11/2019	133,00	0,0308	60	133,0	371,3	0,60

DATA	CHUVA (MM)	LÂMINA ESCOADA (MM)	DURAÇÃO DA CHUVA (MIN)	INTENSIDADE DA CHUVA (MM/H)	S (MM)	Λ (%)
28/11/2019	113,81	0,0071	165	41,4	1427,5	0,71
01/12/2019	90,48	0,0166	120	45,2	487,4	5,06

Fonte: Elaboração da autora (2021).

Tabela 8. Eventos de precipitação e vazão monitorados no período de dezembro/2016 a agosto/2019 na BHEAV

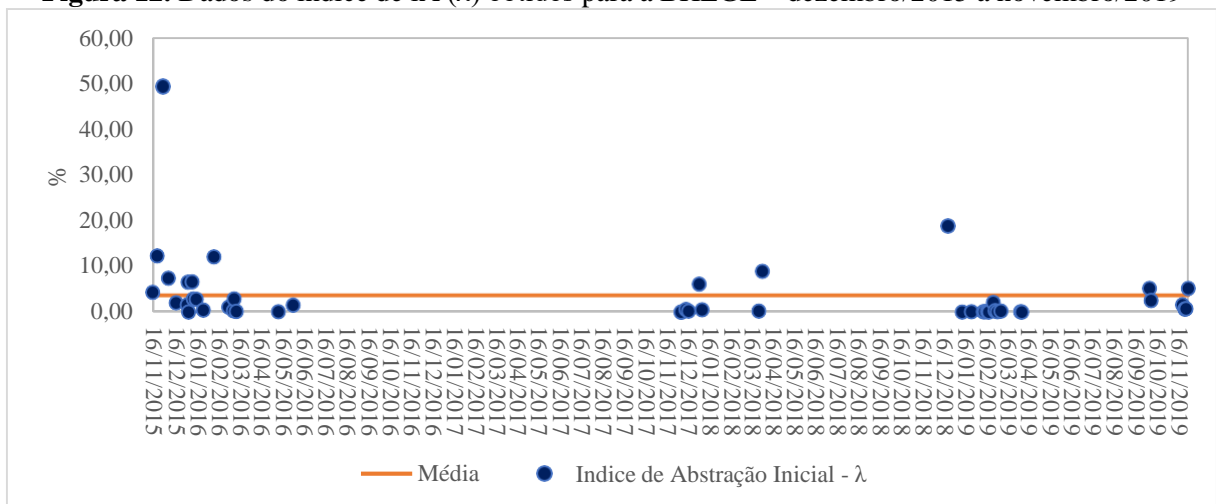
DATA	CHUVA (MM)	LÂMINA ESCOADA (MM)	DURAÇÃO DA CHUVA (MIN)	INTENSIDADE DA CHUVA (MM/H)	S (MM)	Λ (%)
29/12/2016	25,25	0,0831	115	13,2	56,0	6,25
09/01/2017	9,00	0,0266	125	4,3	109,3	0,46
12/01/2017	28,75	0,0261	125	13,8	115,5	1,41
15/01/2017	14,00	0,0318	140	6,0	115,5	0,43
19/01/2017	21,75	0,0227	30	43,5	199,5	0,63
04/02/2017	50,25	0,1032	180	16,8	50,2	46,28
22/01/2017	13,25	0,0254	115	6,9	141,8	0,18
23/01/2017	12,75	0,0067	185	4,1	504,7	0,25
27/02/2017	25,50	0,0268	100	15,3	178,7	1,40
01/03/2017	10,75	0,0208	95	6,8	153,8	0,33
05/03/2017	40,25	0,0909	175	13,8	67,3	4,09
06/04/2017	21,00	0,0360	80	15,8	95,1	9,73
16/05/2017	10,00	0,0099	65	9,2	298,7	0,42
22/05/2017	31,75	0,0516	175	10,9	91,8	10,07
16/10/2017	12,68	0,0140	40	19,0	229,1	1,06
30/12/2017	16,43	0,0138	115	8,6	237,1	2,40
13/01/2018	8,81	0,0111	100	5,3	260,2	0,17
12/02/2018	16,19	0,0096	100	9,7	356,5	1,23
17/03/2018	9,31	0,0065	50	11,2	454,2	0,15
03/04/2018	11,07	0,0107	140	4,7	240,4	1,82
19/05/2018	15,37	0,0198	90	10,2	178,3	1,65
15/06/2018	10,50	0,0185	90	7,0	130,4	3,60
24/10/2018	23,00	0,0172	240	5,8	252,2	1,66
25/10/2018	12,37	0,0292	95	7,8	87,4	6,65
01/11/2018	16,06	0,0272	290	3,3	134,6	1,95
03/11/2018	14,86	0,0151	40	22,3	246,4	0,38
04/11/2018	14,37	0,0102	130	6,6	346,5	0,54
05/11/2018	14,74	0,0051	105	8,4	687,3	0,38
12/11/2018	3,75	0,0055	45	5,0	324,1	0,17
14/11/2018	4,06	0,0208	50	4,9	86,4	0,94
16/11/2018	20,19	0,0255	120	10,1	170,8	0,70
18/11/2018	23,18	0,0626	75	18,5	74,8	1,59
23/11/2018	8,87	0,0124	205	2,6	228,6	0,38
22/12/2018	28,63	0,0179	140	12,3	238,1	4,39
25/12/2018	9,88	0,0134	125	4,7	186,7	1,94
26/12/2018	15,88	0,0148	90	10,6	232,8	1,75
31/12/2018	23,62	0,0533	65	21,8	85,9	3,06
01/01/2019	19,37	0,0442	200	5,8	75,5	10,84
13/01/2019	13,82	0,0165	75	11,1	185,1	2,40
22/01/2019	7,49	0,0076	35	12,8	338,5	0,28
25/01/2019	15,19	0,0076	265	3,4	505,4	0,07
15/02/2019	10,19	0,0183	100	6,1	163,9	0,73
18/02/2019	16,12	0,0377	75	12,9	89,0	5,41
20/01/2019	5,06	0,0150	30	10,1	130,2	0,96
26/01/2019	5,44	0,0097	70	4,7	180,3	1,32
01/03/2019	13,56	0,0261	155	5,3	129,9	1,59
10/03/2019	10,06	0,0176	80	7,5	162,9	1,12
04/05/2019	5,50	0,0043	50	6,6	458,5	0,35

DATA	CHUVA (MM)	LÂMINA ESCOADA (MM)	DURAÇÃO DA CHUVA (MIN)	INTENSIDADE DA CHUVA (MM/H)	S (MM)	Λ (%)
11/05/2019	5,32	0,0106	65	4,9	179,4	0,94
17/05/2019	21,88	0,0243	225	5,8	189,2	0,36
05/08/2019	20,56	0,0375	195	6,3	111,6	2,69
25/09/2019	20,5	0,0095	300	4,1	443	0,62
26/09/2019	29,25	0,0513	80	21,9	97	4,37
21/10/2019	11	0,0251	115	5,7	127	0,59
29/10/2019	29	0,0135	115	15,1	380	0,72
12/11/2019	22,5	0,0376	50	27,0	120	1,66
14/11/2019	31,25	0,0327	185	10,1	138	7,77
30/11/2019	28	0,0373	155	10,8	131	3,05
02/12/2019	13	0,0547	30	26,0	62	2,43
03/12/2019	26,5	0,0487	155	10,3	84	11,25
11/12/2019	33,75	0,0474	315	6,4	108	6,95
20/12/2019	39,75	0,1011	450	5,3	61	2,87
24/12/2019	5,25	0,0174	80	3,9	115	1,09
07/01/2020	14,25	0,0148	90	9,5	131	8,04
08/01/2020	20,5	0,0166	90	13,7	223	3,02
27/02/2020	6,75	0,0252	55	7,4	89	1,98
06/03/2020	14,5	0,0397	70	12,4	81	4,91
24/05/2020	33,75	0,1596	480	4,2	32	21,67

Fonte: Elaboração da autora (2021).

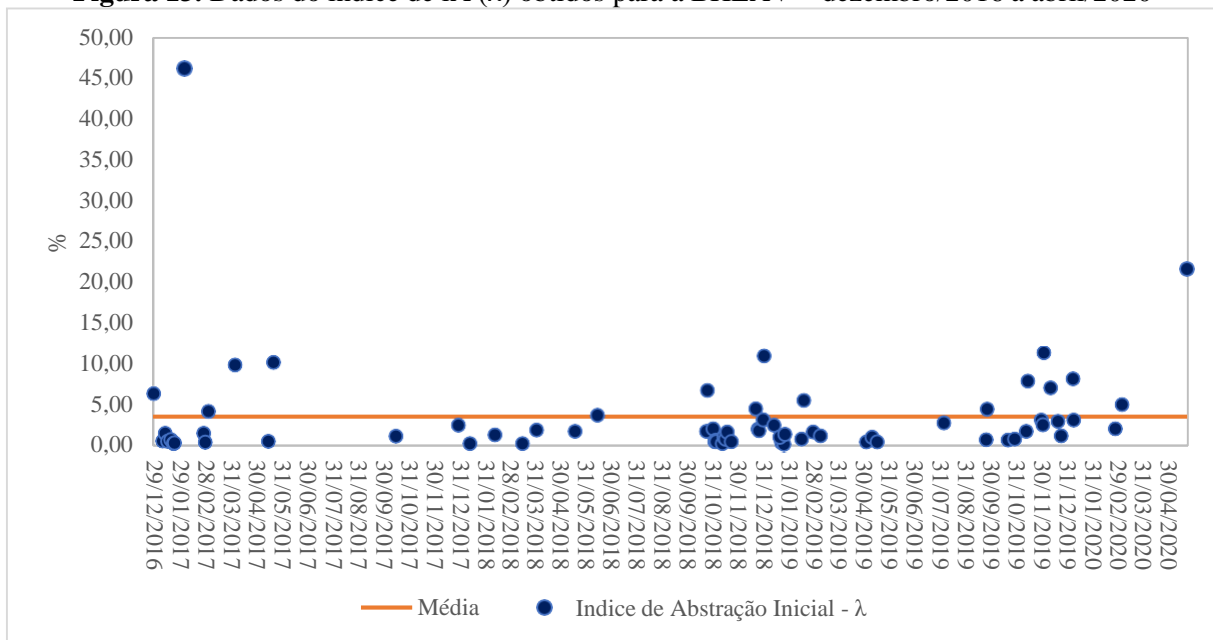
Em relação aos valores do índice de iA (λ) obtidos para a BHEGL (Figura 12), observou-se que os valores variaram de 0,01 a 18,78%, o que resulta em um coeficiente de variação de 185,1% – média de 3,61% e desvio padrão de 7,86:

Figura 12. Dados do índice de iA (λ) obtidos para a BHEGL – dezembro/2015 a novembro/2019



Fonte: Elaboração da autora (2021).

Na Figura 13 estão ilustrados os valores de índice de iA (λ) encontrados na BHEAV. Ao analisá-la, nota-se que os valores variaram de 0,05 a 46,28%, o que leva a uma média de 3,42% e ao desvio padrão de 6,35.

Figura 13. Dados do índice de iA (λ) obtidos para a BHEAV – dezembro/2016 a abril/2020

Fonte: Elaboração da autora (2021).

A BHEGL apresenta características importantes a serem consideradas para melhor uso e manejo, como alto represamento, grande área urbanizada e presença de rodovia pavimentada. Nesse ínterim, o represamento retarda o escoamento superficial, a ampliação de extensão se sujeita à evaporação, a área impermeabilizada diminui a infiltração no solo e a rodovia atua como obstáculo ao escoamento superficial, o que propicia maior tempo à infiltração no solo em prejuízo do escoamento. Quanto à urbanização, é necessário disciplinar o uso e a ocupação da área, por contribuir para a degradação constante do local e, conseqüentemente, à relação entre qualidade e quantidade da água.

Os resultados de λ alcançados neste estudo mostraram um valor diferente daquele recomendado pela literatura para o método SCS-CN, ou seja, 20% (NRCS, 2004). Todavia, os valores no referido método foram obtidos sob condições edafoclimáticas da bacia hidrográfica norte-americana e, conseqüentemente, se diferiram das condições tropicais na bacia hidrográfica estudada. A BHEAV possui uso e ocupação com 99% rural, o que favorece a infiltração de água no solo e interfere no resultado do índice de iA que, nesse caso, teve o percentual máximo de 46,28%, que corresponde a mais que o dobro do valor do parâmetro em questão utilizado no SCS-CN (20%).

Exemplifica-se que as estimativas de vazão obtidas na bacia hidrográfica de Jaguará/MG tiveram maior precisão quando λ foi definido entre 2 e 5%. Nesse sentido, os resultados encontrados neste trabalho, para as bacias BHEGL e BHEAV, estão em consonância com aqueles obtidos por Alves *et al.* (2019). O comportamento do índice de iA está atrelado

aos tipos, uso e ocupação, relevo e umidade do solo (NRCS, 2004). A utilização do solo tende a retardar o escoamento superficial e aumentar as perdas com retenção em serapilheira, troncos e raízes das plantas, relevo e condições iniciais da umidade (TUCCI *et al.*, 2015).

Nesse contexto, a variável de entrada fundamental é o índice de iA , como se observa nos estudos de correlação constantes da Tabela 9, que destacam a importância dessa variável na geração do escoamento superficial:

Tabela 9. Correlações entre as variáveis associadas ao índice de iA (λ) da BHEGL e da BHEAV

BACIA	CHUVA x λ	LÂMINA x λ	DURAÇÃO x λ	S x λ	INTENSIDADE x λ
Glória	0,09	0,63	0,11	-0,20	0,06
Água Vermelha	0,60	0,65	0,30	-0,37	0,09

Fonte: Elaboração da autora (2021).

As variáveis que apresentaram correlações mais significativas foram a lâmina escoada e a chuva, cujos valores de correlação encontrados demonstram uma relação satisfatória de causa-efeito entre elas. Dentre os dois fatores associados ao índice (λ), infere-se a possibilidade de manejo da bacia hidrográfica referente à lâmina escoada, por meio da adoção de práticas adequadas de uso e ocupação do solo, no que se refere à destinação de áreas à urbanização, agricultura, industrialização etc.

O cenário atual aponta para a necessidade de evidenciar a água como insumo estratégico e recurso natural limitado. Assim, o manejo sustentável de recursos naturais na bacia hidrográfica é fundamental, com o emprego de técnicas de contenção de escoamento superficial de águas pluviais para recarga do lençol freático, como curvas de nível, bacias de contenção, manutenção das estradas rurais e plantio direto. Em áreas urbanas, é necessário planejar zonas de amortecimento, valetas de infiltração, pavimentos porosos e armazenamento de água das chuvas.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho, o parâmetro λ do método SCS-CN foi avaliado para duas bacias hidrográficas experimentais: a do Córrego do Glória e a da Bacia do Córrego Água Vermelha. Conforme os resultados obtidos, observa-se que, na BHEGL, o índice de abstração apresentou média de 1,95%, e na BHEAV, 2,70%, e ambas apresentaram valores médios de índice de abstração menores do que aqueles indicados por SCS-CN (20%); logo, os resultados obtidos demonstram que a metodologia habitualmente utilizada no que se refere à iA de 20%, da capacidade de infiltração no solo, não se enquadra na realidade do escoamento superficial nas bacias em questão.

O referido método é considerado ideal para modelagens em bacias hidrográficas menores que 250 km², o que caracteriza as duas bacias estudadas nesta investigação. A iA apresentou conexão significativa da chuva com o escoamento superficial direto. Isso implica a urgência de melhor manejo e uso do solo, pois, em algumas partes da bacia BHEGL ligadas à urbanização, verificaram-se alta vulnerabilidade e o processo de desordem e ocupação acelerada que a longo prazo, podem minar a existência do Córrego do Glória.

De acordo com os mapas gerados e o estudo teórico realizado sobre a BHEGL e a BHEAV, verificou-se que ambas possuem características totalmente diferentes: na primeira, foi possível estabelecer análises como presença de processos erosivos em áreas de maior declive devido à retirada da vegetação original, presença de áreas de cultura anual que influenciam na compactação do solo e, conseqüentemente, na infiltração de água no solo, com a presença da urbanização em áreas periféricas pela construção de estradas e rodovias que contribuem com a geração de resíduos sólidos nos rios e entorno, ao promover os processos de assoreamento e a poluição hídrica; e na segunda, considerada totalmente rural, possui a maior parte de uso e ocupação do solo de agricultura anual e pequenas áreas de pastagens, além da mata nativa.

Nesse prisma, os acontecimentos nas áreas das bacias analisadas repercutem, direta ou indiretamente, nas áreas envolvidas. Também é preciso considerar que o homem, enquanto agente principal da sociedade, está estabelecido em um espaço onde desenvolve atividades produtivas que implicam em mudanças no ambiente. Essas relações podem ser harmônicas ou não, a depender da intensidade e do comprometimento com as ações manifestadas e que influenciam o meio. Para isso, conclui-se que práticas de manejo são necessárias para o disciplinamento da área, do uso e da ocupação do solo: i) macrozoneamento, com a definição dos usos a serem realizados na bacia, em função das características ambientais e do potencial poluidor de cada um; ii) controle do parcelamento e da ocupação dos terrenos; iii) proteção de

áreas especiais, como áreas de preservação ou de uso controlado; iv) estabelecimento de faixas de proteção às margens de cursos d'água e reservatórios, como a criação de parques lineares; v) proteção das áreas de recarga dos aquíferos e das águas subterrâneas; vi) definição de unidades de conservação; e vii) proteção dos recursos hídricos de áreas urbanas.

De fato, tais ações são de fácil interpretação, mas, na prática, a adoção delas por parte dos gestores e usuários de uma bacia hidrográfica tem sido rara, pois, geralmente, há descaso em relação às leis por parte dos responsáveis pela gestão do uso do solo. Em contrapartida, o setor público não consegue fiscalizar as demandas existentes, o que implica um cenário de problemas no uso do solo e, conseqüentemente, na degradação constante da bacia e qualidade da água.

Destarte, sugere-se que o tema pesquisado tenha continuidade na instituição em questão e em outros órgãos de fomento de pesquisas hidrológicas. Com isso, visa-se a modelos matemáticos adequados à realidade de cada região analisada, em que o resultado deste trabalho poderá alcançar setores competentes para seu uso e divulgação.

REFERÊNCIAS

- AJMAL, M.; MOON, G.; AHN, J.; KIM, T. Investigation of SCS-CN and its inspired modified models for runoff estimation in South Korean watersheds. **Journal of Hydro-Environment Research**, [s.l.], v. 9, n. 4, p. 592-603, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jher.2014.11.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S157064431500012X?via%3Dihub>. Acesso em: 20 set. 2021.
- ALI, S.; GHOSH, N.; SINGH, R. Rainfall-runoff simulation using a normalized antecedent precipitation index. **Hydrological Sciences Journal**, [s.l.], v. 5, n. 2, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1080/02626660903546175>. Disponível em: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02626660903546175>. Acesso em: 20 set. 2021.
- ALVES, G. J.; MELLO, C. R.; BESKOW, S.; JUNQUEIRA JUNIOR, J. A.; NEARING, M. A. Assessment of the Soil Conservation Service – Curve Number method performance in a tropical Oxisol Watershed. **Journal of Soil and Water Conservation**, [s.l.], v. 74, n. 5, 2019. DOI: <https://doi.org/10.2489/jswc.74.5.500>. Disponível em: <https://www.jswconline.org/content/74/5/500>. Acesso em: 21 ago. 2022.
- ALASKA SATELLITE FACILITY. **Vertex**. 2021. Disponível em: <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/2021>. Acesso em: 20 set. 2022.
- AUERSWALD, K.; HAIDER, J. Runoff Curve Numbers for small grain under german cropping conditions. **Journal of Environmental Management**, [s.l.], v. 47, n. 3, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1006/jema.1996.0048>. Disponível em: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479796900481>. Acesso em: 2 out. 2021.
- BALTAS, E. A.; DERVOS, N. A.; MIMIKOU, M. A. Technical Note: determination of the SCS initial abstraction ratio in an experimental watershed in Greece. **Hydrology and Earth System Sciences**, [s.l.], v. 11, 2007. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-11-1825-2007>. Disponível em: <https://hess.copernicus.org/articles/11/1825/2007/>Acesso em: 10 out. 2021.
- COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2015.
- CUNHA, S. F.; OLIVEIRA E SILVA, F. E.; MOTA, T. U.; PINHEIRO, M. C. Avaliação da acurácia dos métodos do SCS para cálculo da precipitação efetiva e hidrogramas de cheia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH)**, [s.l.], v. 20, n. 4, 2015. DOI: <https://doi.org/10.21168/rbrh.v20n4.p837-848> Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/156/3b19fed36cf52712e217179a3483b424_fdc662cf56145d1962c8b009e5280268.pdf. Acesso: jul. 2022.
- CRUZ, M.; PINESE JÚNIOR, J. F.; RODRIGUES, S. Abordagem cartográfica da fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Glória – MG. **Revista Brasileira de Cartografia**, [s.l.], v. 62, mar. 2010. <https://doi.org/10.14393/rbcv62n3-43686>. Disponível em:

<https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/43686/22950>. Acesso em: 21 nov. 2021.

ELHAKEEM, M.; PAPANICOLAOU, A. N. Runoff Curve Number and Saturated Hydraulic Conductivity Estimation via Direct Rainfall Simulator Measurements. **CHI – Journal Of Water Management Modeling**, [s.l.], 2012. DOI: <https://doi.org/10.14796/JWMM.R245-09>.

Disponível em: <https://www.chijournal.org/R245-09>. Acesso em: 2 out. 2021.

EMBRAPA. **Laborsolos**: conhecendo os solos brasileiros. Londrina: Embrapa, 2014. Disponível em: <https://laborsolo.com.br/analise-quimica-de-solo/conhecendo-os-solos-brasileiros-latossolos>. Acesso em: 21 nov. 2022.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS)**. Rio de Janeiro: Embrapa, 1999. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094003/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos>. Acesso em: 22 nov. 2021.

EPPS, T. H. *et al.* Curve number derivation for watersheds draining two headwater streams in lower coastal plain South Carolina, USA. **Journal of the American Water Resources Association**, [s.l.], v. 49, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/jawr.12084>. Disponível em: https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/ja/2013/ja_2013_epps_001.pdf. Acesso em: 28 jan. 2020.

HAWKINS, R. H. Asymptotic Determination of Runoff Curve Numbers from Data. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, [s.l.], v. 119, n. 2, 1993. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290733-9437%281993%29119%3A2%28334%29>. Acesso em: 21 nov. 2021.

HAWKINS, R. H.; WARD, T. J.; WOORDWARD, D. E.; VAN MULLEM, J. A. **Curve Number Hydrology**. Reston: American Society of Civil Engineers, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1061/9780784410042>. Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/book/10.1061/9780784410042>. Acesso em: nov. 2021.

HAWKINS, R. H.; WARD, T. J.; WOORDWARD, D. E.; VAN MULLEM, J. A. (ed.). **Curve Number Hydrology: State of the Practice**. Reston: ASCE; EWRI, 2009. Disponível em <https://ascelibrary.org/doi/book/10.1061/9780784410042>. Acesso em nov. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1061/9780784410042>.

INSTITUTO DO AÇÚCAR E DO ALCOOL (Brasil). **Levantamento detalhado dos solos da Estação Experimental Regional do Triângulo Mineiro**. Uberlândia: IAA, 1982.

JIANG, R. **Investigation of Runoff Curve Number Initial Abstraction Ratio**. Tese (Doutorado) – School of Renewable Natural Resources, Arizona, 2001. Disponível em: <http://arizona.openrepository.com/arizona/handle/10150/191301>. Acesso em: 5 abr. 2020.

LIM, K. J. *et al.* Effects of initial abstraction and urbanization on estimated runoff using CN technology. **Journal of the American Water Resources Association**, [s.l.] Middleburg, VA, EUA, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2006.tb04481.x>.

LING, L.; YUSOP, Z. **A micro focus with macro impact**: exploration of initial abstraction coefficient ratio (λ) in Soil Conservation Curve Number (CN) methodology. [S.l.]: IOP, 2014. v. 18. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/18/1/012121>.

MATA-LIMA, H. *et al.* Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso. **Rem**: Revista Escola de Minas, Ouro Preto, v. 60. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0370-44672007000300014>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rem/a/6X4Qf75bLWKSPDMSRzxn9zQ/?lang=pt>. Acesso em julho de 2021.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. **Hidrologia**: princípios e aplicações em sistemas agrícolas. Lavras: Ufla, 2013.

MELLO, C. R.; LIMA, J. M.; SILVA, A. M.; LOPES, D. Abstração inicial da precipitação em microbacia hidrográfica com escoamento efêmero. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 7, n. 3, p. 494-500, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662003000300015>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/DSTQZ68sGzDsjSHpygFbgnC/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 21 out. 2021.

MISHRA, S. K.; SINGH, V. P. Another Look at SCS-CN Method. **Journal of Hydrologic Engineering**, [s.l.], v. 4, n. 3, p. 257-264, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(1999\)4:3\(257\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(1999)4:3(257)). Disponível em: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%291084-0699%281999%294%3A3%28257%29>. Acesso em: 21 out. 2021.

MISHRA, S. K.; SINGH, V. P.; SANSALONE, J. J.; ARAVAMUTHAN, V. A modified SCS-CN method: characterization and testing. **Water Resources Management**, [s.l.], v. 17, n. 1, 2003. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1023099005944>. Acesso em: 21 nov. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1023099005944>

MISHRA, S.; JAIN, M. K.; SINGH, V. P. Evaluation of the SCS-CN-based model incorporating antecedent moisture. **Water Resources Management**, [s.l.], v. 18, p. 567-589, 2004. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11269-004-8765-1>. Acesso em: 21 nov. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-004-8765-1>

NISHIYAMA, L. Geologia do município de Uberlândia e áreas adjacentes. **Revista Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v. 1, n. 1, jun. 1989.

UNITED STATES. Department of Agriculture. **Natural Resources Conservation Service. Hydrology National Engineering Handbook** – Part 630: estimation of direct runoff from storm rainfall. Washington: NRCS, 2004. Disponível em: <https://directives.sc.gov.usda.gov/viewerfs.aspx?hid=21422>. Acesso em: 21 out. 2021.

OLIVEIRA, P. T. S.; NEARING, M. A.; HAWKINS, R. H.; STONE, J. J.; RODRIGUES, D. B. B.; PANACHUKI, E.; WENDLAND, E. Curve number estimation from Brazilian Cerrado rainfall and runoff data. **Journal of Soil and Water Conservation**, [s.l.], v. 71, n. 5, 2016.

Disponível em: <http://www.jswconline.org/cgi/doi/10.2489/jswc.71.5.420>. Acesso em: 14 nov. 2018. DOI: <https://doi.org/10.2489/jswc.71.5.420>.

PONCE, V. M.; HAWKINS, R. H. Runoff Curve Number: Has it reached maturity? **Journal of Hydrologic Engineering**, [s.l.], v. 1, n. 1, 1996. Disponível em: <http://ascelibrary.org.ez122.periodicos.capes.gov.br/doi/pdf/10.1061/%28ASCE%291084-0699%281996%291%3A1%2811%29>. Acesso em: 21 nov. 2021.

Shreeder, S.A.; Ross, J.D.; Carlson, T.N. Dual urban and rural hydrographs signals in three small watersheds. **Journal of the American Water Resources Association, Middleburg**, [s.l.], v.38, n.4. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Toby-Carlson/publication/229917080_Dual_Urban_and_Rural_Hydrograph_Signals_in_Three_Small_Watersheds/links/5d5c12df92851c37636c90e9/Dual-Urban-and-Rural-Hydrograph-Signals-in-Three-Small-Watersheds.pdf. Acesso em: 15 junho. 2022.

SHI, Z. H.; CHEN, L. D.; FANG, N. F.; QIN, D. F.; CAI, C. F. Research on the SCS-CN initial abstraction ratio using rainfall-runoff event analysis in the Three Gorges Area, China. **Catena**, [s.l.], v. 77, n. 1, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2008.11.006>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0341816208001768>. Acesso em: 20 maio 2021.

SOARES, M. R. G. J. *et al.* Eficiência do método curve number de retenção de águas pluviais. **Revista Mercator**, Fortaleza, v.16, n. 16001, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/mercator/a/SDDTpQdcSKrN3Sr9XH4qjXt/?format=pdf>. Acesso em set. 2022.

SILVA, F. R. **Uso e ocupação do solo associado à qualidade da água no Rio Uberabinha**. 2016. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/18075>. Acesso em: 20 maio 2021.

RODRIGUES, F. M.; PISSARRA, T. C. T; CAMPOS, S. Análise temporal do uso e ocupação do solo na microbacia hidrográfica do córrego da Fazenda Glória, Município de Taquaritinga, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 3, p. 314-324, jul./set., 2009. ISSN 1808-3765. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2009v14n3p314-324>. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3421/2176>. Acesso em jul 2022.

FRATARI, M. F.; MORAIS, M. E. de 2017. Mapeamento do uso da terra na Bacia hidrográfica do Córrego Canoa em Ituiutaba (MG). Disponível em: [file:///C:/Users/SAMSUNG/Downloads/7270-Texto%20do%20artigo-31719-1-10-20190101%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/SAMSUNG/Downloads/7270-Texto%20do%20artigo-31719-1-10-20190101%20(1).pdf). Acesso em jul. 2022.

THOMLINSON, J.R.; RIVERA, L.Y. Suburban growth in Luquillo, Puerto Rico: some consequences of development on natural and semi-natural systems. **Landscape and Urban Planning**, [s.l.] v.49, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(00\)00056-6](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(00)00056-6). Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10533-006-9005-y>. Acesso em jul. 2022.

TUCCI, C. E.; SILVEIRA, A. L.; BERTONI, J. C.; LANNA, A. E. **Hidrologia**: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS; ABRH, 2015.

UNITED STATES. Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. NRCS History, 2016. Portal. Disponível em:
<http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/national/about/history/?cid=stelprdb1041450>.

VALLE JÚNIOR, R. F. Do et al. Diagnosis of degraded pastures using an improved NDVI-based remote sensing approach: An application to the Environmental Protection Area of Uberaba River Basin (Minas Gerais, Brazil). *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, [s. l.], v. 14, 2019. Disponível em: Acesso em: 18 jun. 2021

VILLARÁN SAN JUAN, R. F. Mejora de los parámetros de cálculo del modelo del número de curvas y su validación mediante un modelo hidrológico distribuido. Huelva, Espanha: Universidad de Huelva - Departamento de Ciencias Agrofloreales, 2006.

WOODWARD, D. E.; HAWKINS, R. H.; JIANG, R.; HJELMFELDT, A. **Runoff Curve Number Method**: examination of the initial abstraction ratio. Derwood: [s.l.], 2002. DOI: [https://doi.org/10.1061/40685\(2003\)308](https://doi.org/10.1061/40685(2003)308).