



LARA MOTA CORINTO

**POTENCIAL DE USO CONSERVACIONISTA E ÍNDICE
TOPOGRÁFICO DE UMIDADE: ESTUDO DE CASO NA SUB-
BACIA DO MÉDIO RIO VERDE**

**LAVRAS - MG
2022**

LARA MOTA CORINTO

**POTENCIAL DE USO CONSERVACIONISTA E ÍNDICE TOPOGRÁFICO DE
UMIDADE: ESTUDO DE CASO NA SUB-BACIA DO MÉDIO RIO VERDE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Bruno Montoani Silva
Orientador

**LAVRAS-MG
2022**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me amparar nos momentos difíceis e por me fazer perseverar, garantindo que eu pudesse chegar até aqui.

Agradeço a toda minha família que esteve ao meu lado, me incentivando e me dando forças para que eu pudesse chegar até aqui. Agradeço especialmente aos meus pais, Maria Aparecida Corinto e João Batista Mota de Moura, e ao meu irmão Matheus Mota Corinto por todo apoio desde o início para que eu pudesse realizar o sonho de estudar na Universidade Federal de Lavras como Engenheira Ambiental e Sanitarista. Agradeço ao meu namorado, Victor Augusto Rodrigues Silva, por toda paciência e por acompanhar durante essa caminhada. Meu muito obrigada!

Aos meus amigos, Isabella de Paula, Jean Santos, Alexsandro Coelho, André Carvalho e Stéphanie Moreira por todo companheirismo e motivação. Por serem minha segunda família, por estarem ao meu lado quando eu mais precisava e por apoiarem e não deixar desistir mesmo estando muito longe de casa.

Ao NEP UAI, ao Centro Acadêmico de Engenharia Ambiental e ao Laboratório de Física do Solo, em especial ao professor Bruno Montoani, agradeço imensamente por contribuírem para o meu crescimento profissional, pessoal e acadêmico.

A toda equipe do CONSANE (Consórcio Regional de Saneamento Básico), pelo trabalho em equipe e por toda vivência profissional que adquiro com vocês a cada dia e pela oportunidade de ingressar no mercado de trabalho. Agradeço especialmente ao Ivan Massimo, Daniela de Fátima, Breno Leal e Lariane Lima que auxiliam cada vez mais no meu crescimento profissional.

Agradeço a UFLA e a todos os professores que fizeram parte da minha trajetória. Obrigada por todo conhecimento transmitido, dedicação e apoio a nós estudantes. Vocês foram essenciais para a minha formação.

A todos vocês, meu **MUITO OBRIGADA!**

RESUMO

O estado de Minas Gerais tem sido um dos pioneiros na elaboração de métodos para caracterização e avaliação ambiental aplicados ao planejamento e gestão de bacias hidrográficas. Um dos métodos mais difundidos consiste no Zoneamento Ambiental Produtivo (ZAP). Contudo, este método apresenta algumas limitações em uma de suas etapas que busca a definição das unidades de paisagem. A fim de potencializar os estudos, tornando o diagnóstico e caracterização mais precisa, foi aplicado o método PUC (Potencial de Uso Conservacionista), que contempla o estudo espacial das bacias hidrográficas tendo como referência a declividade, classes de solo e litologia, bem como as respectivas respostas no que tange o uso agropecuário, resistência a erosão e recarga hídrica. O presente estudo procura analisar as regiões da sub-bacia do Médio Rio Verde através do método PUC aliado ao índice topográfico de umidade (ITU) calculado em Sistema de Informação Geográfica (SIG) e a aplicabilidade para elaboração de planos e projetos tanto para o uso agrícola quanto para diagnóstico ambiental. Para tal foram gerados mapas das regiões a partir do método PUC classificando as terras com potenciais muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto. No método PUC a variável de maior peso correspondeu a declividade, sendo observado relação com o mapa do ITU. De posse dos mapas, foi possível realizar a comparação com as visitas a campo na antiga área de disposição de resíduos de São Lourenço, inserida na sub-bacia do médio do Rio Verde e avaliar a aplicabilidade dos mapas gerados. Para a sub-bacia o PUC apresentou predominância média, correspondendo a 58,9% da área da sub-bacia, enquanto o ITU variou entre 2 a 22 apresentando uma boa interação com os dados de declividade. O PUC classificado como médio e considerado adequado devido a predominância de Latossolos em relevo plano, com a necessidade de práticas conservacionistas. Os valores de ITU foram elevados nas áreas de maior probabilidade de alagamento, fato também comprovado em campo com a proximidade do Rio Verde.

Palavras-chave: Análise multicritério; Zoneamento ambiental.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área de estudo.....	5
Figura 2 – Mapa de altitudes da área de estudo.....	6
Figura 3 – Área analisada para estudo de caso.....	11
Figura 4 – Fases de relevo e suas respectivas reclassificações.....	12
Figura 5 – Mapa de solos e sua respectiva reclassificação.....	13
Figura 6 – Resultados Litologia	14
Figura 7 – Potencial de Uso Conservacionista	15
Figura 8 – Índice Topográfico de Umidade.....	17
Figura 9 – Disposição de Resíduos	18

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores de Importância de Cada Variável	9
Tabela 2 - Intervalos de abrangência e cores das classes para representações do PUC	9
Tabela 3 – Definição das fases de declividade e respectivas áreas	12
Tabela 4 – Classes de solo e respectivas áreas	13
Tabela 5 – Litologia e respectivas áreas	15
Tabela 6 – Classes PUC e respectivas áreas	16

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	2
2.1 Modelo Digital de Elevação	2
2.2 Potencial de Uso Conservacionista.....	2
2.3 Índice Topográfico de Umidade	3
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	4
3.1 Caracterização da área	4
3.2 Base de dados.....	7
3.3 Definição da sub-bacia.....	7
3.4 Potencial de Uso Conservacionista.....	8
3.5 Índice Topográfico de Umidade	9
3.6 Caracterização da área analisada	10
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	12
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	18
REFERÊNCIAS	18

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o zoneamento e ocupação do uso do solo até meados da década de 70 foram organizados de forma desordenada sem levar em consideração as potencialidades e limitações do meio físico, onde o zoneamento era apenas pautado no desenvolvimento das atividades humanas. Em virtude das preocupações levantadas a partir da Conferência de Estocolmo em 1972, surge a necessidade de discussões e estudos relacionados à análise ambiental visando a consolidação do direito ambiental (COSTA, 2017).

A temática referente aos recursos hídricos ganhou destaque no país principalmente após a promulgação da Política Nacional de Recursos Hídricos instituída pela Lei Federal nº 9.433/1997, onde foram criados instrumentos de planejamento e gestão de uso do solo e de recursos hídricos. O estado de Minas Gerais se destaca como um dos pioneiros na elaboração de metodologias que visam a caracterização socioeconômico e ambiental das bacias e sub-bacias hidrográficas.

O ZAP tem sido utilizado oficialmente pelo estado como base visando o zoneamento territorial considerando os aspectos produtivos, econômicos e ambiental orientado ao planejamento conservacionista dos recursos naturais. O método consiste em três etapas referentes aos estudos da disponibilidade hídrica, o levantamento do uso e ocupação do solo e definição de unidades de paisagem (SEMAD/SEAPA, 2016).

Contudo, a última etapa do ZAP compreendida pela definição das unidades de paisagem metodologia proposta por Fernandes (2010) em diversos casos é interpretada de forma subjetiva. Tal fato se dá em virtude do traçado das zonas de potencialidade e limitações ser feito de forma manual não sendo reuplicável em outras regiões fora da área de estudo

Com o intuito de contornar esta limitação de inexistência da delimitação das unidades de paisagem de forma automática, foi desenvolvido e oficializado em 2021 o método do Potencial de Uso Conservacionista o qual se baseia na análise de variáveis referentes a declividade, classes do solo e litologia com a atribuição de pesos e, posteriormente, e aplicada análise multicritério conforme estabelecido por Costa et al. (2017).

Esse método permite a correlação com outras análises, principalmente no que tange a topografia, como por exemplo, o o uso do ITU. Este índice, por sua vez, visa a caracterização das zonas de maior probabilidade de saturação de água superficial e o conteúdo de água nos solos (ALVES, 2008) com base nas características topográficas, sendo calculado a partir de Modelos Digitais de Elevação (MDE). A representação da paisagem por meio de índices numéricos é realizada a fim de mitigar a subjetividade nos estudos de caracterização do meio físico, e por serem digitais, são passíveis de serem manipulados, por exemplo, em SIG.

Assim sendo, o presente trabalho tem como objetivo a aplicação do método PUC aliada ao ITU para o estudo de caso da sub-bacia do Médio do Rio Verde e posteriormente avaliar a aplicabilidade dos mapas para determinação do uso de uma área presente na referida sub-bacia.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Modelo Digital de Elevação

O MDE consiste na representação numérica da superfície terrestre através de um grande número de dados dispostos no plano XY, para cada qual, possui um valor de elevação Z (LI; ZHU; GOLD, 2005). A composição do MDE está relacionada com a distribuição espacial dos dados, assim como a resolução da área representada por um pixel (MACÊDO; SURYA, 2018). Dessa forma, é possível encontrar na literatura diversos estudos comparando o efeito da resolução na qualidade dos atributos geomorfométricos conforme mostram Capoane, Costa e Kuplich (2017) e Macêdo e Surya (2018).

Os MDEs gratuitamente disponíveis mais utilizados para estudos ambientais são do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) e Advanced Land Observing Satellite (ALOS) Phased Arrayed type L- Band SAR (PALSAR). Os dados topográficos gerados pelo SRTM da NASA, por sua vez, são os mais difundidos na comunidade acadêmica. A obtenção de dados do SRTM ocorreu entre 11 e 22 de fevereiro de 2000 no STS-99 e contemplou em quase 80% da superfície terrestre da Terra, sendo o primeiro conjunto de dados com maior cobertura da elevação terrestre (RAMIREZ, 2016).

Para o território dos EUA, a resolução do MDE SRTM é de 1 segundo de arco (aproximadamente 30m). Para as áreas fora dos limites dos Estados Unidos a resolução é de 3 segundos de arco (aproximadamente 90m). Contudo, no Brasil, em virtude do projeto Topodata com o tratamento de dados e derivação das imagens é possível a obtenção do MDE SRTM com resolução de 30 m (TOPODATA, 2008).

A obtenção de dados com o radar de abertura sintética (SAR) de banda L da PALSAR ocorreu entre 2006 e 2011 através do satélite ALOS, em missão realizada pela Agência de Exploração Aeroespacial do Japão (JAXA) (ASF, 2022). O PALSAR possui dois modos de feixe fino: polarização simples (FBS) e polarização dupla (FBD), além de polarização quádrupla (PLR) e feixe amplo ScanSAR (WB1, WB2). Sendo o modo de feixe FBS com pixel de 12,5 m utilizado no presente trabalho.

2.2 Potencial de Uso Conservacionista

Os estudos a cerca das bacias hidrográficas se dão ao fato da promulgação da Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei Federal nº 9.433/1997 a qual estabelece em seu Art. 1º inciso V a bacia hidrográfica como unidade de planejamento. No estado de Minas Gerais, um dos precursores no estabelecimento da política estadual de recursos hídricos, é utilizado oficialmente o ZAP como instrumento para diagnóstico e gestão racional das bacias hidrográficas do território, levando em consideração o conhecimento das características físicas do ambiente para planejamento do uso do solo.

Conforme Costa et al. (2017), a análise das características físicas torna-se uma premissa básica para estabelecimento dos critérios de uso e ocupação de uma determinada área. Assim sendo, o ZAP leva em consideração o diagnóstico da disponibilidade hídrica do solo, o levantamento do uso e ocupação e a definição de unidades de paisagem (SEMAD/SEAPA, 2016).

Como forma de aperfeiçoamento dos estudos, foi criado o método PUC que considera três variáveis físicas (declividade, solo e litologia), o qual estabelece as potencialidades e restrições através de análise multicritério. A análise multicritério é um método de análise de alternativas para a resolução de problemas que utiliza vários critérios relacionados ao objeto de estudo, sendo possível identificar alternativas prioritárias para o objeto considerado (Francisco et al., 2007)

No que diz respeito a litologia, o valor atribuído para cada litotipo irá depender do peso médio referente a (1) potencial de fornecimento de nutrientes às plantas através da quantificação do teor absoluto de macroelementos (Ca, Mg, K e P); (2) susceptibilidade ao intemperismo; e, (3) denudação através dos principais minerais constituintes das rochas e suas características (COSTA et al., 2017).

Em relação aos solos, estes são caracterizados a partir da análise da textura, drenagem, profundidade efetiva e fertilidade, considerando o peso médio da (1) recarga hídrica; (2) potencial de uso agropecuário; e, (3) resistência à erosão. A declividade é analisada através do peso médio entre (1) velocidade de escoamento; (2) tempo de oportunidade de infiltração de água; e, (3) tipo de fluxo do escoamento hídrico em cada forma de relevo.

Assim sendo, para diagnóstico ambiental das bacias e sub-bacias do estado, foi lançado oficialmente, em 2021 pelo Governo do Estado de Minas Gerais, por meio da Secretaria de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (SEAPA), o método PUC como uma das etapas do ZAP de Minas Gerais.

2.3 Índice topográfico de umidade

A análise da topografia é de suma importância no que tange aos processos hidrológicos, estando intimamente ligada ao estabelecimento do escoamento superficial de uma determinada área. Este pode ser determinado como escoamento superficial por saturação, até que a capacidade de armazenamento seja excedida, ocasionando o escoamento Hortoniano (CAPOANE; COSTA e KUPLICH, 2017).

Em locais onde há maior ocorrência de escoamento superficial por saturação encontra-se a área variável de afluência (AVA). O aumento da largura da AVA depende da precipitação e intensidade de um evento de chuva, as condições anteriores de umidade, as características hidrológicas dos solos e da topografia (CAPOANE; COSTA e KUPLICH, 2017).

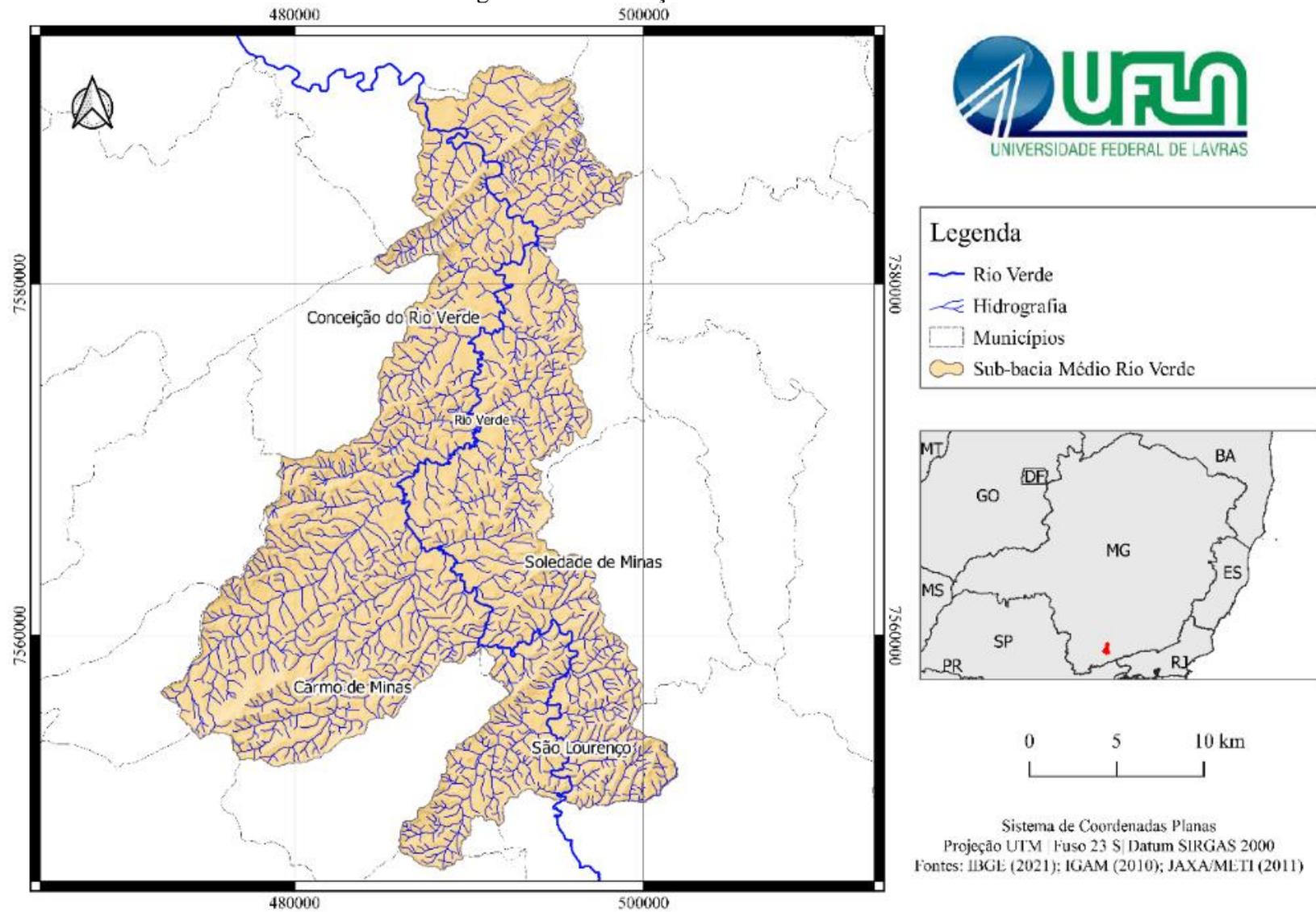
A declividade influencia na velocidade de escoamento, o tempo de oportunidade de infiltração de água e o tipo de fluxo do escoamento hídrico em cada forma de relevo. A partir da ideia de que a topografia exerce controle sobre o movimento da água, Beven e Kirkby (1979) desenvolveram o ITU (Índice Topográfico de Umidade). Este índice é utilizado como parâmetro na análise hidrogeomorfológica para localizar áreas potencialmente mais úmidas na paisagem. Dessa forma, é possível estabelecer um índice de saturação relativa em uma determinada bacia hidrográfica.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área

O presente estudo foi realizado na sub-bacia do médio do Rio Verde, localizada na porção central da bacia do Rio Verde (Figura 1). A sub-bacia se inicia no entroncamento entre os limites municipais de Pouso Alto, São Lourenço e São Sebastião do Rio Verde, abrangendo totalmente o município de São Lourenço, bem como as sedes de Conceição do Rio Verde, Soledade de Minas e parte de Carmo de Minas. Tal divisão foi estabelecida em 2009 no Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Verde do Instituto Mineiro de Gestão das Águas.

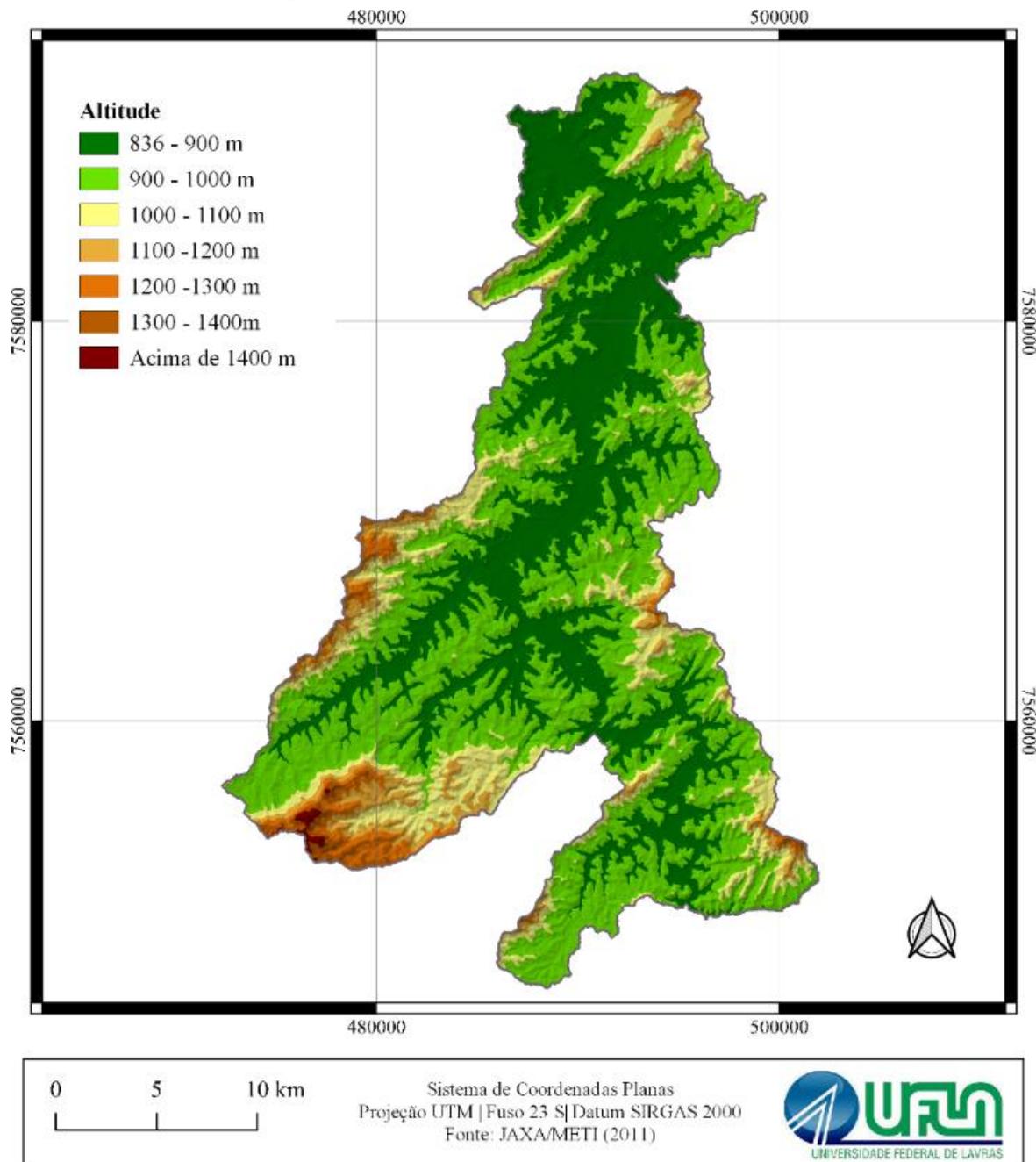
Figura 1 – Localização da área de estudo



Fonte: Do Autor (2022)

A sub-bacia possui uma área de drenagem de aproximadamente 579.531 km², o que corresponde a 8,41% da área total da bacia (IGAM, 2009). Possui altitudes que variam de 836 a 1504 m, como mostra a Figura 2.

Figura 2 – Mapa de altitudes da área de estudo



Fonte: Do Autor (2022)

As classes de uso e cobertura do solo correspondem a área urbana, campo, floresta semidecídua, campo rupestre, eucalipto e outros usos antrópicos (Carvalho e Scolforo, 2008). Em termos populacionais, a referida sub-bacia possui um contingente de 61 mil habitantes

(IGAM, 2009). Ademais, no que tange a economia, destaca-se o uso para exploração das águas minerais em São Lourenço, laticínios, fábricas de doce, cultivo de café e frutas.

3.2 Planos de informação para aplicação do potencial de uso conservacionista

Os planos de informação utilizados para aplicação do método PUC foram extraídas de diferentes repositórios de acesso livre, sendo:

1. Modelo Digital de Elevação (MDE) ALOS Palsar com resolução espacial de 12,5m e módulo de feixe de polarização simples (FBS) (ASF, 2015) no formato *raster*;
2. Mapa de solos do estado de Minas Gerais da FEAM (2010) com escala de 1:650.000 no formato vetorial;
3. Mapa geológico do estado de Minas Gerais da CODEMIG e CPRM (2014) com escala de 1:1.000.000 no formato vetorial;
4. Rede hidrográfica do estado de Minas Gerais do IGAM (2010) com escala de 1:1.000.000 no formato vetorial;

As operações de geoprocessamento, assim como a composição cartográfica dos mapas foram realizadas no software QGIS Desktop na versão 3.18.2 (QGIS.org, 2022) utilizando o complemento SAGA (Sistema de Análises Geocientíficas Automatizado).

3.3 Delimitação da sub-bacia hidrográfica

Para abranger toda a área de estudo foi necessário a aquisição de 4 (quatro) cenas MDEs do ALOS PALSAR, aos quais realizou-se o mosaico através da ferramenta *Raster > Miscelânea > Mesclar*. Em seguida, a foi realizada a padronização do sistema de coordenadas das camadas com a conversão para a projeção plana *Universal Transversa de Mercator* (UTM), zona 23S e *datum* SIRGAS 2000.

De posse do *raster* gerado, foi necessária a correção de valores negativos do MDE com a ferramenta do *Raster calculus > Raster Calculator*. Sendo a equação $ifelse(a < 0, 0, a)$ utilizada para tal correção. Logo, realizou-se a etapa de preenchimento dos pixels utilizando a ferramenta *Raster > Análise > Preencher sem dados*.

Com o intuito de finalizar a etapa de pré-processamento para tornar o MDE hidrologicamente consistente, realizou-se a remoção das depressões espúrias, pois estas interrompem o escoamento na rede hidrográfica. Para tal, a ferramenta *Terrain Analysis – Hidrology > Fill Sinks* (wang & liu).

De posse do contorno da bacia do Rio Verde e do MDE pré-processado foi necessário a delimitação da área compreendida pelo médio do Rio Verde. Para esta etapa foi utilizado a ferramenta *Terrain Analysis – Channels > Channel network and drainage basins* a fim de obter os mapas de direção de fluxo, fluxo acumulado e bacias hidrográficas. Logo, com auxílio da ferramenta *Coordinate Capture* foi possível localizar o ponto exutório da sub-bacia do médio do Rio Verde conforme estabelecido pelo plano diretor da Bacia do Rio Verde (IGAM, 2009) e delimitar a bacia utilizando *Terrain Analysis – Hidrology > Upslope área*.

3.4 Potencial de Uso Conservacionista

O PUC foi obtido conforme etapas propostas por Costa *et al.* (2019a): i) pré-processamento das bases cartográficas; ii) atribuição de pesos para as variáveis de declividades, solos classificados ao nível de ordem segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos Santos *et al.* (2018) e litologia conforme Costa *et al.* (2017a); iii) ponderação das variáveis através da Análise Hierárquica de Processos (AHP); e, iv) execução da álgebra de mapas para definição das classes de PUC.

Após a realização das etapas de pré-processamento definidas no item 3.3, realizou-se o cálculo da declividade em porcentagem tendo como base o MDE. Intervalos de valores de declividade foram estabelecidos segundo Santos *et al.* (2015) com adequação onde as fases de relevo montanhoso e escarpado foram agregadas. Para atribuição dos pesos proposto por Costa *et al.* (2017), foi empregada a ferramenta *Análise de dados raster > Reclassificar por tabela* apresentando valores de 1 a 5 (quanto maior a declividade, maior o valor atribuído).

Foram atribuídos pesos às classes solos e litologia, conforme Costa *et al.* (2017), logo, estes foram rasterizados através da ferramenta *Raster > Converter > Converter vetor para raster (rasterizar)* e posteriormente reclassificados.

Após a definição dos pesos realizou-se a ponderação das variáveis ambientais em relação ao PUC. A comparação pareada das variáveis foi feita por meio da Análise Hierárquica de Processo (SAATY, 1977) utilizando a escala de Saaty (1997) e ajustes propostos por Costa *et al.* (2019a) que levam em consideração a resposta ao método e cálculo do PUC conforme Tabela 1. A comparação pareada foi feita em uma matriz de ordem 3, sendo os valores de importância atribuídos as variáveis ambientais.

Tabela 1 – Valores de importância das variáveis ambientais

Variáveis Ambientais	Solo	Litologia	Declividade
Solo	1	4	1/1,5
Litologia	1/4	1	1/4
Declividade	1,5	4	1

Fonte: Costa et al. (2019a)

Os valores de ponderação utilizados foram: declividade com 0,50, ou seja, 50% do PUC pode ser explicado pela declividade devido a sua importância na determinação do fluxo de escoamento superficial e ao acesso e as limitações de uso da área; solos com valor de ponderação de 0,39 por estarem relacionados ao grau de fertilidade natural, capacidade de armazenamento de água na camada efetiva e vulnerabilidade aos processos erosivos; e, litologia com valor de ponderação de 0,11, a qual representa a resistência à denudação e composição química e mineralógica das rochas. Posteriormente, realizou-se a álgebra de mapas através da ferramenta *Raster > Calculadora Raster* para definição do PUC conforme a Equação 1:

$$\text{PUC} = (\text{declividade} * 0,50) + (\text{solos} * 0,39) + (\text{litologia} * 0,11) \quad (1)$$

Com a espacialização do PUC em formato *raster*, este foi reclassificado de muito baixo a muito alto conforme intervalos propostos Costa et al. (2019a) (Tabela 2):

Tabela 2 - Intervalos de abrangência das classes para representações do PUC

Classes	Intervalos
Muito baixo	1,0 a 1,8
Baixo	1,8 a 2,6
Médio	2,6 a 3,4
Alto	3,4 a 4,2
Muito alto	4,2 a 5,0

Fonte: UFMG/IGC-Laboratório de Solos e Meio Ambiente (2017)

Em seguida, a análise quantitativa das áreas foi feita por meio da ferramenta *Estatística zonal* fornecendo a quantidade de células de cada classe. Em seguida a resposta ao método PUC foi correlacionada com o Índice Topográfico de Umidade (TWI).

3.5 Índice Topográfico de Umidade

A utilização de um método mais generalizado como o PUC, não pormenoriza algumas unidades de paisagem, falhando em representar de forma fidedigna algumas áreas. Dessa forma, a utilização deste índice consiste em uma alternativa para ser utilizado junto ao PUC quando

não se detém de informações de solo, declividade e litologia em escala compatível com a sub-bacia.

Para o cálculo do ITU utilizou-se o método proposto por Beven e Kyrkby (1979) com cálculo do logaritmo natural do quociente entre área de contribuição específica e tangente da declividade em radianos, conforme Equação 2:

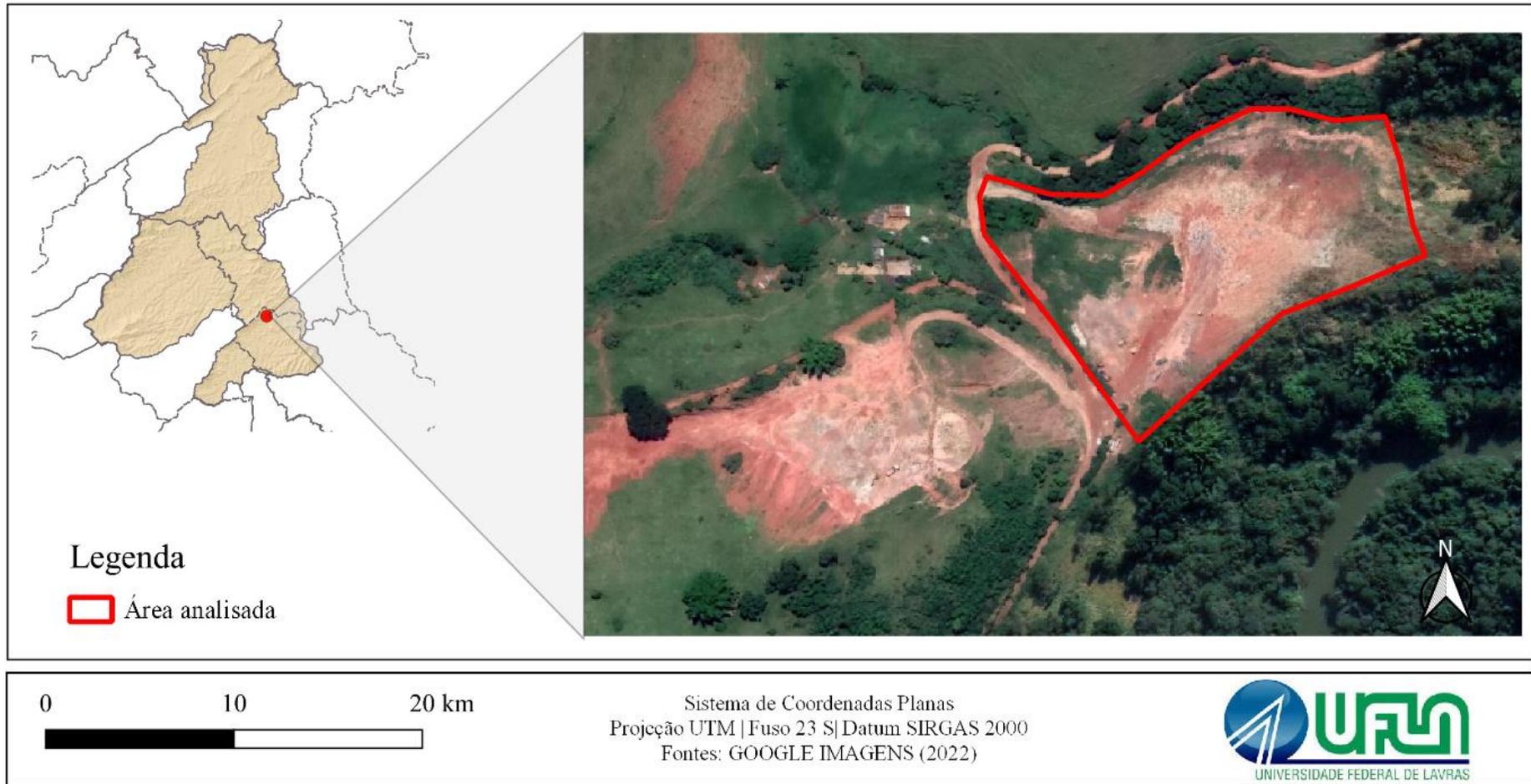
$$ITU = \ln\left(\frac{a}{\tan\beta}\right) \quad (2)$$

A área de captação foi feita utilizando a ferramenta Área de Captação do QGIS. Em seguida, foi feito o cálculo da declividade em graus através da ferramenta *Raster > Análise > Declive*. Logo, a álgebra de mapas foi feita através da *Raster > Calculadora Raster*. Com o raster referente ao TWI, este foi classificado em baixo (2 a 6,4), médio (6,4 a 8) e alto (8 a 22). Sendo os valores baixos referentes às áreas com menor probabilidade de acúmulo, ao passo que os valores elevados correspondem as áreas com maior suscetibilidade a ocorrência de cheia sendo propícios ao acúmulo de água (SCHIER, 2020).

3.6 Caracterização da área analisada

Por fim, visando aplicação do método do PUC e ITU, bem como uma análise fidedigna do método levou-se em consideração uma área dentro da sub-bacia como mostra a Figura 3, representada nos demais mapas da sub-bacia como um ponto vermelho. A área está localizada no município de São Lourenço, originalmente destinada à disposição de resíduos sólidos de forma inadequada de 1996 a 2018. A disposição inadequada dos resíduos foi encerrada oficialmente em 2022, sendo necessário o estudo do potencial da área para definição do uso futuro e elaboração do Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD).

Figura 3 – Área analisada para estudo de caso

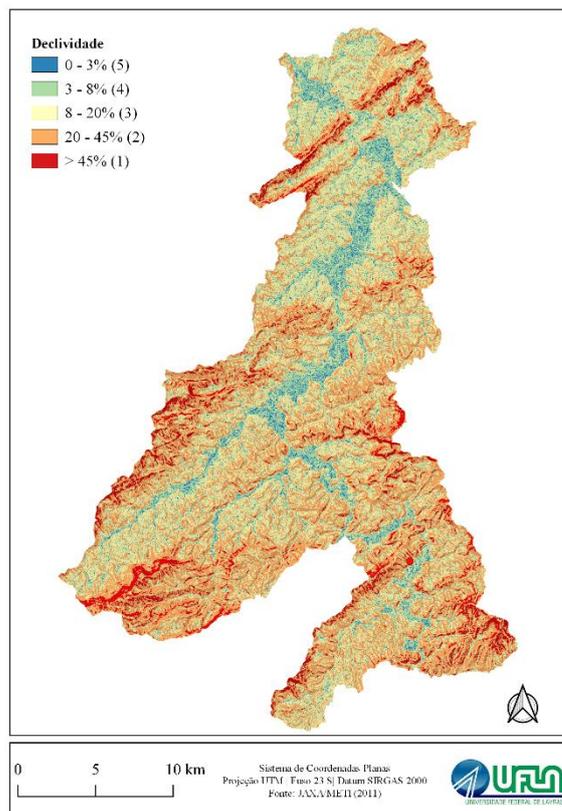


Fonte: Do Autor (2022)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da reclassificação das variáveis ambientais (declividade, solos e litologias) para a sub-bacia do médio Rio Verde são apresentados na Figura 4, 5 e 6 e nas Tabelas 3, 4 e 5.

Figura 4 – Fases de relevo e suas respectivas reclassificações



Fonte: Do Autor (2022)

Tabela 3 – Definição das fases de relevo e respectivas áreas

Declividade (%)	Fases de relevo	Pesos PUC*	Área(km ²)	Área (%)
0 a 3	Plano	5	17,7	3,0
3 a 8	Suave ondulado	4	87,1	14,7
8 a 20	Ondulado	3	210,9	35,7
20 a 45	Forte ondulado	2	237,2	40,1
> 45	Montanhoso a Escarpado	1	38,4	6,5

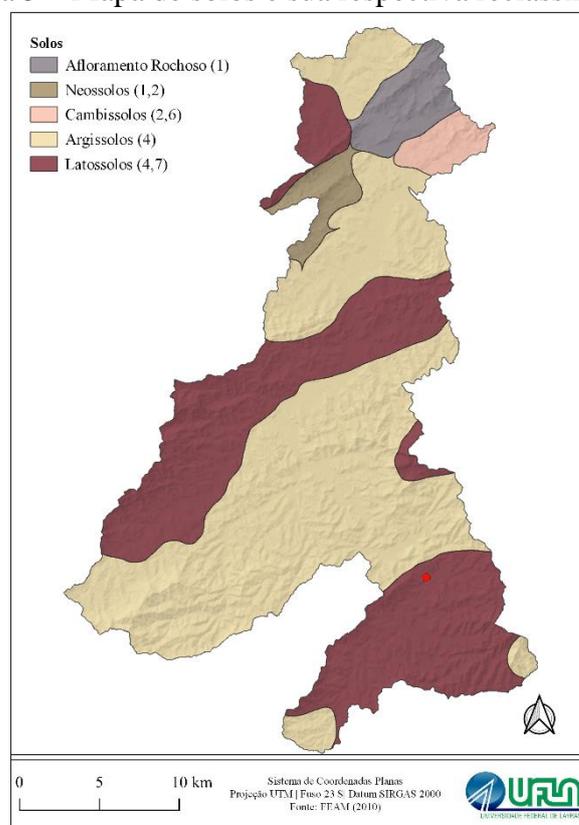
*PUC: Potencial de Uso Conservacionista

Fonte: Do Autor (2022)

É possível observar a predominância de relevo forte ondulado e ondulado, representando 40,1% e 35,7% da área, respectivamente. Em contrapartida, o relevo plano

representa menor porcentagem de área, com apenas 3%. Destaca-se que quanto maior a declividade, mais baixa a classe de declividade, maior é peso PUC para essa variável.

Figura 5 – Mapa de solos e sua respectiva reclassificação



Fonte: Do Autor (2022)

Tabela 4 – Classes de solo e respectivas expressões geográficas

Classes de solo	Pesos PUC*	Áreas (Km²)	Áreas (%)
Afloramentos rochosos	1	26,8	4,5
Neossolos	1,2	15,8	2,7
Cambissolos	2,6	14,5	2,5
Argissolos	4	318,9	53,9
Latossolos	4,7	215,3	36,4

*PUC: Potencial de Uso Conservacionista

Fonte: Do Autor (2022)

Os Argissolos apresentam a maior expressão geográfica (53,9%), seguido dos Latossolos (36,4%). Estas correspondem às classes de maiores pesos no PUC, indicando boas condições físicas que favorecem o potencial de uso conservacionista. Costa et al. (2019a) os apresenta como solos de elevados potenciais de uso conservacionista pois apresentam bom potencial de recarga hídrica, profundidade efetiva elevada e boa drenagem (Costa, et al. 2019a).

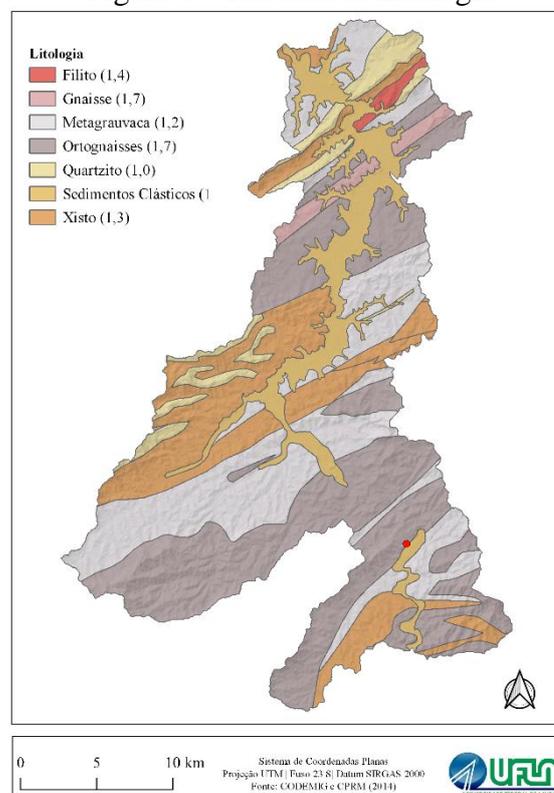
Latossolos, são solos muito intemperizados formados principalmente pelo processo de dessilicização (ou latossolização), no qual há migração química de sílica e bases, resultando em enriquecimento de ferro (Fe) e alumínio (Al). Apesar de apresentarem baixo teor de nutrientes, podendo ser corrigidos com adubos e corretivos de acidez, são profundos e apresentam alta permeabilidade em virtude da estrutura granular. Apresentando boa aptidão agrícola e adequado para disposição de resíduos (RESENDE et al., 2007).

Os Argissolos, por sua vez, são bastante intemperizados, mas com um horizonte B de acúmulo de argila (Bt). Dessa forma, a aptidão deste tanto agrícola quanto para destinação de resíduos irá depender do relevo, profundidade e erodibilidade (RESENDE et al., 2007).

Os Cambissolos apresentam menor quantidade de área sendo de 14,5%, sendo um dos de menor peso no PUC. Estes são solos rasos, ocorrendo principalmente em relevo acidentado, normalmente localizado próximo a afloramento rochoso como mostra a Figura 5. Em razão disso, torna-se um grande limitante em relação a aptidão agrícola e para a destinação de resíduos (RESENDE et al., 2007).

O mesmo ocorre com os Neossolos, são solos rasos presentes em relevos acidentados e apresentam pouca drenagem natural. Não sendo aconselhável para destinação dos resíduos assim como para o uso agrícola (RESENDE et al., 2007).

Figura 6 – Resultados Litologia



Fonte: Do Autor (2022)

Identificou-se sete diferentes litotipos variando de 1,0 a 1,7. Rochas com elevada resistência à erosão e baixa capacidade de suprimento de nutrientes, recebem os menores valores, como o quartzito (Costa, et al. 2017). A classe de litologia com maior predominância corresponde a Ortognaisse representando 34,2% da área como mostra a Tabela 5.

Tabela 5 – Litologia e respectivas áreas

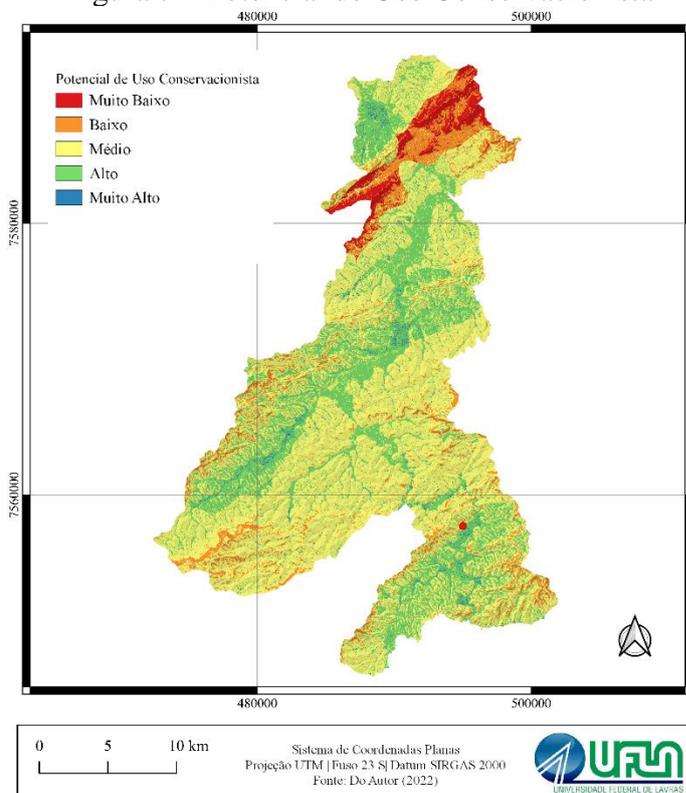
Litologia	Pesos PUC*	Áreas (km ²)	Áreas (%)
Filito	1,4	4,4	0,7
Gnaise	1,7	11,0	1,9
Metagrauvaca	1,2	151,6	25,6
Ortognaisse	1,7	202,5	34,2
Quartzito	1,0	32,8	5,6
Sedimentos clásticos	1,2	72,6	12,3
Xisto	1,3	116,5	19,7

*PUC: Potencial de Uso Conservacionista

Fonte: Do Autor (2022)

Os resultados obtidos com método PUC bem como as áreas correspondentes estão dispostos nas Figura 7 e Tabela 6.

Figura 7 – Potencial de Uso Conservacionista



Fonte: Do Autor (2022)

Tabela 6 – Classes PUC e respectivas áreas

Classes PUC*	Áreas (km²)	Áreas (%)
Muito Baixo	20,3	3,4%
Baixo	58,2	9,8%
Médio	348,2	58,9%
Alto	157,1	26,6%
Muito Alto	7,4	1,3%

*PUC: Potencial de Uso Conservacionista

Fonte: Do Autor (2022)

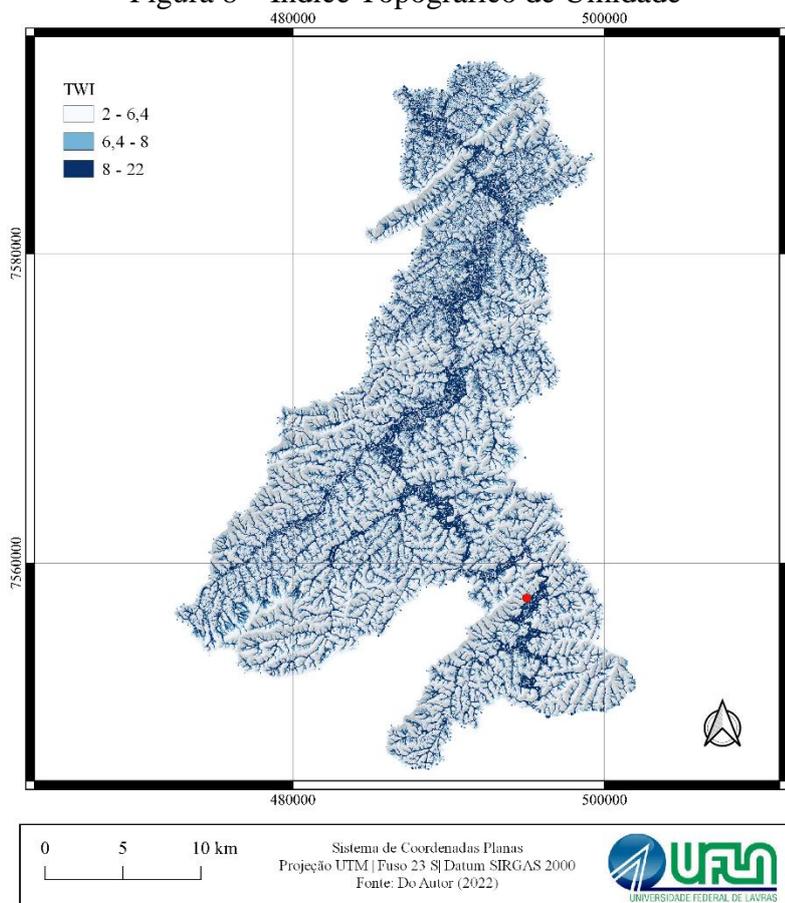
O PUC compreendido pela classe média predominou em toda a extensão da área de estudo, representando 58,9% do montante total devido principalmente pela grande presença de Latossolos e Argissolos.

A classe de PUC alto, a segunda de maior predominância (26,6%) da sub-bacia e pode-se ser percebida principalmente ao longo do curso do Rio Verde onde se encontra valores menores de declividade (0 a 8%), portanto, de maior peso. Observa-se ainda em grande parte dessa região a presença de Latossolos e Argissolos. Nas áreas com PUC alto, conforme Costa et al. (2017), apresentam maior aptidão agrícola, menor suscetibilidade a processos erosivos e maior potencial de recarga hídrica. Entretanto, para utilização dessas áreas é importante observar a proximidade aos cursos d'água, bem como a delimitação das Áreas de Preservação Permanente conforme estabelecido pelo Novo Código Florestal Brasileiro (Lei Federal nº12.651/2012).

Tanto para as regiões de PUC alto, assim como para aquelas definidas como PUC muito alto por serem classes com boa aptidão agrícola torna-se imprescindível relacioná-las com outras variáveis. Principalmente em casos onde não há informações das características físicas do meio em escala compatível apenas o PUC não apresenta de forma fidedigna algumas áreas, tais como as várzeas.

Dessa forma, a Figura 8 mostra o ITU para a referida sub-bacia. Percebe-se que, nas regiões onde há presença de PUC alto e muito alto, há altos valores de ITU, estando intimamente ligados aos relevos planos, apresentando maior área de contribuição. Sendo um indicativo de zonas inundáveis (SCHIER, 2020).

Figura 8 – Índice Topográfico de Umidade



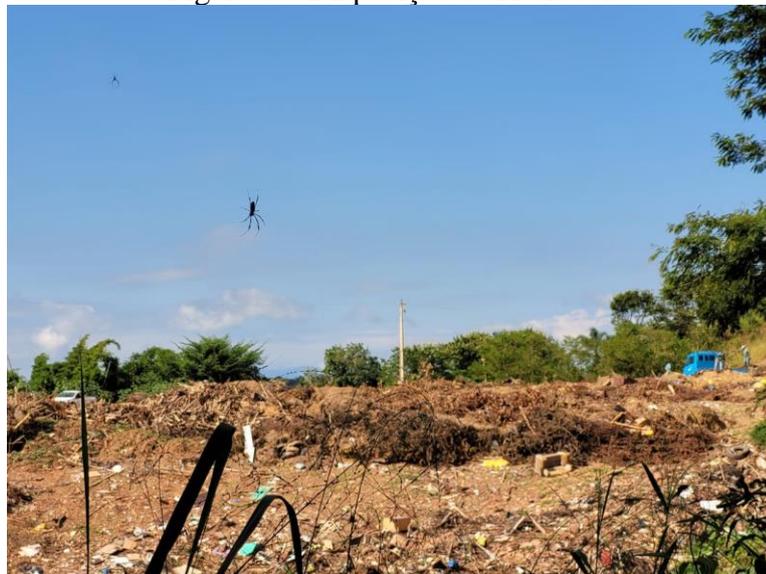
Fonte: Do Autor (2022)

Mais próximo ao ponto de exutório da sub-bacia observou-se a presença de PUC muito baixo e baixo correspondendo a 3,4% e 9,8%, respectivamente. Tais regiões apresentam maiores limitações quanto ao uso agrícola e receberam valores de PUC menores devido a elevada declividade ($> 45\%$), assim como a presença de Cambissolos e Neossolos, além de afloramentos rochoso. Esses solos apresentam pouca profundidade e são pouco desenvolvidos. Recomenda-se para estas áreas usos conservacionistas por serem mais susceptíveis ao processo de degradação ambiental.

A área utilizada para avaliação em campo está em processo de recuperação devido o histórico de disposição irregular de resíduos (Figura 9). Portanto, utilizou-se o PUC para auxiliar na escolha do uso futuro do local. A área apresentou PUC médio devido principalmente pela predominância de Latossolos. O ITU apresentou variação entre de 6,4 a 22, que representa zonas inundáveis, podendo ser explicado pelo fato da proximidade com o Rio Verde. Em

virtude dos resultados de PUC e ITU da área, recomenda-se a utilização de práticas conservacionistas, devendo ser utilizada como área verde.

Figura 9 – Disposição de Resíduos



Fonte: Do Autor (2022)

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É de suma importância a integração de ferramentas de SIG para diagnóstico mais preciso e caracterização das áreas, este concomitantemente a avaliação de diferentes variáveis através de métodos como PUC e o ITU viabilizam o planejamento e a gestão das bacias e sub-bacias hidrográficas definindo as potencialidades e limitações. A análise do PUC na sub-bacia do Médio Rio Verde, assim como na área escolhida para levantamento da paisagem permitiu identificar as regiões com alto potencial de uso agrícola ou para destinação de resíduos, auxiliar na tomada de decisões bem como na elaboração de planos e projetos considerando os diversos usos e minimizando os efeitos da degradação ambiental.

REFERÊNCIAS

ALASKA SATELLITE FACILITY - ASF. **ALOS PALSAR – About**. 2022. Disponível em: <https://asf.alaska.edu/data-sets/sar-data-sets/alos-palsar/alos-palsar-about/> Acesso em: 12 abr. 2022.

ALVES, M. R. **Múltiplas técnicas no mapeamento digital de solos**. 2008. 160 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, Piracicaba, 2008. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-10022009-162502/publico/Marcelo_Alves.pdf Acesso em: 11 abr. 2022.

BEVEN, K. J.; KIRKBY, M. J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology / Un modèle à base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant, **Hydrological Sciences Journal**, v. 24, n. 1, p. 43-69, 1979 Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02626667909491834>. Acesso em: 08 abr. 2022.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 08 jan. 1997.

CAPOANE, V.; COSTA, L. F. F.; KUPLICH, T. M. Efeito da Resolução de Modelos Digitais de Elevação na Derivação do Índice Topográfico de Umidade: Estudo de Caso no Município de Palmitinho. **Geografia em Questão**, v. 10, n. 2, p. 09-23, 2017. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/geoemquestao/article/view/15134>. Acesso em: 08 abr. 2022.

CARVALHO, L. M. T.; SCOLFRO, J. R. S. **Inventário Florestal de Minas Gerais: Monitoramento da Flora Nativa**. ed.1. Lavras: Ed. UFLA, 2008.

COSTA, A. M. et al. Ponderação de variáveis ambientais para a determinação do Potencial de Uso Conservacionista para o Estado de Minas Gerais. **Revista Geografias**, Belo Horizonte, v. 14, n. 1, p. 118-133, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/13439/10670>. Acesso em: 08 abr. 2022.

COSTA, A. M. et al. Ponderação de variáveis ambientais para a determinação do Potencial de uso conservacionista em bacias hidrográficas: estudo de caso para a bacia hidrográfica do rio Gualaxo do Norte - MG. **Revista Geografias**, Belo Horizonte, v. 27, n. 2, p. 127-147, 2019a. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/19891/30128>. Acesso em: 08 abr. 2022.

COSTA, A. M. et al. Potencial de Uso Conservacionista (PUC) e Uso e Cobertura do Solo na Bacia Hidrográfica do Córrego Guavirá, PR. **Perspectiva Geográfica**, Campus Marechal Cândido Rondon, v. 14, n. 20, p. 107-122, 2019b. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/pgeografica/article/view/24034/15213> . Acesso em: 08 abr. 2022. em: 08 abr. 2022.

FEAM-Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Mapa de Solos de Minas Gerais: legenda expandida**. UFV/CETEC/UFLA/FEAM. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2010, 49p.

HEWLETT, J. D.; HIBBERT, A. R. Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE HIDROLOGIA FLORESTAL, 11, 1965, Nova Iorque. **Anais eletrônicos...** EPA, 1967. p. 275-290. Disponível em: <http://soilandwater.bee.cornell.edu/research/VSA/papers/HewlettHibbert67.pdf> . Acesso em: 08 abr. 2022.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS – IGAM. **Plano Diretor de Recursos Hídricos do Rio Verde**. 2009. Disponível em: <http://www.repositorioigam.meioambiente.mg.gov.br/handle/123456789/582> Acesso em : 05 abr. 2022.

LI, Z.; ZHU, Q.; GOLD, C. **Digital terrain modeling: principles and methodology**. Washington: CRC Press, 2005.

MACÊDO, R. J. A.; SURYA, L. Comparação entre Modelos Digitais de Elevação dos Sensores SRTM e ALOS PALSAR para Análise Digital de Terreno. **Revista Contexto Geográfico**, Maceió, v. 3, n. 6, p. 47-55, 2018. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/contextogeografico/article/view/6968> . Acesso em: 08 abr. 2022.

OLIVEIRA, A. H.; KLINKE NETO, G.; PEREIRA, S.Y. Análise do Relevo para o Mapeamento de Áreas Favoráveis ao Processo de Infiltração. In: CONGRESSO BRASILEIRO

DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 19., 2016. **Anais eletrônicos...** Águas Subterrâneas, 2017. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28736> . Acesso em: 08 abr. 2022.

PRATES, V. **Utilização de Índices para a Representação da Paisagem como Apoio para Levantamento Pedológico em Ambiente de Geoprocessamento**. 2010. 30 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/16798> Acesso em: 11 abr. 2022.

RAMIREZ, E. **Shuttle Radar Topography Mission: The Mission to Map the World**. 2016. Disponível em: <https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/mission.htm> Acesso em: 12 abr. 2022.

RESENDE et al. **Pedologia: Base para distribuição de ambientes**. 5 ed. rev. Lavras: Editora UFLA, 2007.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of mathematical psychology**, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977. Disponível em: http://www.superdecisions.creativedecisions.net/sd_resources/Paper_ScalingMethod.pdf Acesso em: 08 abr. 2022.

SANTOS et al. **Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo**. Editora Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015.

SANTOS et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2018. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1094003> Acesso em: 03 mai. 2022.

SCHIER, D.T. **Avaliação do Índice Topográfico de Umidade para Detecção de Zonas Urbanas Inundáveis**. 2020. 125 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambientais) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2020. Disponível em: https://www.udesc.br/arquivos/cav/id_cpmenu/2789/disserta_ofinal_Daiane_Teixeira_Schier_16352612865948_2789.pdf Acesso em: 12 abr. 2022.

SEMAD/SEAPA-MG. **Metodologia para elaboração do Zoneamento Ambiental Produtivo: ZAP de sub-bacias hidrográficas.** 2. ed. Belo Horizonte, 2016.

SIRTOLI, A. E. **Mapeamento de solos com auxílio da geologia, atributos do terreno e índices espectrais integrados por redes neurais artificiais.** 2008. 102 p. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/16798> Acesso em: 11 abr. 2022.

TOPODATA. **Banco de Dados Geomorfológicos do Brasil.** 2008. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php> Acesso em: 12 abr. 2022.