
Identificação e caracterização dos riscos à degradação ambiental de microbacias hidrográficas em assentamentos de reforma agrária por meio de técnicas de geoprocessamento e da análise espacial multicritério: uma proposta

Sidney Ferreira de Arruda, Jeferson Luiz Ferrari, Sidnei Luís Bohn Gass, Dieison Morozoli da Silva, Marjorie Mezabarba Gonçalves, Maurício Novaes Souza

<https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-14-5.c4>

Resumo

A água é um dos elementos essenciais para a manutenção da vida terrestre. Neste sentido, a sua disponibilidade e qualidade resulta de uma série de ciclos biogeoquímicos e de relações com fatores econômicos, sociais, culturais e ambientais. Tendo em vista a compreensão destas relações a fim de planejamento e gestão deste recurso natural, a legislação brasileira recomenda o emprego do instrumento “bacia hidrográfica”. Este enfoque territorial permite, independentemente da escala espacial da bacia hidrográfica, análise, planejamento e, ou, gestão dos recursos hídricos, considerando agentes, atores e elementos sociais e naturais do território. Com isso, são diversos os conceitos e métodos que embasam os estudos de bacias hidrográficas. Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo elaborar um mapa dos riscos à degradação ambiental da microbacia hidrográfica da lagoa Vapabuçu, Santa Maria do Suaçuí, MG, Brasil, por meio de técnicas de geoprocessamento e da análise espacial multicritério, tendo como critérios globais os fatores clima, solo, declividade e uso e cobertura da terra. A ponderação dos subcritérios foi a partir de uma ordem hierárquica arbitrária de 0 a 1 orientada por consultas na literatura. A ponderação dos critérios globais foi pelo método denominado Análise Hierárquica de Processos (AHP). Em seguida, foi aplicado uma álgebra de mapas em ambiente QGIS que resultou em um mapa temático com cinco classes de riscos à degradação ambiental. De uma área de 278,24 ha mapeados para identificar espacialmente os riscos na microbacia: 4,14% correspondem ao risco muito baixo; 37,70% ao risco baixo; 0,14% ao risco médio; 1,81% ao risco alto e; 56,21% ao risco muito alto. Este risco muito alto à degradação é característico, principalmente, de áreas da microbacia onde é encontrado solo exposto. O cenário atual analisado da microbacia é preocupante e requer ações conjuntas de recuperação ambiental com a comunidade local.

Palavras-chave: Fragilidade ambiental. Sustentabilidade. GIS. Cartografia temática. Reforma agrária.

1. Introdução

Entre os elementos essenciais para a manutenção da vida na Terra, a água é um dos mais importantes. A sua qualidade e disponibilidade engloba fatores físicos, químicos e biológicos da paisagem. Por conseguinte, a gestão da água demanda do conhecimento de seus ciclos biogeoquímicos e de sua relação com aspectos econômicos, sociais, culturais e ambientais. Cada escola do conhecimento científico abordará o estudo da água conforme a sua categoria de análise.

Diante disso, quando estudada no foco territorial, a água será vista a partir de uma unidade delimitada no espaço geográfico. A bacia hidrográfica é caracterizada como uma região da superfície da Terra encarregada de coletar a água proveniente da chuva, bem como os sedimentos e substâncias dissolvidas, convergidos para um único ponto de saída, conhecido como exutório ou foz, por meio de rios, afluentes e, ou, ravinas (SILVA; SCHULZ; CAMARGO 2004; BENATTI et al., 2018).

A escolha da bacia hidrográfica como uma unidade de planejamento e pesquisa é justificada devido à sua eficácia como uma das abordagens mais abrangentes para análise: dado que, nesse ambiente, os processos naturais se interligam a ação antrópica (OLIVEIRA et al., 2013).

Isto é, as bacias hidrográficas, em suas diversas escalas espaciais, são os instrumentos desta limitação espacial que colaboram para representar a qualidade dos serviços ambientais responsáveis pela dinâmica dos sistemas hidrológicos. Além disso, a delimitação espacial em diversos estudos é frequentemente feita utilizando a bacia hidrográfica, por sua característica integradora do planejamento urbano e rural, de acordo com Gomes, Medeiros e Pinto (2015).

A lei 9.433 de 08 de janeiro de 1997 instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos no Brasil. Nesta lei, é determinado que a bacia hidrográfica fosse a unidade territorial de planejamento e gestão dos recursos hídricos. A questão chave desta lei, via de regra, é destacar que a água é um bem de domínio público; dotada de valor econômico; é um recurso natural limitado e que o seu gerenciamento tem que contar com a participação do Poder Público, dos

usuários e das comunidades, de forma a ficar descentralizada a sua gestão (BRASIL, 1997).

No entanto, por mais que a legislação brasileira indique os parâmetros para o planejamento e gestão de bacias hidrográficas, a utilização da água envolve agentes do meio urbano e rural. Pelas normas legais, a água é um recurso que deve estar ao alcance de todos; porém, elementos econômicos, sociais, culturais e ambientais podem impossibilitar tal alcance e, conseqüentemente, causando ou acentuando questões como a degradação do meio ambiente.

O surgimento de conflitos de utilização e de problemáticas ambientais relacionados com o uso da água é muito mais marcante no meio rural. Antes de chegar às indústrias e torneiras das casas urbanas, haverá todo um ciclo hidrológico acontecendo em função da sustentação de um determinado ecossistema. Desse modo, no contexto de uma bacia hidrográfica, o uso da água tem múltiplas formas, funções e benefícios para sistemas naturais, sistemas de produção agrícola, sistemas industriais e para o consumo humano.

Entre os sistemas agrícolas existentes e usuários da água, Neder (2012) discorre sobre a ausência de instrumentos e de políticas públicas direcionadas para a gestão e planejamento de utilização de recursos hídricos em assentamentos de reforma agrária brasileiros. Para a autora, os assentamentos são, em geral, resultados das lutas para modificar a estrutura fundiária brasileira e que por esta razão, a política de reforma agrária é uma maneira de buscar atenuar tais lutas, deixando, na grande parte dos casos, inexistente um planejamento prévio. Por estes motivos, muitos assentamentos nos dias atuais apresentam condições que comprometem a sua viabilização econômica, social e ambiental.

Segundo Souza (2021), para mensurar a amplitude ambiental de um determinado empreendimento, deve-se, no momento do seu planejamento, conhecer e considerar o seu objetivo, a sua abrangência e as externalidades e o total das relações físicas, biológicas, políticas, socioeconômicas, tecnológicas e culturais da área onde será inserido e, ou, que já foi instalado. Para esse mesmo autor, em projeto que venha a interferir nas dinâmicas de ecossistemas, procedimentos de construção de cenários pré e pós-degradação são importantes para estabelecer ou recuperar a sustentabilidade dos serviços ambientais.

Logo, as ações antrópicas realizadas sem um planejamento adequado têm provocado uma série de efeitos prejudiciais ao meio ambiente no Brasil. Um resultado disso é o crescimento das áreas afetadas pela degradação em todo território nacional. A grande parte dessa degradação é caracterizada por alterações na camada mais superficial do solo que, associado com fatores climáticos, geomorfológicos e de uso e cobertura da terra, promovem perdas das condições edafoclimáticas locais e favorece processos erosivos (Figura 1).



Figura 1. Lagoa Vapabuçu, Santa Maria do Suaçuí, MG. Fonte: <https://www.minasgerais.com.br/pt/atracoes/santa-maria-do-suacui/lagoa-vapabucu>.

Assim, o objetivo deste estudo foi elaborar um mapa dos riscos à degradação ambiental da microbacia hidrográfica da Lagoa Vapabuçu, Santa Maria do Suaçuí, MG, Brasil, por meio de técnicas de geoprocessamento e da análise espacial multicritério, tendo como critérios globais os fatores clima, solo, declividade e uso e cobertura da terra.

2. Revisão bibliográfica

2.1. Cartografia e análises espaciais

Pelinson (2019) destaca o conjunto teórico e metodológico que embasa estudos que utilizem a representação cartográfica de objetos e eventos. Para este mesmo autor, a Cartografia é um dos ramos das ciências geodésicas que com a evolução de seus métodos e empregando conceitos e tecnologias da Astronomia, da Topografia, da Fotogrametria, do Sensoriamento Remoto, entre outros, vem colaborando nas análises espaciais de objetos e eventos naturais e sociais.

Segundo Correa (2017), ao se elaborar um mapa, utiliza-se fundamentos e princípios geodésicos, cartográficos e do geoprocessamento, como as coordenadas, sendo estas geográficas ou cartesianas, geoide e, ou, projeções cartográficas da superfície da Terra, Sistema Geodésico de Referência e Sistemas de Informações Geográficas. Com isso, é importante conhecer a base teórico-tecnológica da Cartografia com mais profundidade, sendo essa a principal fonte de aquisição de dados para se trabalhar com geotecnologias (LÖBLER et al., 2019).

A informação para ser considerada geográfica precisa ser georreferenciada; ou seja, ter uma localização conhecida em um determinado ponto na superfície terrestre. Inicialmente, é preciso produzir essa informação com base nos procedimentos e métodos da Cartografia. Desta forma, o avanço técnico-científico da Cartografia é o início para se desenvolver novas ferramentas para coletar, armazenar, editar e reformular dados e produtos geoespaciais. Desta maneira, pode-se dizer que o desenvolvimento das geotecnologias ocorreu a partir da introdução da Cartografia em ambiente computacional (SANTOS, 2021).

2.2. Geotecnologias

As geotecnologias são, em resumo, um braço da Cartografia, beneficiado pelo avanço das ciências da computação e da informação, principalmente das

últimas duas décadas. O resultado disso é a possibilidade de trabalhar com uma diversidade de variáveis e, ou, bancos de dados espaciais, facilitando as construções das análises espaciais, da superfície terrestre, de diferentes áreas do conhecimento e das diferentes escalas espaciais e temporais (ZAIDAN, 2017).

Ainda está para ser definido, pelo menos na Geografia, se as geotecnologias são um instrumento ou um novo paradigma científico conforme descrito por Dambrós (2020). As geotecnologias certamente vão exigir um conhecimento interdisciplinar de quem vai utilizar seus recursos. À vista disso, as geotecnologias são ferramentas que promovem a interação entre seres humanos, *hardware* e *software* que opera segundo a aquisição da informação geográfica de variados métodos e instrumentos (SANTOS, 2021).

Essa relação é explicada quando Zaidan (2017) define que:

as geotecnologias constituem o conjunto de tecnologias para coleta, armazenamento, edição, processamento, análise e disponibilização de dados e informações com referência espacial geográfica. São compostas por soluções em *hardware*, *software*, *peopleware* e *dataware*. No rol das geotecnologias estão o geoprocessamento, SIG (GIS, SGI) – Sistemas de Informações Geográficas, Cartografia Digital ou Automatizada, Sensoriamento Remoto por Satélites, Sistema de Posicionamento Global (ex. GPS), Aerofotogrametria, Geodésia, Topografia Clássica, entre outros. Dentre as geotecnologias, destaca-se o geoprocessamento, principalmente na constituição de Sistemas de Informações Geográficas – SIGs.

As geotecnologias podem contribuir nas análises da paisagem considerando aspectos naturais, sociais ou culturais de uma determinada porção da superfície da Terra. Desta forma, na utilização de produtos como mapas temáticos, é possível compreender características estáticas e dinâmicas de uma determinada região, conforme a sensibilidade e a base teórico-metodológica do pesquisador (BARROS; CASTROGIOVANI; TEIXEIRA, 2019).

2.3. Paisagem

Para Verdum (2012) a paisagem é uma categoria de análise do espaço geográfico. Para esse mesmo autor, a paisagem é dotada de dinâmica, tanto na

escala espacial como na escala temporal, tendo estrutura e funcionamento que podem ser objetos de estudos em conjunto ou isoladamente. Segundo Suertegaray (2001), a paisagem é, pelos menos nos estudos geográficos, um conceito operacional que permite analisar o espaço geográfico pela conjunção de elementos naturais, sociais, culturais e, ou, ambientais.

Para Arruda (2021):

a definição de paisagem, na ciência e fora dela, tem suas objetividades. Na Geografia, paisagem tem uma epistemologia de mais de dois séculos buscando contribuir para o referencial teórico da ciência geográfica. Considerada um sistema ou não, a Paisagem, com sua base de conceitos e associando-a métodos de investigação para a Geografia, sempre vai expressar uma leitura do mundo. Sobre este mundo (superfície terrestre/recorte espacial), observa-se que estas paisagens sofrem cada vez mais os processos de antropização do meio natural.

Destacam-se os estudos de ordenamento, planejamento e gestão ambiental que fazem as suas análises a partir das ferramentas e produtos oriundos das geotecnologias e da leitura da paisagem. Assim, como exemplo, tem-se estudo e, ou, produtos de imagens de satélite possibilitando analisar o uso e cobertura das terras nas diversas escalas espaciais e temporais (FITZ, 2008). Com isso, projetos como o *MapBiomass* (2020) e o *Dynamic World* (2022) estão utilizando imagens de satélites, processamento em nuvens e classificadores automatizados para mapear a cobertura e uso das terras no Brasil e em escala global, e disponibilizando o uso destes dados para diferentes estudos.

2.4. Superposição de mapas

Para Ross (1994), o mapeamento das fragilidades ambientais pode ser realizado pela superposição de mapas, uma síntese de fatores físicos; tais como declividade, clima e pedologia; e fatores sociais e, ou, ambientais, tais como cobertura vegetal e uso das terras. Os princípios da inferência geográfica é uma metodologia empregada nesta superposição de mapas, associando combinação linear, ponderada e média ou de função *fuzzy*, entre outras operações de

variáveis globais, arbitrando subcritérios, e utilizando métodos, tal como o Método de Análise Hierárquica – AHP (MOREIRA et al., 2001).

De acordo com Cordeiro et al. (2001), superposição de mapas atualmente podem ser realizadas em ambientes de Sistemas de Informações Geográficas por meio da álgebra de mapas. Por conseguinte, a álgebra de mapas vem sendo utilizada como suporte da análise espacial multicritério que atribui notas aos elementos analisados, subcritérios, e empregando a escala de importância proposta por Saaty (1977) é possível determinar a ordem hierárquica das variáveis globais aplicadas no estudo.

Costa et al. (2017) ponderam em seus estudos variáveis ambientais como declividade, pedologia e geologia para ser utilizadas em álgebra de mapas na elaboração de zoneamentos que determinam o Potencial de Uso Conservacionista – PUC – em bacias hidrográficas para o Estado de Minas Gerais. Em Costa et al. (2019), é aplicada a metodologia do PUC que, somando com dados de uso e cobertura das terras, foi possível identificar as zonas que necessitam de conservação na bacia hidrográfica córrego Guavirá, PR.

2.5. Análise espacial multicritério

Na literatura científica, existem diversos estudos elaborados por meio do método da análise espacial multicritério, os quais empregam diferentes variáveis e têm como objetivo o ordenamento territorial, a gestão e o planejamento ambiental, a adequação e o levantamento das potencialidades agrícolas, bem como a identificação de fragilidades e o mapeamento dos riscos associados à degradação ambiental, entre outros. Utilizando este método, Corseuil (2006) realizou um estudo de adequação do uso das terras na microbacia hidrográfica do Arroio Ajuricaba, localizada no Município de Marechal Cândido Rondon, PR.

Enquanto Falcão (2013), pelo mesmo método e utilizando fatores diferentes, mapeou os níveis de riscos ao processo de degradação ambiental da bacia hidrográfica do Açude Juá, localizada no município de Boa Vista, no semiárido do Estado da Paraíba. Gass et al. (2022) apresentam uma proposta de representação da Paisagem, utilizando a metodologia do PUC, em conjunto com dados auxiliares, como a cobertura e o uso das terras, e a estrutura fundiária

do município de Santo Cristo, RS, que propicia a obtenção de uma visão mais abrangente e aprofundada da região, sendo uma ferramenta eficaz de gestão territorial.

3. Caracterização da área de estudo

A área da microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu tem, aproximadamente, 359,15 hectares. Localiza-se no leste de Minas Gerais e, ou, no sudeste do município de Santa Maria do Suaçuí, MG, Brasil (Figura 2).

Esta microbacia hidrográfica fica situada, quase na sua totalidade, em um assentamento de reforma agrária (Figura 3).

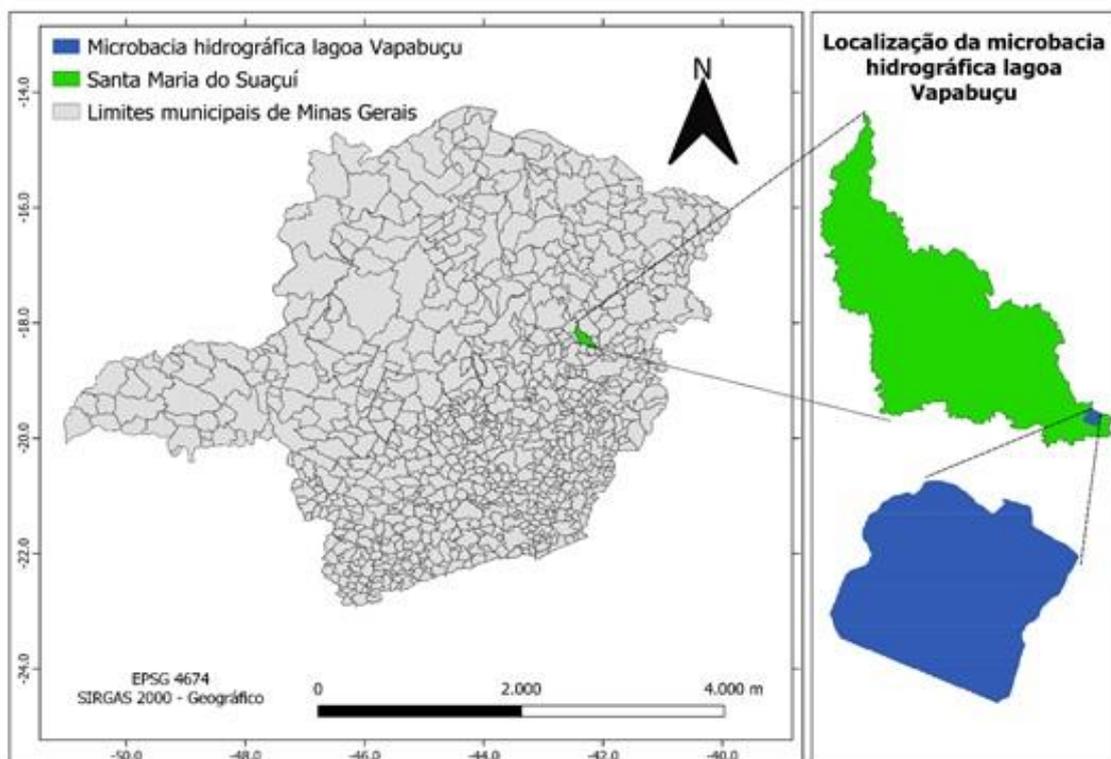


Figura 2. Mapa da localização da microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu. Fonte: Os autores - a partir de INPE (2011) e IBGE (2021a).

O assentamento é resultado da desapropriação de duas propriedades vizinhas na data de 3 de janeiro de 2006, totalizando uma área próxima dos 2.681.935 hectares (BRASIL, 2006). Mesmo sendo pertencente ao município de Santa Maria do Suaçuí, MG, os assentados têm uma relação maior com São José da Safira, MG, município ao nordeste, devido a distância menor até a sua

sede urbana. Assim sendo, os mesmos buscam na cidade de São José da Safira serviços oferecidos pelo comércio local e também pela administração pública e, em número bastante pequeno, fazem a venda de seus produtos.

A microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu se encontra a uma altitude perto dos 282 metros, segundo a SECTMG (2020). Conforme observado no mapa da Figura 4, há uma variação significativa de altitudes que favorece uma topografia de relevo ondulado e uma rede hidrográfica que influencia na manutenção dos serviços ambientais da microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu e de ecossistemas próximos. Ao sul da microbacia hidrográfica da lagoa Vapabuçu, fica localizado o curso d'água conhecido pelos moradores locais como ribeirão Vermelho, que apesar da degradação ambiental dos últimos anos, ainda é importante para os produtores rurais adjacentes.

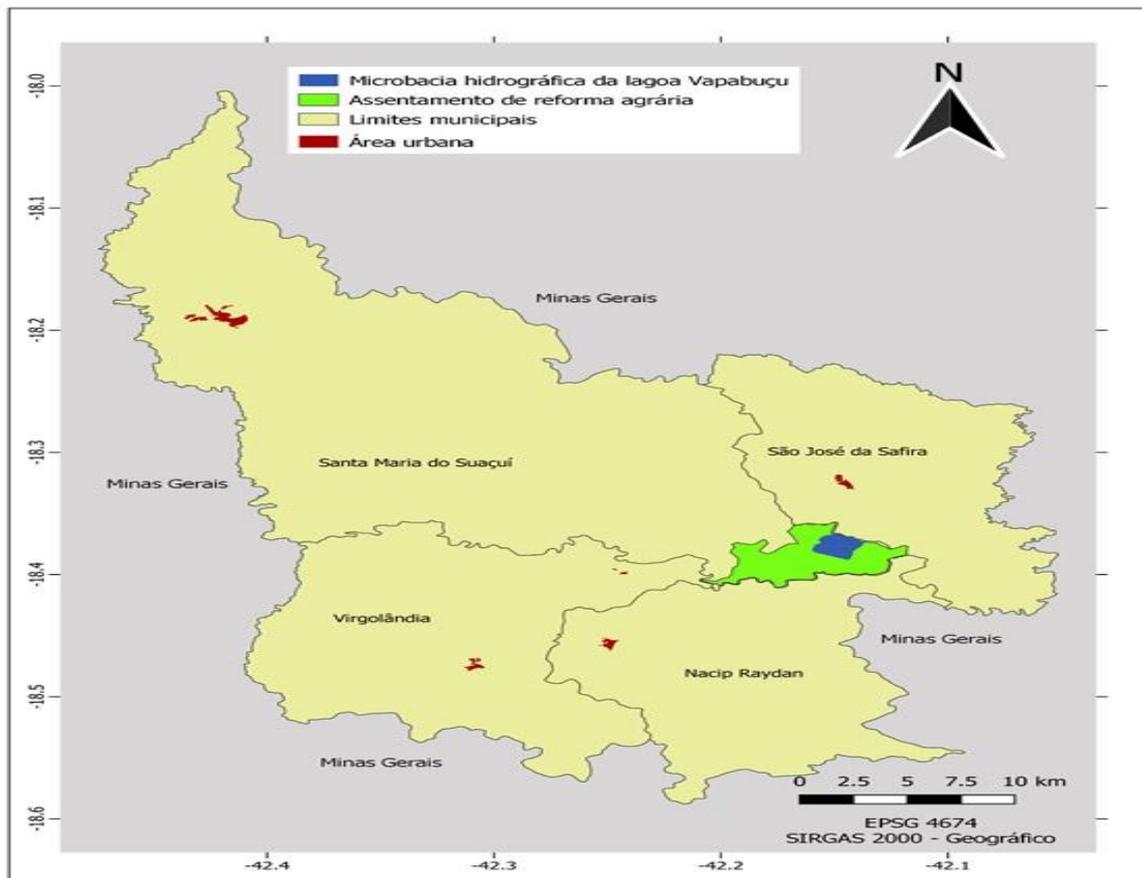


Figura 3. Mapa de localização do assentamento da microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu. Fonte: Os autores a partir de INPE (2011), CAR (2021), IBGE (2021a) e MAPBIOMAS (2021).

Em termos de elementos naturais e físicos que compõem as estruturas e formas da paisagem desta microbacia, o projeto RadamBrasil indica, por meio de seus dados, a predominância de Argissolos (IBGE, 2021b). Para Resende et al. (2002), estes são solos pobres encontrados em áreas acidentadas na região do vale do rio Doce, MG.

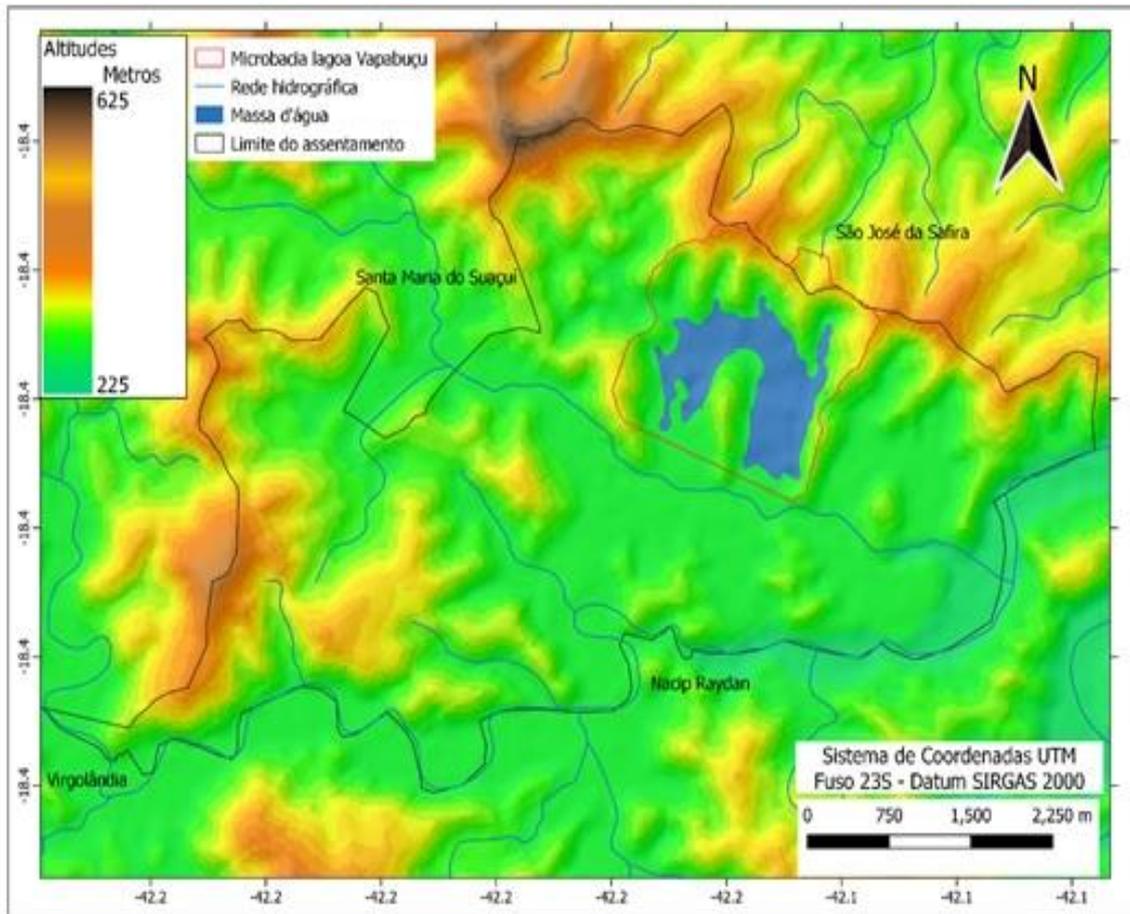


Figura 4. Mapa da variação de altitudes e da rede hidrográfica da microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu e das proximidades. Fontes: Os autores a partir de IDE-SISTEMA (2008), INPE (2011), CAR (2021) e MAPBIOMAS (2021).

Para esses mesmos autores, esta é uma área que apresenta uma pronunciada estação seca ao longo do ano; com isso, somando com a deficiência de nutrientes destes solos, haverá presença de vegetação florestal típica da Mata Atlântica em alguns locais; a substituição da vegetação arbórea pelas espécies do tipo gramíneas em outras partes; afloramento rochoso e até solo completamente exposto, como é o caso da microbacia hidrográfica da lagoa Vapabuçu, observado nas Figuras 5, 5A, 5B e 5C.



Figura 5. Imagem do satélite Sentinel da microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu do dia 10/09/2022. Fonte: Os autores a partir ESA (2022).

A microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu se situa em uma região aonde a cobertura vegetal original típica deste bioma vem perdendo espaço para diferentes ocupações da terra (Figuras 5A, 5B e 5C).

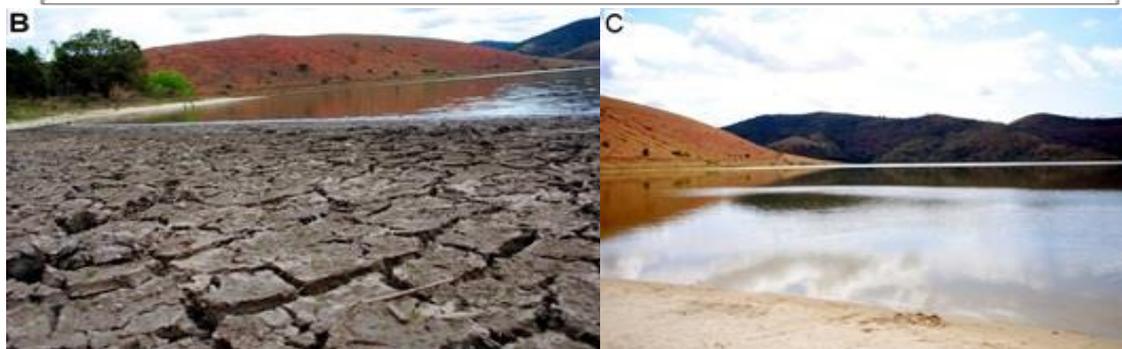


Figura 5. A: vista da paisagem em 2020 em período de seca. B e C: processos de degradação ambiental e de diminuição da lâmina d'água já eram observados na paisagem em 2011 e anos anteriores. Fonte: Fausto Gomes Lopes (2011) e SECTMG (2020).

No meio rural, é evidente que uma considerável extensão de áreas perdeu sua cobertura vegetal original, sendo transformada em pastagens para a criação de animais. Os solos dessas áreas, juntamente com as elevadas declividades, condições climáticas adversas e outros fatores relevantes, essas áreas se encontram atualmente em estado de degradação e abandono, conforme claramente evidenciado nas imagens capturadas da microbacia hidrográfica da Lagoa Vapabuçu.

Segundo o estudo de Alvares et al. (2013), pela classificação climática de Köppen para o Brasil, a microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu possui o tipo climático Aw tropical. Isso significa que esta região experimentará um considerável volume de precipitação durante o período compreendido entre novembro e abril. Além disso, é importante destacar a ocorrência ocasional de chuvas torrenciais. Esses eventos climáticos, combinados com a exposição do solo e as características topográficas íngremes, têm desencadeado processos erosivos e a subsequente degradação ambiental nesta microbacia.

4. Procedimentos metodológicos

Em um primeiro momento foi realizado um levantamento bibliográfico de conceitos e metodologias que embasam os estudos da interpretação da paisagem por meio da análise espacial multicritério e de técnicas de geoprocessamento, como é o caso deste estudo.

As próximas etapas foram o processamento dos dados geoespaciais em ambiente de informações geográficas QGIS na versão 3.16 e a geração dos produtos cartográficos e dos dados estatísticos subsequentes.

A primeira destas etapas foi a delimitação da microbacia hidrográfica da lagoa Vapabuçu. Este procedimento foi feito a partir de um Modelo Digital de Elevação da área disponível no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (2011). Tal processo gerou um arquivo em formato *raster* representando os limites da microbacia em questão.

Em seguida, o mesmo arquivo foi convertido em formato *vetor*, no qual ficou muito acentuado o efeito conhecido como “serrilhado”. É comum em procedimentos que trabalham com dados geoespaciais em escalas maiores, e

que os produtos cartográficos oriundos deles sejam representados em escalas e, ou, resoluções espaciais maiores. Para minimizar este efeito no polígono dos limites da microbacia foi aplicada a operação de suavização da camada vetorial.

Segundo trabalhos como os de Corseuil (2006), Falcão (2013) e Costa et al. (2017), um estudo baseado na análise espacial multicritério consiste da escolha e da ponderação de variáveis ambientais, sendo estas divididas em critérios globais e subcritérios. Para este fim, no presente estudo foram empregados como critérios globais as variáveis declividade, clima, solo e uso e cobertura da terra.

A ponderação dos subcritérios foi a partir de uma ordem hierárquica arbitrária de 0 a 1. Este ordenamento segue os princípios da análise da fragilidade ambiental teorizada por Ross (1994), que defende a funcionalidade dos ambientes naturais como uma intrínseca relação dos componentes físicos e bióticos da paisagem responsáveis pela vida vegetal e animal dos ecossistemas. Nessa perspectiva, quando mais próximo de 1 o subcritério estiver, mais importância o mesmo teve para a degradação ambiental no presente estudo.

Os subcritérios da declividade foram ordenados segundo a concepção de Ross (1994), que classifica o rigor dos processos erosivos, dos riscos de escorregamentos/deslizamentos e, ou, inundações e, conseqüentemente, o peso do grau à degradação ambiental, conforme as categorias em porcentagem do relevo apresentadas no Quadro 1.

Em ambiente QGIS, o Modelo Digital de Elevação da área disponível em INPE (2011), foi utilizado para gerar a representação do relevo de acordo ao Quadro 1. Gerado o produto cartográfico do relevo indicando estas categorias da declividade, foi realizada uma normalização destes dados pela função *Fuzzy*, significando com isso que os graus de degradação ambiental foram reordenados em uma ordem crescente seguindo a classificação do relevo na hierarquia arbitrária de 0 a 1.

Quadro 1. Categorias hierárquicas da declividade em relação ao grau de risco à degradação ambiental

Declividade	Peso do grau à degradação ambiental
Até 6%	Muito fraco
De 6 a 12%	Fraco
De 12 a 20%	Médio
De 20 a 30%	Forte
Acima de 30%	Muito forte

Fonte: Os autores, a partir de Ross, 1994.

Seguindo os procedimentos metodológicos do presente estudo, o próximo passo foi extrair os dados de cobertura e uso da terra disponibilizada pelo projeto *Dynamic World* (2022). Tal projeto é uma iniciativa da Google e do *World Resources Institute* que, utilizando imagens do satélite Sentinel com uma resolução espacial de 10 metros, computação em nuvem e inteligência artificial, vem gerando dados em escala global e quase diariamente de uso e cobertura da terra em 9 classes taxonômicas.

Para extração dos dados do projeto *Dynamic World*, foi acessada a plataforma *Google Earth Engine* (earthengine.google.com), no qual foi realizado o *upload* da geometria correspondente à área de estudo por meio de um script. A geometria carregada foi utilizada como delimitação espacial para o *download* dos dados. Das 9 classes taxonômicas que o *Dynamic World* pode mapear, na data de 30/08/2022 foram identificadas 7 classes na área da microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu, como se pode observar no Quadro⁴ 2.

Quando realizado trabalho de campo, observações por imagens de satélite e das informações do Quadro 2, nota-se tipos de uso e cobertura da terra na microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu que podem ser reagrupados para melhor atender os objetivos deste estudo. Com isso, foi feito um processo de reclassificação das classes informadas no Quadro 2; em seguida o arquivo *raster*

⁴ Traduzido pelos autores.

foi vetorizado. Foi preciso também realizar o procedimento de suavização da camada *vetorial*, tendo assim, no final desta etapa, os dados espacializados e estatísticos do uso cobertura da terra da microbacia em estudo.

Quadro 2. Classes mapeadas pelo *Dynamic World* em 05/08/2022 na microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu

Nº ID	Tipo da classe	Descrição da classe
0	Corpo d'água	Rios; lagos e lagoas; oceanos e áreas alagadas.
1	Formação florestal	Qualquer agrupamento significativo de vegetação densa, geralmente com um dossel fechado ou denso. Florestas plantadas.
2	Formação savânica	Áreas abertas cobertas por gramíneas homogêneas com pouca ou nenhuma vegetação mais alta. Outras áreas homogêneas de vegetação gramínea (folhas tipo lâmina) que aparecem diferentes de árvores e matagais.
3	Vegetação alagada	Áreas de qualquer tipo de vegetação com evidente mistura de água. Vegetação emergente
4	Agricultura	Culturas perenes e anuais.
5	Vegetação esparsa	Mistura de pequenos aglomerados de plantas ou plantas individuais dispersos em uma paisagem que mostra solo e rocha expostos.
6	Área não vegetada	Solo exposto. Estradas não pavimentadas. Rodovias pavimentadas. Infraestruturas, expansão urbana e, ou, mineração.

Fonte: Os autores, a partir de Christopher et al. (2022).

Ross (1994) declara que o tipo de cobertura vegetal é que vai determinar o grau de proteção do solo contra os processos erosivos e outras degradações aos recursos naturais e serviços ambientais dos ecossistemas. Baseados na interpretação de Ross (1994) e no cenário atual da microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu, foram ponderados os pesos dos subcritérios do critério global uso e cobertura da terra, como mostra o Quadro 3. Após atribuir os pesos dos subcritérios na camada no formato *vetorial*, a mesma foi convertida novamente em *raster*.

Como mencionado anteriormente, cerca de 63% da área total da microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu é abrangida pelo tipo de solo Argissolo Vermelho (IBGE, 2021b). Logo, na maioria das áreas da microbacia em consideração, excluindo a lâmina d'água, observa-se uma predominância desse tipo de solo, o que o torna um subcritério significativo dentro do critério geral do solo.

Quadro 3. Reclassificação dos tipos de cobertura e uso da terra da microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu e os respectivos pesos dos subcritérios.

Nº ID	Nº ID reclassificado	Tipo de cobertura e/ou uso – subcritério	Peso
0	1	Corpo D'água	0
1	2	Formação florestal	0,05
2	3	Formação savânica	0,20
3	4	Agricultura e, ou, pastagem	0,85
4			
5	5	Solo exposto e, ou, com afloramento rochoso	0,98
6			

Fonte: Os autores.

A ponderação deste subcritério, Argissolo Vermelho, considerou os argumentos de Costa et al. (2017), que apontam os solos com textura argilosa ou muito argilosa, com argilas do tipo 1:1, como os mais resistentes à erosão. Para definir o seu peso, também foram levados em conta o grau de erodibilidade do solo - Ross (1994) afirma que para ser estipulado, terá que considerar a textura; a estrutura; a plasticidade; o grau de coesão das partículas; e a profundidade/espessura associado com o relevo, com o clima e com as características físicas e químicas dos solos.

Com isso, pelo cenário atual da microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu, as condições de textura e a baixa fertilidade do Argissolo Vermelho encontrado na área, condicionado com o tipo de relevo, o peso deste subcritério foi de 0,75. Após essa ponderação, este peso foi inserido na camada *vetorial* oriunda dos

dados de IBGE (2021b); em seguida, a mesma foi convertida para o formato *raster*.

Para Crepani et al. (2004), informações da pluviosidade da região de interesse da qual se desejam elaborar análises ambientais, são as mais importantes para a determinação do grau de erosividade. De acordo com os estudos desses mesmos autores, é possível inferir que certas condições, como a cobertura vegetal do solo e os diferentes tipos de relevo, desempenham um papel significativo nos processos erosivos, especificamente relacionados à energia potencial gravitacional proveniente da precipitação pluvial. Essa perspectiva implica que a chuva atua como o agente ativo responsável pela erosão, enquanto o solo assume o papel de agente passivo. Dessa forma, a erosão hídrica ocorre predominantemente em áreas com escassa ou nenhuma proteção vegetal e em declividades mais pronunciadas.

As informações da pluviosidade para o presente estudo foram obtidas por meio do trabalho de Alvares et al. (2013). Estes mesmos autores elaboraram uma classificação climática, com dados espacializados: um mapa do Brasil com os tipos climáticos da classificação de Köppen. Segundo os dados deste estudo, a microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu se situa sobre o clima tropical do tipo Aw, o qual apresenta estação chuvosa no verão, de novembro a abril; e nítida estação seca no inverno, de maio a outubro (julho é o mês mais seco), com precipitações superiores a 750 mm anuais, atingindo 1800 mm.

Considerando as condições referentes a pluviosidade da região aonde fica localizada a microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu e o grau de erosividade, o peso do subcritério clima Aw foi 0,55. Este valor do peso foi inserido no polígono da área da microbacia; em seguida, o mesmo foi convertido para o formato *raster*. Os pesos dos subcritérios qualitativos são mostrados no Quadro 4. Por sua vez, no Quadro 5 são apresentados os dados cartográficos utilizados no presente estudo.

Quadro 4. Pesos dos subcritérios qualitativos em relação ao risco à degradação ambiental

Subcritério	Peso
Corpo d'água	0
Formação florestal	0,05
Formação savânica	0,20
Agricultura e, ou, pastagem	0,85
Solo exposto e, ou, afloramento rochoso	0,98
Argissolo Vermelho	0,75
Clima Aw	0,55

Fonte: Os autores.

Quadro 5. Dados cartográficos utilizados neste estudo

Dado	Escala/resolução espacial	Ano de referência	Fonte
Limites municipais	1:250.000	2021	IBGE (2021a)
Rede hidrográfica	~1:280.000	2021	IDE-SISTEMA (2008)
Limites das propriedades rurais	~1:500.000	2021	CAR (2021)
Infraestrutura urbana	30 metros	2021	MAPBIOMAS (2021)
Modelo Digital de Elevação	30 metros	2000	INPE (2011)
Classes de declividade			
Altitudes			
Imagens de satélite RGB	10 metros	2022	ESA (2022)
Pedologia	1:250.000	2021	IBGE ((2021b)
Classificação climática	100 metros	2013	IPEF (2013)
Cobertura e uso da terra	10 metros	2022	Google e World Resources Institute (2022)

Fonte: Os autores.

Para elaborar um mapa temático dos riscos à degradação ambiental da microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu, foi aplicada uma álgebra de mapas em ambiente SIG, utilizando o QGIS, por meio da calculadora *raster*. Essa metodologia da álgebra requer antes uma ponderação dos critérios globais, que neste estudo foram: a) solo; b) declividade; c) clima; e d) cobertura e uso da terra.

A ponderação destes critérios globais foi realizada pelo método denominado Análise Hierárquica de Processos (AHP), proposto por Saaty (1977). Neste estudo, foi considerada a capacidade de cada um destes critérios, variáveis citadas acima, de influenciar em processos erosivos na degradação ambiental na microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu. Com isso, foi aplicado o método AHP do qual fez comparações destas variáveis par-a-par, a partir da construção de uma matriz de prioridades, estabelecendo os pesos variando de 0 a 1 - quando mais próximo de 1 a variável ficou, mais influência a mesma tem nos processos relacionados à degradação ambiental.

Pelo método AHP também é definido o Índice de Consistência (IC) - quando este for menor do que 0,1, significa que as análises e as ponderações das variáveis têm coerência; quando for maior que 0,1, significa que o processo de ponderação das variáveis não teve objetividade e tem que ser refeito. No caso deste estudo, o IC foi 0,06. Em seguida, utilizando a calculadora *raster*, foi aplicado a álgebra de mapas por meio da combinação de fatores, critérios globais e subcritérios, pela ponderada linear expressa na Equação 1.

$$RDA = \sum (S_i * P + D_i * P + C_i * P + U_i * P) \quad \text{Eq. 1}$$

Onde: RDA = Risco à Degradação Ambiental; S_i = Solo da classe "i"; D_i = Declividade da classe "i"; C_i = Clima da classe "i"; U_i = Cobertura e uso da terra da classe "i"; P = Peso do critério global: $P_{\text{solo}} = 0,419$; $P_{\text{declividade}} = 0,076$; $P_{\text{clima}} = 0,071$; $P_{\text{cobertura e uso da terra}} = 0,434$.

O resultado final de todos estes procedimentos metodológicos foi um mapa representando 5 níveis de riscos à degradação ambiental da microbacia

hidrográfica lagoa Vapabuçu. Estes 5 níveis são resultantes de um processo de fatiamento para definir cada classe de risco à degradação ambiental, assim ficando: Muito baixo (até 0,375); Baixo (de 0,375 a 0,4949); Médio (de 0,4949 a 0,6148); Alto (de 0,6148 a 0,7347); e Muito alto (maior que 0,7347).

No momento do processo de suavização da camada *vetorial* destes dados, estava havendo uma perda significativa de área do polígono; por isso, foi aplicado um procedimento de Filtragem Gaussiana no arquivo *raster* e deixando este como produto cartográfico do mapa final. Neste mapa final, percebem-se imperfeições ou espaços “vazios” nas bordas que limitam a microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu. Isso se deve, provavelmente, pelas diferenças de escalas espaciais dos dados empregados na álgebra de mapas, que foram acentuadas pela Filtragem Gaussiana do *raster*.

Contudo, tais imperfeições não implicaram no alcance do objetivo deste estudo, que foi a identificação e caracterização dos riscos à degradação ambiental na microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu, mapeando estes nesta área por meio da análise espacial multicritério. Em vista disso, as situações espacializadas no mapa dos riscos à degradação ambiental da microbacia são semelhantes àsquelas encontradas em campo na data de 16/10/2022.

5. Resultados e discussão

Analisando os dados de uso e cobertura da terra da microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu de 30/08/2022, nota-se uma situação preocupante em relação à conservação e, ou, preservação dos serviços ambientais desta área. De 359,12 ha mapeados, cerca de 21% destes correspondem a lâmina d'água. Um pouco mais, 30% desta área, é coberta por formação florestal da qual grande parte se concentra na região mais alta no noroeste da bacia, seguindo sentido sul até às margens da lagoa. A formação savânica representa 1,56% destes 359,12 ha mapeados: são encontradas pequenas manchas desta vegetação nas margens sul da lagoa e no extremo sul da microbacia.

De toda área da microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu, a agricultura representa uma pequena porção, cerca de 7,24 ha ou 2% da área total mapeada. Como demonstra a Figura 6 e observado em campo, os assentados estão usando

uma área para formação de pastagem localizada ao leste que surgiu depois da diminuição da lâmina d'água.

No entanto, como observado nos registros fotográficos (Figuras 9 e 10) e segundo relatos destes assentados, nos últimos anos essa área vem sendo ocupada novamente pela lâmina d'água. Isso pode significar que ocorreu aumento significativo na precipitação pluviométrica ao longo de um determinado período, resultando em uma potencial regeneração da cobertura vegetal em áreas específicas da microbacia.

Há de se considerar que um aumento significativo na precipitação pluviométrica ao longo de um determinado período pode ter várias consequências, algumas delas podem ser benéficas, enquanto outras podem ser prejudiciais. As consequências podem variar dependendo da localização geográfica, da intensidade e da duração do aumento das chuvas. Algumas das principais consequências que podem ocorrer: inundação, deslizamentos de terra, erosão, danos à agricultura, abastecimento de água, benefícios ecossistêmicos e implicações à saúde (SOUZA, 2021; 2023).

Ao observar a imagem de satélite na Figura 6, nota-se um afloramento rochoso no norte da microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu. Somando este elemento natural da paisagem com solo exposto da área da microbacia, fica próximo de 156,61 ha (Quadro 6).

Quadro 6. Dados de área ocupada pelos tipos de cobertura ou uso da terra na microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu em 30/08/2022.

Tipo de cobertura ou uso do solo	Área (ha)	Área (%)
Lâmina d'água	78,76	21,93
Formação florestal	110,92	30,89
Formação savânica	5,59	1,56
Agricultura/pastagem	7,24	2,02
Solo exposto e, ou, afloramento rochoso	156,61	43,61
Totais	359,12	100

Fonte: Os autores, a partir de Dynamic World, 2022.

Com isso, dos 359,12 ha mapeados do uso e cobertura da terra, pouco mais de 43% destes são solo exposto, como visto na Figura 6.

É notório que há um desordenamento do uso e cobertura da terra na microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu. Pelos dados apresentados anteriormente, os processos erosivos observados atualmente na paisagem da área em estudo são resultantes da substituição da formação florestal, principalmente em topos de morros e em áreas de declividade mais acentuada, pela pastagem.

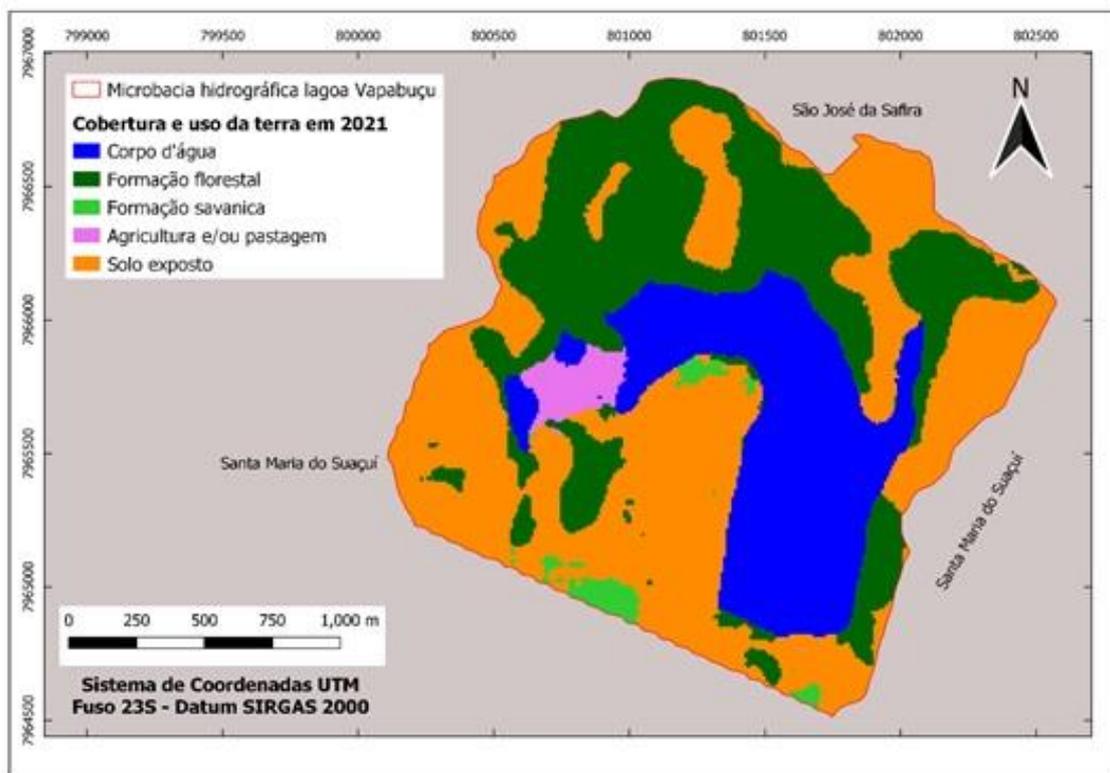


Figura 6. Cobertura e uso da terra na microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu em 30/08/2022. Fonte: Os autores, a partir de Dynamic World, 2022.

O manejo inadequado desta pastagem e, em seguida, o abandono destas áreas, reflete nos riscos à degradação ambiental representado, especialmente, no mapa da Figura 7.

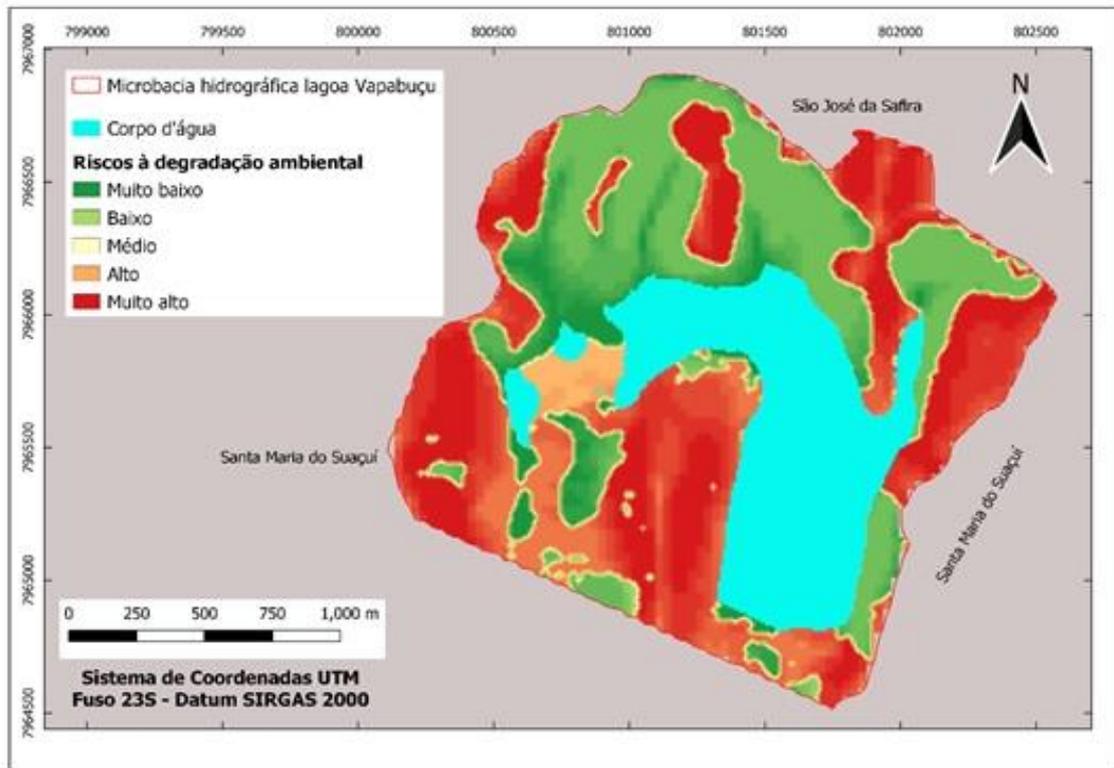


Figura 7. Mapa dos riscos a degradação ambiental na microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu em 2022. Fonte: Os autores.

Pelo mapeamento dos riscos se identificou uma área equivalente a 11,52 ha de risco muito baixo à degradação ambiental na microbacia. Como observado nos mapas das Figuras 6 e 7, a vegetação mais densa é que caracteriza este risco muito baixo, onde são concentrados nas regiões norte e leste, chegando às margens da lagoa, como visto nas fotografias das Figuras 8A, 8B e 8C.

Como foi observado no mapa da Figura 7 e nas Figuras 8A, 8B e 8C, há um gradiente da mudança de risco muito baixo para o risco baixo à degradação ambiental, à medida que aumenta a declividade e a vegetação fica menos densa. Desta forma, o risco baixo à degradação ambiental apresentou cerca de 37% dos 278,24 ha mapeados.

Os riscos médio e alto à degradação ambiental corresponderam por uma área próxima de 6 ha no leste da microbacia. Esta é uma área que vem sendo destinada a pastagem nos últimos anos; anteriormente era coberta pela lâmina d'água da lagoa (Figura 9).

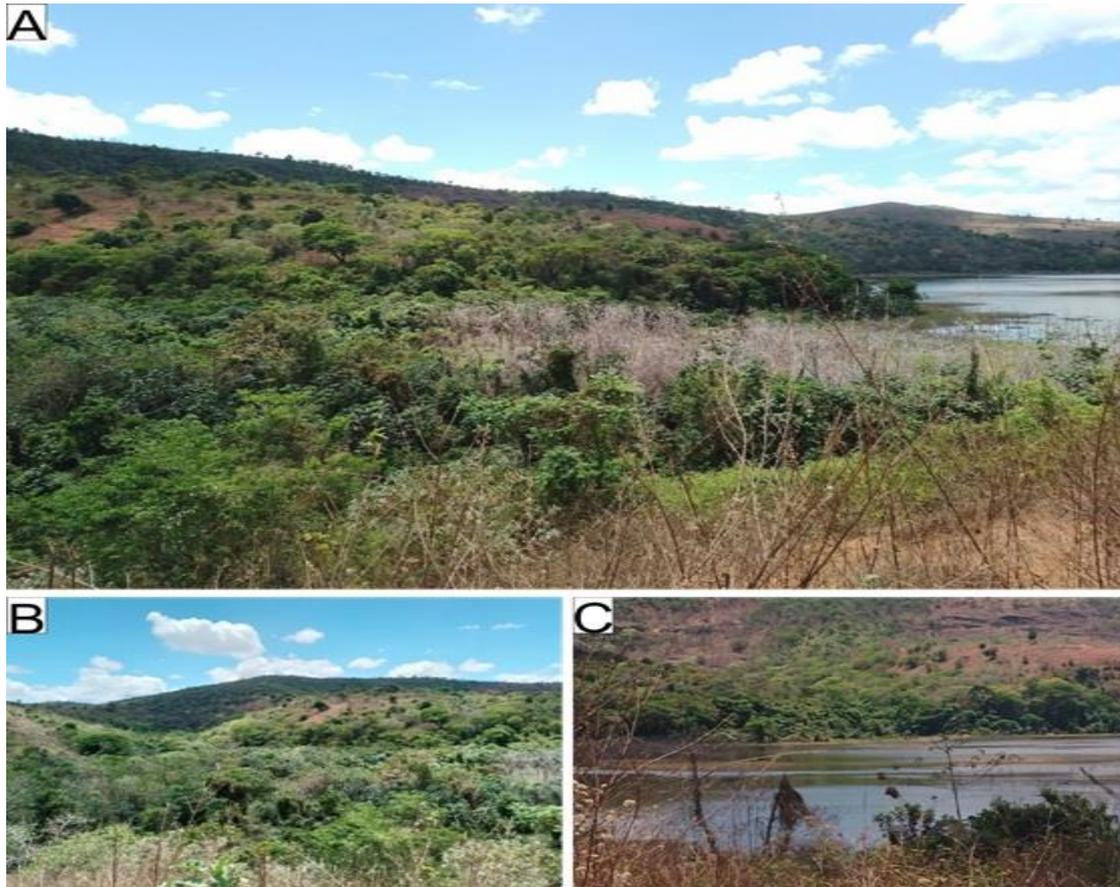


Figura 8. A: paisagem da margem leste da lagoa Vapabuçu com presença de vegetação em regeneração e formação florestal nas regiões ao norte de maior declividade ao fundo. B: paisagem as margens leste da lagoa Vapabuçu com presença de vegetação mais densa nas áreas de menor declividade e vegetação florestal em regeneração nos morros ao fundo. C: paisagem vista do sul das margens norte da lagoa Vapabuçu com presença de formação florestal. Fonte: Sidney Ferreira de Arruda, 2022.



Figura 9. Paisagem (área) transformada em pasto após a diminuição da lâmina d'água da lagoa Vapabuçu. Fonte: Sidney Ferreira de Arruda, 2022.

Este dinamismo de mudança de uso e cobertura da terra vem acontecendo, segundo relatos locais, no decorrer da última década. No entanto, em anos recentes, a lâmina d'água voltou a ocupar parte desta área onde podem ser observadas cercas que faziam as divisões dos piquetes, as quais ficaram submersas (Figura 10).

Por último foi mapeado, identificado e caracterizado o grau de risco muito alto à degradação ambiental na microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu. Este é identificado nas regiões de declividade mais acentuada do norte, oeste, leste e, em maior parte, do sul da microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu (Figura 11). Da área total desta microbacia, o corpo d'água da lagoa ocupa uma área perto dos 78 ha, sendo esta desconsiderada, 278,24 ha foram mapeados nos riscos à degradação ambiental. Isso significa que um pouco mais de 56% (Quadro 7) desta área mapeada da microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu encontram-se sobre um risco muito alto à degradação ambiental. Nas fotografias das Figuras 11A, 11B, 11C e 11D, é possível observar que nos locais em que ocorre o grau muito alto é característico o solo exposto ou com pouca cobertura vegetal.



Figura 10. Paisagem (área) sendo ocupada novamente pela lâmina d'água da lagoa Vapabuçu e deixando as cercas submersas. Fonte: Sidney Ferreira de Arruda, 2022.

Quadro 7. Dados de área ocupada pelos tipos de riscos à degradação ambiental e pelo corpo d'água mapeados da microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu

Risco à degradação ambiental	Área (ha)	Área (%)
Muito baixo	11,52	4,14
Baixo	104,89	37,70
Médio	0,39	0,14
Alto	5,04	1,81
Muito alto	156,4	56,21
Totais	278,24	100

Fonte: Os autores.

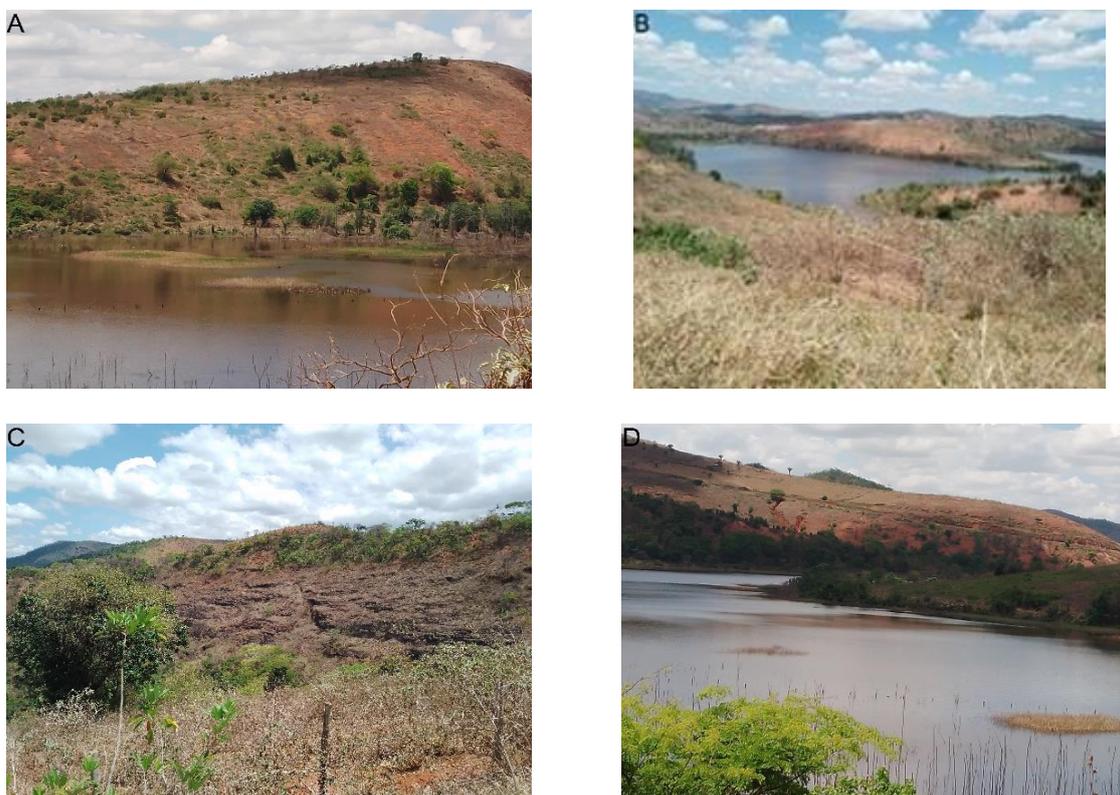


Figura 11. A: paisagem vista do sul do morro ao norte da microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu com solo exposto. B: paisagem vista do norte do morro ao leste-sul da microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu com solo exposto. C: afloramento rochoso na paisagem ao norte da microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu. D: paisagem vista do oeste do morro ao leste no segundo plano com presença de solo exposto e erosões hídricas. Fonte: Sidney Ferreira de Arruda, 2022.

Os processos erosivos encontrados na paisagem da microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu, aonde é apresentado um grau muito alto à degradação ambiental, são característicos de áreas de solo exposto e com declividade acentuada. Associando estes fatores com um volume de precipitações concentrado em um espaço menor de tempo, têm-se processos de escoamento superficial do solo; erosão laminar e; formação de voçorocas como visto nas fotografias das Figuras 12 e 13.

Com isso, as condições ambientais atuais vistas neste pré-diagnóstico, revelaram os riscos para a manutenção de todo o ecossistema local situado nos limites da microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu. Segundo relatos dos assentados, a única iniciativa que os mesmos têm lembrança e que visava o reflorestamento de áreas nesta microbacia foi de uma instituição que atuou em nome da Fundação Renova. No entanto, em pesquisa realizada, sem consulta a terceiros, na literatura não foi encontrada informações referentes a este trabalho.



Figura 12. Processo de erosão laminar transformando-se em voçoroca encontrado na paisagem na região leste da microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu. Fonte: Sidney Ferreira de Arruda, 2022.



Figura 13. Voçoroca de grande extensão vista na paisagem ao sul da microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu. Fonte: Sidney Ferreira de Arruda, 2022.

O trabalho de campo realizado, embora feito apenas para fins de reconhecimento, sem procedimentos mais específicos e análises em laboratório, por exemplo, análises de indicadores ambientais, demonstra um cenário de degradação ambiental que se prorroga há certo tempo. À vista disso, em certas regiões da microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu, observa-se sinais de regeneração da vegetação e, conseqüentemente, dos serviços ambientais.

Porém, visto as alterações das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo desta microbacia, agravam-se de maneira crescente os processos erosivos e se torna cada vez mais necessária a inclusão de procedimentos e mecanismos de retroalimentação compensatória⁵ que possam colaborar na recuperação ambiental desta área.

6. Considerações finais

Os dados espaciais que foram utilizados neste estudo têm escalas/resoluções espaciais diferentes entrem si. Isso pode ter comprometido a

⁵ Referem-se a processos fisiológicos ou sistemas regulatórios que atuam para contrabalançar ou compensar mudanças ou perturbações em um determinado sistema, a fim de manter a homeostase ou o equilíbrio interno do organismo.

acurácia final dos resultados. Contudo, a metodologia empregada foi suficiente para fazer um reconhecimento da fragilidade ambiental na qual se encontra a microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu.

Além dos processos erosivos descritos nas análises deste estudo, na área da microbacia e em todo território do assentamento no qual ela está localizada, observa-se na paisagem reflexos de degradação ambiental resultante de um planejamento que não indica, até então, um cenário de viabilização econômica, social e ambiental deste empreendimento.

Tão grave é também a ausência do Estado que poderia levar às famílias assentadas neste espaço condições de assistência técnica e financeira que fomenta uma agricultura de base ecológica - uma das características da agricultura praticada em assentamentos de reforma agrária; e a manutenção dos serviços ambientais.

Desta maneira, a futura recuperação ambiental da área da microbacia hidrográfica lagoa Vapabuçu aonde o risco de degradação é muito alto irá requerer ações conjuntas entre os assentados, governo local e instituições de ensino, pesquisa e extensão, entre outros agentes e atores.

7. Referências

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES, G. de; JOSÉ, L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acesso em: 15 nov. 2022.

ARRUDA, S. F. de. **Uma análise geoagronômica da vitivinicultura na fronteira oeste do Rio Grande do Sul**: limitações e potencialidades para o cultivo da *Vitis vinifera* L. 2021. Dissertação (mestrado acadêmico em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/233276>. Acesso em: 10 jun. 2022.

BARROS, L. A.; CASTROGIOVANI, A. C.; TEIXEIRA, C. C.. A importância da paisagem na leitura das espacialidades. **Para Onde?**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 39-48, 2019. Disponível em: <https://www.seer.ufrgs.br/paraonde/article/view/97266>. Acesso em: 4 out. 2021.

BENATTI, D. P.; TONELLO, K. C.; LEITE, C. E.; FARIA, L. C. Morfometria e uso e cobertura de uma microbacia no município de Sete Barras, São Paulo. **Irriga**, v. 20, n. 1, p. 21-32, 2018.

BRASIL. **Decreto s/nº de 03/01/2006**. Declara de interesse social, para fins de reforma agrária, os imóveis rurais que menciona, e dá outras providências. 2006. Disponível em: https://www.normasbrasil.com.br/norma/decreto-2006_57334.html. Acesso em: 10 set. 2022.

BRASIL. **LEI n. 9.433, de 8 de Janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 12 out. 2022.

CHRISTOPHER, F. B.; BROOKIE, G.-W.; TANYA, B.; SAMANTHA, B. H.; JOSEPH, M.; WANDA, C.; VALERIE, J. P.; ROBERT, H.; SIMON, I.; KURT, S.; MIKAELA, W.; FRED, S.; CRAIG, H.; OLIVER, G.; REBECCA, M.; ALEXANDER, M. Tait. Dynamic World, Near real-time global 10 m land use land cover mapping. **Nature: scientific data**, v. 251, n. 9, p. 1–17, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01307-4>. Acesso em: 12 nov. 2022.

CORDEIRO, J. P.; BARBOSA, C. C. F.; CÂMARA, G. Álgebra de campos e objetos. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Eds.). **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. p. 8–26. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.html>. Acesso em: 12 out. 2022.

CORREA, P. M.. Sistema de coordenadas UTM e topográficas I. In: CORREA, P. M.; STEIN, R. T.; TULER, Marcelo; SAVIETTO, Rafael; SARAIVA, Sérgio (orgs.). **Topografia e geoprocessamento**. Porto Alegre: SAGAH, 2017. p. 395–408. Disponível em: <https://bit.ly/3R5lr04>. Acesso em: 20 set. 2022.

CORSEUIL, C. W. **Técnicas de geoprocessamento e de análise de Multicritérios na adequação de uso das terras**. 2006. Tese (doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2006.

COSTA, A. M. da; SILVA, L. H. da; SILVA, V. C. da; MOURA, M. S. de; MOTA, P. K.; ARAÚJO, B. J. R. S. de. Potencial de Uso Conservacionista (PUC) e uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do córrego Guavirá, PR. **Revista Perspectiva Geográfica**, v. 14, n. 20, p. 107–122, 2019. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/pgeografica/article/view/24034>. Acesso em: 10 dez. 2022.

COSTA, A. M. da; VIANA, J. H. M.; EVANGELISTA, L. P.; CARVALHO, D. C. de; PEDRAS, K. C.; HORTA, I. de M.; SALIS, H. H. de C.; PEREIRA, M. P. R.; SAMPAIO, J. L. D.. Ponderação de variáveis ambientais para a determinação do Potencial de Uso Conservacionista para o Estado de Minas Gerais. **Geografias**, v. 14, n. 1, p. 118–133, 2017.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de; PALMEIRA, A. F. **Intensidade pluviométrica: uma maneira de tratar dados pluviométricos para análise da**

vulnerabilidade de paisagens à perda de solo. São José dos Campos: INPE, 2004.

DAMBRÓS, G.. Qual o papel das geotecnologias na estruturação de um novo paradigma da Geografia? **Caderno de Geografia**, Pelotas, v. 30, n. 60, p. 163–171, 2020. Disponível em: <http://periodicos.pucminas.br/index.php/geografia/article/view/22325/16400>. Acesso em: 20 set. 2022.

FALCÃO, E. C. **Análise de riscos à degradação ambiental utilizando avaliação multicritério espacial, no município de Boa Vista - PB.** 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

GASS, S. L. B.; SILVA, D. M. da; ARRUDA, S. F. de. A representação da paisagem como instrumento de gestão municipal: uma proposta. **Estudos Geográficos**, v. 20, n. 2, p. 115-116, 2022. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/estgeo/article/view/17091>. Acesso em: 3 nov. 2022.

GOMES, W. M.; MEDEIROS, R. B.; PINTO, A. L. Análise da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do córrego Moeda, Três Lagoas/MS. *In*: CAMPOS, Sérgio; PIROLI, Edson Luís; BENINI, Sandra Medina (orgs.). **Geoprocessamento aplicado a análises ambientais.** Tupã/SP: ANAP – Associação Amigos da Natureza da Alta Paulista, 2015. p. 54-67. Disponível em: <https://www.estantedaanap.org/product-page/geoprocessamento-aplicado-a-an%C3%A1lises-ambientais>. Acesso em: 17 jan. 2023.

GOOGLE; WORLD RESOURCES INSTITUTE. **Dynamic World.** 2022. **A near realtime land cover dataset for our constantly changing planet.** .

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malhas municipais.** 2021a. **IBGE Geociências.** Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipais/.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapeamento de recursos naturais do Brasil em escala 1:250.000. 2021b. **Pedologia.** Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/vetores/escala_250_mil/versao_2021/.

INPE. TOPODATA. 2011. **Banco de dados geomorfométricos do Brasil.** Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>.

IPEF - Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Especial: Mapa Koeppen Brasil detalhado. 2013. **Geodatabase.** Disponível em: <https://www2.ipef.br/geodatabase/>. Acesso em: 15 nov. 2022.

LÖBLER, C. A.; GONÇALVES, C. M. R.; DAVES, L. F.; LEÃO, M. F.; PELINSON, N. de S.; STEIN, R. T.; DINIZ, T. B.; BERTOLLO, M.; SANTOS, M. O. dos.

Cartografia. Porto Alegre: SAGAH, 2019. Disponível em: <https://bit.ly/3BSdXYD>. Acesso em: 20 set. 2022.

MAPBIOMAS. **MapBiomas Geral “Handbook”: Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD).** [S. l.]: Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil, 2020. Disponível em: https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/ATBD_Collection_5_v1.pdf. Acesso em: 27 jul. 2021.

MOREIRA, F.; BARBOSA, C.; CÂMARA, G.; ALMEIDA-FILHO, R. Inferência Geográfica e Suporte à Decisão. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. (Eds.). **Introdução à ciência da geoinformação.** São José dos Campos: INPE, 2001. p. 1-48. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.html>. Acesso em: 12 out. 2022.

NEDER, R. do N. O uso da água em projetos de assentamentos rurais no município de Uberlândia: políticas públicas, conflitos e controle na gestão dos recursos hídricos. In: **Anais... XXI ENCONTRO NACIONAL DE GEOGRAFIA AGRÁRIA: TERRITÓRIOS EM DISPUTA: OS DESAFIOS DA GEOGRAFIA AGRÁRIA NAS CONTRADIÇÕES DO DESENVOLVIMENTO BRASILEIRO,** 2012. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2012. p. 1–12.

PELINSON, N. de S. Conceitos de cartografia e geodésia. In: TROMBETA, L. R. A.; OLIVEIRA, L. F. R. de; PELINSON, N. de S.; SANTOS, F. M. dos (Orgs.). **Geoprocessamento.** Porto Alegre: SAGAH, 2019. p. 12–36. Disponível em: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&AuthType=shib&db=edsmib&AN=edsmib.000017461&lang=pt-br&scope=site&authtype>. Acesso em: 20 set. 2022.

OLIVEIRA, L. F. C.; CALIL, P. M.; RODRIGUES, C.; KLIEMANN, H. J.; OLIVEIRA, V. A. Potencial do uso dos solos da bacia hidrográfica do alto rio Meia Ponte, Goiás. **Ambiente & Água,** Taubaté, v. 8, n. 1, p. 222-238, 2013.

RESENDE, M.; LANI, J. L.; REZENDE, S. B. Pedossistemas da Mata Atlântica: considerações pertinentes sobre a sustentabilidade. **Revista Árvore,** v. 26, n. 3, p. 261–269, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622002000300001>. Acesso em: 28 dez. 2022.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia,** v. 8, p. 63-74, 1994. Disponível em: <https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006>.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology,** v. 15, n. 3, p. 234–281, 1977. [https://doi.org/doi:10.1016/0022-2496\(77\)90033-5](https://doi.org/doi:10.1016/0022-2496(77)90033-5).

SANTOS, F. M. dos. Geotecnologias na história. In: STEIN, R. T.; SANTOS, F. M. dos; REX, F. E.; MARCATTO, F. S.; TROMBETA, L. R. A.; MORAS FILHO, L. O.; PELINSON, N. de S. (Orgs.). **Geoprocessamento.** 3. ed. Porto Alegre: SAGAH, 2021. p. 13–38. Disponível em: <https://bit.ly/3LAj2cx>. Acesso em: 20 set. 2022.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. de (Eds.). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. ver. ampl. - Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353p.

SECTMG - Secretaria de Estado de Turismo de Minas Gerais. **Santa Maria do Suaçuí: lagoa Vapabuçu**. 2020. **Secretaria de Estado de Turismo de Minas Gerais**. Disponível em: <https://www.minasgerais.com.br/pt/atracoes/santa-maria-do-suacui/lagoa-vapabucu>. Acesso em: 10 set. 2022.

SILVA, A. M.; SCHULZ, H. E.; CAMARGO, P. B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. São Carlos: RIMA, 2004.

SOUZA, M. N. Recuperação ambiental ou recuperação de áreas degradadas: conceitos e procedimentos. In: SOUZA, M. N. (Ed.). **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. Canoas: Mérida Publishers, 2021. p. 11–57. Disponível em: <https://www.meridapublishers.com/topicos-em-recuperacao-de-areas-degradadas/>. Acesso em: 16 nov. 2022.

SOUZA, M. N. (Org.) **Tópicos em recuperação de áreas degradadas**. Vol. V. – Canoas, RS: Mérida Publishers, 2023. 348 p. ISBN: 978-65-84548-12-1. DOI: <https://doi.org/10.4322/mp.978-65-84548-12-1>.

SUERTEGARAY, D. M. A. Espaço Geográfico uno e múltiplo. **Scripa Nova**, Barcelona, n. 93, 2001. Disponível em: <http://www.ub.edu/geocrit/sn-93.htm>. Acesso em: 27 jul. 2021.

VERDUM, R. Perceber e conceber paisagem. In: VERDUM, R.; VIEIRA, L. de F. dos S.; PINTO, B. F.; SILVA, L. A. P. da (Orgs.). **Paisagem: leituras, significados, transformações**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2012. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufrgs.br/>. Acesso em: 28 jul. 2021.

ZAIDAN, R. T. Geoprocessamento conceitos e definições. **Revista de Geografia - PPGeo - UFJF**, Juiz de Fora, v. 7, n. 2, p. 195–201, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufjf.br/index.php/geografia/article/view/18073/9359>. Acesso em: 20 set. 2022.