



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Estudo da vulnerabilidade ambiental em uma micro bacia hidrográfica empregando hierarquia nominal e operador local

Normanda Santos Nascimento¹, Eliane Maria Vieira², José Augusto Costa Gonçalves³,
Giselle de Paula Queiroz Cunha⁴

¹Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Itajubá-UFI, Rua Irmã Ivone Drumond, 200, CEP 35903-087, Distrito Industrial II, Itabira, Minas Gerais. E-mail: normanda@hotmail.com. ²Professora da UFI; E-mail para correspondência: elianevieira@unifei.edu.br (Vieira, E.M.). ³Professor da UFI. E-mail: jaucosta@unifei.edu.br. ⁴Professor da UFI. E-mail: gisellequeiroz@unifei.edu.br.

Artigo recebido em 26/04/2016 e aceito em 16/05/2016

RESUMO

A microbacia hidrográfica do ribeirão Candidópolis pertence à bacia do rio Piracicaba, é responsável por parte do abastecimento público de Itabira. Esta microbacia sofre com a ocupação irregular do solo, o que pode comprometer o abastecimento de água da cidade em quantidade e qualidade. Sendo assim, esse trabalho propôs realizar o mapeamento da vulnerabilidade ambiental da microbacia do ribeirão Candidópolis. A elaboração do mapa de vulnerabilidade constituiu na integração dos mapas de índice de vulnerabilidade por declividade, índice de vulnerabilidade por uso e ocupação, índice de vulnerabilidade por classes de solo e índice de vulnerabilidade por classes geomorfológicas. Para isso, utilizou-se a metodologia a qual definiu uma hierarquia nominal de fragilidade, representados por classes: Muito Fraca (1), Fraca (2), Média (3), Forte (4) e Muito Forte (5), de acordo com seu grau de vulnerabilidade. A integração foi realizada empregando o operador local soma. Os resultados demonstraram que a microbacia Candidópolis apresenta um grau de vulnerabilidade de Média a Forte, totalizando 88,09% de toda a área da bacia, o que demonstra que é uma área bastante vulnerável. Os principais condicionantes deste resultado foram as classes de solos e foram intensificados pelo uso e ocupação presentes nesta bacia.

Palavras-chave: Vulnerabilidade ambiental, geoprocessamento, hierarquia nominal.

Study of environmental vulnerability in a micro basin employing hierarchy nominal and local operator

ABSTRACT

The Candidópolis stream watershed belongs to the Piracicaba river basin and it is responsible for the water supply in Itabira City. This watershed suffers from the irregular soil occupation, which can compromise the city's water supply in terms of quantity and quality. Thus, this work proposed to carry out the environmental vulnerability mapping of Candidópolis. The vulnerability map consists in the integration of the maps: vulnerability index for slope, vulnerability index for use and occupation, vulnerability index for soil classes and vulnerability index for geomorphological classes. The methodology used for the elaboration of this map: defines a nominal weakness hierarchy represented by classes according to their vulnerability degree: Very poor (1) Poor (2) Average (3), Strong (4) and Very strong (5). The integration was performed using the local operator sum. The spatial distribution of environmental vulnerability classes showed that the Candidópolis stream watershed presents a vulnerability degree between Average and Strong, corresponding to 88.09% of the watershed area, which shows it is a very vulnerable area. The main determinants of this result were the soil classes and enhanced by use and occupation present in this basin.

Keywords: Environmental vulnerability, geoprocessing, nominal hierarchy.

Introdução

Diante da expansão do desenvolvimento econômico e da ocupação desordenada que o território brasileiro vem sofrendo ao longo dos anos, aliada à diminuição dos recursos naturais, é perceptível o aumento dos impactos sobre o meio ambiente.

Os recursos hídricos têm sido um dos

recursos mais ameaçados pela urbanização acelerada e pela crescente demanda de água doce e de boa qualidade, visto que constituem recursos estratégicos para o desenvolvimento econômico, para a qualidade de vida das populações humanas e para a sustentabilidade da biodiversidade (Tundisi, 2003).

No meio rural, o uso inadequado do solo

também vem acarretando sérios impactos, visto que interfere nos aspectos físicos, químicos e biológicos deste, ocasionado a diminuição da sua capacidade produtiva e a intensificação de processos erosivos (Souza et al., 2009).

Com o propósito de favorecer o melhor gerenciamento desses recursos naturais em função das atividades antrópicas estudos sobre a paisagem têm sido desenvolvidos a fim de se conhecer um pouco mais da sua estrutura, seu uso e ocupação.

De acordo com Spörl e Ross (2004), estudos relativos às fragilidades dos ambientes são de extrema importância para o planejamento ambiental, visto que a identificação dos ambientes naturais e suas fragilidades proporcionam uma melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas no espaço físico-territorial, servindo de base para o zoneamento e fornecendo subsídios à gestão do território.

A intenção de identificar e analisar as vulnerabilidades em uma bacia hidrográfica pressupõe estudar as ocupações que são exercidas em cada trecho dessa bacia, assim como analisar as interações das características física do ambiente, a sensibilidade dos recursos hídricos terrestre, frente às perturbações ocasionada pelas ações antrópicas.

Para Miguel et al. (2013), vulnerabilidade ambiental diz respeito à fragilidade do ambiente em função de qualquer tipo de dano causado pela dinâmica ambiental por meio natural e/ou pela ação antrópica, estando diretamente relacionada com a erosão do solo e assoreamento dos recursos hídricos.

A realização de estudos que visam o mapeamento de vulnerabilidades ambientais em bacias hidrográficas tem sido frequentemente utilizados no Brasil. Dentre esses estudos, podem-se citar o trabalho de Crispim et al. (2011), com estudos no Vale do Rio Pacoti – Ceará (CE); Miguel et al. (2013) aplicaram técnicas de geoprocessamento na realização de diagnóstico de vulnerabilidade ambiental da bacia do rio Taquaruçu - Mato Grosso do Sul (MS); Gomes (2013), com estudos de avaliação de potencial erosivo na bacia hidrográfica do rio Almada – Bahia (BA); Gonçalves et al. (2009) e Oliveira e Carvalho (2014), com trabalhos na Bacia de Dourados/MS, dentre outros.

Entre as metodologias propostas para a identificação do grau de vulnerabilidade ambiental destaca-se a método proposto por Ross (1994), o qual define uma hierarquia nominal de fragilidade, representadas por classes, de acordo com seu grau de vulnerabilidade, atribuindo

valores a eles, de forma que quanto maior o valor da classe maior o grau de vulnerabilidade.

Dessa forma, o resultado da interação de alguns componentes físico-naturais da paisagem, com as informações resultantes do uso do solo, indica os graus de fragilidade das unidades espaciais, ou seja, apresentam as áreas em estado de equilíbrio e desequilíbrios pela ação antrópica.

Segundo Ross (1994), as fragilidades dos ambientes devem ser analisadas, quando se pretende aplicá-las ao planejamento ambiental, em relação aos estudos básicos de relevo, solo, uso da terra e de aspectos climáticos.

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são importantes ferramentas na análise e no monitoramento desses fatores, visto que permitem a elaboração, edição e armazenamento de informações das unidades de paisagens, para avaliação de impactos ambientais. Além disso, esses sistemas são aplicados com sucesso no monitoramento e na detecção de condições de mudanças em áreas urbanas ou no campo e na elaboração de mapas temáticos (Miranda, 2010).

Esses fatores são de grande interesse para a microbacia hidrográfica do ribeirão Candidópolis, afluente do rio Piracicaba, pois esta encontra-se em acelerado processo de degradação ambiental, devido entre outros fatores ao uso e ocupação irregular do solo e a exploração de minérios. Este cenário se torna mais grave diante do fato de que esta é responsável por aproximadamente 55% do abastecimento público de Itabira, Minas Gerais (MG) (Santos, 2008).

Dessa forma, essa pesquisa tem como objetivo realizar um estudo sobre as fragilidades ambientais na microbacia do ribeirão Candidópolis, por meio de técnicas de geoprocessamento, almejando-se a produção de um mapa de vulnerabilidade ambiental.

Material e métodos

A bacia hidrográfica do rio Doce está localizada na região Sudeste do Brasil e possui uma área de drenagem de cerca de 83.400 km², dos quais 86% estão no centro-leste do estado de Minas Gerais (MG) e o restante está situado na porção centro-norte do Espírito Santo. No estado de Minas Gerais essa bacia encontra-se subdividida nas seguintes sub-bacias: rio Piranga, rio Piracicaba, rio Santo Antônio, rio Suaçuí, rio Caratinga e o rio Manhuaçu (CBHRD, 2015).

A sub-bacia de rio Piracicaba, por sua vez, representa cerca de 6,55% da área de drenagem da bacia do rio Doce. O seu curso d'água principal, o rio Piracicaba, possui 241 km² de extensão a abrange 21 municípios. Seus principais afluentes são os rios Conceição, Turvo,

Una, Prata, Machado, Santa Bárbara e Peixe. (CBHRD, 2015).

Dentre os afluentes do rio Peixe, destaca-se o ribeirão Candidópolis, área de estudo dessa pesquisa e principal manancial de abastecimento doméstico e industrial do município de Itabira, localizado no Estado de Minas Gerais.

Com uma área de drenagem de aproximadamente 33,73 km², a microbacia do

ribeirão Candidópolis é formada pela confluência do córrego Barreiro, do próprio ribeirão Candidópolis, do córrego Contendas, do córrego Lavoura e do córrego Cantagalo (Figura 1).

O clima dessa região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, ou seja, verões quentes e úmidos, como período seco acentuado, coincidindo com o inverno (Alvares et al., 2013).

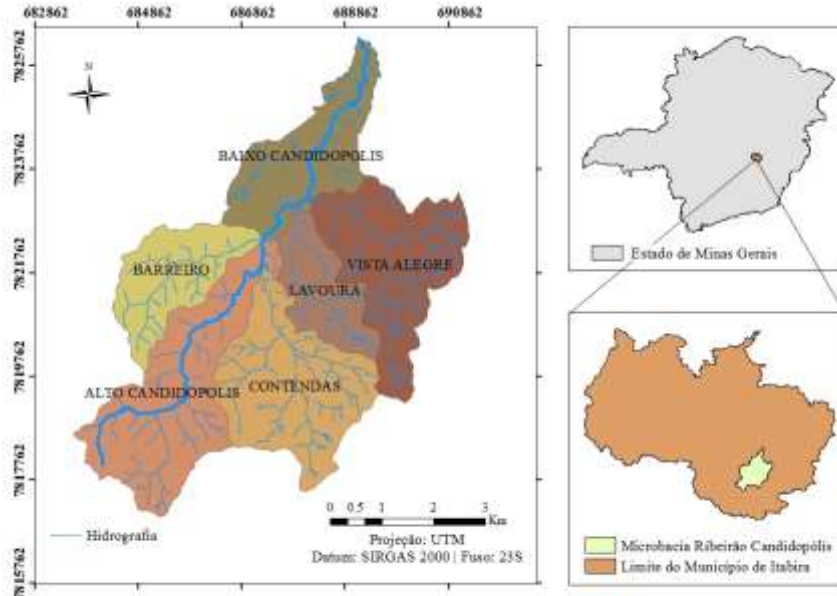


Figura 1. Localização geográfica da microbacia do ribeirão Candidópolis, Itabira-MG..

Segundo o Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE, 2010), a microbacia do ribeirão Candidópolis é marcada, principalmente, pela pecuária extensiva não planejada, por áreas de pastagens implantadas em solos pouco resistentes aos processos erosivos e relevo acidentado, o que contribui para a formação de focos de erosão em alguns locais e compactação em extensas áreas, contribuindo assim para a redução dos percentuais de infiltração das águas pluviais e aumento do escoamento superficial.

Sendo assim, o mapeamento das vulnerabilidades ambientais torna-se uma importante ferramenta no contexto ambiental nesta microbacia, visto que permite a

identificação de áreas com maior potencial de vulnerabilidade ambiental, assim como, favorece as diretrizes de planejamento a serem implantadas.

Neste trabalho foi empregada a metodologia proposta por Ross (1994), definindo uma hierarquia nominal de fragilidade, representada por classes, de acordo com seu grau de vulnerabilidade para os componentes Uso e Ocupação do Solo, Declividade, Classes de Solos e Classes Geomorfológicas atribuindo valores, conforme tabela 1, de forma que quanto maior o valor da classe maior o grau de vulnerabilidade, geando os mapas índices de vulnerabilidade de cada categoria.

Tabela 1. Pesos e categorias de vulnerabilidade ambiental.

Pesos	Categoria Hierárquica
1	Muito Fraca
2	Fraca
3	Média
4	Forte
5	Muito Forte

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

Mapa de uso e ocupação - O mapeamento do uso e ocupação das terras é tema básico para o planejamento ambiental, representando um elo entre os meios biofísico e socioeconômico, pois retratam as atividades que podem significar impactos e pressões sobre o meio ambiente (Santos, 2004).

De acordo com Moraes e Carvalho (2013), o uso e ocupação do solo consistem em caracterizar a vegetação e os demais elementos naturais e artificiais que revestem o solo, de forma a permitir que se conheça os pontos vulneráveis à interferência antrópicas. Além de contribuir para os estudos da paisagem, visto que é um meio pelo qual podemos compreender a dinâmica na escala espaço-temporal.

Para a elaboração do mapa de uso e ocupação foi utilizada como base as imagens adquiridas no *Google Earth*[®], do ano de 2015. As imagens foram, então, importadas e georreferenciadas por meio de pontos de referências previamente identificados na imagem, utilizando a ferramenta *Georeferencing* do Sistema de Informação Geográfica (*SIG*) *ArcGIS*[®], versão 10.1. Depois de georreferenciadas foi empregado o método de digitalização em tela e pós-classificação. Por meio deste método as feições são delimitadas tendo-se por base as resposta espectral das feições, avaliando-se a rugosidade, o brilho, a cor e a tonalidade, o padrão e a forma da feição. Os polígonos foram delimitados e após este processo classificados.

Por meio do levantamento de campo, onde foram registradas as coordenadas geográficas com o auxílio de um GPS *Garmin Etrex*[®] e por meio de fotografias, foram sanadas as dúvidas quanto à classificação dos polígonos de difícil identificação e a verificação da classificação realizada.

Mapa de declividade

A declividade ou gradiente do declive de um terreno, refere-se à análise da inclinação e das formas do terreno em relação às distâncias entres curvas de nível. Constituindo, portanto, um fator indispensável para planejamento ambiental, visto que permite inferir informações importantes sobre as formas da paisagem, erosão, potencialidades para uso agrícola, restrições para ocupação urbana, manejo e conservação do solo (Santos, 2004).

A elaboração de mapas temáticos de classes de declividade tem se destacado como uma técnica importante na detecção de áreas críticas para deslizamento de encostas, traçados de perfis ecodinâmicos da paisagem, bem como, na

identificação de áreas suscetíveis à ocorrência de inundações (Ladeira Neto, 2010).

A identificação das classes de declividade foi realizada utilizando um Modelo Digital de Elevação (MDE), com resolução espacial de 30 x 30 m, elaborado a partir de dados altimétricos da imagem *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), obtido do site do *United States Geological Survey* (USGS), recortado para o limite da microbacia, por meio do software *ArcGis 10.1*[®].

Para a elaboração desse mapa de declividade foi utilizada a ferramenta *Spatial Analyst*, e das opções *Surface* e *Slope*, calculado em porcentagem a declividade.

O mapa de declividade gerado foi extratificado em classes, por meio da ferramenta *Reclass* do *Spatial Analyst* empregando-se as classes:

- Plano (0 - 3%) - superfície de topografia lisa ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos.
- Suave ondulado (3 - 8%) - superfície de topografia ligeiramente movimentada, constituída por conjunto de pequenas colinas ou outeiros, ou sucessão de pequenos vales pouco encaixados (rasos).
- Ondulado (8 - 20%) - superfície de topografia relativamente movimentada, constituída por conjunto de medianas colinas e outeiros, ou por interflúvios de pendentes curtas, formadas por vales encaixados, configurando em todos os casos, pendentes ou encostas com declives maiores.
- Forte Ondulado (20 - 45%) - superfície de topografia movimentada, com desníveis fortes, formadas por conjunto de outeiros ou morros, ou por superfície entrecortada por vales profundos, configurando encostas ou pendentes.
- Montanhoso (45 - 75%) - superfície de topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, usualmente constituídas por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos, montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes ou muito fortes.
- Escarpado (> 75%) - áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo superfícies muito íngremes tais como: aparados, itaimbés, frentes de cuestras, falésias e vertentes de declives muito fortes. (EMBRAPA, 2006).

Mapa de Solo

O solo é o suporte fundamental dos ecossistemas e das atividades humanas sobre a terra, sendo seu estudo indispensável para o planejamento territorial, constituindo um aspecto importante para explicar a intensificação dos

processos erosivos e de assoreamento, que estão geralmente relacionados à pecuária e à agricultura, atividades reconhecidas por alterar o equilíbrio natural do ambiente (Santos, 2004).

Sendo assim, as ações dessas atividades devem pressupor limites ao solo e destinar seu uso ou ocupação em função de suas possibilidades.

Para o espaço urbano, a mesma lógica pode ser observada quando se pensa em planejar, por exemplo, a implantação e operações de obras civis, nas quais a característica do material de superfície pode definir a aptidão ou restrição para diferentes usos.

De acordo com Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2006), a classificação de solos, do ponto de vista do planejamento territorial, desempenha importante papel na segmentação de paisagens, identificando áreas de maior potencial para fins de utilização e ocupação e áreas impróprias ou não recomendadas, contribuindo desta forma para a preservação ambiental e uso adequado de ecossistemas.

Por essa razão os solos são tipificados em função de suas potencialidades e fragilidades frente às atividades humanas e aos aspectos naturais, aliado às suas características físicas-químicas e aos elementos motores de formação. Esse conjunto de informações geralmente é apresentado em forma de mapa.

Para identificação das classes de solo presentes na área de estudo foi utilizado como base à carta de solo apresentada no Relatório Técnico da Fundação Arthur Bernardes (FUNARBE, 2014) e nos critérios descritos no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – EMBRAPA (2006).

O mapa foi digitalizado em tela empregando-se o SIG ArcGIS®, e a cada polígono atribuída a respectiva classe de solo por meio da adição desta no campo criado na tabela de atributos desta camada.

Mapa geomorfológico

Os dados geomorfológicos são a base para a elaboração dos mapas de susceptibilidade de deslizamento ou movimento de massa, pois as informações sobre relevo, somadas aos dados geológicos e de solo, permitem avaliar os tipos de terreno, tal como as relações de fragilidade e potencialidade naturais, com a intervenção antrópica (Santos, 2004).

A capacidade de infiltração e de escoamento das águas pluviais está diretamente subordinada ao relevo da superfície, pois relevos planos dificultam o escoamento superficial, aumentando o tempo de permanência da água em superfície, em lento e difuso escoamento. Assim, a capacidade de infiltração é inversamente proporcional ao grau de declividade do relevo (Pruski et al., 2010).

Dessa forma, percebe-se que assim como a declividade e solo, os aspectos geomorfológicos permitem interpretar e compreender questões relevantes sobre a paisagem, constituindo, portanto, tema indispensável para o planejamento ambiental.

Para caracterização dos aspectos geomorfológicos da área de estudo foi utilizado como base à carta geomorfológica apresentada no Relatório Técnico da Fundação Arthur Bernardes (FUNARBE, 2014).

Mapa de vulnerabilidade ambiental

Cada mapa elaborado (mapa de uso e ocupação, mapa de declividade, mapa de solos e mapa geomorfológico) foi convertido para mapas de índice de vulnerabilidade empregando as categorias definidas na Tabela 1 e levando-se em conta as características de cada classe presente no mapa para a associação dos pesos, conforme metodologia proposta por Ross (1994).

A elaboração do mapa de vulnerabilidade constituiu na integração dos mapas dos índices de vulnerabilidade por declividade, por uso e ocupação, por classes de solo e por unidades geomorfológicas.

A associação dos pesos foi realizada empregando-se o SIG ArcGIS®. Para os mapas em formato vetorial (uso e ocupação, solos e geomorfológico) foi adicionado um campo na tabela de atributos e adicionado o peso correspondente a cada feição, posteriormente este mapa foi convertido para o formato matricial.

Para a elaboração do mapa de declividade, em formato matricial, foi empregada a ferramenta *reclassify* visando a associação dos pesos.

Após a associação dos pesos a cada mapa, procedeu-se a integração destes por meio do operador local soma. O resultado foi reclassificado de acordo com os pesos da Tabela 1, como pode ser observado no fluxograma apresentado na Figura 2.

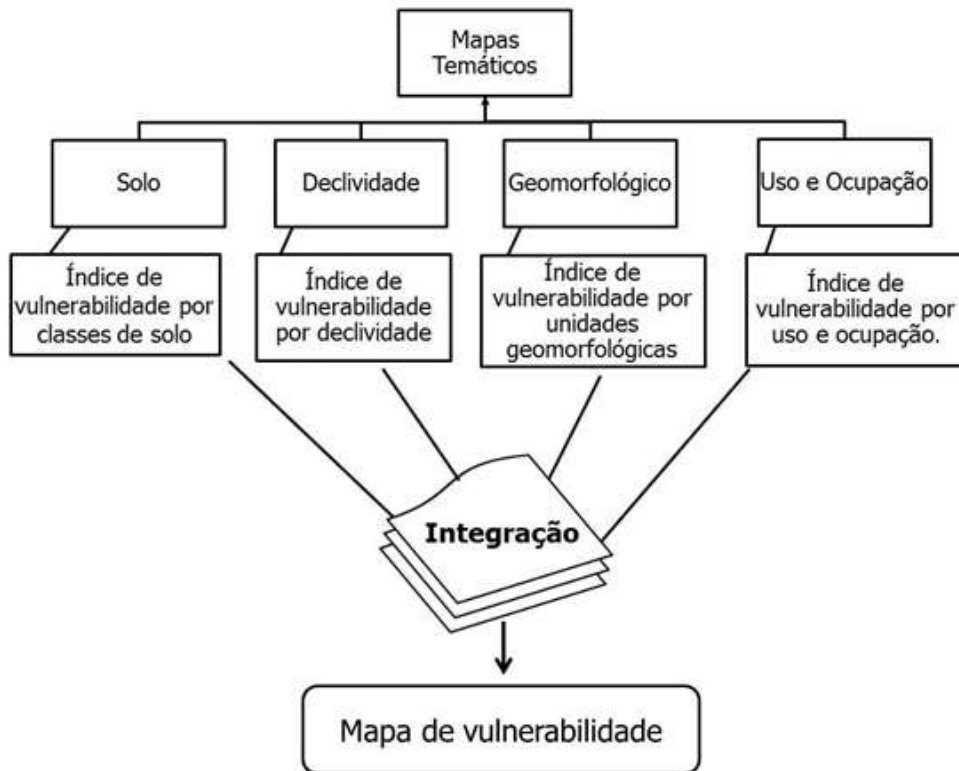


Figura 2. Fluxograma para a elaboração do mapa de vulnerabilidade.

Resultados e discussão

Espacialização das classes de vulnerabilidade atribuídas ao uso do solo

O mapa de uso e ocupação do solo foi elaborado com os seguintes usos delimitados:

vegetação, solo exposto, água, pastagem e áreas edificadas, observando o padrão, textura, cor e tonalidade na imagem. Como pode ser observado na Figura 3 e quantificado na Tabela 2.

Tabela 2. Quantificação dos usos na microbacia do ribeirão Candidópolis em 2015.

Classes de Uso e Ocupação	Área	
	(ha)	(%)
Água	7.24	0.21
Vegetação	1139.81	33.79
Áreas edificadas	67.27	8.29
Solo Exposto	279.75	1.99
Pastagem	1879.13	55.71
Total	3373.2	100

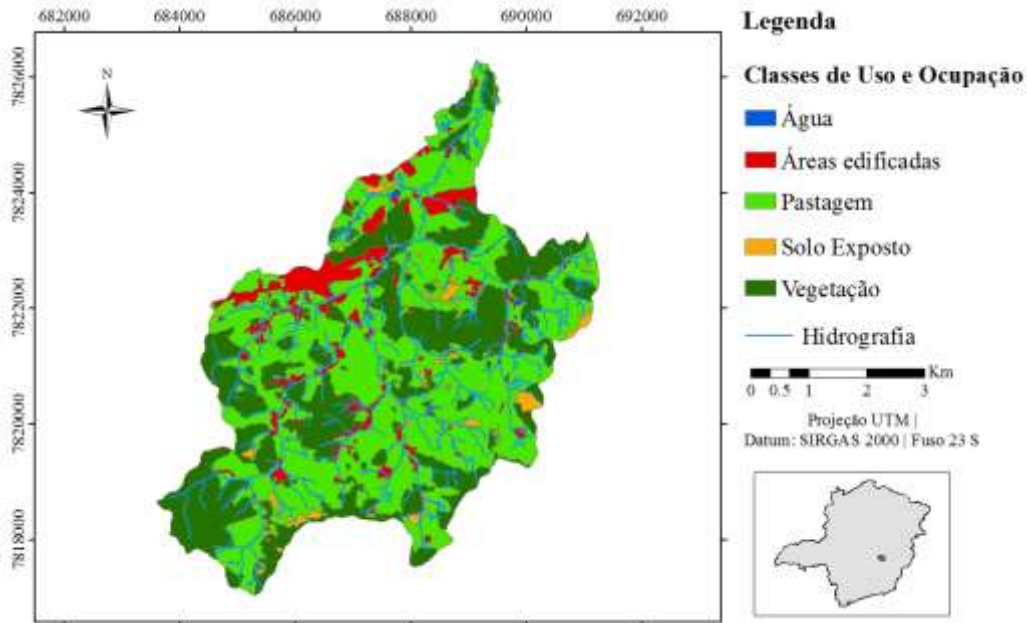


Figura 3. Mapa de Uso e Ocupação da microbacia no ano de 2015.

Percebe-se que a maior parte da área do ribeirão Candidópolis está sendo utilizada como pastagens, representando aproximadamente 55,71% da área mapeada. Essa classe de uso está distribuída por toda microbacia e sua condição é bastante variável, encontrando desde pastagens bem conservadas até coberturas bastante degradadas, como pode ser observado na Figura 4.

Em contrapartida, observa-se que parte significativa da bacia é ocupada por áreas de

vegetação, cerca de 33,79%. Essas áreas, assim como as unidades de pastagens apresentam estruturas bastante variáveis, sendo observadas desde áreas de vegetação nativas até áreas em estágios iniciais de sucessão natural (Figura 5). Ressalta-se ainda que não foi realizado o mapeamento dos diversos tipos de conservação das áreas de matas. Sendo assim, todas essas áreas foram delimitadas de forma generalizadas como vegetação.



Figura 4. Vista de uma área ocupada por pastagem na microbacia ribeirão Candidópolis. Localização: Coordenadas UTM: 688355,00; 7817991,00; Fuso 23S. Fonte: Arquivo pessoal da autora (2015).



Figura 5. Vista de uma área ocupada por vegetação nativa na microbacia ribeirão Candidópolis. Localização: Coordenadas UTM: 684570,25; 7819197,84; Fuso 23S. Fonte: Arquivo pessoal da autora (2015).

As áreas edificadas representam 8,29% da área da bacia. Essas áreas são constituídas, principalmente, por propriedades rurais, povoados, loteamentos e algumas indústrias (Figura 6). Observa-se que esse tipo de uso está em expansão na bacia, principalmente nas proximidades limítrofes da microbacia. De acordo

com Plano Municipal de Saneamento Básico de Itabira (2015), uma parte da microbacia é considerada pelo município como uma área de expansão urbana, e é esperado, para os próximos anos, um crescimento urbano considerável nessa região.



Figura 6. Vista geral de áreas edificadas na microbacia ribeirão Candidópolis. Localização: Coordenadas UTM: 686385,98; 7822458,82; Fuso 23S. Fonte: Arquivo pessoal da autora (2015).

As áreas de solo exposto presentes na bacia, correspondendo cerca de 1,99% da área, as quais a maioria encontra-se abandonadas e

desprotegidas.

Em algumas áreas, percebe-se que estão recuperando naturalmente, já em outras se

observam intensos processos erosivos. No entanto, apesar de pequenas, são áreas problemáticas dentro da bacia, visto que podem contribuir com possíveis carreamentos de

sedimento para os cursos d'água, como pode ser observado na Figura 7, registrada no levantamento de campo.



Figura 7. Processo erosivo registrado em campo. Fonte: Arquivo pessoal da autora (2015).
Localização: Coordenadas UTM: 689211,6633; 7825439,6; Fuso 23S. Fonte: Arquivo pessoal da autora (2015).

As perdas de solo por erosão constituem uma das principais causas de degradação ambiental, no início podem parecer imperceptíveis, porém a longo prazo e em estágio avançado pode se tornar um processo de difícil regressão (Bertoni e Lombardi Neto, 1999). Sendo assim, a indicação de áreas vulneráveis ao desenvolvimento de processos erosivos importante para o ordenamento ambiental de microbacias hidrográficas.

As áreas enquadradas na classe Água, apesar de serem pouco expressivas na bacia, 0,21%, correspondem às áreas dos lagos naturais e artificiais e córregos, os quais contribuem para o controle dos fluxos de água da bacia. Segundo Attanasio et al. (2012), essas áreas representam importantes áreas do ponto de vista hidrológico e ecológico, visto que contribui para a resiliência de microbacia hidrográficas. Sendo, portanto, áreas muito importantes e vulneráveis às ações tanto de origem natural quanto antrópicas.

Os índices de vulnerabilidade foram definidos de acordo com os padrões de uso sugerido na metodologia de Ross (1994). Dessa forma as áreas delimitadas como Vegetação, foi atribuído o valor 1, uma vez que a cobertura vegetal representa um importante fator na proteção do solo contra processo erosivos, contribui para a recarga do aquífero, atua na

amenização do microclima, além de contribuir para a preservação da fauna local.

Os polígonos que compõe a classe Pastagem, receberam índice 3, visto que oferece uma maior vulnerabilidade aos solos frente aos efeitos da erosão, contribui significativamente para a redução da biodiversidade, torna o ambiente mais vulnerável a processos de contaminação, reduz o tempo de retenção da água no solo e a infiltração desta, atua na alteração do microclima, quando comparado às áreas de vegetação (Sporl, 2004).

Por sua vez, as classes de usos áreas edificadas e solo exposto receberam índice 4, uma vez que, segundo Oliveira (2011), estas ações antrópicas, constantemente, alteram as relações de equilíbrio natural de um sistema ambiental.

Em relação às áreas classificadas como Água receberam índice 5, uma vez representam áreas sensíveis as atividades antrópicas e importantes dentro do contexto hidrológico da microbacia, devendo ser em sua totalidade preservadas.

Os índices atribuídos a cada classe de uso e ocupação do solo foi atribuído ao mapa ainda em formato vetorial, adicionando-se um campo na tabela de atributos que posteriormente foi empregado para converter o mapa para o formato matricial, como quantificado na Tabela 3 e apresentado na Figura 8.

Tabela 3. Classe de Uso e Ocupação do solo no ano de 2015 na microbacia do ribeirão Candidópolis.

Índice de	Classes	Área (%)
1	Vegetação	33.79
3	Pastagem	55.71
4	Área Edificadas/	10.29
5	Água	0.21

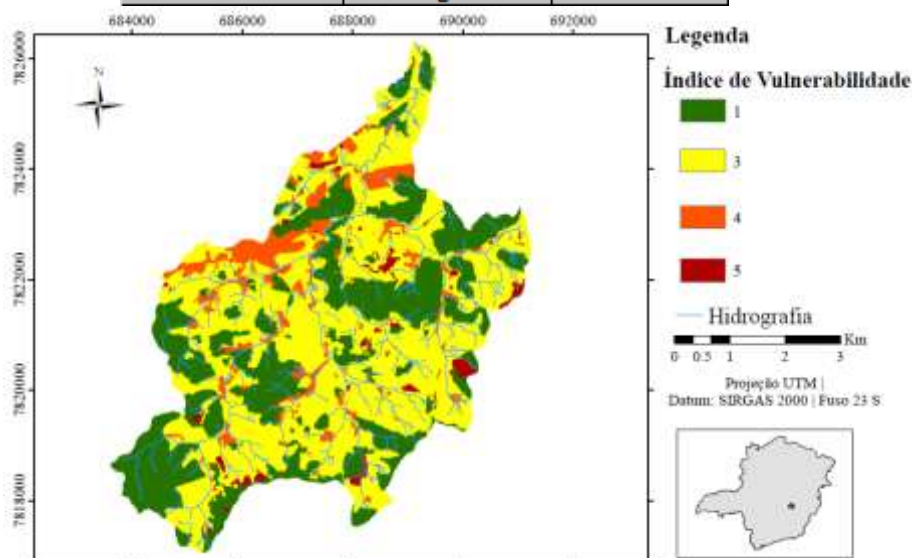


Figura 8. Mapa Índice de vulnerabilidade do uso do solo da microbacia do ribeirão Candidópolis.

Espacialização das classes de vulnerabilidade atribuída a cada Classe de Declividade - Por meio do MDE elaborado a partir de dados altimétricos da imagem SRTM, percebe-se que a microbacia possui altitudes

máxima de 1.096 metros, mínima de 665 metros e média de 835.5 metros.

A partir deste, gerou-se o mapa de declividade da microbacia adotando-se as classes propostas por EMBRAPA (2006), conforme quantificado na Tabela 4 e exposto na Figura 9.

Tabela 4. Quantificação das Classes de Declividade presentes na microbacia do ribeirão Candidópolis.

Classes de Declividade (%)		Área	
Nome	Intervalo	(ha)	(%)
Plano	0 - 3	93.1	2.76
Suave	03-Aug	373.41	11.07
Ondulado	Aug-20	1438.67	42.65
Forte	20 - 45	1340.51	39.74
Montanho	45 - 111	127.17	3.77
Total		3373.2	100

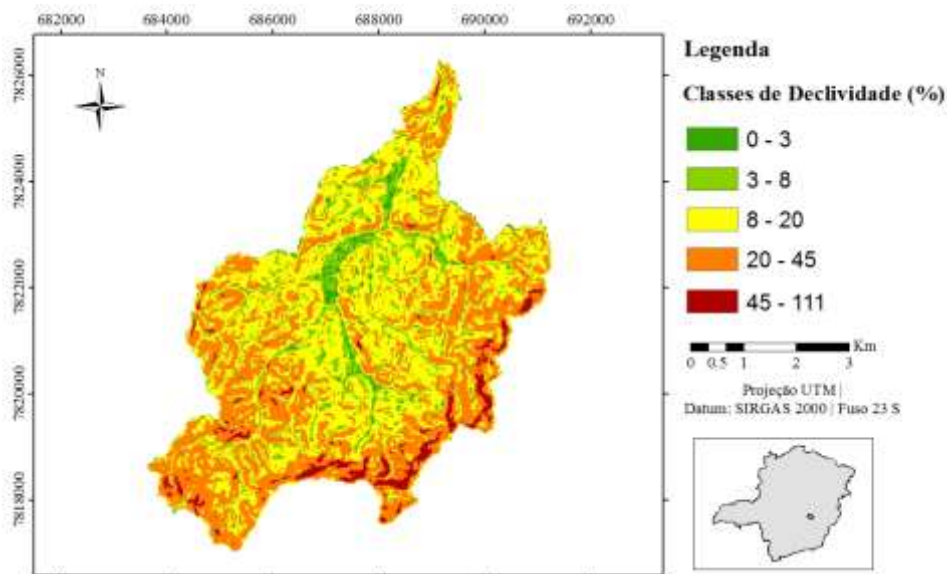


Figura 9. Mapa de declividade estratificada da microbacia do ribeirão Candidópolis.

Verifica-se que as classes de declives mais expressivas presentes na microbacia são; Ondulado, representando 42,65% e Forte Ondulado, constituindo 39% de toda a área mapeada.

Segundo Lemos e Santos (1996), as classes de relevo denominadas como Ondulado caracterizam-se por apresentar topografia pouco movimentada, constituída por colinas e declives acentuados. Lepsch et al. (2002), ressalta ainda, que são áreas propícias a erosão e impróprias para culturas anuais, porém, indicadas para culturas perenes, para proporcionar uma maior proteção ao solo.

As classes definidas como Forte Ondulado, são caracterizadas por apresentar topografia movimentada, formada por morros com declives fortes, representado, portanto, áreas com elevada susceptibilidade à erosão.

As demais classes, como Suave Ondulado, Montanhoso e Plano fazem presentes aproximadamente 17% da microbacia. A classe,

Suave Ondulado, caracteriza-se por apresentar topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas com declives suaves, sendo, portanto, menos susceptível à erosão. A classe denominada Plana caracteriza-se por topografia horizontal e baixos desníveis. Por outro lado, a classe Montanhoso, é representado por topografia acidentada, usualmente constituída por morros e/ou maciços rochosos, como declives muito fortes (Lemos e Santos, 1996).

Os índices atribuídos a cada classe de declividade foram delimitados em relação aos processos formadores de solo da pedogênese, aos processos erosivos da morfogênese e a altimetria, baseados em Crepani et al. (2001) e adaptando a metodologia de Ross (1994).

Dessa forma, as áreas de menor declividade, situação que prevalecem os processos formadores do solo, foram atribuídos índices próximos de 1, por outro lado os intervalos de maior declive, onde prevalece os erosivos receberam índice próximo a 5, como apresentado na Tabela 5 e espacializados na Figura 10.

Tabela 5. Classes de Declividade na microbacia do ribeirão Candidópolis.

Índice de Vulnerabilidade	Classes de Declividade	Área (%)
1	0 - 3	2.76
2	3 - 8	11.07
3	8 - 20	42.65
4	20 - 45	39.74
5	45 - 111	3.77

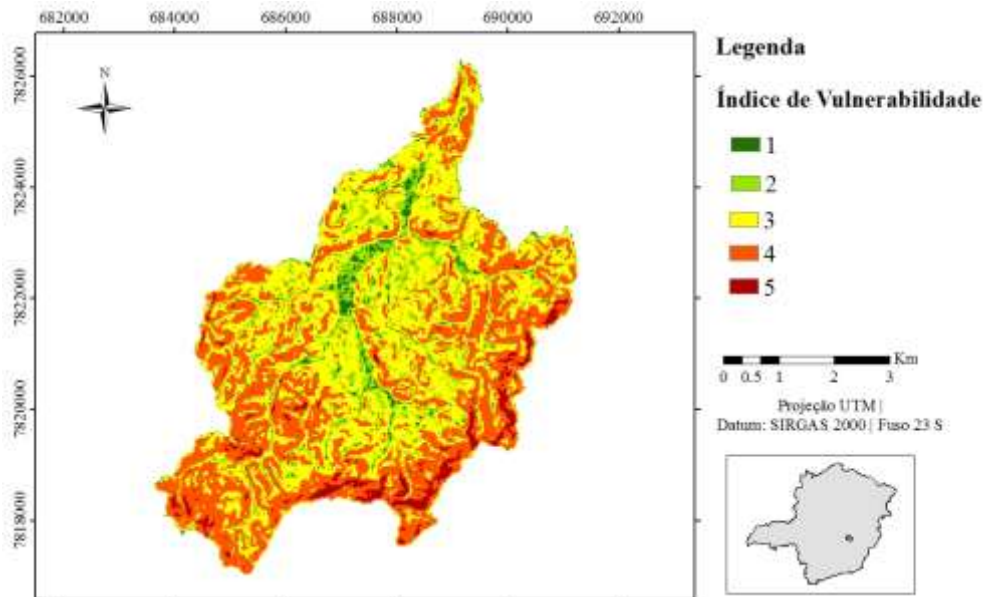


Figura 1. Espacialização dos índices de vulnerabilidade atribuído a cada classe de declividade.

Espacialização das classes de vulnerabilidade atribuída a cada Classe de Solo - Entre as classes de solo identificadas na microbacia destacam-se; Latossolo Vermelho,

Latossolo Vermelho-Amarelo, Cambissolo Háplico, Cambissolo Flúvico, Neossolo Flúvico e Gleissolo Háplico, como quantificado na Tabela 6 e apresentado na Figura 11.

Tabela 6. Quantificação das classes de solo presentes na microbacia do ribeirão Candidópolis.

Classes de Solo		Área	
Código	Nome	(ha)	(%)
LVAd	LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO + CAMBISSOLO HÁPLICO	451.02	13.37
LVd1	LATOSSOLO VERMELHO + CAMBISSOLO HÁPLICO	807.18	23.93
LVd2	LATOSSOLO VERMELHO + ARGILOSSO VERMELHO	1301.15	38.57
CXbd1	CAMBISSOLO HÁPLICO	88.59	2.63
CXbd2	CAMBISSOLO HÁPLICO + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO	389.16	11.54
CYbd	CAMBISSOLO FLÚVICO + NEOSSOLO FLÚVICO	154.81	4.59
RYbe	NEOSSOLO FLÚVICO + GLEISSOLO HÁPLICO	99.83	2.96
GXbd	GLEIOSSOLO HÁPLICO	81.46	2.41
Total		3373.2	100%

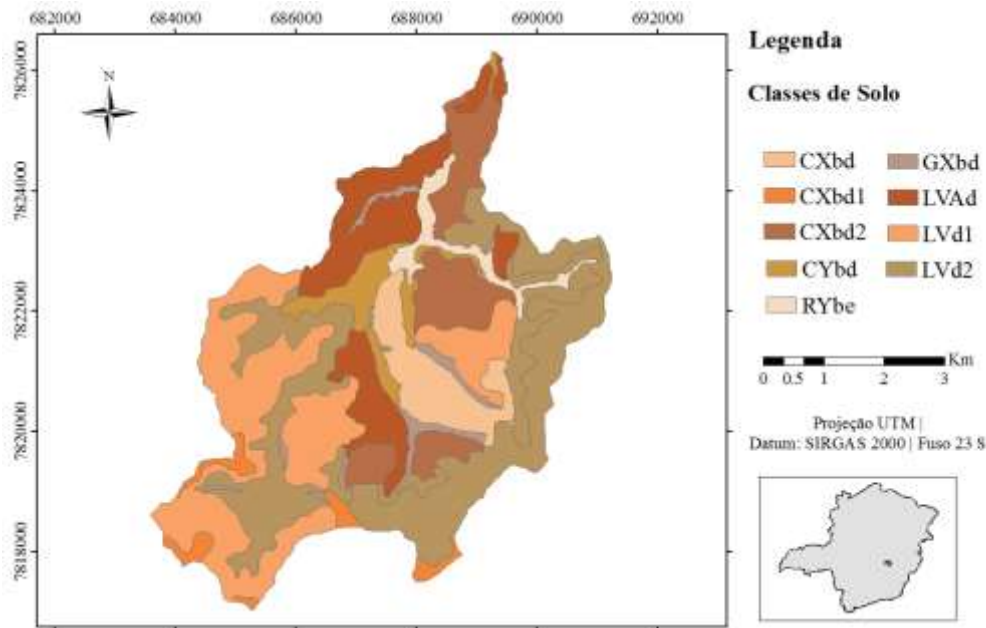


Figura 2. Mapa de solos da microbacia do ribeirão Candidópolis.

Nota-se que o LVd1 e LVd2 (Latosolo Vermelho associado ao Cambissolo Háplico e o Argiloso Vermelho), são as classes de solos mais expressivos na bacia, representando 23,93% e 38,57% de toda área desta. De acordo com a EMPRABA (2006), esses solos são evoluídos, profundos e muito bem drenados, pois apresentam avançado estágio de intemperismo, sendo, geralmente encontrado em áreas planas ou suavemente ondulado.

Segundo o relatório técnico da Fundação Arthur Bernardes (FUNARBE, 2014), estes solos ocupam uma posição de destaque dentro do contexto de dinâmica hídrica da bacia do ribeirão Candidópolis, por representar uma das principais áreas de recarga hídrica da bacia, onde se concentram as principais nascentes do ribeirão Candidópolis. Contudo, sua associação com o Cambissolo Háplico resulta em áreas com potencial para o desenvolvimento de processos erosivos, visto que esse tipo de solos é suscetível à erosão.

De acordo, com Dias (2007), os Latossolos Vermelho-Amarelo, existente em 13,37% na área da microbacia, são normalmente de baixa fertilidade, e quando apresenta textura média são utilizados como pastagens, fato observado no levantamento de campo.

Entretanto, Ker (1997), destaca que apesar dos Latossolos constituírem a classe de solo de maior utilização agrícola no país, a exploração intensa tem ocasionados sérios problemas erosivos, apesar do aperfeiçoamento das técnicas conservacionistas e do avanço no nível de conscientização do agricultor. O autor explica que a falta de infiltração, compromete os mananciais

em qualidade e quantidade, visto que favorece o assoreamento e a poluição dos corpos hídricos com produtos referentes à atividade agrícola, como pesticida e adubos em geral.

Os Cambissolos Háplicos estão presentes em 14,17% da área da microbacia, estando isolados ou associado a outro tipo de solos, como o Latossolos Vermelho ou Latossolo Vermelho-Amarelo. A localização desses solos na microbacia está associada aos locais que apresentaram classe de relevo Forte Ondulado e Montanhoso.

De acordo com a Embrapa (2015), esses solos são poucos profundos, possui argila de baixa atividade e apresenta baixa fertilidade. Apresentando, portanto, limitações quanto ao seu uso agrícola. Além disso, são solos mais susceptíveis aos processos erosivos, visto que apresenta baixa permeabilidade, (Oliveira, 2001).

Os Neossolos Fúvicos estão presentes em 7,65% da bacia e encontram-se associados a outros solos, como o Cambissolo Flúvico e o Gleissolo Háplico. Segundo a EMBRAPA (2006), são solos minerais, apresentam baixo desenvolvimento pedogenético e são encontrados, geralmente, nos ambientes de várzeas, planícies fluviais e terraços aluviais, ao longo das linhas de drenagens das principais bacias hidrográficas. Conforme observado no mapeamento realizado para a microbacia do ribeirão Candidópolis.

Decorrente das suas propriedades físicas e químicas, esses solos podem apontar potencial agrícola. No entanto, apresenta alguns fatores restritivos, como riscos de inundação, baixa fertilidade natural, excesso de umidade pela presença do lençol freático próximo à superfície

(EMBRAPA, 2015).

Os Gleissolos Háplicos mapeados correspondem à 2,41% da área da microbacia, e encontram-se localizados nas proximidades de algumas áreas de drenagem da região. Esta classe, segundo a Embrapa (2015), compreende os solos hidromórficos, formados por sedimentos e muito mal drenados. Comumente, encontrados em ambientes de várzeas, áreas deprimidas, planícies aluvionares, locais de terras baixas, vinculadas a excesso de água, ou mesmo em bordas de chapadas em áreas de surgência de água subterrânea. Apresentando limitações, quanto ao uso, semelhante ao Neossolo Flúvico.

Dessa forma, representam áreas de com grande potencial para preservação e conservação ambiental, como as APPs ripárias, dada suas múltiplas funções; fixação de solo, proteção de recursos hídricos e conservação de fauna e flora (Mezter, 2010).

Crepani et al. (2001) estabeleceram que o grau desenvolvimento do solo é um importante elemento para estabelecer valores as classes de vulnerabilidade. Sendo assim, os critérios

utilizados para definição dos índices de vulnerabilidades das classes de solos, foram os processos erosivos da morfogênese e de fatores relacionados a eles como estrutura do solo, permeabilidade, profundidade e risco de contaminação baseados nos estudos de Ross (1994), Crepani et al. (2001), Oliveira (2002), Miguel et al. (2013) e Gomes (2013).

Dessa forma, os solos mais evoluídos e bem drenados, como algumas classes de Latossolos foram atribuídos índice 1, em contrapartida solos suscetíveis à erosão, como os Cambissolos e Neossolos, receberam índice 4. Por sua vez, os Gleissolos, foram atribuídos índice 5, uma vez que representam áreas importante para a conservação dos recursos hídricos e são mais vulneráveis as ações antrópicas.

Com a conversão do mapa de solos para o formato matricial, tendo por base o campo Valor de Vulnerabilidade de cada polígono, foi possível espacializar as classes de vulnerabilidade pedológica na microbacia, conforme é apresentada na Tabela 8 e espacializada na Figura 12.

Tabela 7. Classes de Solo na microbacia do ribeiro os Cambissolo.

Valores de Vulnerabilidade	Classes de solo	Área (%)
1	LVD1	6.98
3	LVD2; LVAd	68.9
4	CXbd1 ;CXbd2; CYbd;	18.75
5	GXbd; RYbe;	5.37

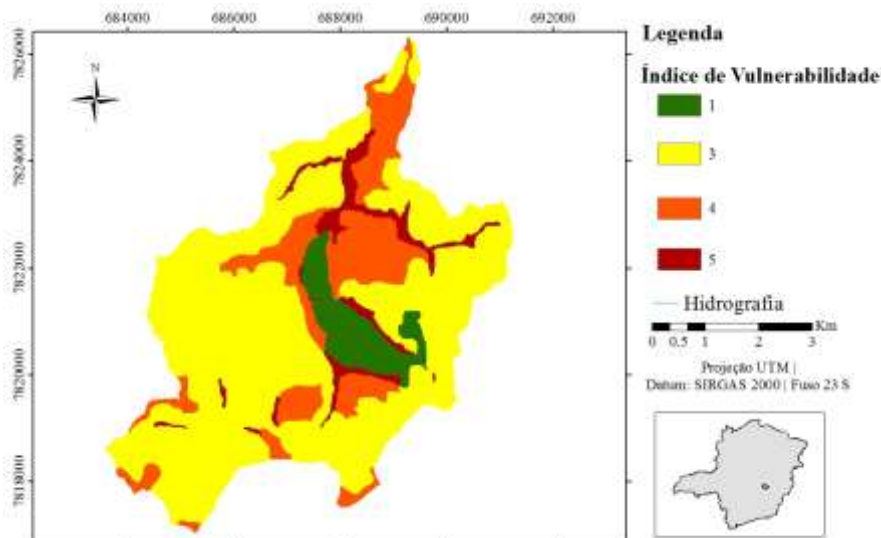


Figura 3. Espacialização do índice de vulnerabilidade atribuído a cada classe de solo.

Espacialização das classes de vulnerabilidade atribuída a cada Unidade Geomorfológica

Em relação aos aspectos geomorfológicos predominam na área de estudo quatro unidades;

Topos e encostas altas, Colinas e encostas baixas, Vales encaixados e Depósitos de sopé, Terraços e planícies aluviais, conforme quantificado na Tabela 9 e ilustrado na Figura 13.

Tabela 8. Quantificação das Unidades Geomorfológicas presentes na microbacia ribeirão Candidópolis.

Unidades Geomorfológicas	Área	
	(ha)	(%)
Topos e encostas altas	1455.54	43.15
Colinas e encostas baixas	1079.09	31.99
Vales encaixados e Depósitos de sopé	506.65	15.02
Terraços e planícies aluviais	331.92	9.84
Total	3373.20	100

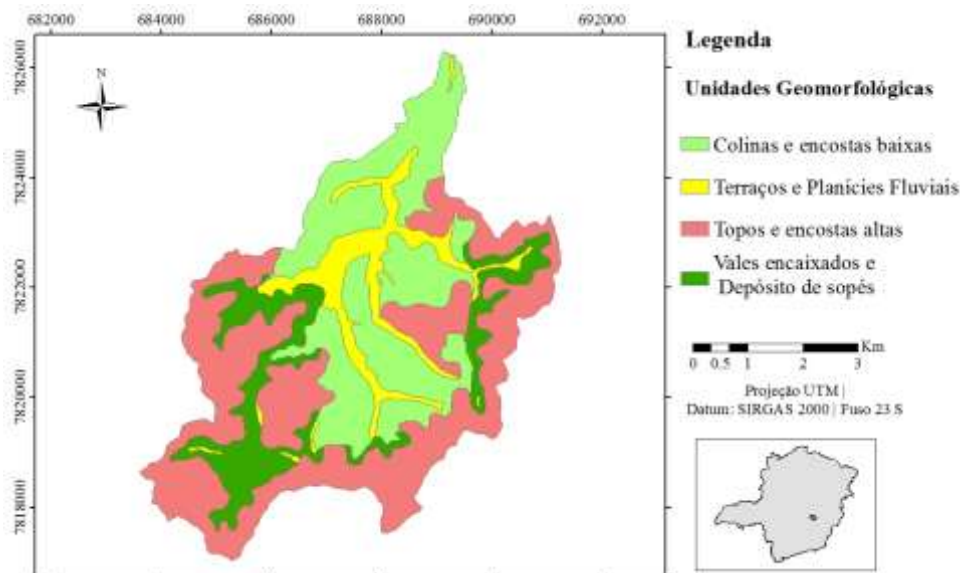


Figura 4. Mapa Geomorfológico da microbacia do ribeirão Candidópolis. Fonte: Adaptado da FUNARBE (2014).

Percebe-se que os Topos e encostas altas estão presentes em 43,15% da microbacia. Segundo Magalhães Jr. e Moreira (1998), essas unidades são geralmente caracterizadas por apresentar feições com encostas muito íngremes, com algumas áreas de rochas expostas, característico de relevo Forte Ondulado e Montanhoso.

Segundo FUNARBE (2014), essas unidades representam áreas importantes no contexto hidrológico, visto que se inserem nas áreas de recarga hídrica e nos divisores hidrológico presentes na microbacia. Em relação ao mapeamento de uso do solo realizado, observa-se que esses locais apresentaram algumas áreas cobertas por vegetação.

As colinas e encostas baixas, presente em 31,22% da microbacia, refere-se às feições com topos amplos de morfologia alongada, e declives moderado, apresentando sistema de drenagem principal com deposição de sedimentos (CPRM, 2010). Localizados predominantemente, na parte central da microbacia, correspondem às áreas com relevo ondulado e como presença associada do Latossolo Vermelho e do Cambissolo Háplico, o que contribui para o desenvolvimento de alguns processos erosivos. Apesar disso, representam

áreas importantes para a recarga hídrica da microbacia, pois estas formações favorecem a infiltração da água no solo (FUNARB, 2014).

Mapeados em 15,2% da área de estudo, os Vales encaixados e Depósitos de sopés apresentam relevo acidentado e fortemente sulcados e declivosos.

Esta feição geralmente se encontra localizada nas proximidades dos topos e encostas altas. Em geral, apresentam alta suscetibilidade à erosão, atuando constantemente nos processos de erosão laminar e de movimentos de massa (CPRM, 2010).

As áreas classificadas como Terraços e Planícies aluviais, representam 9,25% da microbacia e refere-se às áreas de relevo aplainado, geralmente localizados nas margens dos rios (Miguel et al., 2013).

Nessas unidades predominam os Neossolos, Cambissolo Flúvicos e Gleiossolos Háplicos. Abrangendo, portanto, desde áreas sensíveis dentro do contexto hidrológico, como os ambientes hidrófilos, até os terraços não inundáveis. Local esse de intensa atividade antrópica, visto que a baixa declividade favorece a ocupação dos mais variados tipos como; plantios de espécies anuais e moradias, escavações (Garcia et al., 2012).

Para a definição dos índices de vulnerabilidade das unidades geomorfológicas foram observados os processos geológicos envolvidos na formação, os fatores morfológicos e pedológicos citados nos trabalhos de Oliveira (2002) e Miguel et al. (2013).

Dessa forma, as feições classificadas como topos e encostas altas foram atribuído índice 1, visto que apesar de representarem áreas de declividade elevadas, são formadas por rochas da Suíte Borrachudo e do Complexo Guanhães, estruturas formadas em sua grande maioria de minerais consolidados, de natureza ígnea. As rochas formadas pelo Complexo Borrachudo estão presentes em parte considerável do município de Itabira, sendo que sua ocorrência está morfológicamente caracterizada por sustentar morros de elevada declividade.

O Plano Municipal de Saneamento Básico de Itabira (2015) aborda, ainda, que as rochas ígneas, predominantes em Itabira, são aquelas que oferecem maiores resistências ao intemperismo, com destaque para as rochas metamórficas, que costumam resultar em escarpas assimétricas e declividades elevadas.

As unidades classificadas como Colinas e encostas baixas, foi atribuído índice 2, apesar de apresentam marcas de intemperismo, estão localizados nas áreas com declives moderados e sua geofoma propícia a infiltração da água no solo. Além disso, assim como as unidades dos

topos e encostas altas possuem em sua estrutura algumas rochas do Complexo Guanhães, as quais são constituídas por minerais como xistos e gnaisses bandados (Padilha et al., 2000).

Por outro lado, as unidades denominadas de Vales encaixados e Depósitos de sopé receberam índice 3, em razão de apresentar relevo acentuados e bem sulcado, o qual é mais propenso aos processos da piogênese. Além disso, é nessas áreas que foram identificadas as principais nascentes do ribeirão Candidópolis, pontos esses vulneráveis no contexto hidrológico.

Por fim as áreas classificadas por Terraços e planícies aluviais foi atribuído índice 4, nestas estão presentes as principais redes de drenagem da bacia e onde há atividades antrópicas intensas. Além, disso estão localizadas em unidades que em seus aspectos geológicos foram constituídos por sedimentos de origens diversas do Quaternário.

Oliveira (2011) destaca que a idade litológica representa um importante critério utilizado para definição dos graus de vulnerabilidade, uma vez que quanto mais recente for a origem de sua formação geológica, maior o seu grau de vulnerabilidade.

Com o Valor de Vulnerabilidade de cada unidade inserido na tabela de atributos foi possível quantificar (Tabela 10) e espacializar (Figura 14) a vulnerabilidade de cada Unidade Geomorfológica.

Tabela 9. Unidades Geomorfológicas presentes na microbacia do ribeirão Candidópolis.

Valores de Vulnerabilidade	Unidades Geomorfológicas	Área (%)
1	Topos e encostas altas (Rochas da Suíte Borrachudo)	43.15
2	Colinas e encostas baixas (Rochas do Complexo Guanhães)	31.99
3	Vales encaixados e Depósitos de sopé (Rochas da Suíte Borrachudo, e sedimentos oriundos das mesmas)	15.02
4	Terraços e planícies aluviais (Sedimentos de origens diversas do Quaternário)	9.84

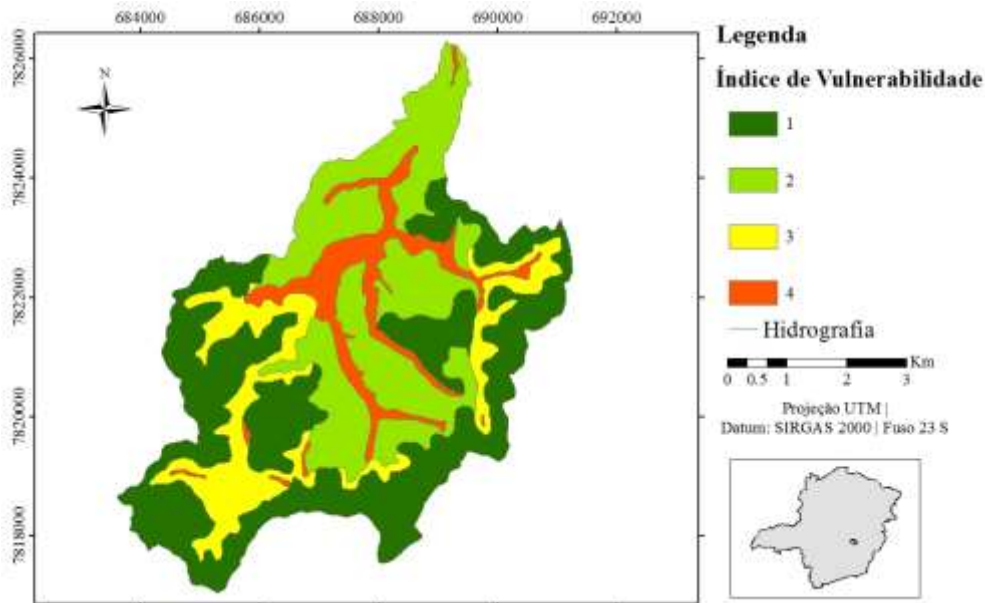


Figura 5. Espacialização do valor de vulnerabilidade atribuído a cada Unidade Geomorfológica.

Elaboração do mapa de vulnerabilidade

Com a integração dos mapas dos índices de vulnerabilidade de Declividade, de Uso e Ocupação, Pedológico e das Unidades Geomorfológicas foi gerado o mapa final de vulnerabilidade (Figura 15).

Com a integração dos mapas foram obtidos valores variando de 5 a 17, os quais foram reagrupados nas cinco classes e quantificados, como apresentado na Tabela 11.

Tabela 10. Vulnerabilidade Ambiental na microbacia do ribeirão Candidópolis.

Categoria Hierárquica	Índice de Vulnerabilidade	Intervalo de Classes de Vulnerabilidade	Área	
			(ha)	(%)
Muito Fraca	1	5 - 8	2.02	0.06
Fraca	2	8 - 10	315.39	9.35
Média	3	10 - 11	1833.33	54.35
Forte	4	11 - 13	1138.12	33.74
Muito Forte	5	13 - 17	83.99	2.49
Total			3373.2	100

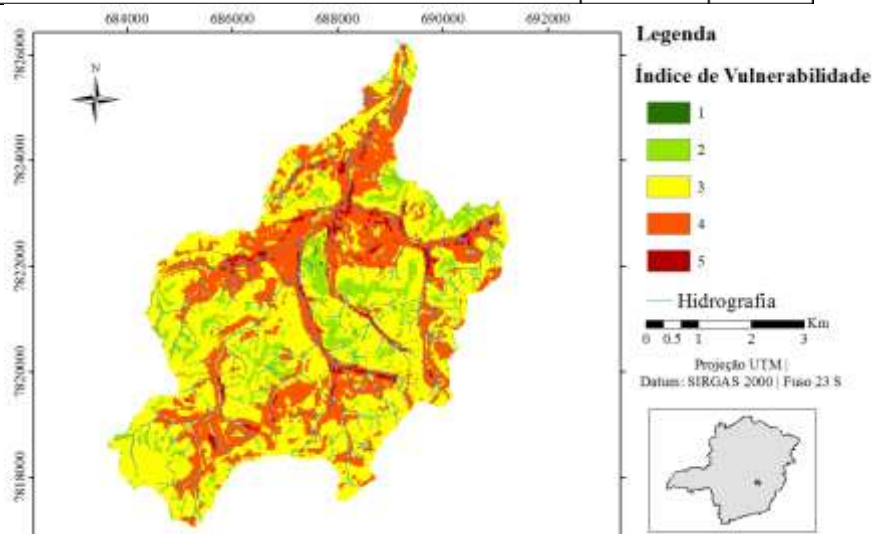


Figura 6. Mapa de Vulnerabilidade Ambiental da microbacia do ribeirão Candidópolis.

De acordo como mapa de vulnerabilidade obtido, observa-se que as categorias nominais

Média e Forte, mostraram-se dominantes na bacia, representando, respectivamente, 54,35% e 33,74% da área total mapeada. Essas categorias se encontram concentradas em algumas áreas da microbacia, estando presentes nos locais delimitados como Áreas Edificadas e próximas a principal rede de drenagem. O que pode indicar que nessas áreas, a ocupação antrópica é um dos fatores determinante na caracterização da vulnerabilidade ambiental.

Este resultado é corroborado pela afirmação de Miguel et al. (2013), que constata a presença da categoria Média, relacionado a uma instabilidade morfodinâmica caracterizada por erosão laminar fraca a média responsável pela remoção parcial dos horizontes superficiais dos solos e pela existência de sulcos erosivos localizados pelo escoamento semiconcentrado.

A categoria Muito Forte foi observada em 2,49% na área de estudos, principalmente nas proximidades das principais redes de drenagem da área mapeada, representando locais com a presença de Terraços e planícies aluviais e solo gleissolos háplico, sendo estes os locais mais frágeis tanto do ponto de vista pedogenético como em termos de recursos hídricos.

Conclusões

O emprego da hierarquia nominal para a elaboração dos mapas de índice de vulnerabilidades e do operador local soma para a integração destes, permitiu uma abordagem sistêmica e eficiente, oferecendo mais rapidez e precisão na elaboração dos mapas temáticos, integração e análise dos dados coletados, constituindo uma ferramenta relevante no contexto do planejamento ambiental.

Por meio da metodologia adotada foi possível constatar que para a microbacia do ribeirão Candidópolis os maiores condicionantes da vulnerabilidade são os solos presentes nesta e intensificado pelo uso e ocupação da microbacia, sendo responsável pelas maiores classes de vulnerabilidade.

O fato da microbacia apresentar um grau de vulnerabilidade de Média a Forte, totalizando 88,09% de toda a área da bacia, demonstra que é uma área bastante vulnerável. Sendo assim, foi observado que expansão da ocupação antrópica de todo os tipos sem planejamento, principalmente próximos as redes de drenagem da bacia, o desmatamento em geral, associada às áreas propícias aos processos erosivo, contribuem para a deterioração não só da água do ribeirão Candidópolis como também da biodiversidade do seu entorno.

Sendo assim, é aconselhável que uma

maior atenção seja dada ao uso e ocupação do solo, a fim de favorecer a revegetação da mata ciliar, visto que a cobertura vegetal irá contribuir para o aumento da infiltração de água no solo e pela manutenção de maiores teores de umidade do solo, assim como, o cercamento de algumas áreas, como forma de evitar o pisoteio do gado e reduzir os processos erosivos.

Ressalta-se, também, a necessidade de verificar a regularização do sistema de tratamento de esgoto de algumas propriedades rurais que se localizam próximos aos cursos d'água, a fim de prevenir o despejo de qualquer tipo de efluentes. Assim como, a implementação de projetos de educação ambiental que permitam o acesso da população a informações de caráter ambiental, a fim de compatibilizar o alcance de boas práticas agrícolas, proteção de zonas sensíveis, preservação de seus serviços ecossistêmicos e restauração de áreas degradadas.

Por fim, nota-se que estudos como este, se tornam relevantes na medida em que disponibiliza uma importante ferramenta de apoio à tomada de decisão para os planejamentos ambientais e espaciais de microbacias, podendo servir de alicerce a futuros trabalhos na mesma área de estudo.

Agradecimentos

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pela bolsa de Iniciação Científica. À Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) pelo apoio institucional, através do uso de suas instalações e equipamentos.

Referências

- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M., Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 22, 711-728.
- Attanasio, C. M., Gandolf, S., Zakia, M. J. B., Veniziani Junior, J. C. T., Lima, W. P., 2012. A importância das áreas ripárias para a sustentabilidade hidrológica do uso da terra em microbacias hidrográficas. *Bragantia* 71, 493-501. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052013005000001>. Acesso: 20 maio 2015.
- Bertoni, J., Lombardi Neto, F., 1999. *Conservação do solo*. 2.ed. Ícone, São Paulo.
- CBHRD. Comitê de Bacias Hidrográficas do Rio Doce., 2015. *A Bacia*. Disponível: <http://www.cbhdoce.org.br/a-bacia/>. Acesso: 01 maio 2015.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil, 2010. *Levantamento da Geodiversidade do Estado de Minas Gerais*. Programa Geologia do Brasil

- Levantamento da Geodiversidade. Belo Horizonte, Brasil. Disponível: http://www.cprm.gov.br/publique/media/Geodiversidade_MG.pdf. Acesso: 18 nov. 2015.
- Crepani, E., Medeiros, J. S., Hernandez, P., Florenzano, T. G., Duarte, V., Barbosa, C. C. F. 2001. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. Disponível: www.dsr.inpe.br/laf/sap/artigos/CrepaneEtAl.pdf. Acesso: 25 abr. 2015.
- Crispim, A. B., 2011. Sistemas ambientais e vulnerabilidades ao uso da terra no vale do rio Pacoti-CE: subsídios ao ordenamento territorial. Dissertação (Mestrado). Fortaleza, Universidade Estadual do Ceará.
- Dias, J. R., 2007. Unidades Geoambientais da Área de Proteção Ambiental da Serrinha do Alambari - Capelinha, Resende-RJ. Monografia. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2006. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. Rio de Janeiro.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2015. Solos Tropicais. Rio de Janeiro.
- FUNARBE. Fundação Arthur Bernardes, 2014. Elaboração de diagnósticos socioambientais na bacia do ribeirão Candidópolis, bem como o cálculo de valoração econômica do serviço ambiental a ser pago aos produtores rurais. Viçosa.
- Gonçalves, G. G. G., Daniel, O., Comunello, E., Vitorino, A. C. T., Pereira, H. H. G., Arai, F. K., 2009. Caracterização empírica da fragilidade ambiental em bacias hidrográficas: o caso da bacia do rio Dourados-MS. [GS](#)
- Garcia, P. M. B., Sobreira, F. G., Moura, A. C. M., 2012. Potencial de expansão e ocupação urbana no município de Timóteo-MG. Revista brasileira de geociências 42, 27-38.
- Gomes, R. L., 2013. Avaliação da Fragilidade Ambiental e Vulnerabilidade Natural à perda de solo da Bacia Hidrográfica do Rio Almada-Bahia. Boletim de Geografia 31. [CrossRef](#) maio 2015.
- Ladeira Neto, J. F. 2010. Mapa de declividade em percentual do relevo brasileiro. Disponível: http://www.cprm.gov.br/gestao/mapa_declive/nota_tecnica_mapa_declive.pdf. Acesso: 03 abr. 2015.
- Lemos, R. C., Santos, R. D., 1996. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 3. ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas.
- Lepsch, I. F., 2002. Formação e conservação dos solos. Oficina de Textos, São Paulo.
- Magalhães Jr. A., Moreira, P. F., 1998. Eventos de “desequilíbrio morfodinâmico” na evolução geomorfológica de Minas Gerais – O caso de Teófilo Otoni/Caraí – Região Nordeste do Estado. Geonomos 6, 23-32.
- Miguel, A. E. S., Medeiros, R. B., Oliveira, W., 2013. Diagnóstico da vulnerabilidade ambiental da bacia do rio Taquaruçu/MS. Fórum Ambiental da Alta Paulista [Online] 9, n. 2. Disponível: <http://dx.doi.org/10.17271/19800827922013537>. Acesso: 03 mar. 2015.
- Miranda, J. I., 2010. Fundamentos de sistemas de informações geográficas. 2ª ed., EMBRAPA, Brasília.
- Morais, R. P., Carvalho, T. M., 2013. Cobertura da Terra de Parâmetros da Paisagem no Município de Caracaraí-Roraima. Revista Geográfica Acadêmica 7. Disponível: [CrossRef](#)
- Oliveira, J. S., Carvalho, T. M., 2014. Vulnerabilidade aos impactos ambientais da bacia hidrográfica do rio Cauamé em decorrência da Expansão Urbana e uso para lazer em suas praias. Revista Geográfica Acadêmica 8. [CrossRef](#)
- Oliveira, F. F. G., 2011. Aplicação das Técnicas de Geoprocessamento na Análise dos Impactos Ambientais e na Determinação da Vulnerabilidade Ambiental no Litoral Sul do Rio Grande do Norte. Tese (Doutorado). Rio Claro. Universidade Estadual Paulista.
- Oliveira, A. A. K., 2002. Estruturação e Alteração Metassomática do Ortognaisse Açucena (Suíte Borrachudos) na Região de Ipatinga, Minas Gerais. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Minas Gerais.
- Padilha, A. V., Vieira, V. S., Heineck, C. A. 2000. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Itabira, Folha SE.23-Z-D-IV. Disponível: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/5662?show=full>. Acesso: 08 mar. 2015.
- Itabira. Prefeitura Municipal de Itabira, 2015. Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Itabira. Produto 3 – Diagnóstico Técnico-Participativo dos Serviços de Saneamento Básico. Itabira.
- Pruski, F. F., Brandão, V. S., Silva, D. D., 2010. Escoamento Superficial, 2. Editora UFV, Viçosa.
- Ross, J. L. S., 1994. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. Revista do Departamento de Geografia USP 8. Disponível: [CrossRef](#)

- Santos, J. E., 2008. Uso do solo e qualidade da água na microbacia do Cândópolis. Dissertação (mestrado). Caratinga, UNEC.
- Santos, R. F., 2004. Planejamento ambiental teoria e prática, 1 ed. Oficinas de Textos, São Paulo.
- SAAE. Serviço Autônomo de Água e Esgoto, 2010. Relatório da implantação e dos resultados do Projeto Mãe d'Água de Itabira-MG. Itabira.
- Spörl, C, Ross, J. L S., 2004. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. Geosp 15. Disponível: [GS](#)
- Souza, C. M. P., Silva, K. F. M. C., Moreau, A. M. S. S., Fontes, E. O., Moreau, M. S., Góes, L. M., 2009. Zoneamento agroecológico da bacia hidrográfica do rio Colônia-Bahia. Revista de Ciências Ambientais 3. [CrossRef](#)
- Tundisi, J. G., 2003. Recursos Hídricos. Multiciência 1. Disponível: [GS](#)
- Ker, J. C., 1997. Latossolo do Brasil: uma revisão. Geonomos. Viçosa. Geonomos 5. [GS](#)