

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**VULNERABILIDADE AMBIENTAL DOS RECURSOS
HÍDRICOS INTERCEPTADOS POR RODOVIAS NA BACIA
DO RIO UBERABA**

Hygor Evangelista Siqueira

Tecnólogo em Gestão Ambiental

2016

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**VULNERABILIDADE AMBIENTAL DOS RECURSOS
HÍDRICOS INTERCEPTADOS POR RODOVIAS NA BACIA
DO RIO UBERABA**

Hygor Evangelista Siqueira

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Teresa Cristina Tarlé Pissarra

Coorientador: Prof. Dr. Renato Farias do Valle Junior

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia - Ciência do Solo.

2016

Siqueira, Hygor Evangelista
S618v Vulnerabilidade ambiental dos recursos hídricos interceptados por
rodovias na bacia do rio Uberaba / Hygor Evangelista Siqueira. – –
Jaboticabal, 2016
iii, 44 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2016
Orientadora: Teresa Cristina Tarlé Pissarra
Coorientador: Renato Farias do Valle Junior
Banca examinadora: Gener Tadeu Pereira, Vera Lúcia Abdala
Bibliografia

1. Sistema de informação. 2. Morfometria. 3. Planejamento
conservacionista. 4. Multicritério. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 556.51:502.13

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: VULNERABILIDADE AMBIENTAL DOS RECURSOS HÍDRICOS
INTERCEPTADOS POR RODOVIAS NA BACIA DO RIO UBERABA**

AUTOR: HYGOR EVANGELISTA SIQUEIRA

ORIENTADORA: TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA
Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Profa. Dra. VERA LUCIA ABDALA
Instituto Federal do Triângulo Mineiro / Uberaba/MG

Prof. Dr. GENE TADEU PEREIRA
Departamento de Ciências Exatas / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Jaboticabal, 29 de janeiro de 2016

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

HYGOR EVANGELISTA SIQUEIRA - Filho de José Rubens de Siqueira e Haydee Alves Evangelista Siqueira. Nasceu em Uberaba – MG, em 02 de outubro de 1988. Graduiu-se em Tecnologia em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro – Câmpus Uberaba em 2011. Fez especialização em Saneamento Ambiental em 2013 no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro – Câmpus Uberaba e em Geomática com ênfase em georreferenciamento de imóveis rurais pela Universidade Federal do Triângulo Mineiro em 2014. Durante a graduação e pós-graduação, atuou como bolsista em projetos de iniciação científica e de extensão, em estudos relacionados ao saneamento, uso e ocupação do solo, qualidade de água e determinação do potencial de uso do solo em bacias hidrográficas e desenvolveu projetos em parceria com o Ministério Público de Minas Gerais, junto à Promotoria de Meio Ambiente de Uberaba e ao Núcleo Interinstitucional de Estudos Ambientais – NIEA. Atua como consultor técnico em projetos de Saneamento, Agropecuários e Ambientais.

“Ambiente limpo não é o que mais se limpa, e sim, o que menos se suja”.
(Chico Xavier)

AGRADECIMENTOS

À Deus, por não me deixar desistir de nenhum de meus objetivos, e estando sempre ao meu lado, dando-me força para superar os obstáculos.

À minha família por sempre acreditar que sou capaz e me apoiar nas minhas decisões.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP - Câmpus de Jaboticabal, pelo apoio e infraestrutura necessária para realização deste curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior – CAPES pelo auxílio concedido.

À Profa. Dra. Teresa Cristina Tarlé Pissarra, pela amizade, orientação e por acreditar no desenvolvimento deste trabalho, estando sempre a disposição e contribuindo com sua experiência e ensinamentos.

Ao Prof. Dr. Renato Farias do Valle Junior pela amizade e co-orientação neste projeto.

À todos os professores pelo aprendizado e pela troca de conhecimentos ao longo desta etapa.

À Banca Examinadora pelas contribuições.

Aos companheiros de estrada e do dia-a-dia. Neste período estivemos juntos e dividimos boa parte dos ensinamentos junto às disciplinas cursadas.

Aos amigos e colegas que ao longo desta passagem, contribuíram com muitas gargalhadas e companheirismo. Espero que continuemos assim, com uma amizade sincera e duradoura. E digo: - Deus coloca em nossas vidas pessoas que nos somam.

À todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho e de minha formação pessoal e profissional. Um muitíssimo obrigado.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Bacias Hidrográficas	3
2.2 APA da bacia do rio Uberaba.....	4
2.3 Solos encontrados na APA da bacia do rio Uberaba	5
2.4 Parâmetros morfométricos de bacia hidrográfica.....	6
2.5 Vulnerabilidades ambiental	7
2.6 Sistema de Informação Geográfica.....	8
2.7 Análise Multicritério	9
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1 Área de estudo.....	12
3.2 Análise Multicritério	13
3.2.1 Aquisição de dados e escolha dos fatores e restrições	15
3.2.2 Padronização digital.....	21
3.2.3 Análise Sensitiva dos critérios e atribuição dos pesos.....	22
3.2.4 Agregação	25
3.3 Definição das áreas de influência das rodovias na APA	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 A vulnerabilidade ambiental na APA da bacia do rio Uberaba.....	27
4.2 A vulnerabilidade ambiental na área de influência das rodovias na APA da bacia do rio Uberaba e possíveis ações preventivas	28
5 CONCLUSÃO	31
6 REFERÊNCIAS.....	32
APÊNDICES	38

VULNERABILIDADE AMBIENTAL DOS RECURSOS HÍDRICOS INTERCEPTADOS POR RODOVIAS NA BACIA DO RIO UBERABA

RESUMO - A incidência de acidentes que ocorrem no transporte rodoviário de produtos perigosos (TRPP) tem sido motivo de preocupação quanto aos riscos de contaminação do solo e da água, com possíveis reflexos na saúde e ao meio ambiente. Objetivou-se neste trabalho verificar a vulnerabilidade ambiental dos recursos hídricos na Área de Proteção Ambiental do rio Uberaba (APA) e na área de influência das rodovias. A condição de risco e fragilidade que o ambiente se encontra foi determinado utilizando a modelagem multicritério de parâmetros morfométricos e de ocupação do solo, e a análise dos dados foi realizada em plataforma de sistema de informação geográfica (SIG). Os fatores intervenientes selecionados para análise foram: densidade de drenagem, declive, classes de solos, distância das linhas de água e o uso e ocupação dos solos. Foi possível avaliar de forma conjunta os diferentes planos de informação e gerar a partir da análise multicritério a superfície de vulnerabilidade dos recursos hídricos interceptados por rodovias na APA. Os fatores declividade do terreno e classe de solo são os mais importantes no diagnóstico de áreas com maior vulnerabilidade ambiental.

Palavras-Chave: sistema de informação; morfometria; planejamento conservacionista; multicritério.

ENVIRONMENTAL VULNERABILITY OF WATER RESOURCES INTERCEPTED BY HIGHWAYS AT THE UBERABA WATERSHED

ABSTRACT – The incidence of accidents occurring in the transport of dangerous goods (TDG) is a concern about the risks of soil and water contamination, with possible impacts on health and the environment. The aim of this work is to verify the environmental vulnerability of water resources and in the area of influence of the State highway at the Environmental Protection Area (APA) of the Uberaba River Watershed. The condition of risk and fragility that the environment is nowadays was determined using the multi-criteria modeling of the morphometric parameters and land use, and the data analysis was carried out in a geographic information system platform (GIS). The intervening factors selected for analysis were: drainage density, slope, soil classes, distance from the drainage net and the land use. It was possible to evaluate jointly the different plans and generate information from multiple criteria vulnerability of water resources intercepted by road at the APA. The factors slope and soil type are the most important to located the greater environmental vulnerability areas.

Keywords: information system; morphometry; conservation planning; multiple criteria.

1 INTRODUÇÃO

Os veículos, ao transportar diferentes produtos em áreas densamente povoadas, agrícolas ou de preservação ambiental, estão sujeitos aos acidentes, e dependendo das cargas transportadas, pode ainda, ocorrer no local um derramamento contendo produtos poluentes. Uma vez os recursos hídricos contaminados e/ou poluídos por conta destes acidentes, o abastecimento público poderá ser comprometido.

Este fato se agrava em municípios que possuem apenas um único manancial de abastecimento de água para as áreas urbanas, e as rodovias passarem por estas áreas. Se ocorrer estes tipos de acidentes, haverá escassez de água, o que pode causar diversos transtornos, que podem comprometer a saúde das pessoas e dos animais.

No Município de Uberaba foi determinada por lei, uma Área de Proteção Ambiental - APA, da bacia do rio Uberaba, que é uma unidade de conservação de uso sustentável e foi criada para garantir a preservação ambiental e consequentemente a qualidade ambiental dos recursos naturais, principalmente os hídricos.

Nas rodovias que estão inseridas na APA da bacia do rio Uberaba trafegam diversos tipos de cargas com substâncias perigosas. Assim, torna-se imprescindível estudos sobre a vulnerabilidade destas áreas visando o planejamento ambiental e à adoção de medidas preventivas nos locais mais frágeis.

A vulnerabilidade pode ser entendida com o as condições de risco ou fragilidade de um determinado meio. E, se tratando de vulnerabilidade dos recursos hídricos interceptados por rodovias, torna-se necessário diagnosticar quais fatores do meio físico podem influenciar de forma negativa ou positiva, no aumento ou na redução das áreas de vulnerabilidade na APA da bacia do rio Uberaba.

Os dados obtidos da geomorfologia, do estudo morfométrico de bacias hidrográficas e do uso do solo podem ser integrados, e em uma análise conjunta, denominada de análise multicritério, pode-se modelar e determinar fatores importantes para detectar as áreas de maior vulnerabilidade ambiental.

A avaliação por critérios múltiplos "*Multi Criteria Evaluation*" - MCE processada em sistema de informação geográfica – SIG, auxilia na elaboração de mapas para a tomada de decisões, e a combinação linear ponderada "*Weighted*

Linear Combination” – WLC é um dos métodos básicos, que faz permuta de fatores uns com os outros. Portanto, há ferramentas que auxiliam na análise estatística e espacial dos dados, para compreender áreas de risco.

Entretanto, ainda não foram estudados a vulnerabilidade dos recursos hídricos interceptados por rodovias, tornando-se necessário diagnosticar estas áreas para uma melhor gestão ambiental, bem como, garantir a preservação da qualidade ambiental dos recursos naturais.

Assim, este trabalho teve como principal objetivo verificar a vulnerabilidade ambiental dos recursos hídricos e também das áreas de influência das rodovias que interceptam as redes de drenagem, a partir da análise multicritério de parâmetros físicos e morfométricos de microbacias na APA da bacia do rio Uberaba, mediante o uso do sistema de informação geográfica – SIG.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Bacias Hidrográficas

A bacia hidrográfica compreende um volume de terra, no qual a área superficial é composta por divisores de águas, vertentes e redes de drenagem. Nas nascentes ocorre a exsudação natural de água subterrânea, de forma a possibilitar a formação e a sustentabilidade dos recursos hídricos. Assim, torna-se necessário compreender de forma sistemática sua forma, potencialidade e fragilidade (PISSARRA, 2002).

A Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional dos Recursos Hídricos, estabelece a bacia hidrográfica como unidade territorial para implementação da Política Nacional do Meio Ambiente e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, destacando sua importância como unidade de planejamento.

Segundo Pissarra et al. (2004), a bacia hidrográfica é a unidade territorial mais eficiente de controle da formação dos recursos hídricos que a integram, pois vem sendo conceituada como a unidade de planejamento e adequação do uso e ocupação do solo.

Entende-se que a bacia hidrográfica é vista como unidade de planejamento, pelo fato de constituir-se num sistema natural delimitado geograficamente, em que os fenômenos e interações podem ser integrados, no qual a qualidade da água e do solo depende do uso e das atividades nela desenvolvidas. Pode ser, portanto, considerada unidade geográfica em que há uma integração dos recursos naturais, (ABDALA, 2012).

Sendo assim, o planejamento ambiental de bacias hidrográficas nos espaços municipal ou local, pode ser idealizado e auxiliar nas seguintes propostas: de análise da fragilidade ambiental, dos cenários ambientais e do zoneamento, em harmonia com a legislação ambiental, executando estratégias e programas que associem aos aspectos ambientais, político, econômico e sociocultural (VALLE JUNIOR, 2008).

Ao transportar produtos em áreas densamente povoadas, agrícolas ou de preservação ambiental, no caso, de um derramamento acidental, os aspectos morfométricos e físicos da bacia hidrográfica podem influenciar na disseminação dos

poluentes e contaminantes. Assim, é importante a caracterização e o conhecimento da capacidade de suporte, dos riscos e fragilidades aos impactos ambientais nas bacias hidrográficas. Uma vez diagnosticada, as áreas frágeis na bacia hidrográfica, medidas de proteção e prevenção devem ser implementadas.

2.2 APA da bacia do rio Uberaba

Constituída a partir da Lei estadual nº 12.183 de 21 de Janeiro de 1999 e pela Lei municipal nº 9.892 de 28 de dezembro de 2005, a Área de Proteção Ambiental - APA - do rio Uberaba é uma Unidade de Conservação de uso sustentável regulamentada pela Lei Federal nº 9.985 de 18 de julho de 2000, que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC.

Esta área tem por objetivo proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais (SNUC, 2000). As atividades realizadas nesta área devem visar a recuperação, a preservação e a conservação do rio Uberaba; a proteção do ecossistema ribeirinho para a manutenção do regime hidrológico; a preservação dos remanescentes florestais da bacia hidrográfica; a recomposição florestal da vegetação ciliar e das demais áreas de preservação permanente; a melhoria das condições para a recuperação e a proteção da fauna e da flora regionais, em especial das espécies ribeirinhas e da ictiofauna e a melhoria da qualidade ambiental das áreas circunvizinhas.

A APA da bacia do rio Uberaba é composta por todas as microbacias hidrográficas inseridas à montante do ponto de captação de água para o tratamento, na Estação de Tratamento de Água – ETA do rio Uberaba, até sua nascente no chapadão. Com relação à área total da APA da bacia do rio Uberaba há uma divergência entre as duas legislações, a estadual prevê uma área de 463,0 km² e a municipal define uma área de 528,1 km². Isto se deu pela diferentes técnicas utilizadas na delimitação das bacias hidrográficas que consequentemente interferem nos resultados encontrados. Como a legislação municipal juridicamente pode ser mais restritiva, por tratar de especificações locais do município, neste estudo, a APA do rio Uberaba obteve o valor de área calculada de 525, 27 km².

A APA do rio Uberaba teve apenas um reconhecimento e preocupação em 2003, onde na microbacia do Alegria, bacia esta inserida na APA, ocorreu um

descarrilamento de um trem de carga. Este acidente foi considerado o maior desastre ambiental do Triângulo Mineiro até os dias de hoje. As cargas eram compostas por a octanol ($C_8H_{18}O$), metanol (CH_4O), isobutanol ($C_4H_{10}O$) e cloreto de potássio (KCl) ocasionando uma explosão que devastou mais de 1000,0 metros de vegetação nativa, além de depositar e dispersar mais de 670 kg de contaminantes no solo e água. O abastecimento público foi interrompido por mais de 5 dias e com isso foi decretado estado de calamidade pública. Neste período, a falta de água era suprida por caminhões-pipa, porém, insuficientes. Mais de 250 mil habitantes foram impactados pela falta de água por causa deste acidente e consequentemente pela contaminação dos recursos hídricos.

Na APA da bacia do rio Uberaba trafegam nas rodovias nela inserida, diferentes tipos de cargas com substâncias perigosas. Sendo assim torna-se necessário estudos sobre a vulnerabilidade ambiental destas áreas para servirem de informação aos órgãos gestores para tomarem medidas preventivas nos locais diagnosticados como vulneráveis.

2.3 Solos na APA da bacia do rio Uberaba

O solo, assim como os recursos hídricos, é um recurso natural com disponibilidade finita em determinada escala temporal, no qual as atividades nele desenvolvidas interferem direta e indiretamente na qualidade de vida das populações.

No Triângulo Mineiro, onde predomina o bioma cerrado, os Latossolos ocupam praticamente as áreas planas a suave-onduladas, sejam chapadas ou vales. Ocupam ainda as posições de topo até o terço médio das encostas suave-onduladas, típicas das áreas de derrames basálticos e de influência dos arenitos (EMBRAPA, 2006).

Os Latossolos são passíveis de utilização com culturas anuais, perenes, pastagens e reflorestamento desde que haja uma boa correção de suas propriedades químicas, pois apresentam baixa fertilidade natural. Estão situados em relevo plano a suave-ondulado, com declividade que raramente ultrapassa 7% (EMBRAPA, 2006). São profundos, porosos, bem drenados e bem permeáveis. Apesar de sua vasta utilização para a agropecuária, parte de sua área deve ser

mantida como reserva para a proteção da biodiversidade, assim como se formou por milhares de ano, como o bioma cerrado (LEPSCH, 2002).

Os Argissolos apresentam de modo geral baixa fertilidade natural e acidez elevada e ocorrem em condições climáticas e de material de origem variados. As paisagens de relevos mais acidentados e dissecados apresentam superfícies menos suaves e com maiores declives. Dentre suas limitações, a suscetibilidade aos processos erosivos é preponderante, principalmente quando ocorrem em relevos mais movimentados e tem uma grande influência. Tendem a ser mais suscetíveis aos processos erosivos devido à relação textural presente nestes solos em que seu manejo exige práticas conservacionistas para o controle da erosão (EMBRAPA, 2006).

Segundo Lepsch (2002), os Gleissolos são solos minerais, hidromórficos, mal drenados e que possuam características resultantes da influência do excesso de umidade devido a presença do lençol freático próximo à superfície. Ocupam os ambientes de várzeas úmidas e baixadas pouco drenadas, em relevo plano sob vegetação de campos higrófilos e hidrófilos de várzea que são sujeitos a períodos longos de alagamentos. São mais adaptados às culturas de cana-de-açúcar, arroz, culturas de subsistência e de pastagem naturais ou intensivas (EMPRAPA, 2006).

2.4 Parâmetros morfométricos de bacia hidrográfica

As primeiras pesquisas, levando em consideração os aspectos qualitativos e os quantitativos da bacia hidrográfica e das redes de drenagem, se iniciaram com HORTON (1945), em que se criou uma classificação dos canais de drenagem determinando informações e referências fundamentais, relacionando o número e o comprimento dos canais com a dissecção do terreno, o que possibilita o desenvolvimento de pesquisas modernas no campo da geomorfologia e dinâmica fluvial (VALLE JUNIOR, 2008).

Outros parâmetros morfométricos foram, ao longo das pesquisas quantitativas e qualitativas, sendo considerados e aprimorados por Christofolletti (1969). Segundo Lima (1986), os parâmetros morfométricos fazem com que se possa compreender a geomorfologia de uma bacia hidrográfica. De acordo com Rocha (1997), estes parâmetros se relacionam com a deterioração ambiental nas bacias hidrográficas e

são determinantes para definir a forma da bacia, índice de circularidade, declividade média, comprimento das redes de drenagem, densidade de drenagem e coeficiente de rugosidade (SANTOS, 2004).

Sendo constituída uma das variáveis utilizadas neste estudo, a densidade de drenagem (Dd) estima a maior ou a menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica. Sendo assim, é o índice que indica o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem, ou seja, fornece uma indicação da eficiência da drenagem da bacia, sendo expressa pela relação entre o somatório dos comprimentos de todos os canais da rede — sejam eles perenes, intermitentes ou temporários — e a área total da bacia (CARDOSO et al., 2006).

A densidade de drenagem (Dd) varia inversamente com a extensão do escoamento superficial, portanto, fornece uma indicação da eficiência da drenagem da bacia. Esse índice varia de 0,5 Km/Km², para bacias com drenagem pobre, a 3,5 km/km² ou mais para bacias excepcionalmente bem drenadas (VILLELA; MATTOS, 1975).

Segundo HORTON (1945), as bacias de menor tamanho e de grau hierárquico de ordem menor, apresentam valores de Dd mais elevados. Isto ocorre, pois os segmentos de ordens inferiores localizam-se nas regiões mais elevadas dos cursos d'água, onde a declividade é mais acentuada (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Para Lima (1996) e Pissarra (2002), este índice é importante, pois reflete a influência da geologia, topografia do solo e da vegetação da bacia hidrográfica, e está relacionada com o tempo gasto para o escoamento superficial da água na bacia.

2.5 Vulnerabilidades ambiental

O termo vulnerabilidade pode ser definido quando em meio a uma perturbação, a resposta pode ser bastante diferente em função das características locais naturais e humanas, ou seja, cada fração de território tem uma condição intrínseca que, em interação com o tipo e magnitude do evento que induzimos, resulta numa grandeza de efeitos adversos. A essa condição chamamos de vulnerabilidade (Ministério do Meio Ambiente, 2007).

O uso da vulnerabilidade na gestão dos recursos hídricos pode apoiar os tomadores de decisão, para avaliar a necessidade de adoção de opções de gestão

específicas para preservar a qualidade ambiental, especialmente sobre as práticas de conservação do solo e águas nos diferentes níveis (graus) de vulnerabilidade.

Ao observar e medir as relações entre as características de um meio, eventos induzidos e efeitos adversos, mede-se a vulnerabilidade ambiental de uma área (Ministério do Meio Ambiente, 2007).

Diversos estudos em recursos hídricos com a utilização do SIG utilizaram planos de informações semelhantes aos utilizados neste trabalho. Tais parâmetros podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1. Critérios para realizar estudos no planejamento em recursos hídricos.

Autor	Planos de informação utilizados
Souza et al., (2003)	Mapas de declividade, densidade de fraturas, solos, uso do solo e cobertura vegetal, litologia e densidade de drenagem.
Prado (2004)	Mapas de solos, geomorfologia, geologia, coeficiente de variação da pluviosidade, densidade de drenagem, distância até o corpo hídrico principal e uso e cobertura da terra.
Sener <i>et al.</i> (2005)	Declividade, densidade de lineamentos, uso e cobertura da terra, geologia, densidade de drenagem, precipitação anual, topografia.
Lima <i>et al.</i> (2009)	Declividade, densidade de fraturas das rochas, tipo de solo, uso e cobertura da terra e litologia.
Musa <i>et al.</i> (2009)	Declividade, densidade de lineamento, tipo de solo, uso e cobertura da terra, litologia, precipitação anual, elevação topográfica e densidade de drenagem.
Souza et al. (2009)	Distância dos pontos de captação de água, densidade de drenagem, distância de unidades de conservação, pluviometria, solos, distância da mancha urbana.

Fonte: (Adaptado de Ferreira, 2012).

2.6 Sistema de Informação Geográfica

Segundo Vieira (2000), a observação terrestre em dados obtidos por satélites é o meio mais efetivo encontrado nos dias atuais, sendo muito utilizada para

identificar o uso de meios computacionais no tratamento de informação, relacionado ao meio ambiente e suas relativas atividades.

O sistema de informações geográfica – SIG, em vários casos torna-se uma ferramenta que auxilia na tomada de decisões em várias áreas, como o diagnóstico ambiental, a preservação de desastres e o planejamento urbano e rural. Assim o SIG é um dos meios mais rápidos e eficientes em diagnóstico pois, consegue armazenar, gerenciar, criar e processar diversos planos de informações de forma simultânea.

Para Ferreira (2012), a modelagem no SIG faz com que se obtenha de forma rápida e confiável, a descoberta e descrição de fenômenos espaciais e ainda a predição de determinada questão.

A utilização de camadas “layers” sobrepostas sobre planos de informações, a possibilidade de interação com um banco de dados geográficos e ainda as informações atribuídas junto aos planos de informações, bem como, as ferramentas de modelagem e álgebra de mapas atribuídos na maioria dos SIGs fazem deste sistema uma ferramenta de grande utilidade nos estudos e mapeamentos em diferentes áreas de aplicação.

2.7 Análise Multicritério

A avaliação por critérios múltiplos “*Multi Criteria Evaluation*” - MCE baseado no sistema de informação geográfica – SIG é uma ferramenta que envolve uma variedade de critérios e auxilia na elaboração de mapas para a tomada de decisões.

Segundo Eastman (2012), várias técnicas de MCE vem sendo utilizadas entre elas o método “*Booleano*” simples, média ponderada ordenada “*Ordered Weighted Average*” – OWA e a combinação linear ponderada “*Weighted Linear Combination*” – WLC.

A modelagem é uma ferramenta importante para o estudo de análise ambiental (VELDKAMP; LAMBIN, 2001). Esta metodologia encontra técnicas alternativas para incorporar decisões preferenciais no processo de diagnóstico ambiental. Assim, o objetivo da utilização de modelo MCE é encontrar soluções para os problemas de tomada de decisão caracterizados por múltiplas alternativas, que podem ser avaliadas por meio de critérios de decisão (PINTO, 2010; BOTTERO et al., 2013).

Várias pesquisas em diferentes áreas foram desenvolvidas utilizando o MCE. Tais estudos na agricultura (AKINCI et al., 2013; DRAGINCIC et al., 2015), conservação e aptidão do solo (VALLE JUNIOR et al., 2014;), irrigação (CHEN; PAYDAR, 2012), degradação dos solos (MOTTA; VALADARES, 2011), conservação dos recursos hídricos (VALLE JUNIOR et al., 2015; CALIZAYA et al., 2010), conservação dos recursos naturais e florestais (BOTTERO et al., 2013; KAYA; KAHRAMAN 2011), projetos de transportes e industriais (MACHARIS et al., 2012), economia (MARTIN-ORTEGA; BERBEL, 2010; ZUBARYEVA et al., 2012) entre outros, mostraram a funcionalidade da análise multicritério na tomada de decisão em diferentes áreas de aplicação.

Souza et al (2009), analisando o risco ambiental do transporte rodoviário utilizando a análise multicritério, concluiu que o SIG se mostrou uma boa ferramenta de análise.

No propósito de se encontrar maior eficiência na tomada de decisões utiliza-se o método da combinação linear ponderada "*Weighted Linear Combination*" - WLC apoiado na lógica "fuzzy", que permite a elaboração de diagnósticos, prognósticos e análises diversas do ambiente (PINTO, 2010). Este método, permite que os fatores (critérios) compensem uns aos outros, ou seja, um ponto de aptidão baixo em um fator para uma determinada área pode ser compensada por um ponto alto em outro fator. A compensação dos fatores é determinado por um conjunto de pesos dos fatores que indicam a importância relativa de cada fator no processo (Eastman, 2012).

A lógica "fuzzy", elaborada por Zadeh (1965) tornou-se um tema importante de pesquisa durante a década de 1980 para uso em SIG e análise de adequação ambiental. Consiste na elaboração de análises algébricas lógicas de mapas, gerando mapas unidos pela álgebra de mapas cumulativos, por meio da padronização em uma escala contínua de aptidão que vai de 0 (menos apto) a 255 (mais apto), convertendo os valores dos dados originais em valores de aptidão ao propósito desejado.

A MCE é uma ferramenta que pode ser utilizada na avaliação ambiental estratégica procedimentos para assegurar que os aspectos ambientais, sociais e econômicos estão integrados no desenho de estratégias de desenvolvimento humano e planejamento de tomada de decisão (GARFI et al., 2011). Segundo Bottero et al. (2013), a MCE é uma ferramenta eficaz na prestação de apoio à

decisão para o ordenamento do território. Vários estudos utilizam o conceito de função de pertinência “*fuzzy*” em um conjunto com a MCE para desenvolver procedimentos de adequação do uso da terra com base em SIG (BANAI, 1993; JIANG; EASTMAN, 2000).

Segundo Malczewski (1999) e Garfi et al. (2011), na metodologia multicritérios, o modelo desenvolvido segue basicamente três fases: (1) seleção dos critérios (fatores e restrições) para a análise e criação de mapas “raster”; (2) atribuição de peso para cada critério; (3) combinação de mapas de critérios e criação do mapa final de adequação.

A utilização da análise multicritério aplicada ao estudo da vulnerabilidade dos recursos hídricos pode ser empregada em diversos estudos desde que haja uma correlação válida para os fatores envolvidos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A vulnerabilidade foi determinada na Área de Proteção Ambiental – APA - da bacia do rio Uberaba (Figura 1) e nas áreas de influências das rodovias, que faz parte da bacia do rio Uberaba, localizada entre as coordenadas geográficas 19.51° e 19.74° sul e 47.64° e 47.98° oeste de Greenwich no município de Uberaba - MG.

Com uma área total de aproximadamente 525,27 km², na APA da bacia do rio Uberaba foram delimitadas, a partir do curso principal do rio Uberaba, 62 microbacias que contribuem significativamente com a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos, sendo este rio o principal manancial que abastece a cidade de Uberaba.

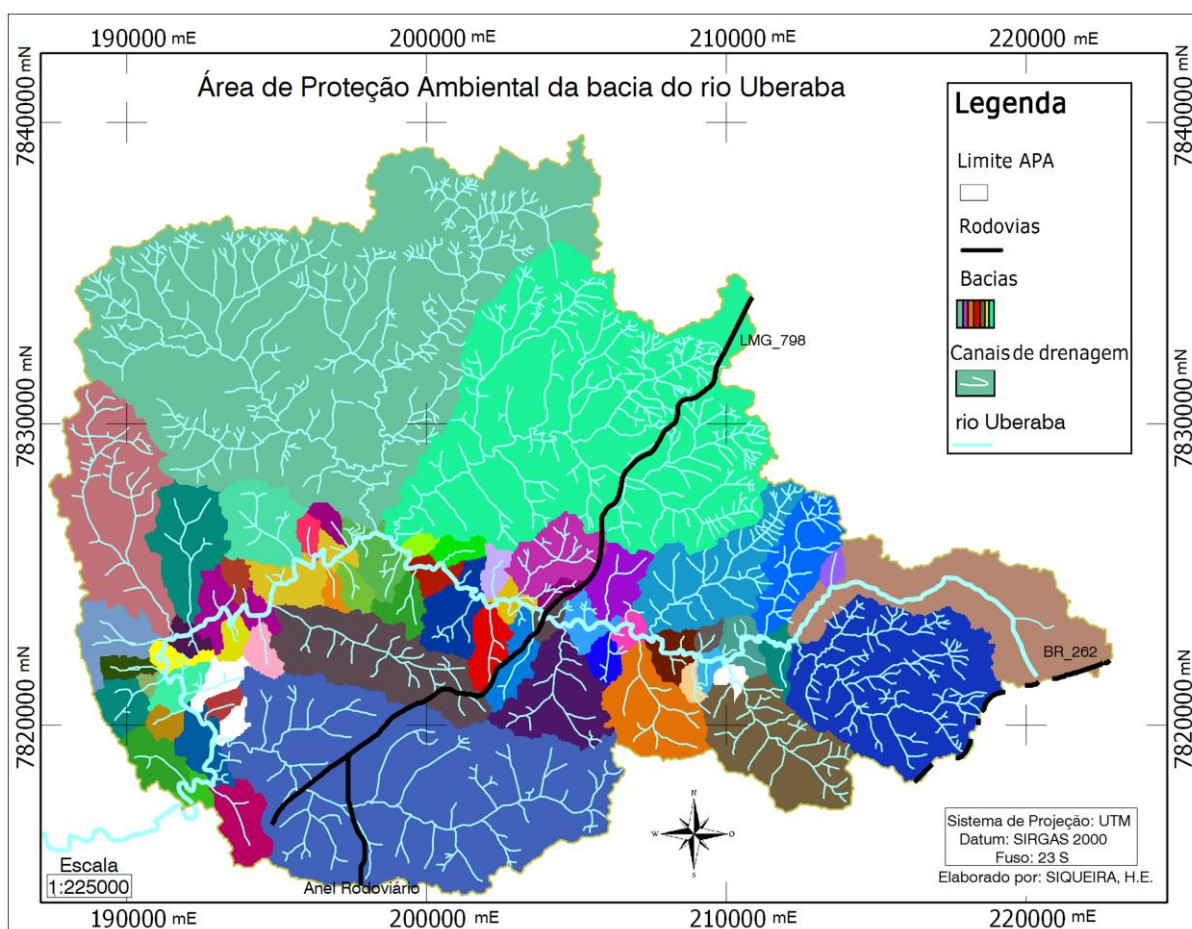


Figura 1. Área de Proteção Ambiental – APA - da bacia do rio Uberaba.

Na APA está inserida a rodovia federal BR-262, Anel Rodoviário e Ligação 798. Estas rodovias apresentam um tráfego de diversos produtos e mercadorias,

inclusive os produtos classificados como perigosos, o que torna necessário a identificação dos locais mais críticos.

A cidade de Uberaba está localizada em ponto estratégico de rota para grandes cidades como São Paulo, Montes Claros, Uberlândia, Goiânia, Belo Horizonte e Campo Grande, tornando-se crucial levantar os pontos críticos de maior vulnerabilidade ambiental evitando-se assim, em caso de um acidente com cargas contendo produtos perigosos, a contaminação dos recursos hídricos superficiais interceptados ou próximos das áreas de influência das rodovias.

O clima da região segundo Köppen é do tipo Aw - tropical quente úmido, com inverno frio e seco, sendo o domínio climático conceituado como semiúmido com baixa precipitação em 4 a 5 meses do ano (Abdala, 2012). A precipitação média anual varia entre 1300 e 1700 mm, em que o período chuvoso corresponde ao período mais quente do ano. Assim sendo, caracteriza por um regime chuvoso de outubro a março e a estação seca nos meses de abril a setembro, considerando os meses de dezembro e janeiro os que ocorrem maior precipitação.

O município de Uberaba está inserido no relevo do Planalto Arenítico Basáltico da bacia do Paraná com solos apresentando características variadas. A maioria apresenta textura média, variando de arenoso a argiloso e são classificados, de forma geral, como Latossolo apresentando diferentes graus de fertilidade, com predominância do Latossolo Vermelho distroférico, textura média, Latossolo Vermelho típico e Argissolo Vermelho Amarelo (NISHIYAMA, 1998).

Cruz (2003) destaca que a topografia é caracterizada por superfícies planas ou ligeiramente ondulada, geologicamente formada por rochas sedimentares, basicamente o arenito, do período cretáceo da formação Bauru.

3.2 Análise Multicritério

O SIG Idrisi possui recurso integrado de processamento de imagem para análise e visualização de dados espaciais, desenvolvidos pelos pesquisadores da CLARK LABS, do departamento de Geografia da Clark "University", Worcester, MA. Além dos módulos de análise GIS, processamento de imagens, análise de superfície, mudança e análise de séries temporais e modelagem. O Idrisi oferece um conjunto de ferramentas úteis para apoiar o processo de tomada de decisão. Em particular, fornece funções para implementar a avaliação objetiva multicritério no

3.2.1 Aquisição de dados e escolha dos fatores e restrições

Determinou-se para este estudo de vulnerabilidade ambiental dos recursos hídricos na APA do rio Uberaba a aquisição e elaboração de mapeamento temático de fatores físicos e morfométricos de bacias hidrográficas totalizando 5 (cinco) fatores (densidade de drenagem, distância dos cursos d'água, declividade do terreno, uso e ocupação do solo e classes de solo) e 1 (uma) restrição (redes de drenagem). A restrição foi utilizada para que os cursos d'água não fossem utilizados e classificados nas classes de vulnerabilidade.

As redes de rede de drenagem (Figura 3) na área em estudo foram extraídas do Modelo Digital de Elevação - MDE, processado da imagem do Sensor Aster GDEM (Modelo Digital de Elevação Global), no sistema de informação geográfica.

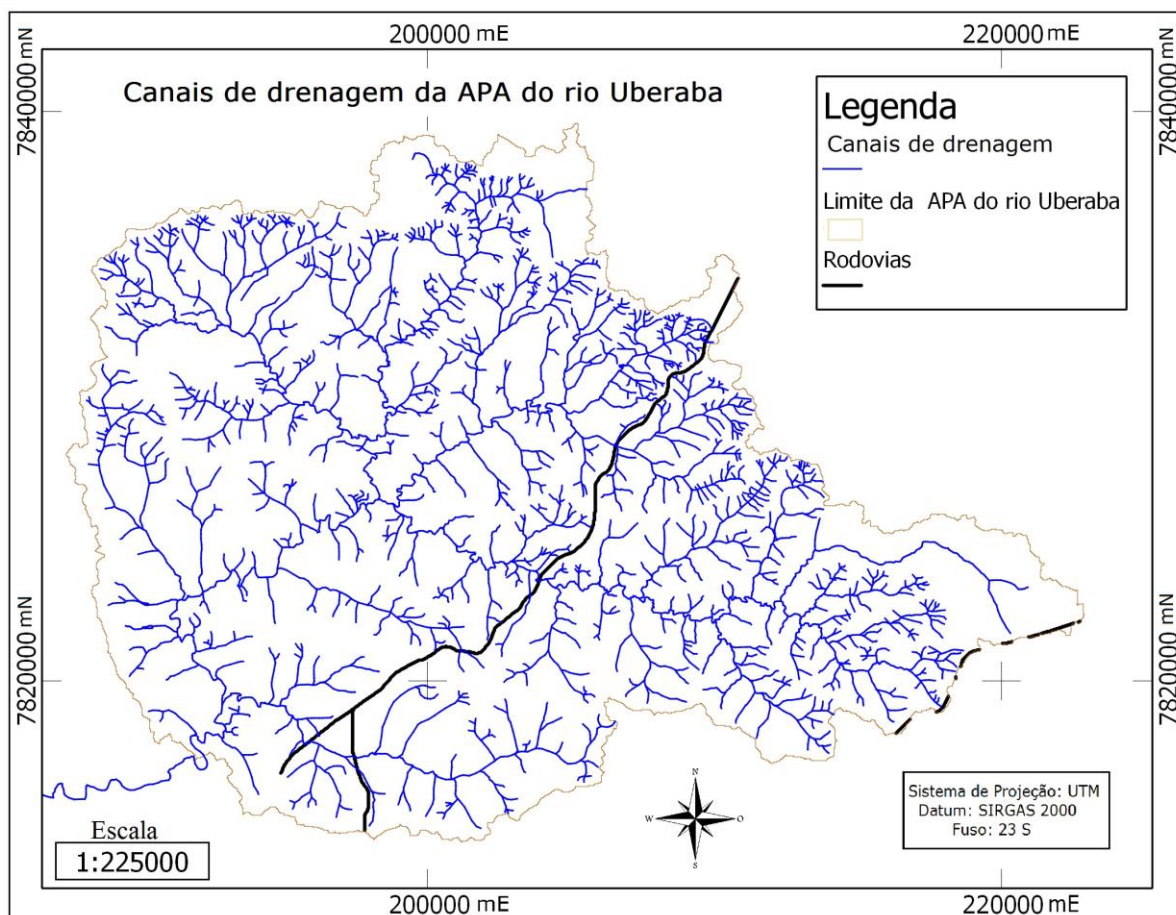


Figura 3. Mapa das redes de drenagem da APA da bacia do rio Uberaba.

O arquivo vetorial de drenagem foi exportado para o "Google Earth", o qual se efetuou checagem e modificação, quando necessário, dos respectivos cursos d'água. Posteriormente, exportou-se o arquivo vetorial (rede de drenagem) para o SIG Idrisi Selva.

A delimitação das microbacias da área de estudo foram realizadas a partir do MDE, no SIG Idrisi Selva, mediante a ferramenta "Watershed". Uma vez gerada as informações de escoamento, foi vetorizado o ponto mais próximo ao exutório (foz) de cada microbacia com o curso principal do rio Uberaba e utilizando a ferramenta "Watershed" foi delimitada cada microbacia hidrográfica.

A Densidade de Drenagem que corresponde a relação do comprimento total dos canais ($\sum L$) em (km) e a área da Bacia Hidrográfica (ABH) em (km²) (CHRISTOFOLETTI, 1980), foi calculado na seguinte fórmula:

$$Dd = \frac{\sum L}{ABH} \quad (1)$$

Os dados foram obtidos a partir da morfometria das microbacias da APA da bacia do rio Uberaba. Utilizou-se arquivos vetoriais das redes de drenagem e procedeu-se a leitura dos comprimentos dos canais de cada vertente das microbacias no "software" AutoCad mediante o comando "Modify - Lengthen". A área da bacia foi calculada de forma automática no SIG com a ferramenta "Area".

Os valores da densidade de drenagem de cada subbacia da APA da bacia do rio Uberaba foram classificados segundo os critérios descritos por Vilela e Mattos (1975), tal que o índice da densidade de drenagem varia de 0,5 km.km⁻², para bacias com poucos canais de drenagem, a 3,5 ou mais, para bacias excepcionalmente bem drenadas. Foi realizado a padronização dos planos de informações em que os valores de densidade de drenagem foram reclassificados conforme ilustra a figura 4.

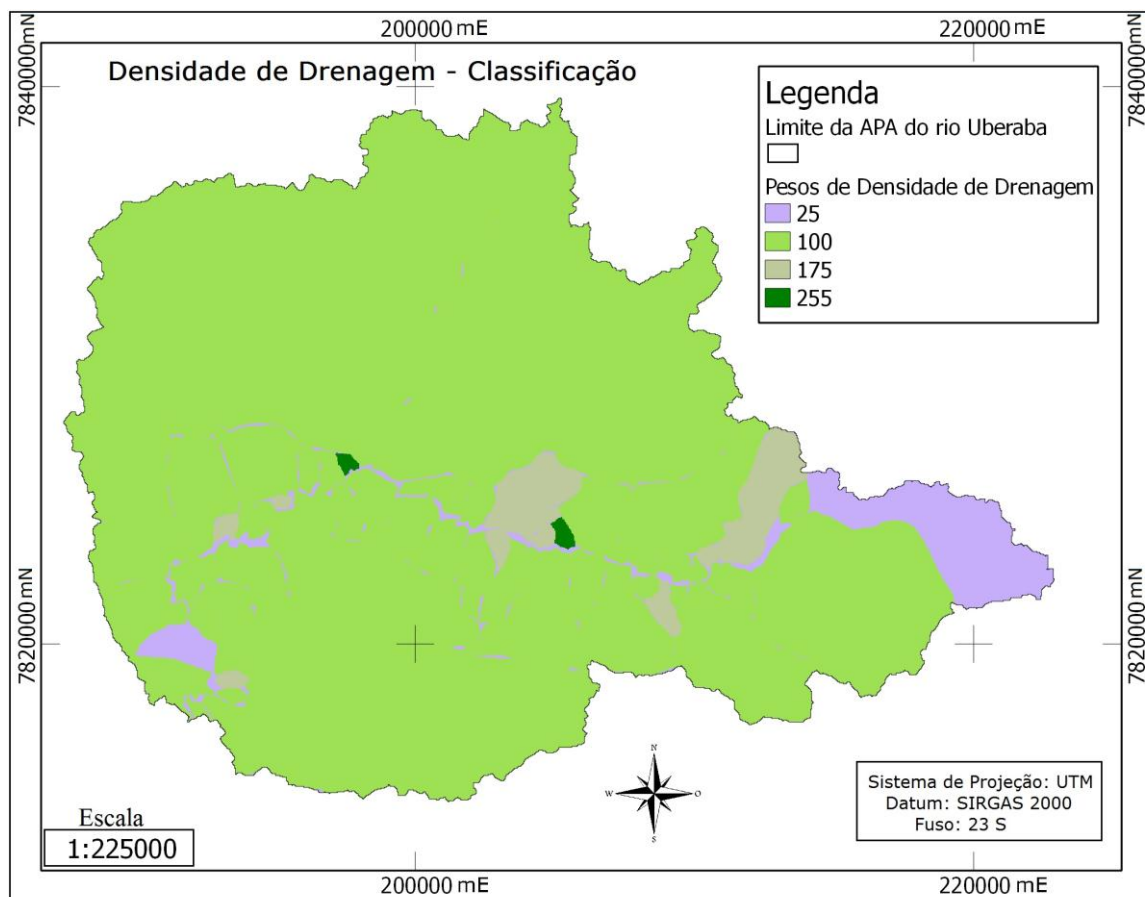


Figura 4. Mapa de densidade de drenagem da APA da bacia do rio Uberaba.

O mapa da distância da linha d'água (Figura 5), elaborado a partir das redes de drenagem, foi originado no SIG Idrisi Selva mediante o menu de operação de distância "Buffer".

Gerou-se a partir do comando "Buffer" o arquivo matricial das distâncias de 30, 50, 100, 150 e 200 metros. Estas medidas foram selecionadas tendo em vista que, no caso de um acidente á área máxima de influência direta do acidente seria de 20 metros em cada margem da rodovia.

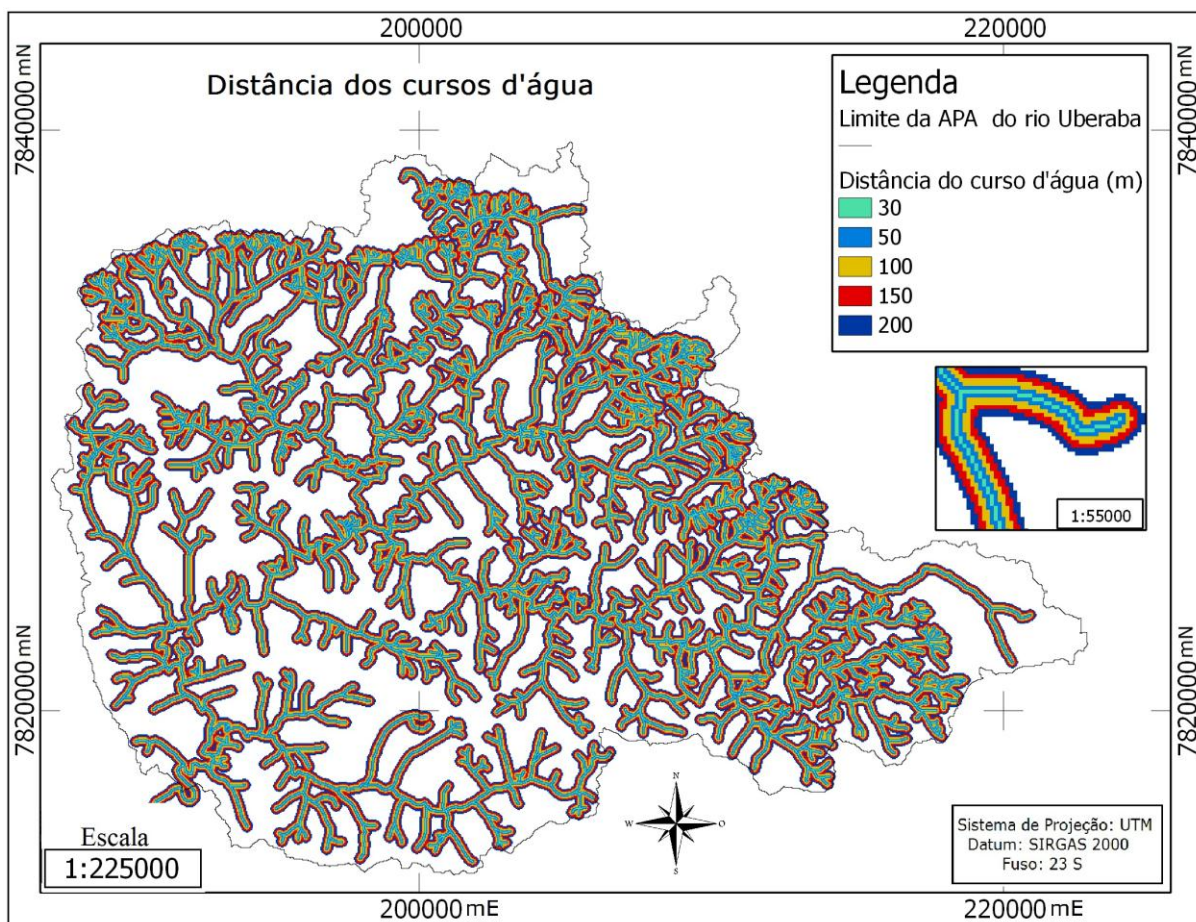


Figura 5. Mapa da distância da linha d'água das redes de drenagem da APA da bacia do rio Uberaba.

O mapa de declividade do terreno foi elaborado a partir do MDE no qual foi aplicado no SIG o recorte da imagem da área de estudo. Com a utilização da ferramenta “Slope” no SIG foram geradas em percentuais as classes de declividade do terreno. Após gerado os percentuais de declividade foi realizado a reclassificação das classes de declividade com a ferramenta “Reclass” do SIG utilizando os intervalos de referência da EMBRAPA (1999) descrito na Tabela 2 e ilustrados na Figura 6.

Tabela 2. Intervalos de classe de declividade e seus relevos correspondentes.

Declividade	Discriminação
0 - 5	Relevo plano a suave ondulado
5-10	Relevo suavemente ondulado a ondulado
10-20	Relevo ondulado a moderadamente ondulado
20-47	Relevo forte a montanhoso escarpado
> 47	Relevo montanhoso

Fonte: EMPRAPA (1999).

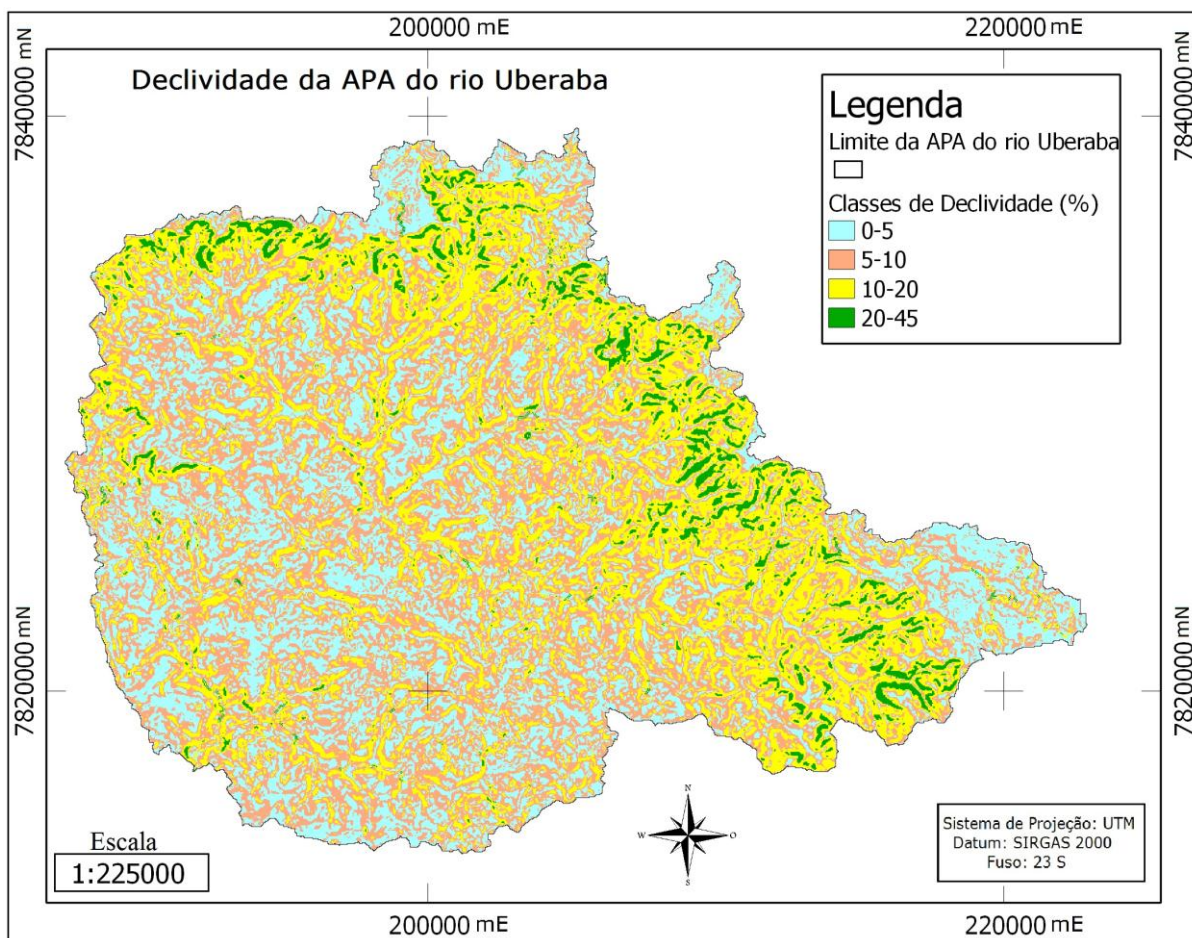


Figura 6. Mapa de declividade do terreno na APA da bacia do rio Uberaba.

O mapa de uso e ocupação do solo (Figura 7) foi elaborado utilizando a classificação supervisionada de imagem com uso da ferramenta “Maxlike” do SIG. Foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8 do Sensor “OLI-TIRS” coletada junto ao Serviço Geológico dos Estados Unidos datada de 06 de fevereiro de 2014, com resolução espectral de 30 metros. Foram utilizados para a composição colorida as bandas 4 (R), 3 (G) e 2 (B) na qual estas cenas foram recortadas individualmente no SIG. Na sequência elaborou-se a composição RGB da imagem Landsat 8 com a utilização da ferramenta “Composite”. Foram classificadas quanto ao uso do solo as seguintes coberturas vegetais: Pastagem, Florestas e Culturas anuais.

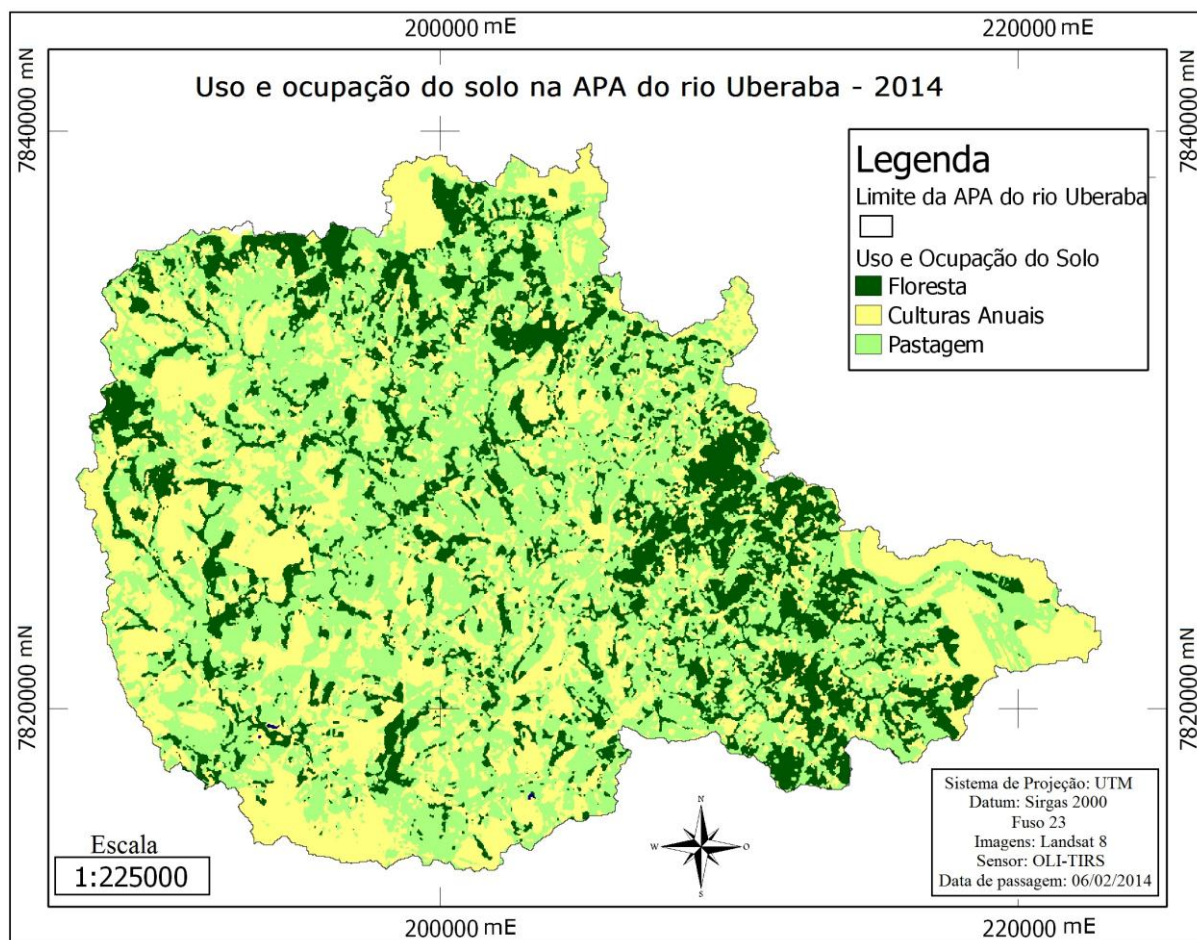


Figura 7. Mapa de uso e ocupação do solo da APA da bacia do rio Uberaba (2014).

O mapa de classes de solo foi gerado a partir do recorte no banco de dados de solos do Estado de Minas Gerais disponibilizado pela UFV et al. (2010), ilustrado na figura 8.

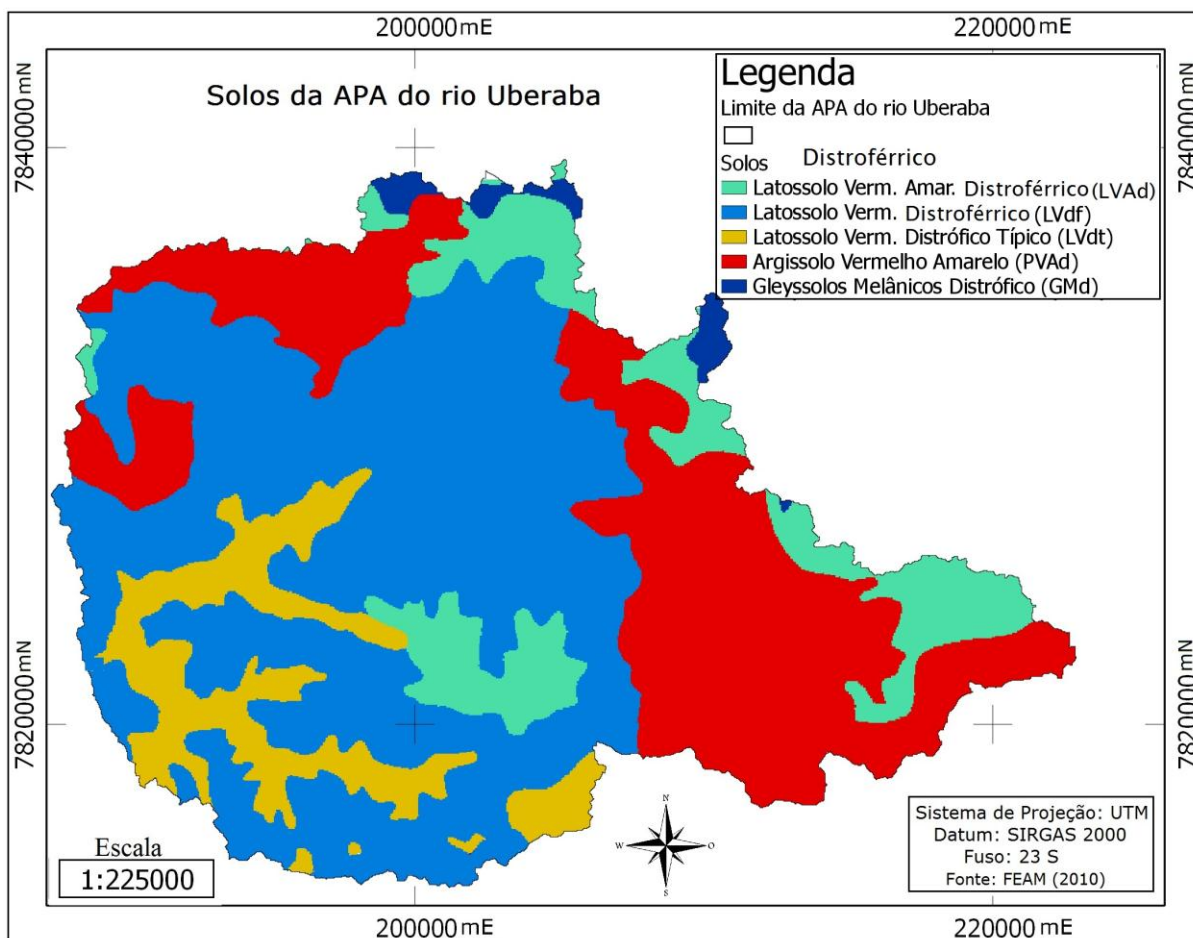


Figura 8. Mapa de classes de solo da APA da bacia do rio Uberaba.

Os mapas gerados nesta pesquisa adotam o sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM); fuso 23; datum planimétrico SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas).

3.2.2 Padronização digital

A padronização digital dos critérios analisados seguiu um intervalo em nível de byte (0 a 255), atribuindo o nível 0 menor importância e 255 maior importância. A construção da regra de decisão foi executada por meio das funções de pertinência ao conjunto “fuzzy”. O declive, a densidade de drenagem, a distância dos cursos d’água, classes de solo e o uso e ocupação do solo foram analisados como mapas contínuos em formato “raster”.

3.2.3 Análise Sensitiva dos critérios e atribuição dos pesos

De posse dos critérios estruturados no banco de dados no SIG, foi realizada a análise sensitiva destes critérios, que consistiu em levantamentos bibliográficos e discussões com equipe multidisciplinar a cerca da importância de cada fator no processo de vulnerabilidade dos recursos hídricos. Buscou-se nas discussões com a equipe as diferentes formas de interpretação e de atribuições de valores e importância nos diferentes critérios utilizados neste estudos (Tabela 3).

Os valores de importância utilizados neste estudo também foram observados em pesquisas desenvolvidas por Abbaspour et al (2011), Pinto (2010) e Valle Junior (2014), relacionadas com a vulnerabilidade ambiental.

Tabela 3. Critérios identificados para o estudo de vulnerabilidade ambiental

CRITÉRIOS (FATORES)	ATRIBUÍDOS	VALORES
Densidade de drenagem (Km/Km ²)	Muito Baixa	5
	Baixa	25
	Media	75
	Alta	125
	Muita alta	255
Distância das linhas d'água (m)	Distância (30 m)	255
	Distância (50m)	175
	Distância (100 m)	115
	Distância (150 m)	75
	Distância (200 m)	50
Declividade do terreno (%)	Declive (0 a 5%)	25
	Declive (5 a 10%)	75
	Declive (10 a 20%)	125
	Declive (20 a 47%)	175
	Declive (> 47%)	255
Classe de solos	Latossolos	100
	Argissolos	200
	Gleyssolos	255
Uso e ocupação do solo	Fragmentos Florestais	255
	Pastagem	125
	Culturas Anuais	75

Em função da utilização de vários fatores para análise de superfície de vulnerabilidade dos recursos hídricos e considerando que estes têm pesos

diferenciados no processo de decisão foi estabelecido a rotina de pesos “*WEIGHT*” do método WLC do Idrisi, que consiste de uma ponderação das variáveis, de acordo com seu grau de importância relativa sobre a decisão. Por meio de uma técnica de comparação pareada, desenvolvida por Saaty (1980), no contexto de um processo de tomada de decisão conhecido como processo de hierarquia analítica “Analytic Hierarchy Process” AHP, que consiste na categorização do problema em níveis hierárquicos lineares de importância em relação a cada fator ambiental (Tabela 4).

Tabela 4. Escala de comparadores com os respectivos pesos de importância – Escala fundamental de Saaty, (1980).

Valores	Importância mútua
1/9	Extremamente menos importante que
1/7	Muito fortemente menos importante que
1/5	Fortemente menos importante que
1/3	Moderadamente menos importante que
1	Igualmente importante a
3	Moderadamente menos importante que
5	Fortemente mais importante que
7	Muito fortemente mais importante que
9	Extremamente mais importante que

Fonte: Saaty (1980).

Com base na escala de comparadores no Idrisi foram adotados 3 (três) cenários de fatores de ponderação diferentes, atribuindo maior valor de importância para o critério declividade do terreno (cenário 1), densidade de drenagem (cenário 2) e classe de solo no cenário 3 (Tabela 5). Tal procedimento foi utilizado para comparar e identificar, após a atribuição dos pesos nos diferentes cenários, qual(ais) critérios indica(am) as áreas de vulnerabilidade dos recursos hídricos.

A rotina de pesos do Idrisi, uma vez atribuídos os valores de importância, determinou os pesos estatísticos para cada fator (Tabela 5) e calculou o índice de consistência. A consistência indica a probabilidade dos pontos da matriz a serem gerados de forma aleatória devendo ser menor que 0,1 para o modelo ser considerado aceitável (EASTMAN,2012).

A AHP foi implementada pelo módulo de peso do software Idrisi Selva. Para este conjunto de peso dos fatores, o índice de consistência calculado foi de 0,07 no

cenário 1, 0,07 no cenário 2 e de 0,04 no cenário 3 considerado aceitável para todos os cenários adotados.

Tabela 5. Matriz de comparação pareada que faz parte do processo de hierarquia analítica - AHP (Saaty, 1980).

	Distância dos cursos d'água	Uso do solo	Classe de solo	Declividade do terreno	Densidade de Drenagem	Peso
(a) Cenário 1 - Maximizando a importância do fator "Declividade do Terreno"						
Distância dos cursos d'água	1	1/3	1/3	1/5	1	0,0729
Uso do solo	3	1	1/3	1/3	1/5	0,1906
Classe de solo	3	3	1	1/3	1/3	0,3162
Declividade do terreno	5	3	1	1	1/3	0,3436
Densidade de Drenagem	1	1/5	1/3	1/3	1	0,0767
(b) Cenário 2 - Maximizando a importância do fator "Densidade de drenagem"						
Distância dos cursos d'água	1	1/3	1	1/3	1/5	0,0837
Uso do solo	3	1	1/3	1	1/3	0,1402
Classe de solo	1	1	1	1/3	1	0,1467
Declividade do terreno	3	3	3	1	1/3	0,3265
Densidade de Drenagem	5	3	1	1	1	0,3029
(c) Cenário 3 - Maximizando a importância do fator "Classe de Solo"						
Distância dos cursos d'água	1	1/3	1/5	1	1	0,0863
Uso do solo	3	1	1/3	1/5	1	0,2702
Classe de solo	5	3	1	1/3	1/5	0,4658
Declividade do terreno	1	1/3	1/5	1	1/3	0,0863
Densidade de Drenagem	1	1/5	1/3	1	1	0,0913

A aplicação do processo de hierarquia analítica - AHP no SIG Idrisi Selva, resultou em pesos dos fatores de 0,0729, 0,1906, 0,3162, 0,3436 e 0,0767 atribuídos ao cenário 1 - declividade do terreno; e fatores: distância do curso de água, uso e ocupação do solo, classe de solos, declividade do terreno e densidade de drenagem, respectivamente.

Por este conjunto de pesos, foi calculada a razão de consistência de 0,07, ou 7%, que é um indicativo de uma escolha plausível de códigos que descrevem os fatores importantes relativos no controle da erosão, transporte de sedimentos e contaminantes.

No cenário 2, no qual se maximizou a importância do fator densidade de drenagem, os pesos dos fatores mudaram para 0,0837 (distância dos cursos de água), 0,1402 (uso e ocupação dos solos), 0,1467 (classe de solos), 0,3265 (declive do terreno) e 0,3029 para densidade de drenagem; sendo a relação de consistência de 7% .

No cenário 3, no qual se maximizou a importância do fator classe de solo, os pesos de fatores foram 0,0863 (distância dos cursos de água), 0,2702 (uso e ocupação dos solos), 0,4658 (classe de solos), 0,0863 (declive do terreno) e 0,0913 para densidade de drenagem; sendo a relação de consistência de 4%. Desta forma ao se acrescentar o fator densidade de drenagem o índice de consistência permaneceu o mesmo.

3.2.4 Agregação

Os dados foram agregados na combinação linear ponderada (WLC) ("Weighted Linear Combination") do Idrisi, considerando seus respectivos pesos resultando em um mapa de 0 a 255. Foi necessário combinar os dados, para alcançar o mapa geral de vulnerabilidade. Neste caso, uma combinação linear ponderada foi usada, que combinou os critérios e os mapas de restrição de acordo com a seguinte fórmula:

$$S = \sum_{i=1}^p w_i X_i \prod_{j=1}^q Y_j \quad (2)$$

Em que S representa a vulnerabilidade para o pixel , W_i representa o peso do fator i , X_i representa a pontuação critério do fator i , Y_j representa a pontuação critério de restrição e Π é o símbolo do produto.

Os fatores foram combinados na aplicação de pesos seguindo adequação calculada a partir dos fatores pelo produto das restrições. O mapa foi reclassificado (Tabela 6) em cinco classes de vulnerabilidade dos recursos hídricos: Invulnerável, Moderadamente Vulnerável, Vulnerável, Fortemente Vulnerável e Extremamente Vulnerável e suas respectivas áreas foram espacializadas e calculadas.

Tabela 6. Intervalo definidos para classificação de grau de vulnerabilidade.

Classes de Risco	Intervalo das Classes
Invulnerável	0 - 50
Moderadamente Vulnerável	50 - 100
Vulnerável	100 - 150
Fortemente Vulnerável	150 - 200
Extremamente Vulnerável	200 - 255

3.3 Definição das áreas de influência das rodovias na APA

Foi definida como possível área de influência direta de risco de derramamento de contaminantes e produtos perigosos junto as rodovias que interceptam a APA uma faixa contínua dos 35,098 km das rodovias que estão inseridas na APA. Foi aplicado no SIG o “Buffer” do entorno das rodovias de 200 metros em cada margem da rodovia totalizando uma área de 12,475 km².

Após a geração dos mapas das áreas de influência para os diferentes cenários procedeu a operação de mapas no SIG entre vulnerabilidade e “buffer” possibilitando calcular as áreas das classes: vulnerável, fortemente vulnerável e extremamente vulnerável. De forma supervisionada procedeu-se a vetorização no formato de linha quanto a predominância da classe ao longo do mapa de influência nos diferentes cenários, possibilitando estimar o comprimento máximo de cada classe de vulnerabilidade ao longo da rodovia.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 A vulnerabilidade ambiental na APA da bacia do rio Uberaba

O mapa de vulnerabilidade ambiental dos recursos hídricos estão ilustrados nos Apêndices 1, 2 e 3 com os valores de vulnerabilidade ambiental descritos na Tabela 7.

No Apêndice 1, em que se maximizou a importância do fator declividade do terreno, 1,7% da APA (8,535 km²) apresentou-se extremamente vulnerável e para este cenário não houve áreas classificadas como invulneráveis. Já nas classes intermediárias, tem-se as seguintes classificações: fortemente vulnerável – 14,4% (75,119 km²), vulnerável – 51,3% (267,164 km²), moderadamente vulneráveis – 32,6% (169,711 km²). Como as áreas de alta vulnerabilidade (classes extremamente vulnerável, fortemente vulnerável e vulnerável) ocupam a maior parte (67,7%) da APA, existe um elevado risco potencial para a contaminação dos recursos hídricos em caso de acidentes com produtos perigosos.

No cenário 2, no qual se maximizou a importância do fator densidade de drenagem (Apêndice 2), a área tida como de alta vulnerabilidade diminui onde as áreas classificadas como de alta vulnerabilidade estão ocupando apenas 0,7% da APA. Desta forma, a causa desta eventual queda é gerada pelos baixos valores de densidade de drenagem calculados na modelagem.

No cenário 3 (Apêndice 3) no qual se maximizou a importância do fator classe de solo, representa o potencial de alto risco de contaminação dos recursos hídricos, pois, as classes de fortemente e extremamente vulnerável ocupam uma parcela de (16,39%, 7,12%) da APA e da classe vulnerável (49,89%) totalizam 73,4%. A causa mais plausível para este fato é a ocupação das áreas por Gleissolos, Argissolos e Latossolos na APA que foram classificados com uma nota muito alta de byte até (255).

Tabela 7. Áreas de vulnerabilidade ambiental na APA do rio Uberaba nos diferentes cenários.

Classes de Risco	Área (km ²)	Percentual da área (%)
(a) Cenário 1 - Maximizando a importância do fator “Declividade do Terreno”		
Invulnerável	0,00	0
Moderadamente Vulnerável	169,711	32,6
Vulnerável	267,164	51,3
Fortemente Vulnerável	75,119	14,4
Extremamente Vulnerável	8,535	1,7
Total	520, 529	100
(b) Cenário 2 - Maximizando a importância do fator “Densidade de drenagem”		
Invulnerável	10,820	2,1
Moderadamente Vulnerável	329,065	63,2
Vulnerável	177,081	34,0
Fortemente Vulnerável	3,563	0,7
Extremamente Vulnerável	0,00	0,0
Total	520, 529	100
(c) Cenário 3 - Maximizando a importância do fator “Classe de Solo”		
Invulnerável	0,00	0
Moderadamente Vulnerável	138,438	26,6
Vulnerável	259,690	49,9
Fortemente Vulnerável	85,340	16,4
Extremamente Vulnerável	37,061	7,1
Total	520, 529	100

4.2 A vulnerabilidade ambiental na área de influência das rodovias na APA da bacia do rio Uberaba e possíveis ações preventivas

Com a influência determinada de 200 metros em cada margem das rodovias inseridas na APA a vulnerabilidade das rodovias estão ilustradas nos Apêndices 4, 5 e 6 e suas respectivas áreas ocupadas descritas na tabela 8. A vulnerabilidade das rodovias com a maximização do fator declividade (cenário 1) (Apêndice 4) e a do fator classe de solo (cenário 3) (Apêndice 6) mostrou a predominância, de modo geral, de áreas de vulnerabilidade (classes: vulnerável, fortemente vulnerável e extremamente vulnerável) em 58,1% e 62,7% respectivamente com relação ao cenário 2 (Apêndice 5).

Contudo, ao se medir os comprimentos totais predominantes de rodovias situadas nas classes: vulnerável, fortemente vulnerável e extremamente vulnerável para os cenários 1 (14,75; 5,09; 0,00; km); 2 (6,49; 0,00; 0,00 km) e 3 (19,39; 6,34; 0,97 km), respectivamente, o cenário no qual se maximizou a classes de solos e declividade do terreno resultou em áreas de maior vulnerabilidade.

Tabela 8. Áreas de vulnerabilidade ambiental na área de influência das rodovias inseridas na APA da bacia do rio Uberaba nos diferentes cenários.

Classes de Risco	Área (km ²)	Percentual da área (%)
(a) Cenário 1 - Maximizando a importância do fator “Declividade do Terreno”		
Invulnerável	0,00	0
Moderadamente Vulnerável	5,235	41,9
Vulnerável	5,974	47,9
Fortemente Vulnerável	1,198	9,6
Extremamente Vulnerável	0,068	0,6
Total	12,475	100
(b) Cenário 2 - Maximizando a importância do fator “Densidade de drenagem”		
Invulnerável	0,377	3,0
Moderadamente Vulnerável	8,900	71,4
Vulnerável	3,155	25,3
Fortemente Vulnerável	0,043	0,3
Extremamente Vulnerável	0	0
Total	12,475	100
(c) Cenário 3 - Maximizando a importância do fator “Classe de Solo”		
Invulnerável	0,00	0
Moderadamente Vulnerável	4,652	37,3
Vulnerável	5,615	45,0
Fortemente Vulnerável	1,858	14,9
Extremamente Vulnerável	0,350	2,8
Total	12,475	100

Com este estudo foi possível determinar na APA do rio Uberaba a vulnerabilidade dos recursos hídricos e das rodovias que interceptam a APA. Assim, em caso de acidentes com transporte de produtos perigosos é possível verificar se o local de acidente está em área de maior vulnerabilidade, isto é, se a condição que a área se encontra é de maior risco ou não. Neste fato, denota-se a importância de que, se for uma área de alto risco deve-se já interceptar o recurso hídrico e verificar

sua qualidade por um monitoramento contínuo, uma vez que as águas irão abastecer áreas urbanas e podem estar contaminada.

De acordo com os parâmetros físicos e morfométricos da bacia hidrográfica e com a utilização do Sistema de Informação Geográfica-SIG foi possível avaliar de forma conjunta os diferentes planos de informação de cada fator que interfere na possibilidade de verificar as áreas mais vulneráveis.

Por se tratar de uma Unidade de Conservação, a Área de Proteção Ambiental, cuja as atividades devem ser de uso sustentável e ainda por seus recursos hídricos (curso principal do rio Uberaba) serem os que abastecem a população de Uberaba, há a necessidade de estudos que busquem avaliar a qualidade ambiental dos recursos naturais existentes, bem como, propor medidas de preservação e conservação.

Como os recursos solo e água são, no caso de acidentes com produtos perigosos, os mais impactados, torna-se necessário a adoção de medidas preventivas e corretivas nas regiões vulneráveis. Portanto, algumas técnicas de prevenção e infraestrutura de rodovias podem e devem ser implementadas nestas áreas, tais como: placas de sinalização de advertência, radares e controladores de velocidade, faixas adicionais de tráfego exclusivo de caminhões e carretas, muretas de proteção ou guardrail, manutenção periódica da rodovia, sistema de drenagem dentre outras medidas.

A vulnerabilidade ambiental ocorre na área estudada, o que indica o risco de degradação do ambiente natural, relacionada à erosão do solo, perda de biodiversidade, contaminação dos recursos solo e água e perda da cobertura vegetal agravada pelas rodovias e mau uso do solo.

5 CONCLUSÃO

Os aspectos morfométricos e físicos da bacia hidrográfica indicam áreas de vulnerabilidade ambiental.

Os fatores que indicam a vulnerabilidade ambiental são: declividade do terreno e classe de solo.

O diagnóstico da vulnerabilidade ambiental nas áreas de influência das rodovias reflete em áreas vulneráveis e fortemente vulneráveis, respectivamente nos comprimentos de 14,75 e 5,09 km em função da declividade do terreno. Em áreas vulneráveis, fortemente vulneráveis e extremamente vulneráveis respectivamente em 19,39; 6,34; 0,97 km em função da classe de solo.

6 REFERÊNCIAS

ABBASPOUR, M.; MAHIN, A. S.; ARJMANDY, R.; NAIMI, B.; Integrated approach for land use suitability analysis. **International Agrophysics**, v. 25, p. 311-318, 2011. Disponível em: <<http://www.old.international-agrophysics.org/en/issues.html?stan=detail&vol=25&numer=4&paper=946&i=1>>. Acesso em: 24 jul. 2014.

ABDALA, V. L. **Diagnóstico hídrico do rio Uberaba – MG como subsídio para a gestão das áreas de conflito ambiental**. 2012. 64 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2012.

AKINCI, H.; ÖZALP, A.Y.; TURGUT, B. Agricultural land use suitability analysis using GIS and AHP technique. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 97, p. 71–82, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2013.07.006>>.

BANAI, R. (1993) Fuzziness in Geographical Information Systems: Contribution from the Analytic Hierarchy Process. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 7, n. 4, p. 315-329, 1993. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/02693799308901964>>.

BRASIL, Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília, DF. 2000. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9985.htm<. Acesso em: 20 de outubro de 2014.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Vulnerabilidade Ambiental**. Brasília, 192 p. 2007.

BOTTERO, M.; COMINO, E.; DURIAVIG, M.; FERRETTI, V.; POMARICO, S. The application of a Multicriteria Spatial Decision Support System (MCSDSS) for the assessment of biodiversity conservation in the Province of Varese (Italy). **Land Use Policy**, v. 30, p. 730-738, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.05.015>>.

CALIZAYA, A.; MEIXNER, O.; BENGTSSON, L.; BERNDTSSON, R. Multi-criteria Decision Analysis (MCDA) for Integrated Water Resources Management (IWRM) in the Lake Poopo Basin, Bolivia. **Water Resources Management**, v. 24, p. 2267-2289, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11269-009-9551-x>>.

CARDOSO, C.A.; DIAS, H.C.T.; SOARES, C.P.B.; MARTINS, S.V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista. Árvore**, v.30, n.2, Viçosa, 2006.

CHEN, Y.; PAYDAR, Z. Evaluation of potential irrigation expansion using a spatial fuzzy multi-criteria decision framework. **Environmental Modelling & Software**, v. 38, p. 147–157, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2012.05.010>>.

CHRISTOFOLETT, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfológica**, v. 18, n. 9, p. 35-64, 1969.

CHISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blüchler, 1980. 2 ed. 149p.

CRUZ, L. B. S. **Diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica do rio Uberaba - MG**. 2003. 182 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

DRAGINCIC, J.; KORACB, N.; BLAGOJEVICA, B. Group multi-criteria decision making (GMCDM) approach for selecting the most suitable table grape variety intended for organic viticulture. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 111, p. 194–202, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2014.12.023>>.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. Rio de Janeiro, 2 ed . 2006. 306 p.

EASTMAN, J.R. **IDRISI para Windows**. Introdução aos exercícios tutoriais. Versão 2. Tradução: Heinrich Hasenack e Eliseu Weber. Porto Alegre, UFRGS – Centro de Recursos IDRISI. 1998.

EASTMAN, J.R. **IDRISI Selva Manual**. Worcester, MA: Clark Labs, Clark University. 322 f. 2012. Disponível em: <<http://clarklabs.org/products/spanish-manual.cfm>>. Acesso em: 15 jan. 2014.

FERREIRA, C. E. G. **Sistema de Suporte à decisão espacial aplicado à análise da vulnerabilidade dos recursos hídricos na bacia Guapi-Macacu / RJ**. 2012. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Computação) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

Universidade Federal de Viçosa - UFV. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais; Universidade Federal de Lavras; Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2010. p. 35-49.

GARFI, M.; FERRER-MARTÍ, L.; BONOLI, A.; TONDELLI, S. Multi-criteria analysis for improving strategic environmental assessment of water programmes. A case study in semi-arid region of Brazil, **Journal of Environmental Management**, v. 92, p. 665-675, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.10.007>>.

HORTON, R. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of American Bulletin**. New York, v. 56. p. 807-813, 1945.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Cartas Topográficas**. Folha SE 23-Y-C-IV (Uberaba). Brasília: IBGE, 1974. (Escala: 1:100.000). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 14 jun. 2014.

JIANG, H.; EASTMAN, J. R. Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS, **International Journal of Geographical Information Systems**, v. 14, n. 2, p. 173–184, .2000. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/136588100240903>>.

KAYA, T.; KAHRAMAN, C. Fuzzy multiple criteria forestry decision making based on an integrated VIKOR and AHP approach. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 6, p. 7326-7333, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2010.12.003>>.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

LIMA, W. P. **Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas**. São Paulo:ESALQ, 1986. 242 p.

LIMA, L. A de; SILVA JR., G. C. da; MENEZES, J. M; SEABRA, V. da S. Favorabilidade de Aquíferos Fraturados, Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos – Estado do Rio de Janeiro. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 32, n2. Rio de Janeiro: UFRJ, 2009. p. 51-61. Disponível em: <http://www.anuario.igeo.ufrj.br/2009_2/anuario_2009_v32_2_sumario.htm>. Acesso em 13 de julho de 2015.

MACHARIS, C.; TURCK SIN, L.; LEBEAU, K. Multi actor multi criteria analysis (MAMCA) as a tool to support sustainable decisions: State of use. **Decision Support Systems**, v. 54, p. 610–620, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dss.2012.08.008>>.

MALCZEWSKI, J. **GIS and Multicriteria Decision Analysis**, John Wiley and Sons, New York, p. 392, 1999. Disponível em: < http://books.google.pt/books?id=2Zd54x4_2Z8C&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false>.

MARTIN-ORTEGA, J.; BERBEL, J. Using multi-criteria analysis to explore non-market monetary values of water quality changes in the context of the Water Framework Directive. **Science of the Total Environment**, v. 408, n. 19, p.3990–3997, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.03.048>>.

MOTTA, L. H. S. O; Valladares, G. S. Vulnerabilidade à degradação dos solos da Bacia do Acaraú, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 39-50, 2011. Disponível em: <<http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/view/1041/533>>.

MUSA, K. A; Akhir, J. M. ABDULLAH, I. Groundwater Prediction Potential Zone in Langat Basin using the Integration of Remote Sensing and GIS. In: XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. **Anais...** Natal: ABAS, 2008.

NISHIYAMA, L. Geologia do Município de Uberlândia e áreas adjacentes. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v. 1, n.1. p. 9 – 15, 1989.

NISHIYAMA, L. **Procedimentos de mapeamento geotécnico como base para análises e avaliações ambientais do meio físico, em escala 1:100.000: aplicação no município de Uberlândia - MG**. 1998. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 1998.

OLIVEIRA, J. B. **Pedologia aplicada**. 2.ed. Piracicaba: FEALQ, 2005. 574 p.

PRADO, R. B. **Geotecnologias aplicadas à análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra e qualidade da água de Barra Bonita, SP, como suporte à gestão de recursos hídricos**. 2004. 172 f. Tese (Doutorado em ciências das Engenharia Ambiental). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004. Disponível em <<http://www.teses.usp.br>>. Acesso em 21 de outubro de 2014.

PINTO, R. C. Verificação de aptidão de áreas selecionadas para instalação de parque de lazer no Município de Paranaguá–PR utilizando-se de sistemas de informações geográficas. Geoingá: **Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia**, v. 2, n. 1, p. 83-104, 2010. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/Geoinga/article/view/14964/8398>>. Acesso em 07 jul. 2014.

PISSARRA, T. C. T. **Análise da Bacia Hidrográfica do Córrego Rico na sub-região de Jaboticabal, SP: Comparação entre imagens TM-LANDSAT 5 e Fotografias aéreas verticais**. 2002. 136 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

PISSARRA, T. C. T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A. S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do córrego Rico, Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 297-305, 2004. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000200008>>.

ROCHA, J. S. M. **Avaliação quantitativa da capacidade de uso da terra do estado do Rio Grande do Sul**. 1977. 169 f. Tese (Livre Docência) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1977.

ROCHA, J. S. M. **Manual de projetos ambientais**. Santa Maria: UFSM, 1997. 423p.

SAATY, T. L. The Analytic Hierarchy Process. Planning, Priority Setting, Resource Allocation. McGraw-Hill, USA, 1980.

SANTOS, A. F. dos. **Morfometria da microbacia hidrográfica do Ribeirão Faxinal Botucatu – SP e alterações em suas áreas de biomassa no período de 1972 a 2000**. 2004. 59 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2004.

SENER, E; DAVRAZ, A.; OZCELIK, M. An Integration of GIS and remote sensing in groundwater investigations: A case study in Burdur, Turkey. **Hydrogeology Journal**, 2005, p. 826-834. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/content/c3ha1w4225f91qrj>>. Acesso em 16 de janeiro de 2015.

SOUZA, A.L.N.; FERNANDES, V.H.; CARVALHO, L.G.; ANTUNES, M.A.H. Ferramentas de geoprocessamento para estudos de potencial hidrogeológico. In: XXI Congresso Brasileiro de Cartografia, SBC, Belo Horizonte, 2003. **Anais...** Belo Horizonte, 2003.

SOUZA, T.A.R.; HISSA, L.B.V.; MICHEL, R.F.M; MORAIS A.M.L. Análise de Multicritério aplicada ao diagnóstico do risco ambiental do transporte rodoviário de produtos perigosos: um estudo de caso sobre a BR-381. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal. **Anais eletrônicos...** INPE. Natal, RN, 2009. Disponível em: < <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.18.01.02/doc/4465-4472.pdf>>. Acesso em 20 de junho de 2015.

VALLE JUNIOR, R. F. **Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba**. 2008. 222 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2008.

VALLE JUNIOR, R. F.; GALBIATTI, J.A.; MARTINS FILHO, M. V. ; PISSARRA, T. C. T. Potencial de erosão da bacia do Rio Uberaba. **Engenharia Agrícola** (Impresso, v. 30, p. 897-908, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s0100-69162010000500012>>.

VALLE JUNIOR, R.F.; VARANDAS, S.G.P.; SANCHES FERNANDES, L.F.; PACHECO, F.A.L. Environmental land use conflicts: a threat to soil conservation. **Land Use Policy**, v. 41, p.172–185, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.05.012>>.

VALLE JUNIOR, R.F.; VARANDAS, S.G.P.; SANCHES FERNANDES, L.F.; PACHECO, F.A.L. Multi Criteria Analysis for the monitoring of aquifer vulnerability: A scientific tool in environmental policy. **Environmental Science & Policy**, v. 48, p. 250-264, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2015.01.010>>.

VELDKAMP, A.; LAMBIN, E.F. Predicting land-use change, Agriculture, **Ecosystems & Environment**, v. 85, p. 1-6, 2001. Disponível em: < [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00199-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00199-2)>.

VIEIRA, C. A. O. **Accuracy of remotely sensing classification of agricultural crops: a comparative study**. p 327. Thesis (Doctor of Philosophy in Physical Geography) - University of Nottingham, Nottingham. 2000.

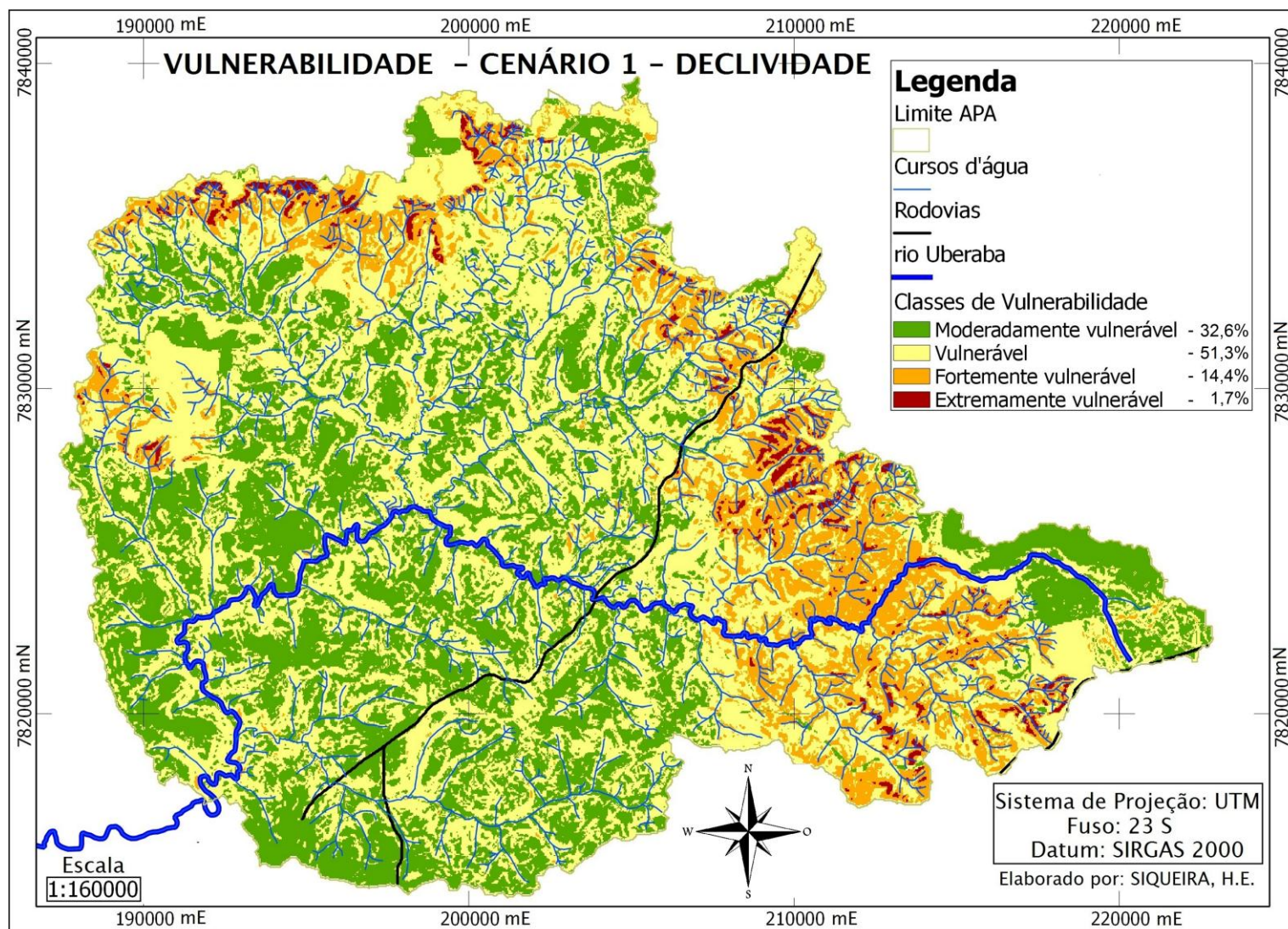
VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil. 245p, 1975.

YU, J.; CHEN, Y.; WU, J. P. Cellular Automata and GIS based landuse suitability simulation for irrigated agriculture. In: 18th World IMACS/MODSIM Congress, Cairns, Australia, p. 7, 2009. Disponível em: <http://metronu.ulb.ac.be/ imacs/ cairns/I8/yu_j.pdf>.

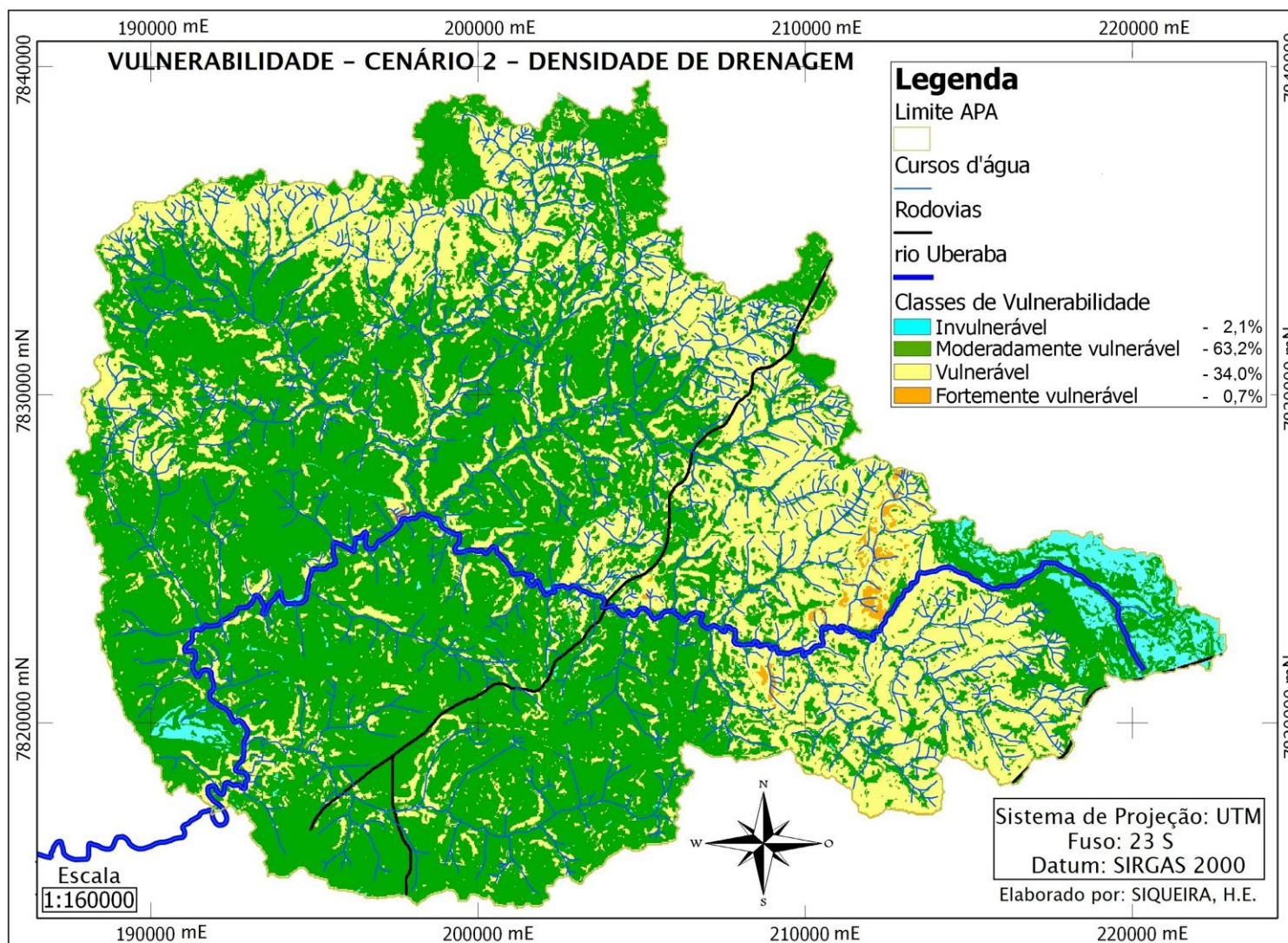
ZADEH L.A Fuzzy sets. **Inf. Control**, v.8, p. 338-353,1965. Disponível em: <<http://www.cs.berkeley.edu/~zadeh/papers/Fuzzy%20SetsInformation%20and%20Control-1965.pdf>>.

ZHANG, J.; WANG, K.; CHEN, X.; ZHU, W. Combining a Fuzzy Matter-Element Model with a Geographic Information System in Eco-Environmental Sensitivity and Distribution of Land Use Planning. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, v8, p. 1206-1221, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/ijerph8041206>>.

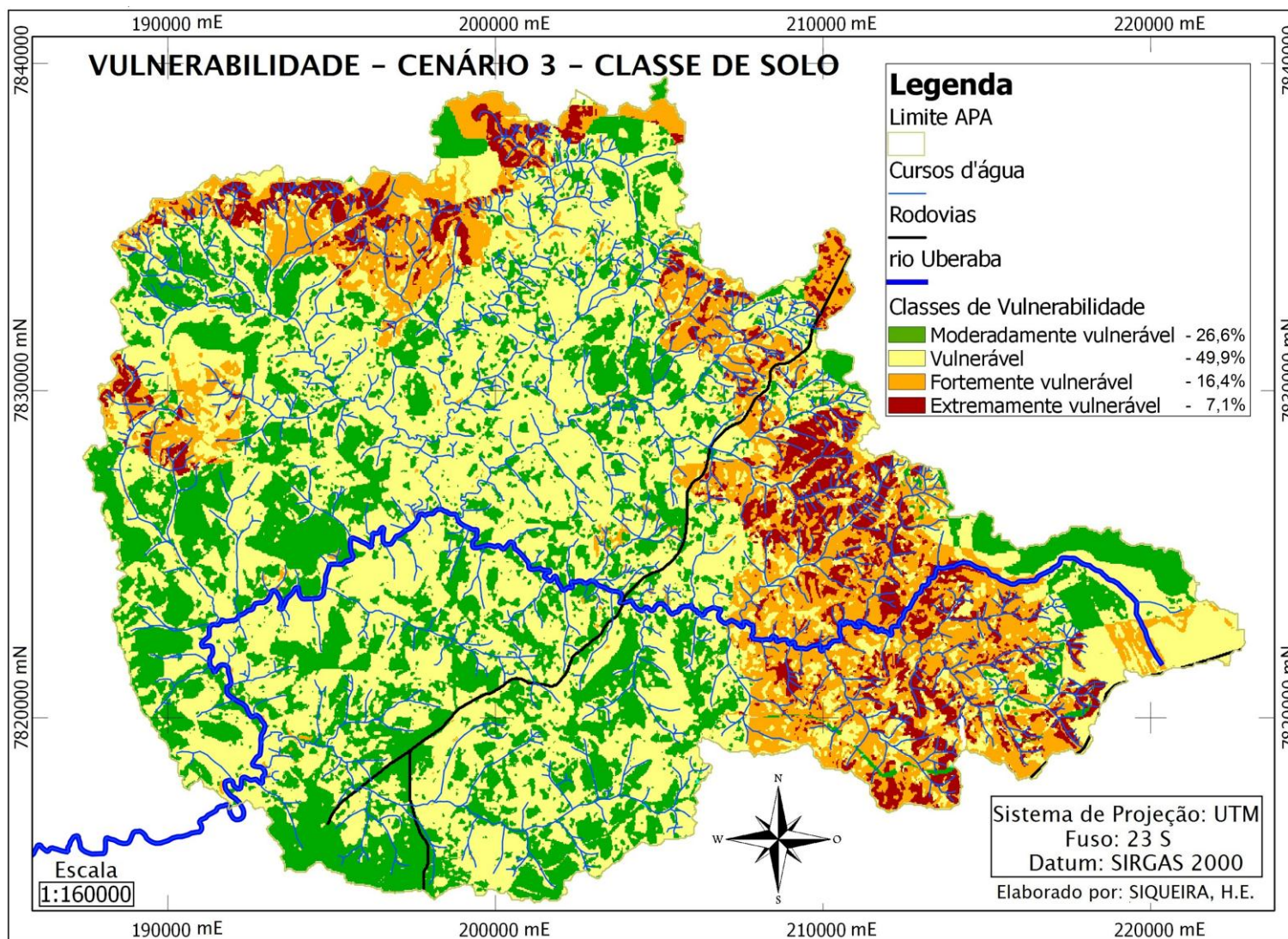
APÊNDICES



Apêndice 1: Mapa de Vulnerabilidade dos recursos hídricos na APA do rio Uberaba – Cenário 1.

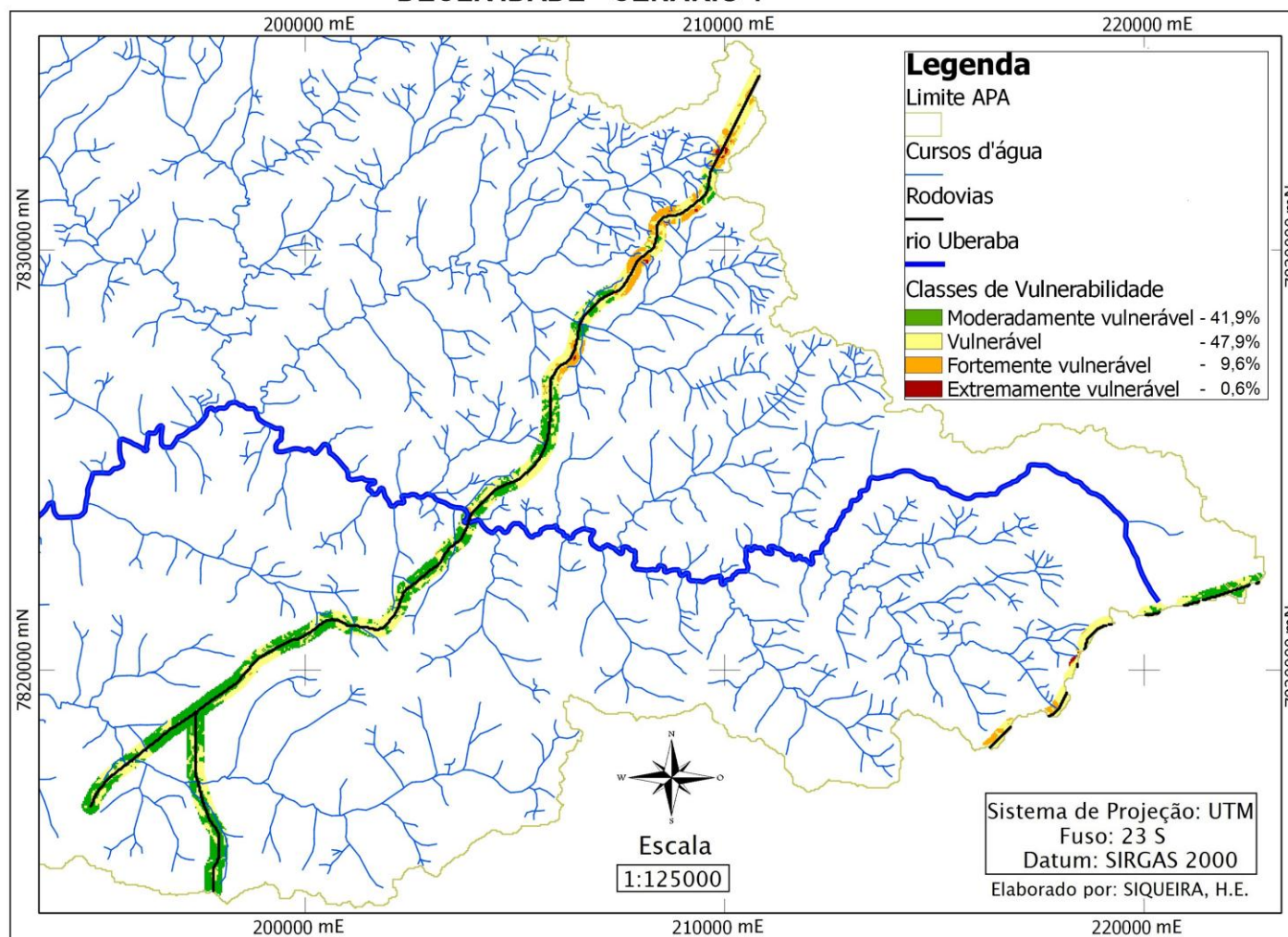


Apêndice 2: Mapa de Vulnerabilidade dos recursos hídricos na APA do rio Uberaba – Cenário 2.



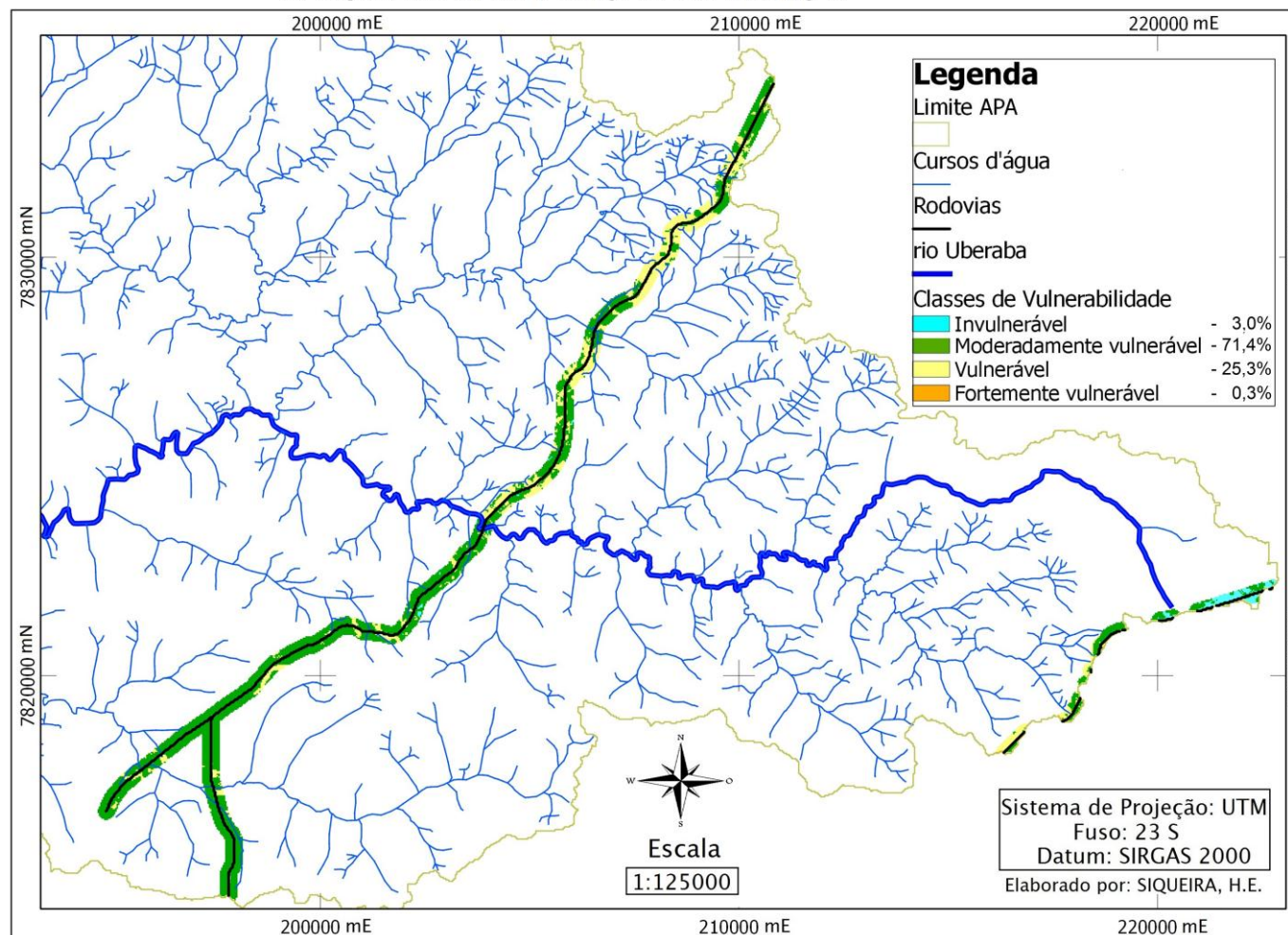
Apêndice 3: Mapa de Vulnerabilidade dos recursos hídricos na APA do rio Uberaba – Cenário 3.

VULNERABILIDADE NAS ÁREAS DE INFLUÊNCIA DAS RODOVIAS DECLIVIDADE - CENÁRIO 1



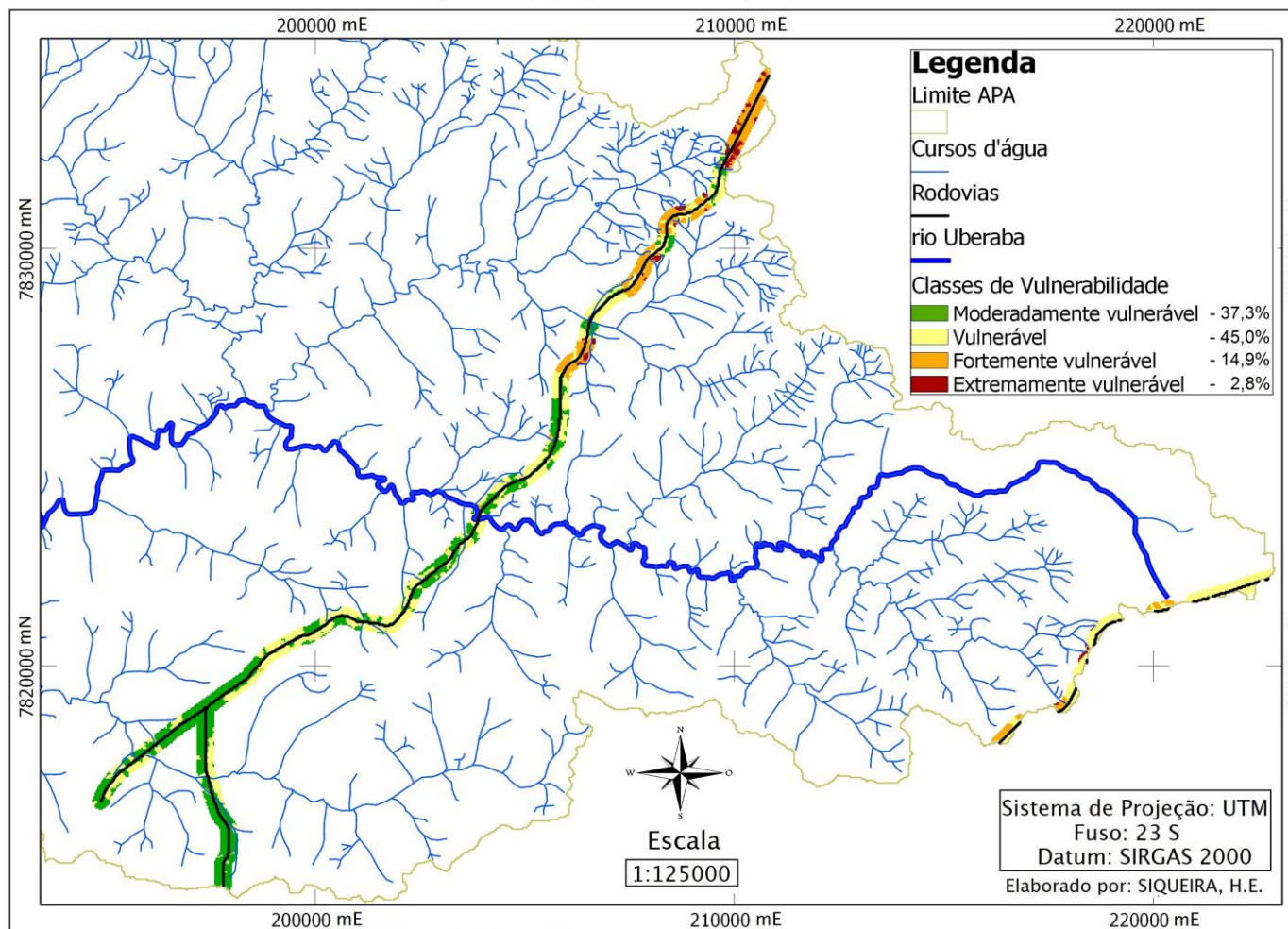
Apêndice 4: Mapa de Vulnerabilidade nas áreas de influência das rodovias na APA do rio Uberaba – Cenário 1.

VULNERABILIDADE NAS ÁREAS DE INFLUÊNCIA DAS RODOVIAS DENSIDADE DE DRENAGEM - CENÁRIO 2



Apêndice 5: Mapa de Vulnerabilidade nas áreas de influência das rodovias na APA do rio Uberaba – Cenário 2.

**VULNERABILIDADE NAS ÁREAS DE INFLUÊNCIA DAS RODOVIAS
CLASSE DE SOLO - CENÁRIO - 3**



Apêndice 6: Mapa de Vulnerabilidade nas áreas de influência das rodovias na APA do rio Uberaba – Cenário 3.