

**CONTRIBUIÇÕES PARA A GESTÃO DE BACIAS
HIDROGRÁFICAS A PARTIR DA ABORDAGEM
MULTICRITÉRIO PARA ANÁLISE DA FRAGILIDADE
AMBIENTAL A PROCESSOS EROSIVOS**

**CONTRIBUTIONS TO THE HYDROGRAPHIC BASIN MANAGEMENT
FROM THE MULTICRITERIY APPROACH TO ANALYSIS OF
ENVIRONMENTAL FRAGILITY TO EROSION PROCESSES**

**CONTRIBUCIONES AL MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL
ENFOQUE MULTICRITERIO PARA EL ANÁLISIS DE LA FRAGILIDAD
AMBIENTAL A LOS PROCESOS EROSIVOS**

Rita de Cássia Ferreira da Silva

Doutoranda em Ciências Ambientais pelo Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP/Câmpus de Sorocaba.
rita.silva@unesp.br / <http://orcid.org/0000-0002-5858-3072>

Jocy Ana Paixão de Sousa

Doutoranda em Ciências Ambientais pelo Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP/Câmpus de Sorocaba.
jocy.sousa@unesp.br / <http://orcid.org/0000-0003-0937-786X>

Bruna Henrique Sacramento

Doutoranda em Ciências Ambientais pelo Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP/Câmpus de Sorocaba.
bruna.sacramento@unesp.br / <http://orcid.org/0000-0003-3230-5944>

Amanda Trindade Amorim

Doutoranda em Geografia pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP/Câmpus de Presidente Prudente.
amanda.amorim@unesp.br / <http://orcid.org/0000-0002-7359-6859>

Hetiany Ferreira da Costa

Doutoranda em Ciências Ambientais pelo Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP/Câmpus de Sorocaba.
hetiany.costa@unesp.br / <http://orcid.org/0000-0002-5630-3655>

Roberto Wagner Lourenço

Doutor em Geociências e Meio Ambiente pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP) Professor Adjunto no Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP/Câmpus de Sorocaba.
roberto.lourenco@unesp.br / <http://orcid.org/0000-0002-5234-8944>

Recebido: 20/07/2021; Aceito: 09/12/2020; Publicado: 28/12/2022.

RESUMO

Uma das questões mais importantes na gestão de bacias hidrográficas está na integração de informações espaciais visando o entendimento das pressões antrópicas a que estão submetidas. Para tanto, o emprego de técnicas de Análise Hierárquica de Processos (AHP) por meio do uso de ferramentas dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) podem contribuir de forma significativa na proposta de desenvolvimento de políticas voltadas à conservação e preservação do meio ambiente, em especial das florestas como dos recursos hídricos. Assim, este artigo busca demonstrar a versatilidade e robustez na determinação de áreas prioritárias para proteção dos recursos naturais da Bacia Hidrográfica do Rio Una (BHRU), Ibiúna-SP, por meio de técnicas de análise espacial. Para o desenvolvimento do trabalho, foram utilizadas as informações referentes ao uso da terra, declividade do relevo, erosividade e erodibilidade do solo, tendo como instrumento de integração e análise a técnica multicriterial da AHP. Os resultados mostraram que a bacia hidrográfica apresentou 15% das áreas com alto grau de comprometimento e 38,6% grau, correspondendo a mais de 53,6% do total da área da bacia em condições consideradas não desejáveis. A maioria delas corresponde à presença de áreas antrópicas e agrícolas, os principais fatores impactantes da bacia. A partir dos resultados pode-se concluir que a aplicação da AHP foi bastante útil no desenvolvimento do trabalho e que os produtos gerados podem servir de orientação a gestores públicos em bacias hidrográficas com a adoção de políticas preventivas conservacionistas voltadas a gestão integrada de bacias hidrográficas.

Palavras-chave: AHP; Erosividade da chuva; Erodibilidade; Geotecnologias.

ABSTRACT

One of the most important issues in the management of watersheds is the integration of spatial information aimed at understanding the anthropic pressures to which they are subjected. To this end, the use of Hierarchical Process Analysis (AHP) techniques through the use of Geographic Information Systems (GIS) tools can contribute significantly to the proposal to develop policies aimed at the conservation and preservation of the environment, especially forests and water resources. Thus, this article seeks to demonstrate the versatility and robustness in determining priority areas to protect the natural resources of Una River Hydrographic Basin (Ibiúna - São Paulo - Brazil) through spatial analysis techniques. For the development of the work, information related to land use, relief slope, erosivity and soil erodibility were used, with the multicriterial technique of AHP as an instrument of integration and analysis. The results showed that the watershed presented 15% of the areas with a high degree of impairment and 38.6% degree, corresponding to more than 53.6% of the total basin area under conditions considered undesirable. Most of these areas correspond to the presence of anthropic and agricultural areas, the main impacting factors of the basin. From the results it can be concluded that the application of AHP was very useful in the development of work and that the products generated can serve as guidance to public managers in watersheds with the adoption of preventive conservation policies aimed at integrated management of river basins.

Keywords: AHP; Erosivity of rain; Erodibility; Geotechnologies.

RESUMEN

Uno de los temas más importantes en la gestión de cuencas es la integración de la información espacial destinada a comprender las presiones antrópicas a las que están sujetos. Por lo tanto, el uso de técnicas de Análisis de Procesos Jerárquicos (AHP) mediante el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) puede contribuir a la propuesta para el desarrollo de políticas de conservación y preservación del medio ambiente, especialmente los bosques como recursos hídricos. Por lo tanto, este artículo busca demostrar la versatilidad y robustez en la determinación de zonas prioritarias para proteger los recursos naturales de la cuenca hidrográfica del río Una (Ibiúna - São Paulo - Brasil) a través de técnicas de análisis espacial. Para el desarrollo, se utilizó información relacionada con el uso del suelo, la pendiente de relieve, la erosividad y la erosión del suelo, con la técnica multicriterio de AHP como instrumento de integración y análisis. Los resultados mostraron que la cuenca hidrográfica presentaba el 15% de las áreas con un alto grado de deterioro y el 38,6% de grado, correspondiente según más del 53,6% de la superficie total de la cuenca en condiciones consideradas indeseables. La mayoría de estas áreas corresponden a la

presencia de zonas antrópicas y agrícolas, los principales factores de impacto de la cuenca. A partir de los resultados se puede concluir que la aplicación de AHP fue muy útil en el desarrollo del trabajo y que los productos generados pueden servir de orientación a los gestores públicos en cuencas hidrográficas con la adopción de políticas preventivas conservacionistas centrados en la gestión integrada de las cuencas hidrográficas.

Palabras clave: AHP; Erosividad de la lluvia; Erodibilidad; Geotecnologías.

INTRODUÇÃO

Para a construção de políticas de gestão territorial em bacias hidrográficas, é necessária a utilização de técnicas que permitam uma análise integrada do meio ambiente. Uma das técnicas bastante conhecida e amplamente utilizada refere-se às técnicas de Análise Hierárquica de Processos (AHP) por meio do uso de ferramentas dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs). As mais importantes contribuições podem ser vistas no desenvolvimento da integração da informação espacial, o que normalmente possibilita avaliar o grau de pressão antrópica que determinadas áreas estão expostas (RIBEIRO; WERLANG, 2010).

Os estudos com essa temática têm como um de seus precursores Tricart (1977), o qual desenvolveu a Teoria das Unidades Ecodinâmicas, em que se baseia nos princípios básicos da troca de energia no meio natural, onde o homem é o principal agente desse processo. Para o autor, quando os ambientes estão em equilíbrio dinâmico, estes são estáveis do ponto de vista ecossistêmico e, quando se encontram em desequilíbrio, são instáveis.

A partir de Tricart (1977), Ross (1994; 2012) inseriu critérios para o conceito de unidades ecodinâmicas, acrescentando para unidades estáveis a denominação fragilidade potencial, e para unidades instáveis, o termo de fragilidade emergente, classificando cada uma dessas unidades em diferentes níveis hierárquicos de fragilidade.

Desde então, diversos autores se dedicaram a estudar de diferentes formas as alterações na dinâmica dos ambientes naturais, propondo ou produzindo diferentes métodos e técnicas de análise, muitas delas considerando os estudos da fragilidade ambiental anteriormente descritos, outros apenas integrando atributos físicos e biológicos da paisagem (PINESE e RODRIGUES, 2012; SALES et al., 2016; LOPES et al., 2019).

Entretanto, além do tema ser de alto potencial metodológico com diversas lacunas técnicas, o uso de conhecimento estatístico auxiliado por ferramentas de análise espacial por computadores, abriram novos horizontes, e com os avanços tecnológicos atuais dos Sistemas de Informações Geográficas e das novas técnicas de tomadas de decisão, é

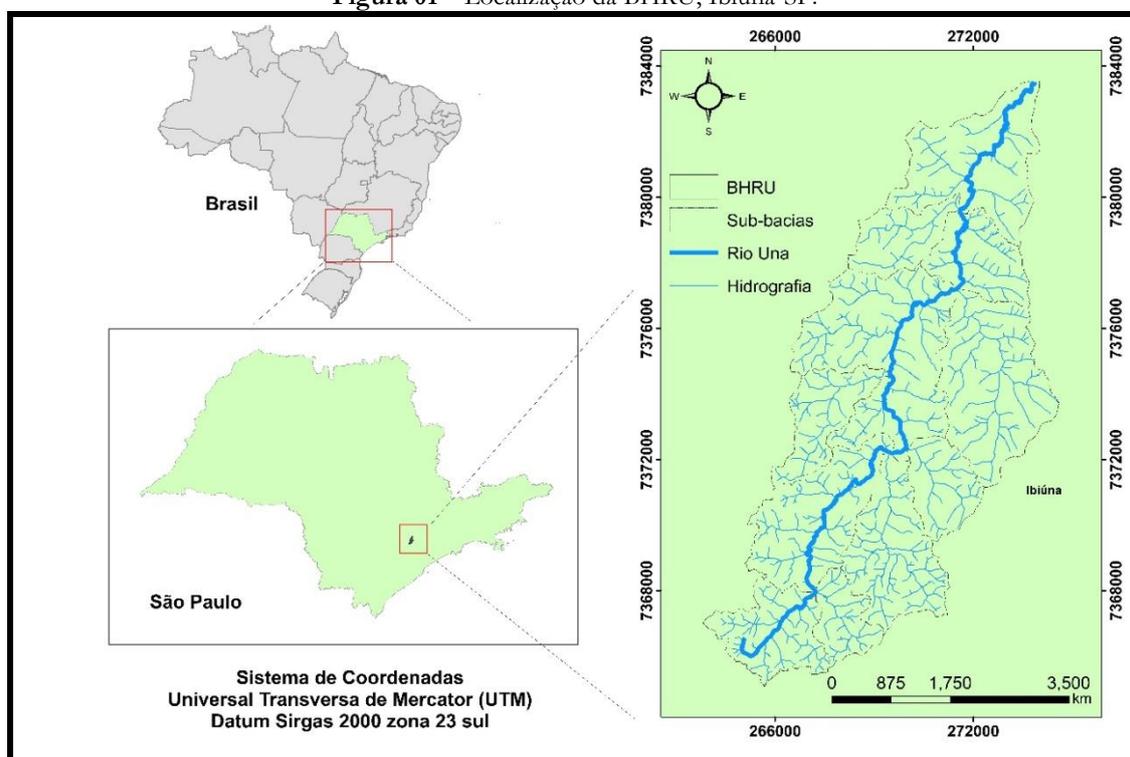
possível buscar novas formas para a quantificação e determinação de forma mais precisa do caráter dinâmico do ambiente natural, por meio da integração de um conjunto de variáveis físicas e bióticas. Assim, para alcançar esta premissa este trabalho utilizou a técnica de Análise Hierárquica de Processos (AHP) por meio do uso de ferramentas dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para a determinação de áreas prioritárias para proteção dos recursos naturais da Bacia Hidrográfica do Rio Una (BHRU), localizada no município de Ibiúna no estado de São Paulo.

METODOLOGIA

Caracterização da área de estudo

A BHRU está localizada na região sudeste do estado de São Paulo, Brasil (Figura 1) e possui uma área total de 9813,45 ha. O Rio Una, seu principal afluente, tem importância regional por ser um importante contribuinte para o abastecimento de água utilizado para consumo e geração de energia elétrica para a região.

Figura 01 – Localização da BHRU, Ibiúna-SP.



Fonte: Autoria própria. Elaboração: R. C. F. S. 2020.

A área de estudo está inserida em uma região que apresenta fisionomia vegetal do tipo Mata Atlântica (IBGE, 2019), classificação climática do tipo Cwa de 50 a 80%,

característico de um verão chuvoso (dezembro a março) e estiagem de inverno (junho a setembro) (DUBREUIL et al., 2017). A pluviosidade anual média na bacia é de 1.602,2 mm, sendo janeiro o mês mais chuvoso com média de 241,9 mm, e agosto o mês mais seco, com precipitação média de 34,0 mm (CIIAGRO, 2019). Pode-se ainda destacar para região a sua alta produtividade agrícola, em especial no setor de hortaliças.

Elaboração do Banco de Dados Espacial

Para o estudo foi inicialmente construída uma base cartográfica a partir das cartas topográficas na escala de referência de 1:10.000, originárias do Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC, 1979) e para auxílio na retificação dos dados utilizou-se as cartas disponibilizadas em formato digital através do acervo da infraestrutura de dados espaciais ambientais do estado de São Paulo (DATAGEO, 2018).

Através de procedimentos de vetorização no *software* ArcGIS 10.6 (ESRI, 2019), foram extraídas as informações planimétricas (rodovias, ferrovias, estradas, hidrografia, lagos) e as informações altimétricas (curvas de nível e pontos cotados).

Sobre esta base foram realizados estudos prévios dos aspectos físicos da paisagem como clima, relevo, textura dos solos, vegetação e outros aspectos da paisagem modificada devido à ação antrópica, como o uso da terra. Portanto, para a análise adotou-se como variáveis de entrada no sistema AHP o uso da terra e cobertura vegetal para o ano de 2019, a declividade percentual do terreno, o potencial a erodibilidade solo e a potencial erosividade anual das chuvas.

Neste trabalho, diferentemente de Ross (1994), onde a relevância dos aspectos do meio físico e do uso da terra é determinada de forma subjetiva em função da paisagem (TRICART, 1977), utilizou-se a técnica da Análise Hierárquica de Processo (AHP) para determinar de forma estatística o grau de importância das variáveis utilizadas no estudo.

As variáveis foram hierarquizadas, atribuindo-se pesos que variaram de 1 (muito baixo) a 5 (muito alto) utilizando a técnica de Análise Hierárquica de Processos (AHP) adaptados dos princípios básicos da troca de energia no meio natural e do equilíbrio dinâmico do ponto de vista ecossistêmico de cada uma das unidades estudadas (TRICART, 1977; ROSS, 1994; 2012)

Indicador de Uso da terra e cobertura vegetal

O Mapa do Uso da Terra e Cobertura Vegetal foi construído a partir da interpretação visual das imagens multiespectrais do satélite Spot 5 (*Satellite Pour l'Observation de la Terre*) para o ano de 2017 com resolução espacial de 5 metros. Fez-se composição

natural utilizando as bandas 3, 2 e 1 no RGB por meio da ferramenta *Composite Bands* do *software* ArcGIS 10.6 (ESRI, 2019). A retificação deste mapeamento foi realizada com base nas informações de campo e nas imagens do ano 2019 do *software* *Google Earth*®, provenientes do catálogo *Digital Globe*®, uma vez que suas imagens possuem alta resolução espacial (0,61 metros), adequada para esta finalidade (SIMON; TRENTIN, 2009).

Foram propostas mapear 10 categorias de uso, sendo: área campestre, área degradada, matas, área rural, área urbana, aterro sanitário, cultura temporária, lagos, pastagem e silvicultura. Para a atribuição dessas categorias, utilizou-se como base o Manual Técnico de Uso de Terra (IBGE, 2013).

Normalmente, o uso da terra visa identificar as possíveis pressões resultantes das interferências antrópicas sobre os recursos naturais. Essa percepção tem sido explorada como uma variável que tem sido usado no conceito de grau de proteção (ROSS, 1994; 2012; SCHIAVO et al., 2016; ABRÃO e BACANI, 2018). Entretanto, um olhar mais amplo da questão, o uso da terra, pode a partir de diferentes tipos de intervenções, bem como de sua relação com a forma do relevo e a pedologia a que está sobreposta, assumir um contexto de exposição a ações degenerativas, em especial as florestas e os recursos hídricos (THOMAZ, 2007; KALEMA et al., 2015; VIEIRA; MAGALHÃES e SILVA, 2017). Desta maneira, este trabalho propõe a hierarquização do uso do solo tendo como vertente o seu grau de exposição a essas ações para medir seu grau de fragilidade, em contraponto aos tradicionais trabalhos, nos quais são considerados exclusivamente a relação entre alto grau de proteção e por consequência baixo grau de fragilidade ambiental (ROSS, 1994; 2012),

Desta maneira, o Mapa do Uso da Terra e Cobertura Vegetal foi hierarquizado no qual as florestas e os corpos hídricos constituem-se susceptível ao alto grau de intervenção, dada a presunção de serem ambientes de fácil alteração devido as constantes intervenções humanas. Assim, seguindo esta lógica intervencionista, foram atribuídos graus de fragilidade segundo a Tabela 1, variando de muito baixo (1) a muito alto (5).

Tabela 1 – Graus de fragilidade em função do Mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal.

Graus de Fragilidade	Tipo de usos e cobertura vegetal
Muito Baixo	Área urbana e industrial, aterro sanitário
Baixo	Área rural (edificações)
Médio	Pastagens e cultura temporária
Alto	Área campestre e silvicultura
Muito Alto	Matas, lagos e área degradada

Fonte: Adaptado de Ross (1994; 2012).

Indicador da declividade do terreno

A declividade do terreno foi construída por meio da interpolação das curvas de nível e pontos cotados utilizando o método *Triangulated Irregular Network* (TIN) do *software* ArcGIS 10.6, gerando o Modelo Digital do Terreno (MDT). Em seguida, sobre o MDT foi calculada a inclinação do relevo utilizando a ferramenta *Slope*, obtendo-se a declividade do terreno. Por fim, as declividades foram reclassificadas em cinco classes, as quais foram atribuídos pesos de acordo com o grau de fragilidade em relação ao relevo, que variam de muito baixo (1) a muito alto (5). O produto final foi denominado de mapa de Declividade do Terreno.

A Tabela 2 apresenta as classes de declividades do terreno classificadas segundo os graus de Fragilidade proposto por Ross (1994; 2012).

Tabela 2 – Graus de Fragilidade em função da declividade do terreno.

Graus de Fragilidade	Classes de Declividade do Terreno
Muito Baixo	< 6%
Baixo	6 a 12%
Médio	12 a 20%
Alto	20 a 30%
Muito Alto	> 30%

Fonte: Ross (1994; 2012).

Indicador de Erosividade da Chuva

O índice de erosividade originalmente proposto é denominado fator R (WISCHMEIER; SMITH, 1978), determinado pelo produto da energia cinética da chuva pela intensidade máxima ocorrida em qualquer período de 30 minutos consecutivos. Considera-se que esse índice mede adequadamente as perdas de solo decorrentes do efeito erosivo do impacto da gota de chuva, bem como o da enxurrada sobre a superfície, tendo sido amplamente utilizado na Equação Universal da Perda de Solo (HUDSON, 1977; LAL, 1988; ROSS, 1994; VIEIRA e LOMBARDI, 1995). Neste trabalho foi utilizado para determinar qual a contribuição da precipitação sobre o equilíbrio ecodinâmico do meio ambiente em termos de fragilidade aparente.

Desta forma, para avaliar sua distribuição, foi construído o mapa de Erosividade da chuva através da distribuição espacial do fator R. O fator R foi obtido utilizando-se os dados de precipitação extraídos de 10 estações meteorológicas localizadas nas proximidades e no interior da BHRU. Estas estações fazem parte da rede de monitoramento do Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (DAEE), e encontram-se disponíveis no site da Agência Nacional das Águas (Hidroweb, 2019). Foram adquiridos os

dados de precipitação média mensal e média anual no período de 30 anos. O fator R foi calculado segundo a equação [1], proposta por Bertoni e Lombardi Neto (1999), para cada mês e posteriormente anual.

$$EI = 67,355 (r^2 / P)^{0,85} \quad [1]$$

Onde: EI é a média mensal do índice de erosão, em MJ.mm/ha.h.ano, r^2 a precipitação média mensal, em mm, P é a precipitação média anual, em mm.

Por fim, o fator R foi interpolado por meio do método Ponderação do Inverso da Distância, utilizando a ferramenta *IDW (Inverse distance weighted)* disponível no *Software ArcGIS 10.6*, gerando o Mapa do Indicador de Erosividade. Os valores estimados foram então classificados em cinco categorias de fragilidade em relação à erosividade da chuva (Tabela 3).

Tabela 3 – Graus de Fragilidade em relação à erosividade das chuvas

Graus de Fragilidade	Fator R (t.ha.h/ha.MJ.mm)
Muito Baixo	< 5.000
Baixo	5.001 a 6.000
Médio	6.001 a 7.000
Alto	7.001 a 8.000
Muito Alto	> R 8.001

Fonte: Vieira e Lombardi (1995).

Indicador de Erodibilidade do Solo

A erodibilidade do solo representa o efeito dos processos que regulam a infiltração da água no solo, a desagregação pelo impacto da gota de chuva e a resistência ao transporte pelo fluxo superficial, os quais são responsáveis pelo comportamento do solo em face aos processos erosivos. Na prática, determina as perdas de solo por unidade de índice de erosividade, e é amplamente conhecido por fator K (LAL, 1988). Também tem sido amplamente utilizado na Equação Universal da Perda de Solo (HUDSON, 1977; LAL, 1988; ROSS, 1994; VIEIRA; LOMBARDI, 1995).

Neste trabalho essa caracterização pedológica foi determinada e adaptada a partir do estudo desenvolvido por Lopes et al. (2018), os quais realizaram trabalho de campo para coleta de amostras de solo em 35 pontos amostrais, para determinação dos percentuais de argila, areia e silte. A determinação da erodibilidade do solo (fator K) segundo os tipos de solos amostrados na bacia foi feita a partir da expressão de Bouyoucos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012) mostrada na Equação 2.

$$\text{Fator } K = \left[\left(\frac{\% \text{ Areia} + \% \text{ Silte}}{\% \text{ Argila}} \right) \times 100 \right] \quad [2]$$

Onde: Fator K representou o fator erodibilidade do solo de cada sub-horizonte (t.ha.h/ha.MJ.mm) e % areia, % silte e % argila representaram as porcentagens das respectivas frações para cada sub-horizonte. Assim, foi calculado o fator K para cada horizonte (A e B, ou C, quando o solo não apresentava o horizonte B) através da média aritmética entre os valores dos sub-horizontes, adotando-se os valores extremos para os solos brasileiros encontrados por Denardin (1990), que determinou o fator de erodibilidade de 31 tipos de solos, onde os valores oscilam de 0,003 e 0,041 t.ha.h/ha.MJ.mm.

Em seguida, o fator K foi interpolado por meio do método Ponderação do Inverso da Distância, utilizando a ferramenta *IDW* (*Inverse distance weighted*) disponível no *Software* ArcGIS, gerando o mapa de Erodibilidade do solo. Os valores estimados foram então classificados em cinco categorias de fragilidade em relação à erodibilidade do solo (Tabela 4).

Tabela 4 – Graus de Fragilidade à erodibilidade dos tipos de solos

Graus de Fragilidade	Fator K (t.ha.h/ha.MJ.mm)
Muito Baixo	< 0,003
Baixo	0,003 e 0,015
Médio	0,015 e 0,030
Alto	0,030 e 0,041
Muito Alto	> 0,041

Fonte: Denardin (1990).

Análise Hierárquica Processual – AHP

O método AHP consiste na hierarquização da decisão por classes de prioridades, permitindo uma visão completa das relações inerentes (PINESE; RODRIGUES, 2012).

Para a definição de prioridade e comparação em pares é proposta a escala de valores de importância que variam de 1 a 9 entre os pares comparados, sendo 1 para os fatores que apresentam a menor importância e 9 para os que se apresentam extremamente mais importantes, conforme Tabela 5 (SAATY, 1980; ANDRADE; BARBOSA, 2015; GOMES; BIAS, 2018).

Tabela 5 – Escala de valores AHP para comparação pareada.

Intensidade de importância	Definição e explicação
1	Importância igual – os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância moderada – um fator é ligeiramente mais importante que o outro.
5	Importância essencial – um fator é claramente mais importante que o outro.
7	Importância demonstrada – um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática.
9	Importância extrema – a evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre julgamentos – possibilidade de compromissos adicionais.

Fonte: Saaty (1980).

A partir dessa escala de valores foi construída uma matriz de comparação, onde obteve-se o peso segundo critérios pré-definidos. Para testar se há consistência ou não da matriz em função da força das relações entre os fatores, foi calculada a Razão de Consistência dos julgamentos (MARINS, 2009; SOUZA; BARROS, 2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal

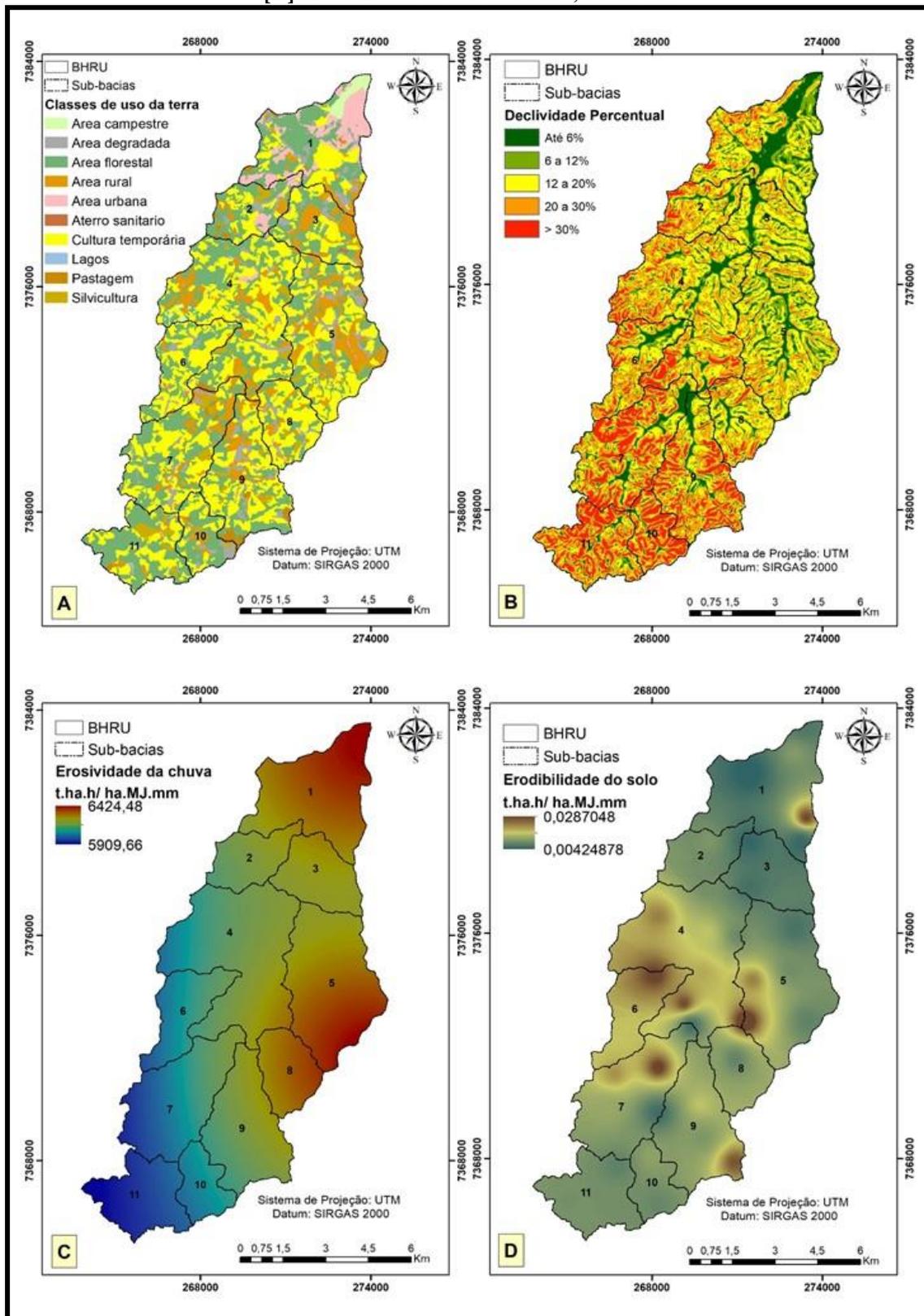
A Figura 2A mostra o mapa do Uso da Terra e Cobertura Vegetal no qual predomina as classes de uso relacionadas às atividades agrícolas, como pode ser observada na Tabela 6.

Tabela 6 – Cálculo das áreas do uso da terra e cobertura vegetal (2018)

Classe	Área (ha)	Área (%)
Área campestre	89,2581	0,91
Área degradada	558,617	5,69
Matas	3683,94	37,54
Área rural	1135,3	11,57
Área urbana	381,01	3,88
Aterro sanitário	3,82825	0,04
Cultura temporária	3462,46	35,28
Lagos	62,5557	0,64
Pastagem	105,058	1,07
Silvicultura	331,893	3,38
Total	9813,45	100

Fonte: Autoria própria. Elaboração: R. C. F. S. 2020.

Figura 02 – [A] Uso da terra e cobertura vegetal, [B] Declividade do terreno, [C] Erosividade da chuva e [D] Erodibilidade do solo da BHRU, Ibiúna-SP.



Fonte: Autoria própria. Elaboração: R. C. F. S. 2020.

As atividades agrícolas representam um total de 40,3% da área da bacia (sendo 35,28% de culturas temporárias, 3,38% de silvicultura e 1,07% de pastagens), e quando

consideradas com os aglomerados de áreas construídas na área rural, os valores se elevam para 51,8%.

Assim, com cerca de 50% da economia local, o setor agrícola representa, não por acaso, uma das atividades que está diretamente relacionada à degradação da paisagem, podendo-se aceitar que existe uma forte pressão antrópica sobre as florestas e os recursos hídricos.

Mapa da Declividade do Terreno

A Figura 2B apresenta o mapa de Declividade do Terreno, no qual é possível observar a predominância dos valores superiores a 30% na região sul e sudoeste da bacia, enquanto os relevos mais planos estão concentrados na região central em direção a jusante da bacia.

A declividade é superior a 20% em alguns pontos da bacia, ultrapassando 45% em outros pontos, fato que levou a instalação de culturas nas encostas devido à ausência de grandes planícies (CBH-SMT, 2000; PMI, 2017).

Quando observadas a caracterização do uso da terra e a declividade, é bastante provável a predisposição a processos erosivos e consequentes degradações do solo e assoreamento dos rios. O relevo, tanto dos latossolos como dos argissolos, caracterizam-se por serem ondulados a fortemente ondulados, enquanto os gleissolos caracterizam-se como solos de relevo plano e situados nas margens do leito do rio.

Mapa da Erosividade da chuva

A média da precipitação acumulada nas 10 estações meteorológicas consideradas para o estudo da BHRU mostrou para o período de 30 anos uma variação de 857,33 mm/ano a 1426,30 mm/ano. Os maiores quantitativos de chuvas são observados na porção leste e norte da área da bacia, enquanto as precipitações com menores volumes de águas foram constatadas na região sul, seguindo para sudoeste da bacia.

Tabela 7 – Localização das estações do DAEE e variabilidade da erosividade.

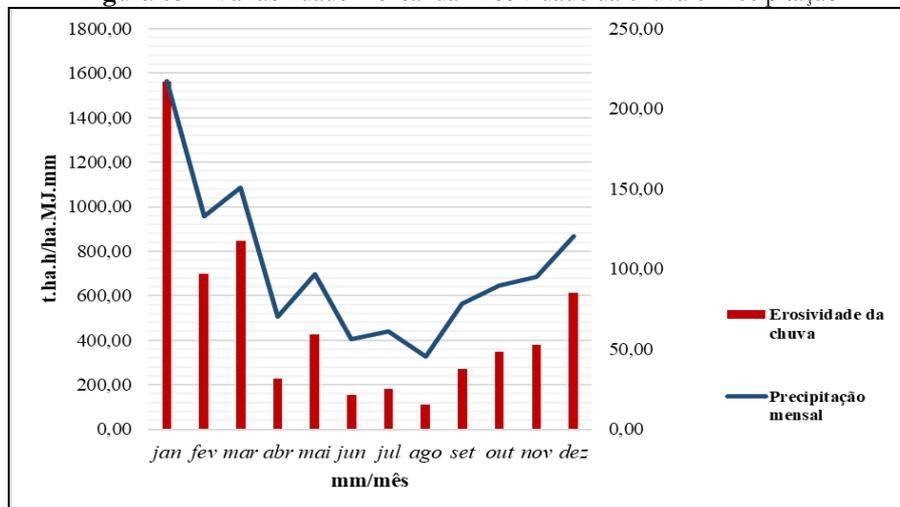
Prefixo da Estação	Longitude	Latitude	Erosividade anual (t.ha.h/ha.MJ.mm)	Chuva anual (mm/ano)
2347043	273610	7401228	6007,06	1319,50
2347052	274415	7349537	6131,40	1426,30
2347146	284209	7375538	5316,21	1202,03
E4-047	273896	7382767	6421,04	1389,40
E4-138	274068	7371690	6432,91	1387,92
E4-001	253644	7373204	5330,21	1014,75
E4-027	250181	7376839	4540,43	857,33
E4-060	253613	7375051	5382,91	1037,25
E4-130	246878	7371241	7027,23	1376,87
E4-132	250468	7360222	5588,02	1067,32

Fonte: Autoria própria. Elaboração: R. C. F. S. 2020.

Os valores absolutos do fator R para a região da BHRU variaram entre 4.540 e 7.027 t.ha.h/ha.MJ.mm (Tabela 7). Segundo Vieira e Lombardi (1995), em um estudo realizado no estado de São Paulo, foram estimados valores de fator R entre 5.000 a 9.000 t.ha.h/ha.MJ.mm; no mesmo estudo, os valores estimados para a região da BHRU houve variação entre 6.000 e 7.000 t.ha.h/ha.MJ.mm, mostrando que a área em estudo se encaixa no intervalo de estimativas esperadas.

O mapa de Erosividade da chuva (Figura 2C) mostrou uma distribuição espacial na qual os valores se apresentam de forma crescente de sul para norte da área de estudo, bem como, a tendência de aumento da erosividade simultaneamente ao aumento da precipitação (Figura 3). A tendência à erosividade mensal foi de 100 a 1.580 t.ha.h/ha.MJ.mm, variando em função da precipitação média mensal, a qual teve variação de 86,44 mm/mês a 120 mm/mês. A Figura 3 demonstra a intrínseca relação entre chuvas e erosividade.

Figura 03 – Variabilidade mensal da Erosividade da chuva e Precipitação.



Fonte: Autoria própria. Elaboração: R. C. F. S. 2020.

Na dinâmica da paisagem, os processos naturais devem estar em equilíbrio com o ecossistema. Ao sofrerem perturbações devido à intervenção antrópica, a dinâmica desse ecossistema natural fica comprometida, pois, fatores como chuva e escoamento superficial que, em equilíbrio, fazem parte do sistema, podem se tornar fatores de degradação do solo em um ambiente vulnerável quando alterado.

Mapa da Erodibilidade do Solo

Os resultados obtidos a partir do mapa de Erodibilidade do solo, mostram que existe uma predominância do grau médio, entre 0,0150 e 0,0300 t.ha.h/ha.MJ.mm, nas sub-bacias 4 e 6, e uma tendência de expansão desse processo nas sub-bacias 7 e 5, e eventos isolados de erodibilidade nas sub-bacias 1 e 9.

Portanto, como é possível observar na Figura 2D, das 11 sub-bacias delimitadas, seis estão comprometidas com a susceptibilidade erosiva a partir das características naturais dos solos, ou seja, são características imutáveis que denotam uma predisposição à erosão já existente na bacia. Este fato mostra que a BHRU necessita de atenção quanto à conservação deste recurso, sobretudo porque o solo é o substrato que sustenta a economia local, dada a sua vocação agrícola.

Definição da Fragilidade pela AHP

Os graus de importância atribuídos aos critérios para a área de estudo são mostrados na Tabela 8. Essa é uma análise pareada, que foi realizada comparando-se linha com coluna. Logo, ao atribuir o valor 5 na terceira linha e segunda coluna da tabela, assume-se, por exemplo, que o indicador de declividade é claramente mais importante que a Erodibilidade do solo.

Tabela 8 – Cálculo da AHP

Critério	Uso da terra	Declividade	Erosividade das chuvas	Erodibilidade do solo
Uso da terra	1	5	7	9
Declividade	1/5	1	1/2	6
Erosividade das chuvas	1/7	1/2	1	4
Erodibilidade do solo	1/9	1/6	1/4	1

Fonte: Autoria própria. Elaboração: R. C. F. S. 2020.

Neste estudo, foi atribuída ao uso da terra a maior importância segundo o “equilíbrio ecodinâmico” Fragilidade Ambiental, uma vez que a cobertura da superfície é diretamente ligada à ocorrência de processos de degradação ambiental. A presença de

cobertura vegetal, por exemplo, confere proteção ao solo e evita processos erosivos (VIJITH; HURMAIN; DODGE-WAN, 2019; VANACKER et al., 2019). Áreas antropizadas e impermeabilizadas favorecem eventos de inundação e assoreamento dos rios (MASSA; ROSS, 2012; SANTOS et al., 2019).

A segunda maior importância foi dada à declividade. Essa é uma variável que influencia diretamente nos processos erosivos, pois condiciona a transformação de energia potencial em energia cinética das águas pluviais (VALLE; FRACELINO; PINHEIRO, 2016).

A erosividade das chuvas, por sua vez, foi adotada como a terceira maior importância para a o equilíbrio ecodinâmico. Ela considera a entrada de água no ciclo hidrológico e como ela influencia diretamente na geomorfologia (CHRISTOFOLETTI, 1980; TUCCI, 2009; MASSA; ROSS, 2012). O grau de importância para essa variável foi adotado devido às concentrações dos volumes de chuva na área estudada.

Por fim, quanto à erodibilidade do solo, que denota o efeito integrado de processos físicos que ocorrem no solo, ocasionando sua desagregação e transporte de partículas (ARRAES et al., 2010), obteve a menor importância, uma vez que seria necessário agregar informações de outras propriedades físicas do solo como permeabilidade e grau de agregação, para que esta variável exercesse maior influência na estabilidade do meio ambiente.

Desta forma, os pesos de cada uma das variáveis foram calculados por meio da ferramenta *Raster Calculator* do ArcGIS 10.6, tendo como entrada os indicadores anteriormente produzidos (Tabela 9).

Tabela 9 – Pesos calculados para a AHP.

Critério	Peso
Uso da terra	0,66
Declividade	0,189
Fator R	0,111
Fator K	0,04

Fonte: Autoria própria. Elaboração: R. C. F. S. 2020.

A razão de consistência dessa ponderação foi de 7%. A razão de consistência deve ser inferior a 10% (SAATY, 2008; ANGELO et al., 2018; WANG et al., 2019). Em seguida, utilizando a ferramenta *“raster calculator”*, foi realizada a álgebra dos mapas das respectivas variáveis, multiplicando-os pelos pesos atribuídos através da AHP que posteriormente foram classificadas em nível de 11 sub-bacias (Tabela 10).

Tabela 10 – Cálculo das áreas da Fragilidade Ambiental por sub-bacia.

Sub-bacias	Área das sub-bacias			¹Grau de Fragilidade (%)		
	(ha)	(%)	Área urbana (%)	Baixo	Médio	Alto
Sub-1	1223,64	12,49	25,04	46,26	22,84	5,86
sub-2	479,48	4,89	10,43	49,66	28,6	11,33
Sub-3	597,98	6,09	0,52	40,11	33,82	25,56
Sub-4	1817,04	18,53	0,75	41,43	42,2	15,64
Sub-5	1417,63	14,46	0,00	35,06	39,51	25,43
Sub-6	568,93	5,81	0,00	42,58	53,8	3,63
Sub-7	1120,34	11,42	0,00	47,06	37,00	15,06
Sub-8	502,48	5,13	0,00	24,74	60,2	15,95
Sub-9	1006,11	10,26	0,00	32,53	52,57	15,00
Sub-10	371,23	3,79	0,00	55,96	32,09	11,95
Sub-11	696,86	7,12	0,00	63,46	25,17	11,36
BHRU	9813,45	100	3,9	42,5	38,6	15,00

Fonte: Autoria própria. Elaboração: R. C. F. S. 2020.

A média da porcentagem dos graus de fragilidade da Tabela 10 apresentou predominância do grau baixo (42,5%), seguido de médio (38,6%) e alto de (15%). Apesar das condições desfavoráveis serem os menores valores percentuais (grau médio e alto), quando somados os valores em termos de área, são altos (53,6%), mostrando preocupação com relação ao grau predominante de fragilidade em que se encontra a bacia hidrográfica. Destaca-se neste trabalho que a área urbana, que correspondeu a 3,88% da área total da bacia, foi desconsiderada no cálculo das áreas total da fragilidade.

A partir das porcentagens das classes dos graus de fragilidade da Tabela 10 foi realizado o ranqueamento para se obter a ordem de importância segundo os níveis de susceptibilidade à degradação do solo e dos recursos hídricos (SOARES et al., 2016). Isso busca indicar as prioridades para o planejamento e gestão ambiental das áreas estudadas da BHRU.

Para isso, foi utilizada a ferramenta “*zonal statistics table*” no ArcGIS 10.6®, onde foram calculadas as médias, bem como o desvio padrão dos graus de fragilidade distribuídos de cada sub-bacia, segundo as categorias de fragilidade, 1 para Baixo, 2 para Médio e 3 para Alto. Deste procedimento foi obtido a média 1,70 e desvio padrão 1,83, os quais foram utilizados como valores de corte para a definição das referidas classes de fragilidade da seguinte forma:

Intervalo $< M - Dp$, Valor $< 1,57$, Grau de Fragilidade Baixo;

Intervalo $Dp - M + DP$, Valor $> 1,57$ até 1,83, Grau de Fragilidade Médio;

¹ Desconsiderando a área urbana.

Intervalo $> M + Dp$, Valor $> 1,83$, Grau de Fragilidade Alto.

A Tabela 11 mostra o ranking de prioridade de gerenciamento para as 11 sub-bacias presentes na BHRU e as respectivas classes de graus de fragilidade.

Tabela 11 – Ranking de priorização das sub-bacias de acordo com o grau de fragilidade.

Sub-bacias	Ranking de Prioridade	Estatística zonal		Grau de Fragilidade
		Média		
Sub-1	9	1,602	Médio	
sub-2	7	1,629	Médio	
Sub-3	3	1,855	Alto	
Sub-4	5	1,741	Médio	
Sub-5	2	1,901	Alto	
Sub-6	8	1,610	Médio	
Sub-7	6	1,687	Médio	
Sub-8	1	1,902	Alto	
Sub-9	4	1,820	Médio	
Sub-10	10	1,559	Baixo	
Sub-11	11	1,478	Baixo	

Fonte: Autoria própria. Elaboração: R. C. F. S. 2020.

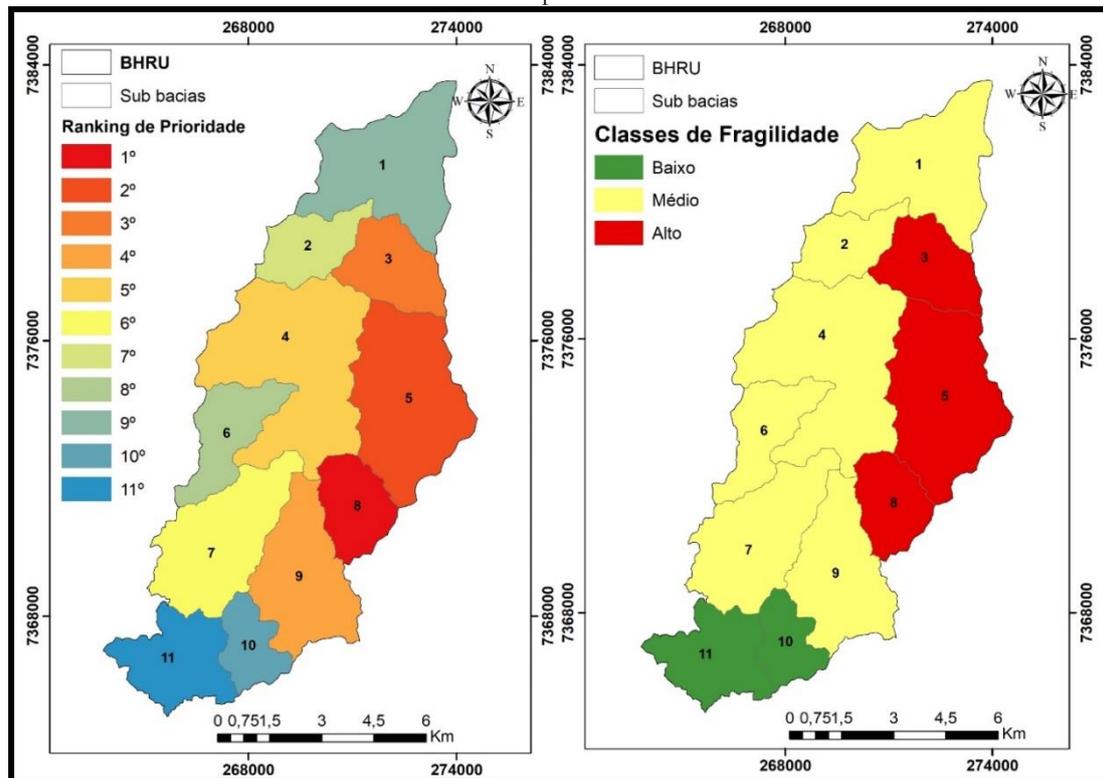
Como pode ser observado (Tabela 11), as sub-bacias indicam as prioridades e graus de fragilidade segundo as classes Alto, Médio e Baixo, conforme os valores obtidos da estatística zonal, classificados segundo os intervalos da média.

Em seguida, os resultados da Tabela 11 são mostrados nos mapas das Figuras 4A e B segundo a ordem de priorização e graus de fragilidade. Como pode ser visto, as sub-bacias 10 e 11 indicam menores prioridades (Figura 4A) com baixo grau de fragilidade (Figura 4B), porém deve-se ressaltar que ambas estão próximas a importantes nascentes, portanto, são áreas que obrigatoriamente devem ser conservadas, respeitando o Código Florestal vigente.

As sub-bacias 3, 5 e 8 foram aquelas com as maiores prioridades, consequentemente maiores graus de fragilidade (Figura 4A-B). Devem ser tratadas com alta prioridade quanto à conservação dos recursos naturais, uma vez que apresenta forte tendência à degradação dos seus recursos naturais, em especial os rios e as florestas.

Já as sub-bacias 1, 2, 4, 6, 7 e 9, apresentaram predominância de prioridades e grau de fragilidades intermediários (Figura 4A-B), o que também demanda certo nível de atenção, visto que o uso da terra predominante na bacia é agrícola, o que pode evoluir para o grau de Fragilidade Alto.

Figura 04 – [A] Priorização das sub-bacias de acordo com a Fragilidade Ambiental e [B] Grau de Fragilidade ambiental por sub-bacia.



Fonte: Autoria própria. Elaboração: R. C. F. S. 2020.

A fragilidade da bacia também está ligada principalmente à suscetibilidade natural à erosão hídrica, neste caso, as práticas de uso e manejo do solo devem contribuir para um cenário conservacionista, sobretudo na área rural, pois vale salientar que nas áreas onde predominaram esse tipo de fragilidade foi onde se contatou a ocorrência de maior quantitativo de chuvas. Além disso, são áreas que apresentam o predomínio de declividade abaixo de 20% e onde prevalecem as práticas de atividades agrossilvipastoris, fatores que contribuem diretamente para a acentuação da fragilidade ambiental.

A classe de fragilidade média também se dá em decorrência do uso da terra e cobertura vegetal ser predominantemente de culturas temporárias, no qual sua implantação geralmente requer a retirada da cobertura vegetal natural, aumentando assim a possibilidade de erosões e outros impactos ambientais negativos, uma vez que ao deixar os solos descobertos contribuem para este tipo de fragilidade e que podem ser acentuadas ao longo do tempo, tornando-se até irreversível.

Bacani (2015) afirma que os processos erosivos normalmente são associados a práticas de manejo inadequadas na agricultura, sem considerar que a pecuária também é responsável por causar impactos significativos no solo. As culturas temporárias quando desenvolvidas, respeitando-se as práticas conservacionistas, contribuem para a resiliência

do ecossistema, diminuindo a degradação por erosão e perdas de solo quando comparada à pecuária.

Em relação à fragilidade ambiental, considera-se que há uma tendência futura à expansão na produção agrícola na bacia. Esse diagnóstico é um importante instrumento para o planejamento ambiental de áreas agrícolas, tendo como principal objetivo identificar áreas onde a ocupação agrícola pode gerar impactos ao meio natural e, desta forma, contribuir para planejar o manejo adequado dos recursos naturais do território, minimizando os impactos da ação antrópica sobre o meio natural e evitando processos erosivos intensos, perdas de solo e consequente assoreamento dos cursos d'água.

Outro fator essencial que deve ser considerado quando se trata de solos suscetíveis à erosão é o comprometimento dos recursos hídricos, pois, de acordo com Dores e Freire (1999) e Fan et al. (2018), à medida que ocorrem as chuvas somadas aos processos erosivos têm-se o carreamento de solos e de produtos químicos usados nos cultivos agrícolas que comprometem diretamente os corpos d'água, deixando assim a água inapropriada para o consumo humano. Portanto, identificar as áreas mais propícias à fragilidade é essencial para que se possam estabelecer planos de manejos adequados, visando amenizar e prevenir futuros impactos ambientais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização dos sistemas de informações geográficas combinado à análise multicritério permitiu uma análise integrada da paisagem de modo que se mostrou adequado para obtenção dos resultados. A bacia apresenta a maior parte da sua área comprometida, pois mais de 53,6% do seu território apresenta fragilidade considerada média e alta, o que é reflexo das intensas intervenções antrópicas que ocorrem nesse local, principalmente devido às práticas de agricultura.

Identificar espacialmente onde há áreas susceptíveis à erosividade das chuvas e a erodibilidade do solo foi essencial para compreender como se dão os processos de desprendimento e transporte de solo na bacia, tais processos demonstram que a metodologia adotada contribuiu para a identificação de áreas mais frágeis e susceptíveis a impactos ambientais. Portanto, é aconselhável que seja adotado como método preventivo nas políticas de gestão municipais ou de bacias hidrográficas.

Portanto, assim como foi adotado para a BHRU, a fim de promover a preservação dos ecossistemas que fornecem os recursos ambientais necessários para sustentar o reservatório de Itupararanga, é fundamental que, os demais municípios que se beneficiam

pela geração de energia ou da captação de água da represa, adotem metodologias preventivas de identificação das áreas de fragilidade, pois é provável que haja ainda mais o comprometimento da quantidade e qualidade de água que são fornecidas à população.

Por fim, as técnicas de cartografia digital combinadas à análise espacial são essenciais para identificar áreas sensíveis a impactos ambientais, principalmente quando estes podem comprometer diretamente a qualidade de vida da população e também podem fornecer subsídios para que os planejamentos futuros desta bacia hidrográfica sejam realizados com bases naquelas áreas que são prioritárias quanto ao seu maior grau de fragilidade. É importante acompanhar as tendências futuras dessa expansão, para que não haja maior risco de degradação ambiental, associado à expansão agrícola, já que na maioria das vezes esta não é realizada com práticas de manejo que sejam adequadas.

REFERÊNCIAS

ABRÃO, C. M. R.; BACANI, V. M. Diagnóstico da fragilidade ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio, MS: subsídio ao Zoneamento Ambiental. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 38, n. 3, p. 619-645, 2018.

ANDRADE, A. J. B.; BARBOSA, N. P. P. Combinação do Método AHP e SIG na Seleção de Áreas com Potenciais para a Instalação de Aterro Sanitário: Caso da Ilha do Fogo, na República de Cabo Verde. **Revista de Geografia**, Recife, v. 32, n. 2, p. 248-266, 2015.

ARRAES, C. L.; BUENO, C. R. P.; PISSARRA, T. C. T. Estimativa da erodibilidade do solo para fins conservacionistas na microbacia Córrego do Tijuco, SP. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 6, p. 849-857, 2010.

BACANI, V. M.; SAKAMOTO, A. Y.; LUCHIARI, A.; QUÉNOL, H. Sensoriamento remoto e SIG aplicados à avaliação da fragilidade ambiental de bacia hidrográfica. **Mercator**, v. 14, n. 2, p. 119-135, 2015.

BERTOL, I. Índice de erosividade (EI30) para Lages (SC) - 1ª Aproximação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 4, p. 515-521, 1993.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 8. ed. São Paulo: Ícone, 2012.

COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO SOROCABA MÉDIO TIETÊ. **Relatório Zero (CBH-SMT)**. 2000. 343 p. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/sigrh/ARQS/RELATORIO/CRH/CBHSM/258/relsmteg.pdf>>. Acesso em: 28 fev. 2018.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Blücher, 1980. 188 p.

CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGROMETEREOLÓGICAS – CIIAGRO. **Série histórica de pluviosidade mensal de Ibiúna – SP**: dados mensais no período de 08/07/1996 até 09/05/2019. Disponível em: <<http://www.ciiagro.sp.gov.br/ciiagroonline/Quadros/QChuvaPeriodo.asp>>. Acesso em: 1 maio 2019.

INFRAESTRUTURA DE DADOS ESPACIAIS AMBIENTAIS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **DATAGEO**. Disponível em: <<http://datageo.ambiente.sp.gov.br/>>. Acesso em: 10 ago. 2019.

DENARDIN, J. E. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. 1990. 114 f. Tese (Doutorado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

DORES, E. F. G. C.; FREIRE, E. M. L. Contaminação do ambiente aquático por pesticida: vias de contaminação e dinâmica dos pesticidas no ambiente aquático. **Pesticidas: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 9, p. 1-18, 1999.

DUBREUIL, V.; FANTE, K. P.; PLANCHON, O.; SANT'ANNA NETO, J. L. Les types de climats annuels au Brésil: une application de la classification de Köppen de 1961 à 2015. **EchoGéo**, n. 41, 2017. Disponível em: <<https://journals.openedition.org/echogeo/15017>>. Acesso em 28 fev. 2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - EMBRAPA**. 2018. Disponível em: <http://www.geografia.fflch.usp.br/graduacao/apoio/Apoio/Apoio_Attila/1s2018/livros/Sistema_Brasileiro_Classificacao_de_Solo-2018.pdf>. Acesso em: 1 maio 2019.

ESRI 2018. **ArcGIS Desktop: Release 10.6** Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute, 2018.

FAN, F. M.; MESQUITA, M. O.; SANTOS, V. C. F.; LUCAS, E. O.; ZANELLA, R.; PRESTES, O. D.; BANDEIRA, N. M. G. Resíduos de agrotóxicos em água e solo de município em região produtora de fumo no Rio Grande do Sul. In: MESQUITA, M. O.; RIQUELME, D. L.; GERHARDT, T. E.; RUIZ, E. N. F. (Org.). **Saúde Coletiva, Desenvolvimento e (In)Sustentabilidades**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2018. v. 89. p. 89-108.

FERREIRA, V. O. A abordagem da paisagem no âmbito dos estudos ambientais integrados. **GeoTextos**, v. 6, n. 2, p. 187-208, 2010. Disponível em: <<https://portalseer.ufba.br/index.php/geotextos/article/download/4836/3585>>. Acesso em: 28 fev. 2018.

GOMES, R. C.; BIAS, E. S. Integração do Método AHP e SIG como Instrumento de Análise do Nível de Conservação Ambiental em Bacias Hidrográficas. **Geociências**, v. 37, n. 1, p. 167-182, 2018.

HUDSON, N. **Soil conservation**. Ithaca: Cornell University Press, 1977. 320 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual técnico de uso da terra**. Rio de Janeiro, 2013. 171 p.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO – IGC. **Carta topográfica. Serviço Gráfico do IGC**, Escala 1:10.000, 1979.

KALEMA, V. N.; WITKOWSKI, E. T. F.; ERASMUS, B. F. N.; MWAVU, P. T. Os impactos das mudanças no uso da terra nas florestas de uma savana equatorial africana. **Degradação e Desenvolvimento da Terra**, v. 26, n. 7, p. 632-641, 2015.

LAL, R. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. (Ed.). **Soil erosion: research methods**. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, 1988. p. 141-160.

LOPES, R. N. E.; SALES, J. C. A.; SOUZA, J. C.; SOUSA, J. A. P.; MORAIS, M. C. M.; LOURENCO, R. W. Evaluation of flood risk in Sorocaba - Brazil, using fuzzy logic and geotechnology. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, p. 1422-1434, 2019.

LOPES, E. R. N.; SOUZA, J. C.; SOUSA, J. A. P.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L.; LOURENÇO, R. W. Modelagem Ambiental de Bacias Hidrográficas: caracterização morfométrica e pedológica da bacia do Rio Una – Ibiúna, Brasil. **Geosul**, Florianópolis, v. 33, n. 66, p. 105-127, 2018.

MARINS, C. S.; SOUZA, D. O.; BARROS, M. S. O Estudo do Método de Análise Hierárquica (AHP) na Tomada de Decisões Gerenciais – um estudo de caso. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 41., 2009, Porto Seguro. **Anais eletrônicos...** Porto Seguro: Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional, 2009. v. 106. p. 1778-1788. Disponível em: <<http://www2.ic.uff.br/~emitacc/AMD/Artigo%204.pdf>>. Acesso em: 01 maio 2019.

MASSA, E. M.; ROSS, J. L. S. Aplicação de um modelo de fragilidade ambiental relevo-solo na Serra da Cantareira, bacia do Córrego do Bispo, São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, v. 24, p. 57-79, 2012.

PINESE JR, J. F.; RODRIGUES, S. C. O Método de Análise Hierárquica – AHP – como Auxílio na Determinação da Vulnerabilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Piedade (MG). **Revista do Departamento de Geografia, USP**, v. 23, p. 4-26, 2012.

PREFEITURA MUNICIPAL DE IBIÚNA. **PMI Números e dados**. Disponível em: <http://www.ibiuna.sp.gov.br/ibiuna/numeros_e_dados>. Acesso em: 2 ago. 2017.

RIBEIRO, M. S.; WERLANG, M. K. Modelado do relevo e potencial de fragilidade à erosão no estado do Rio Grande do Sul. **Ciência & Natura**, UFSM, v. 32, n. 2, p. 121-140, 2010. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/viewFile/9489/5638>>. Acesso em: 15 dez. 2017.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, v. 8, p. 63-74, 1994.

ROSS, J. L. S. Landforms and environmental planning: potentialities and fragilities. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, v. 30, p. 38-51, 2012.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**: planning, priority setting, resource allocation. New York: McGraw-hill, 1980. 287 p.

SALES, J. C. A.; SILVA, D. C. C.; ROMAGNANO, L. F. T.; BERTAGNA, R.; LOURENÇO, R. W. Avaliação do Impacto Ambiental causado pelas alterações espaço temporal do uso do solo e da cobertura vegetal utilizando o modelo das cadeias de Markov. **Ciência & Natura**, v. 38, p. 115-124, 2016.

SCHIAVO, B. N. V.; HENTZ, A. M. K.; DALLA CORTE, A. P.; SANQUETTA, C. R. Caracterização da fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica urbana no município de Santa Maria – RS. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 464-473, 2016.

SIMON, A. L. H.; TRENTIN, G. Elaboração de cenários recentes de uso da terra utilizando imagens do Google Earth. **Ar@cne. Revista electrónica de recursos en Internet sobre Geografía y Ciencias Sociales**, Barcelona: Universidad de Barcelona, n. 116, 2009.

THOMAZ, E. L. Dinâmica do uso da terra e degradação do solo na bacia do Rio Guabiroba-Guarapuava / PR. **RA'E GA**, n. 13, p. 109-128, 2007.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, 1977. 91 p.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: Ciência e aplicação. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. 944 p.

VALLE, I. C.; FRACELINO, M. R.; PINHEIRO, H. S. K. Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia do Rio Aldeia Velha, RJ. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 2, p. 295-308, 2016.

VANACKER, V.; ALMEIJEIRAS-MARIÑO, Y.; SCHOONEJANS, J.; CORNÉLIS, J.; MINELLA, J. P. G.; LAMOULINE, F.; VERMEIRE, M.; CAMPFORTS, B.; ROBINET, J.; BROEK, M. V.; DELMELLE, P.; OPFERGELT, S. Land use impacts on soil erosion and rejuvenation in Southern Brazil. **Catena**, v. 178, p. 256-266, 2019.

VIEIRA, A. T.; MAGALHÃES, M. F.; SILVA, M. V. C.; Uso da terra como facilitador da degradação ambiental no município de Santa Quitéria, Ceará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 4, p. 1329-1345, 2017.

VIEIRA, S. R., LOMBARDI NETO, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do Estado de São Paulo. **Bragantia** [online], v. 54, n. 2, p. 405-412, 1995.

VIJITH, H.; HURMAIN, A.; DODGE-WAN, D. Impacts of land use changes and land cover alteration on soil erosion rates and vulnerability of tropical mountain ranges in Borneo. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 12, p. 57-69, 2019.

WAN, B.; XIE, H.; REN, H.; LI, X.; CHEN, L.; WU, B. Application of AHP, TOPSIS, and TFNs to plant selection for phytoremediation of petroleum-contaminated soils in shale gas and oil fields. **Journal of Cleaner Production**, v. 233, n. 1, p. 13-22, 2019.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses**: a guide to conservation planning. Washington, USDA, 1978. 58 p.

Como citar:

ABNT

SILVA, R. C. F. [et al.]. Contribuições para a gestão de bacias hidrográficas a partir da abordagem multicritério para análise da fragilidade ambiental a processos erosivos. **InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 8, e202215, 2022. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.e202215>>. Acesso em: 28 dez. 2022.

APA

Silva, R. C. F. [et al.]. Contribuições para a gestão de bacias hidrográficas a partir da abordagem multicritério para análise da fragilidade ambiental a processos erosivos. *InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade*, v. 8, e202215, 2022. Recuperado em 28 dezembro, 2022, de <http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.e202215>



This is an open access article under the CC BY Creative Commons 4.0 license.

Copyright © 2022, Universidade Federal do Maranhão.

