



LUIZ GUILHERME MENDONÇA GOMES

**DEFINIÇÃO DE PROPRIEDADES RURAIS PRIORITÁRIAS
PARA PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS NO
MUNICÍPIO DE NAZARENO-MG**

LAVRAS - MG

2023

LUIZ GUILHERME MENDONÇA GOMES

**DEFINIÇÃO DE PROPRIEDADES RURAIS PRIORITÁRIAS PARA PAGAMENTO
POR SERVIÇOS AMBIENTAIS NO MUNICÍPIO DE NAZARENO-MG**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Florestal, para obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Fausto Weimar Acerbi Junior
Orientador

LAVRAS - MG

2023

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à toda minha família, por estarem sempre ao meu lado, me incentivando e guiando meus passos.

Em especial ao meu pai Luiz Eduardo, minha mãe Carla e minha irmã Maria Teresa por nunca me deixarem desistir.

À Universidade Federal de Lavras, especialmente ao Laboratório de Manejo Florestal (LEMAF) pela oportunidade.

Ao Prof. Fausto pelo tempo dedicado ao meu crescimento.

Aos colegas da república ML, com quem moro e já morei, pelos momentos de descontração e parceria no dia a dia.

À empresa YouX, em especial a toda a equipe da unidade Analytics pelo crescimento pessoal e profissional proporcionado.

Por fim, a todos que me apoiaram, direta ou indiretamente durante este trabalho, deixo aqui gravado:

Muito obrigado!

RESUMO

Com o modo de vida exploratório e consumista da civilização, torna necessário inovações nos sistemas produtivos e na forma de tratar aspectos relacionados ao meio ambiente. Nesse contexto, surgiram novos mecanismos que visam a conservação ambiental como os programas de pagamento por serviços ambientais, que bonificam, financeiramente, produtores rurais que fornecem à sociedade algum serviço ambiental. Sendo assim, este estudo apresenta um método para seleção de propriedades rurais prioritárias para programas de pagamento por serviços ambientais com uma análise multicritério aliada ao método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e integrado a um Sistema de Informações Geográficas (SIG). Com o intuito de perpetuar a provisão de água potável às comunidades rurais e urbanas, foram utilizados quatro critérios na análise: (I) remanescente de vegetação nativa, (II) áreas de preservação permanente (APP) no entorno de nascentes, (III) áreas de preservação permanente (APP) no entorno de rios e (IV) status das APP. Cada critério foi classificado em cinco classes de acordo com seus subcritérios. Para determinação da relevância de cada critério foi adotado o método AHP, no qual foi considerado a opinião de especialistas da área através do preenchimento da matriz de comparação pareada. Feito isso foi possível confeccionar o mapa final que classificou as propriedades em 5 níveis de prioridade: muito alta, alta, média, baixa e muito baixa. Apesar de conter algumas limitações relacionadas a regularização fundiária e dados de 2 anos atrás, o método apresentou um resultado satisfatório na seleção de propriedades prioritárias, sendo possível observar uma consistência entre os critérios balizadores, os componentes das propriedades e o nível de prioridade em que se encontram.

Palavras-chave: Análise multicritério. *Analytic hierarchy process*. Sistema de informações geográficas. Conservação ambiental. Provisão de água.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
2. REFERENCIAL TEÓRICO	7
2.1 Pagamento por serviços ambientais (PSA)	7
2.2 Análise multicritérios em ambiente SIG	11
2.3 Analytic hierarchy process (AHP)	12
3. METODOLOGIA	13
3.1 Descrição da área de estudo	13
3.2 Etapas do trabalho	15
3.3 Critérios utilizados	16
3.3.1 Remanescente de vegetação nativa	17
3.3.2 Áreas de preservação permanente (APP) no entorno de nascentes	18
3.3.3 Áreas de preservação permanente (APP) no entorno de rios	18
3.3.4 Status das APP	19
3.4 Definição dos pesos para os subcritérios	19
3.5 Definição dos pesos para os critérios globais	23
3.5.1 Matriz de comparação pareada	23
3.5.2 Cálculos e validações	24
3.5.2.1 Soma das linhas (SL)	24
3.5.2.2 Cálculo dos autovetores (W)	24
3.5.2.3 Cálculo do produto vetorial (PV)	24
3.5.2.4 Cálculo dos autovalores (λ)	25
3.5.2.5 Cálculo do autovalor máximo (λ máx)	25
3.5.2.6 Cálculo do índice de consistência (IC)	25
3.5.2.7 Cálculo da razão de consistência (RC)	25
3.6 Comparação pareada dos critérios	26
3.7 Elaboração do mapa final	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
4.1 Seleção de propriedades	30
4.2 Limitações da metodologia aplicada	34
5. CONCLUSÃO	35
REFERÊNCIAS	37

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o relatório de 2021 do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC) órgão da ONU criado em 1988, as alterações climáticas já estão interferindo em todas as regiões povoadas do globo em consequência, principalmente, da degradação ambiental ocasionada pelo homem. Para reverter esse cenário surgem novas formas de lidar com os recursos naturais numa tentativa de conciliação entre a conservação ambiental e o *modus operandi* do capitalismo.

Inicialmente, buscou-se amparo jurídico através da criação de leis visando a conservação de áreas sensíveis que merecem maior atenção como vegetações no entorno de nascentes e cursos hídricos. No entanto, o descumprimento da legislação paralelo a contínua e crescente urgência pela conservação levaram a idealização de novos mecanismos (PAGIOLA, CARRASCOSA e TAFFARELLO, 2013).

Dessa forma, a demanda por sistemas inovadores, funcionais e eficientes encontrou nos programas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) uma possível alternativa para tal. A Colômbia e a Costa Rica implementaram esse tipo de programa em seus territórios na década de 1990, sendo os primeiros países da América Latina a concretizarem uma política de PSA (ECHAVARRIA, 2002b). Alguns anos depois, precisamente em 2006, os municípios de Extrema e Montes Claros, ambos em Minas Gerais, decidiram implementar de forma pioneira no país programas de PSA (PAGIOLA, CARRASCOSA e TAFFARELLO, 2013). No ano de 2009 já existiam mais de 150 programas de PSA e similares em atividade na América Latina o que contribuiu com a conservação de 2,5 milhões de hectares (CAHMI e PAGIOLA, 2009).

Diante da dificuldade em adquirir financiamento, público ou privado, fundamental para viabilização dos programas, encontra-se no processo de seleção de propriedades rurais prioritárias uma saída para concentrar recursos e esforços, possibilitando a execução dos programas. Visando abordar a problemática sobre esses programas bem como sua aplicação, esse trabalho justifica-se pela influência que uma iniciativa como esta pode exercer na conservação ambiental e na recuperação de áreas degradadas.

Dessa forma, o presente trabalho partiu da necessidade de entender como a seleção de propriedades rurais em programas de PSA pode impactar direta ou indiretamente os recursos naturais, as comunidades rurais e urbanas e os próprios programas de PSA. Essa abordagem

visa promover a conservação ambiental e restauração de áreas degradadas, garantir os serviços ecossistêmicos como o acesso à água de qualidade e ao mesmo tempo oferecer uma metodologia replicável em outras regiões espaciais de estudo.

Como se trata de uma análise espacial complexa, torna-se necessário o uso de ferramentas da geotecnologia. O suporte fornecido pelos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para espacialização, análise, classificação e demais processamentos, aliado a algum método de tomada de decisão viabiliza uma avaliação mais precisa.

De acordo com Gdoura (2014), existem inúmeros métodos de Análise Multicritério (AMC) desenvolvidos para otimizar uma tomada de decisão, entretanto são poucos aqueles que podem ser aplicados em ambiente SIG. Um dos métodos que permite essa integração é o Analytic Hierarchy Process (AHP), utilizado para ponderar diferentes critérios pré-determinados considerando a opinião de especialistas da área.

Nesse sentido, o objetivo do trabalho consiste em selecionar propriedades rurais que devem ter prioridade em programas de PSA no município de Nazareno-MG. De forma mais específica, buscou-se entender os conceitos e mecanismos acerca dos programas de PSA, identificar quais critérios devem ser considerados para priorização de propriedades rurais, bem como avaliar quais desses critérios são mais relevantes para efetiva seleção das propriedades prioritárias. A metodologia utilizada compreendeu um processo analítico em ambiente SIG, envolvendo o método AHP com o intuito de apresentar uma resposta para a seleção de propriedades prioritárias para PSA no município de Nazareno-MG.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Pagamento por serviços ambientais (PSA)

A disponibilidade de recursos naturais é uma condição primordial para a manutenção da vida no planeta, sendo que eles exercem funções vitais e insubstituíveis no ecossistema. Desse modo, com o intuito de reconhecer e valorizar essas funções, surgiu o conceito de serviços ambientais (CAMPANILI, 2010).

De acordo com a Avaliação Ecosistêmica do Milênio (2005), considerada a maior avaliação dos impactos antrópicos no meio ambiente, feita por mais de 1.300 autores e colaboradores de 95 países, bens e serviços ecossistêmicos ou serviços ambientais são os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas. Essa é a definição de serviços ambientais mais aceita pela literatura (PARRON, 2015).

O conceito de serviços ambientais é uma forma de reconhecer o valor econômico das funções ecossistêmicas, essenciais para o bem-estar humano e para a sustentabilidade do desenvolvimento. Portanto, a conservação da natureza deve ser vista como um investimento que traz benefícios ambientais, sociais e econômicos.

Na Avaliação Ecosistêmica do Milênio (2005), os serviços ambientais foram classificados em quatro categorias: serviços de suporte, de provisão, de regulação e culturais. A classificação e os exemplos de cada categoria estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação dos serviços ambientais.

Categorias	Exemplos de Serviços
Serviços de Suporte	Manutenção da biodiversidade
	Manutenção do ciclo de vida (ciclagem de nutrientes e da água/fotossíntese)
Serviços de Provisão	Formação do solo
	Alimentos
	Fibras/madeira
	Recursos genéticos
	Recursos medicinais
	Recursos ornamentais
Serviços de Regulação	Água potável
	Regulação da qualidade do ar
	Regulação do clima (incluindo sequestro de carbono)
	Regulação dos fluxos de água
	Purificação da água
	Fertilidade do solo
	Prevenção da erosão
	Controle biológico
	Polinização
	Prevenção de desastres
Controle de resíduos	
Serviços Culturais	Valores estéticos (paisagem)
	Recreação e turismo
	Valores espirituais e religiosos
	Valores educacionais

Fonte: Adaptado de Parron (2015)

É comprovado que a degradação ambiental é um problema urgente que requer ações efetivas e participativas de todos os envolvidos (IPCC, 2021). No entanto, sabe-se da dificuldade em sensibilizar os atores envolvidos diretamente nas atividades que geram impacto.

Diante desse cenário e atrelado à crescente demanda por água, faz-se necessário inovar as políticas públicas, principalmente aquelas que se referem aos instrumentos de gestão ambiental (JARDIM, 2015). É preciso buscar alternativas que incentivem e recompensem as boas práticas ambientais. Os programas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) surgiram nesse contexto como uma alternativa que visa promover a sustentabilidade, beneficiando tanto os provedores quanto os usuários desses serviços.

O Pagamento por Serviços Ambientais é caracterizado por uma transação voluntária, no qual aqueles que se beneficiam dos serviços ambientais realizam uma transferência financeira para os fornecedores desses serviços. Desde que seja fornecido de forma bem definida, segura e através de práticas que conservem a natureza (WUNDER, 2006).

Vale ressaltar que os atores beneficiados não, necessariamente, serão os responsáveis diretos pelo pagamento. Isso dependerá do mecanismo do programa que envolve órgãos públicos e a iniciativa privada. Dessa forma, o PSA é definido como um instrumento econômico que altera a dinâmica do planejamento, por parte do produtor rural, quanto ao uso da terra. Desse modo o produtor é incentivado a considerar as práticas de conservação ambiental, sendo um novo meio de obter retorno financeiro (FOLETO, 2011).

Os programas de PSA retiram a expectativa popular pela conscientização ambiental por parte dos produtores rurais e de forma mais racional e sistemática criam um estímulo econômico para que eles atuem em favor da conservação de áreas por meio de práticas sustentáveis, contribuindo assim para o bem-estar coletivo e para a manutenção dos recursos naturais.

Difícilmente um produtor rural vai investir dinheiro visando práticas conservacionistas sem que haja um retorno financeiro. Nesse contexto, o PSA entra em ação tornando a conservação mais atraente (PAGIOLA, 2013).

O PSA não é apenas uma ideia teórica, mas uma prática já implementada em diversos países, inclusive no Brasil. Pagiola (2013) apresenta projetos que demonstram que o PSA é uma ferramenta eficaz para conciliar desenvolvimento sustentável com a conservação da biodiversidade. Alguns desses são: o Projeto Ecocrédito, da cidade de Montes Claros-MG; o Projeto Oásis de São Paulo e Apucarana e o Projeto Conservador das Águas do município de Extrema-MG, considerado, de acordo com Pereira (2010), uma das primeiras experiências de PSA no Brasil.

O Projeto Conservador das Águas foi implantado por sub-bacias e deu início priorizando ações preventivas, visando a manutenção da qualidade dos cursos hídricos do município e a adequação ambiental das propriedades rurais. São vários os atores envolvidos no projeto, sendo cada um responsável por determinadas ações. Entre eles, estão: Prefeitura Municipal, Secretaria de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), Instituto Estadual Florestal (IEF-MG), Agência Nacional de Águas (ANA), The Nature Conservancy (TNC), SOS Mata Atlântica, Comitês de Bacia Hidrográfica, Bauducco Indústria de Alimentos, Laticínio Serra Dourada e Indústria Dalka do Brasil. A maioria dos provedores dos serviços são

pequenos produtores rurais de baixa renda e entre as fontes financiadoras do projeto, figuram-se a Prefeitura Municipal, Governo do Estado, SEMAD, ANA, TNC e a iniciativa privada (PEREIRA, 2013).

Os resultados do Projeto Conservador das Águas são bastante significativos, até o ano de 2013 o projeto alcançou os seguintes resultados: 50 nascentes protegidas; 150 hectares de matas ciliares protegidas; 280 hectares de matas de topo protegidas; 300 hectares de Reserva Legal averbados; 5204 hectares de solos conservados; 144 propriedades com práticas adequadas de saneamento ambiental, e em 2009 Joanópolis/SP e Nazaré Paulista/SP, duas cidades de entorno, aderiram ao PSA (EXTREMA, 2013). Com o intuito de trazer dados mais atuais, verificou-se que o projeto alcançou, desde sua implantação até o ano de 2017, 238 contratos com proprietários rurais; 7.300 hectares protegidos; 276.811 metros de cercas construídas e mantidas; 1.554.793 mudas plantadas e mantidas; por fim, foram pagos aos agricultores um total de R\$ 5.199.724,78 (SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE DE EXTREMA-MG, 2017; PEREIRA, 2017).

O Plano Conservador da Mantiqueira (PCM) surgiu após uma experiência para expandir o modelo do Projeto Conservador das Águas feita entre 2015 e 2016 com apoio de diversas organizações parceiras. A primeira fase de execução desse plano terminou em dezembro de 2019, com mais de 70 municípios mobilizados e diversos projetos-piloto implantados. Partindo do interesse de outros municípios e instituições, a rede traçou uma nova área de atuação, chegando a 425 cidades e potencial de restauração de 1,5 milhão de hectares (CONSERVADOR DA MANTIQUEIRA, 2017).

A efetivação do Plano Conservador da Mantiqueira conta como a estratégia de criação de “núcleos irradiadores”. Em cada núcleo, espera-se que uma instituição de referência seja mobilizada para promover processos de sensibilização e mobilização de múltiplos atores, a realização de diagnósticos socioambientais, a promoção de capacitações e formações de agentes públicos e privados para apoiar a implementação e o acompanhamento das políticas públicas vinculadas ao PCM. Neste sentido, em 2021, nasceu o projeto “A Universidade Federal de Lavras como núcleo irradiador do Plano Conservador da Mantiqueira”, objetivando promover a Universidade Federal de Lavras por meio de suas capacidades no âmbito do ensino, da pesquisa e da extensão como um núcleo para a irradiação do Plano Conservador da Mantiqueira. Para tanto, deu-se início a um processo de sensibilização e mobilização social em âmbito regional, apoiando municipalidades na elaboração de legislação e implementação do plano,

capacitando e formando agentes capazes de executar as ações práticas do plano, e estabelecendo meios para o acompanhamento e avaliação destas ações.

2.2 Análise multicritérios em ambiente SIG

A Análise Multicritério (AMC) é definida como um método de análise de alternativas para resolução de problemas que utiliza vários critérios relacionados ao objeto de estudo, sendo possível identificar as alternativas prioritárias para o objetivo considerado (FRANCISCO, 2007). A AMC é uma metodologia, amplamente aceita nas análises espaciais, pois faz a união de diferentes informações com relevâncias distintas, e assim possibilita mapear algumas variáveis para produção de um mapa final que servirá de apoio a tomadas de decisão (MOURA, 2007).

As metodologias de AMC possibilitam a integração de fontes de informação distintas, levando em consideração critérios pré-determinados, permitindo ponderá-los de acordo com sua importância, visualizar e analisar os resultados em mapas temáticos e, por fim, tomar as melhores decisões. Belton e Stewart (2002) afirmam que a AMC atua na organização e síntese das informações com o intuito de permitir ao tomador de decisão resolver o problema de forma mais segura e clara.

A AMC atrelada em ambiente SIG é uma ferramenta muito útil no planejamento ambiental. Essa correlação segue uma lógica de simplificação e sistematização da complexidade espacial, baseada na seleção, representação, combinação, ponderação e validação das camadas de informação, permitindo explorar as potencialidades do SIG na modelagem e na visualização do objeto de estudo (FRANCISCO, 2007; MOURA, 2007).

A classificação das propriedades rurais em cada critério adotado foi realizada com o auxílio do método de Quebra Natural Jenks. Essa abordagem foi desenvolvida por Walter Fisher (1958) e implementado por George Jenks em 1977, sendo um aprimoramento do método de Quebra Natural. Consiste em um algoritmo que adota os próprios valores da base de dados como limites inferiores e superiores e seleciona um intervalo de classes ótimo. Muitos acreditam que este seja o método de classificação ideal para comunicar a distribuição dos dados ao leitor de mapas (DENT, 1999).

Um desafio encontrado em problemas que consideram vários critérios consiste em quantificar a relevância de cada critério em relação aos demais. Esse ponto requer uma análise dos objetivos, preferências e valores dos tomadores de decisão, bem como dos possíveis

impactos das alternativas disponíveis. Uma forma geralmente utilizada para avaliar a importância de cada fator consiste em atribuir um peso que represente o seu grau de influência (RAMOS, 2000).

Encontram-se na literatura algumas propostas de procedimentos para atribuição de pesos aos critérios. Como exemplo podem ser citados os seguintes métodos baseados em: ordenação de critérios (STILLWELL, 1981); escalas de pontos (OSGOOD, 1957); distribuição de pontos (EASTON, 1973) e, por fim, comparação de critérios par a par, desenvolvido por Thomas Saaty em 1977, conhecido como Analytic Hierarchy Process (AHP) e utilizado no presente trabalho.

2.3 Analytic hierarchy process (AHP)

Em português, o Processo Analítico Hierárquico, ou Processo de Hierarquia Analítica, é definido como uma estrutura não linear para realizar tanto o pensamento dedutivo quanto o indutivo, levando em consideração vários fatores simultaneamente. Permitindo dependência e feedback, e fazendo compensações numéricas para chegar a uma síntese ou conclusão (SAATY, 1987).

O AHP é uma ferramenta matemática e quantitativa, utilizado nas mais diversas áreas, tem por objetivo auxiliar os tomadores de decisão a encontrarem uma solução ótima para determinado problema. O método atua como parte dos procedimentos de AMC efetuando comparações paritárias entre os critérios e ordenando os mesmos conforme julgamento de especialistas sobre a temática de interesse (SURESHCHANDER e LEISTEN, 2006; SAATY e SHANG, 2011).

De acordo com Saaty (1987) ao enfrentar situações que demandam planejamento, alocação de recursos, resoluções de conflitos e tomada de decisões multicritérios, tem-se o cenário ideal para aplicar o método AHP. Pode-se dizer que a base ou, a essência, do método consiste na comparação entre os critérios. No entanto, simplesmente comparar fatores não é o suficiente para alcançar um resultado palpável. Nesse sentido, Gomedê (2012) salienta que a principal vantagem do AHP em relação a outras técnicas comparativas, está na capacidade de converter dados empíricos em um modelo matemático, possibilitando uma comparação numérica de fácil visualização e compreensão.

O método se apoia na chamada escala fundamental de Saaty que varia de 1 a 9, onde 1 representa uma igualdade de relevância entre dois critérios e 9 indica que um dos critérios é

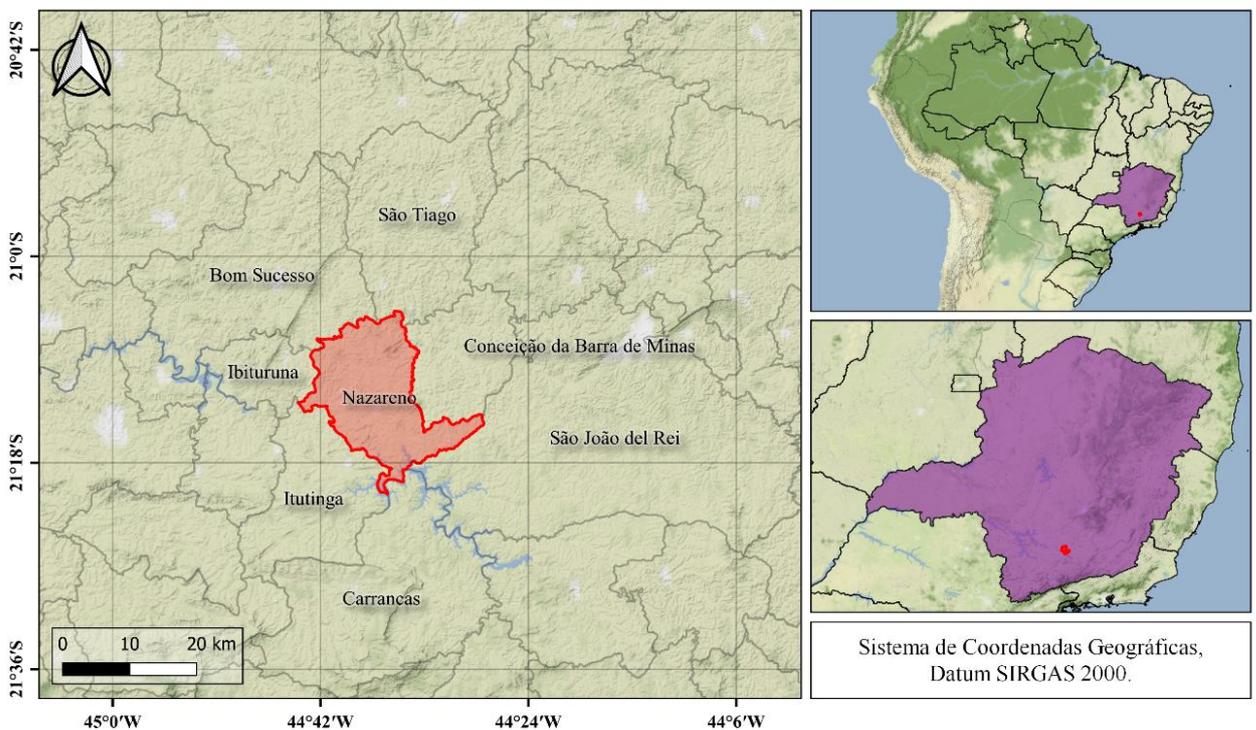
muito mais relevante que o outro. A escala serve como referência para o preenchimento da matriz de comparação pareada, que por sua vez, ao ser finalizada possibilita o cálculo tanto dos pesos de cada critério quanto do índice de consistência, responsável pela validação da comparação (SAATY, 1987). Os cálculos citados serão abordados com maiores detalhes na metodologia do presente trabalho.

3. METODOLOGIA

3.1 Descrição da área de estudo

A área de estudos situa-se no município de Nazareno, no sul de Minas Gerais (Figura 1), localizado na mesorregião geográfica do Campo das Vertentes, entre as coordenadas 21°12' de latitude sul, 44°35' de longitude oeste e 935 metros de altitude média. O município se encontra inserido na superfície Cristalina do Alto Rio Grande, Bacia do Rio Grande (MARQUES et al., 2002). A área territorial do município é de 341,453 km² e sua população é estimada em 8.179 pessoas (IBGE, 2022).

Figura 1 - Localização do município de Nazareno, no Estado de Minas Gerais, Brasil.



Fonte: Do autor (2023).

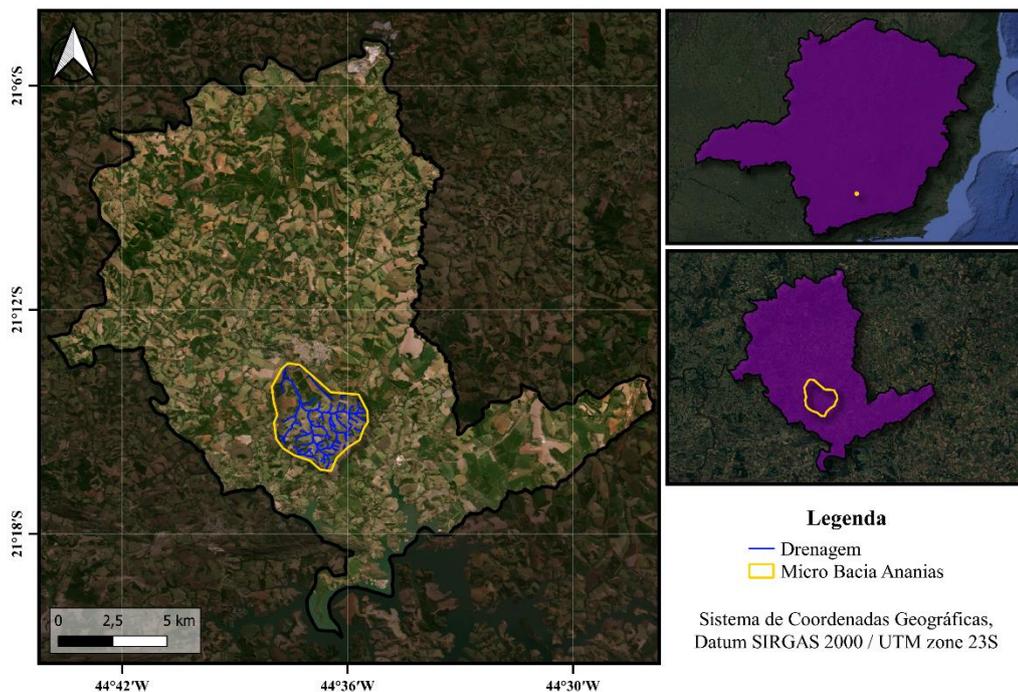
Nazareno apresenta clima tropical de altitude com verões quentes e úmidos e invernos frescos e secos. As chuvas se concentram nos meses de novembro a fevereiro, com precipitação média anual de 1.300 a 1.600 mm. De acordo com a classificação de Köppen, o clima do município é do tipo Cwb com temperatura média anual de 18 a 20° C (ALVARES, 2013).

As formações vegetacionais características e preponderantes que ocorrem no município são a Floresta Tropical Semidecidual e o Cerrado Tropical Semidecidual, formando um mosaico vegetal o qual configura um ecótono entre as fisionomias (HORTA, 2006).

O relevo predominante do município é o ondulado e os principais tipos de solo são os Latossolo Vermelho-Amarelo (58%), Cambissolo (31%), Latossolo Vermelho (7%) e Gleissolo (2%) (HORTA, 2009).

Como ilustra a Figura 2, a área de estudo foi delimitada na Microbacia do Córrego Ananias. Este recorte, situado na zona rural do município, possui área territorial de 15,080 km² e tem por finalidade direcionar o estudo para as áreas do entorno deste manancial, visto que o mesmo é responsável pelo abastecimento urbano (PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO, NAZARENO, 2013).

Figura 2 – Área de estudo.

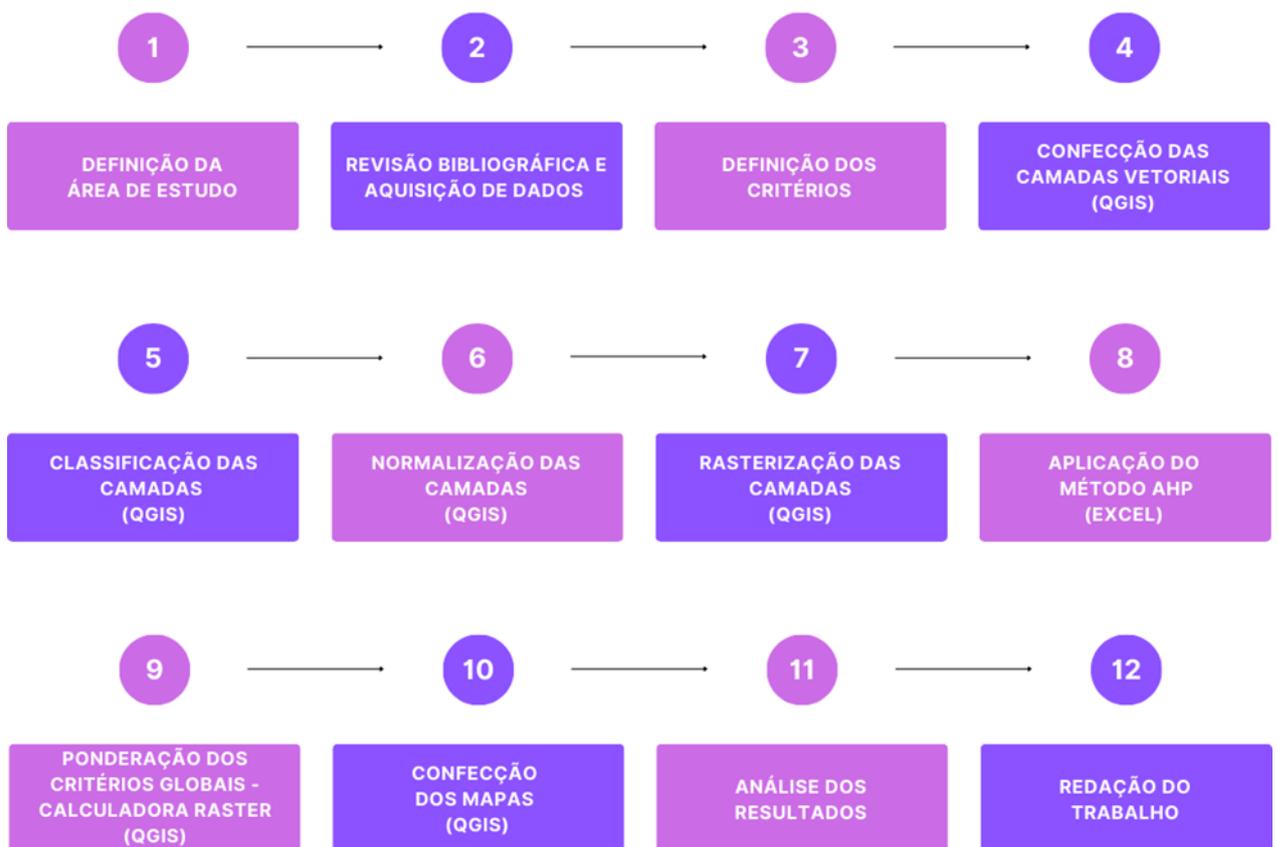


Fonte: Do autor (2023).

3.2 Etapas do trabalho

A fim de estruturar e coordenar o progresso do trabalho de maneira eficaz, foi adotado uma sequência lógica de processos. A Figura 3 ilustra, por meio de um fluxograma, como essas etapas foram organizadas, destacando as principais atividades realizadas em cada uma.

Figura 3 – Fluxograma do trabalho.



Fonte: Do autor (2023).

Dando início ao caminho percorrido, apresentado na Figura 3, a escolha pelo município de Nazareno teve como motivação o engajamento existente no município pela implementação de programas de PSA. A delimitação na área de abrangência do Córrego Ananias se fundamenta no objetivo em assegurar a provisão de água potável para as comunidades rurais e urbanas.

Através da revisão bibliográfica buscou-se entender os conceitos e mecanismos acerca dos serviços ambientais, programas de PSA e formas de realizar uma análise multicritério,

integrada em ambiente SIG. Os dados vetoriais utilizados foram obtidos de forma gratuita como detalhado na Figura 4.

Na definição dos critérios procurou-se selecionar fatores que seriam relevantes na análise e apresentassem coerência com os objetivos do trabalho. A confecção das camadas referentes aos critérios foi realizada no *software* QGIS 3.28.9 partindo dos dados vetoriais (Figura 4) que foram manipulados com os seguintes procedimentos operacionais: extração de feições de interesse; recortes das camadas para área de estudo; interseção das camadas com os imóveis analisados e, finalmente cálculo, em hectare, das áreas antropizadas e de remanescente de vegetação nativa presentes em cada imóvel, das APP de cada imóvel e do uso do solo nas APP de cada um deles. Essas áreas calculadas foram divididas, cada uma delas, pela área total do imóvel, resultando em valores percentuais.

Os valores percentuais calculados compõem a base de dados utilizada para classificação das propriedades em cada critério analisado. Para isso, foi utilizado o método de Quebra Natural Jenks, disponível no QGIS 3.28.9. Conforme a Tabela 2, em cada critério os imóveis foram classificados em 5 classes, sendo que aquelas com maiores percentuais receberam maiores notas. Essas notas foram normalizadas numa escala de 0 a 1.

Dessa forma, as quatro camadas vetoriais classificadas deram origem a quatro camadas *raster* através do processamento conhecido como rasterização, disponível no QGIS 3.28.9. Essas camadas foram utilizadas na calculadora *raster* do QGIS 3.28.9 para produzir o mapa final que consiste na sobreposição das quatro camadas, ponderadas pelos pesos obtidos através do método AHP.

A produção dos mapas foi realizada no QGIS 3.28.9 e teve o objetivo de embasar decisões no trabalho, bem como em realizar a análise dos resultados.

3.3 Critérios utilizados

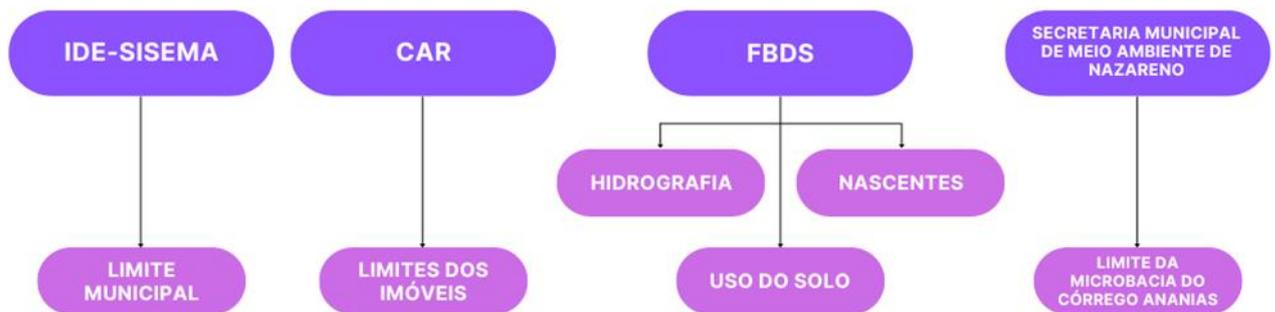
Para ranquear as propriedades rurais e determinar aquelas com maior prioridade para receberem pagamento por serviços ambientais, empregou-se a análise multicritério (AMC), a qual foi integrada ao sistema de informações geográficas (SIG).

A definição dos critérios globais, aqueles que visam nortear a análise, baseou-se no interesse em garantir a preservação dos cursos hídricos de forma a assegurar o acesso à água de qualidade pelas comunidades urbanas e rurais. Na definição dos pesos aos critérios globais, adotou-se o método analítico hierárquico (AHP), ferramenta utilizada para sistematizar a

definição dos pesos aos critérios através da participação de especialistas envolvidos na área. Para ponderação dos pesos foi utilizada a combinação linear ponderada (CLP) integrada à calculadora raster do QGIS 3.28.9, onde as camadas referentes aos critérios foram multiplicadas pelos seus respectivos pesos.

Para elaborar as camadas relativas aos critérios, foram empregadas diferentes bases de dados, conforme exemplificado na Figura 4. Os processamentos digitais dos dados para confecção das camadas e respectivos mapas temáticos foram realizados no QGIS 3.28.9.

Figura 4 – Base de dados, utilizados na confecção das camadas relativas aos critérios utilizados na análise.



*IDE-SISEMA: Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual De Meio Ambiente e Recursos Hídricos de MG; CAR: Cadastro Ambiental Rural; FBDS: Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável.

Fonte: Do autor (2023).

3.3.1 Remanescente de vegetação nativa

O critério em questão se refere a porcentagem de vegetação nativa observada no imóvel em relação a área total do mesmo. Aqueles imóveis que possuem 20% ou mais estão de acordo com o Código Florestal no que diz respeito a área de Reserva Legal e, portanto receberam nota máxima. Os demais receberam notas inferiores, de acordo com o percentual de vegetação nativa observada.

Para elaboração desse critério foi utilizada a camada vetorial de Uso do Solo para o município de Nazareno, obtida de forma gratuita através do portal da Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS) e processada para a área de interesse. A camada em questão permitiu quantificar a área de vegetação nativa existente no interior de cada imóvel.

Tal critério tem sua relevância na análise, pois além de ressaltar a importância da manutenção da vegetação nativa, prioriza aqueles proprietários que estão em conformidade com a legislação. Como o êxito do programa de pagamento por serviços ambientais está parcialmente atrelado ao compromisso do proprietário do imóvel rural, o fato dele manter a vegetação nativa conservada e estar em conformidade legal transmite uma confiança de que o mesmo estará engajado nas atividades relacionadas ao programa de PSA.

3.3.2 Áreas de preservação permanente (APP) no entorno de nascentes

A camada para delimitação das áreas de APP em questão diz respeito ao somatório das APP no entorno das nascentes encontradas nos imóveis. Com o intuito de evitar qualquer viés relacionado ao tamanho da propriedade, esse valor foi relativizado com base na área total do imóvel. Para isso, o valor calculado de APP foi dividido pela área total do imóvel.

A camada de nascentes foi adquirida no portal da FBDS e processada para área de estudo de forma a alcançar os valores em questão. Para isso, foram somadas as APP de nascentes encontradas no interior dos imóveis juntamente à porção da APP, inserida nos imóveis, daquelas nascentes localizadas em seu exterior.

Esse critério, no contexto da análise, se justifica diante da extrema importância das nascentes para a dinâmica natural hidrológica e conseqüentemente da necessidade de protegê-las.

3.3.3 Áreas de preservação permanente (APP) no entorno de rios

A hidrografia de Nazareno também foi obtida no portal da FBDS. Foi realizado um recorte para área de interesse, interseção com os imóveis e cálculos para quantificação da APP em cada um deles, permitindo a classificação dos imóveis de acordo com o percentual de APP. Dessa forma foi gerado a camada de APP no entorno de rios.

De forma análoga ao anterior, este engloba a soma das APP ao longo da drenagem inserida no interior das propriedades, sendo realizado a relativização com base na área do imóvel, para evitar o favorecimento às maiores propriedades.

Diante da importância da preservação dos cursos d'água através da manutenção da vegetação nativa em seu entorno, quanto maior a proporção de APP no imóvel, a fim de conservação ou restauração, maior a prioridade deste.

3.3.4 Status das APP

Esse critério consiste no estado de conservação das APP, ou seja, o percentual da APP coberta por vegetação nativa. A plataforma da FBDS fornece a camada de Uso do Solo na APP para cada município, utilizada na construção desse critério.

Em relação aos processamentos, a camada de Uso do Solo na APP foi recortada para área de estudo e interseccionada para cada imóvel, possibilitando os cálculos das porções conservadas e degradadas das APP em cada imóvel. Feito isso foi possível classificar os imóveis de acordo com o estado de conservação da APP.

Além da responsabilidade legal em manter a vegetação nativa nas APP, essa prática é de extrema importância na manutenção da qualidade da água, na proteção dos mananciais contra a erosão do solo e na manutenção do equilíbrio dos ecossistemas em geral. Entretanto, foi observado na área de estudo, que a maior parte das APP está coberta por áreas antropizadas.

Aqueles proprietários que possuem uma APP mais íntegra, tendem a contribuir com um maior engajamento na execução das atividades do programa de PSA, portanto devem ser priorizados.

3.4 Definição dos pesos para os subcritérios

O método Jenks utiliza a base de dados para definição dos limites superiores e inferiores das classes. No presente trabalho, a base de dados corresponde aos percentuais calculados para cada critério e imóvel, conforme abordado anteriormente. Os critérios foram classificados em cinco classes e cada classe recebeu um valor conforme Tabela 2.

No critério Remanescente de Vegetação Nativa, a classe de maior valor sofreu alteração nos limites com o intuito de agrupar numa mesma classe aqueles imóveis que estão de acordo com o Código Florestal em relação a Reserva Legal.

Na definição dos pesos dos subcritérios, aqueles que contribuem positivamente na dinâmica ambiental das propriedades receberam uma maior pontuação, enquanto isso, aqueles que contribuem negativamente foram pontuados com valores menores.

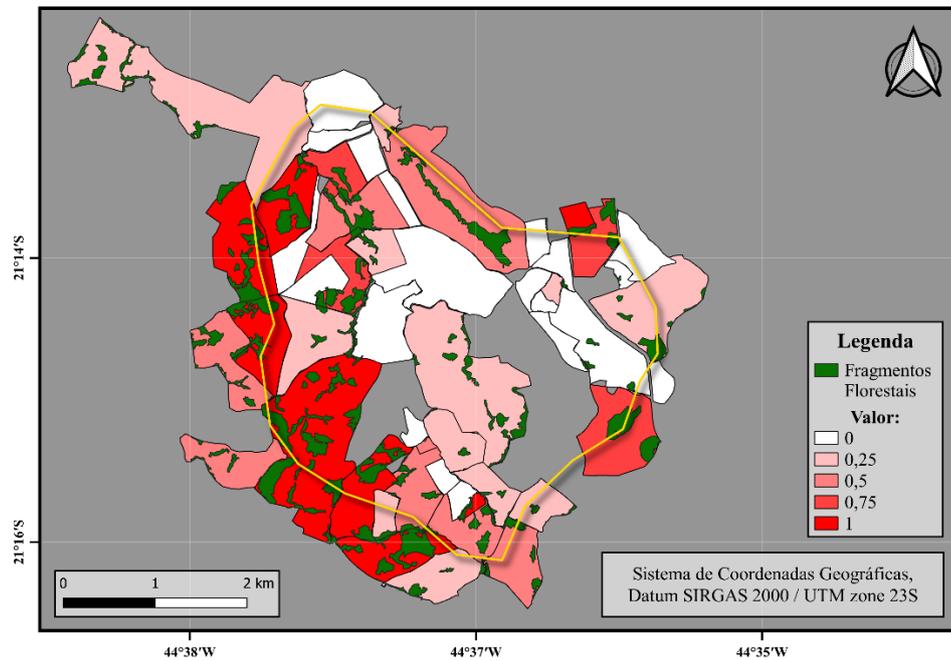
Tabela 2 – Critérios, subcritérios e seus respectivos pesos

CRITÉRIO	SUBCRITÉRIO	VALOR
Remanescente de Vegetação Nativa	≥ 20 %	1,00
	15 - 20 %	0,75
	9,5 - 15,5 %	0,50
	3,7 - 9,5 %	0,25
	0 - 3,7 %	0,00
APP no entorno de Nascentes	7,58 - 11,82 %	1,00
	3,53 - 7,58 %	0,75
	1,98 - 3,53 %	0,50
	0,66 - 1,98 %	0,25
	0 - 0,66 %	0,00
APP no entorno de Rios	29,6 - 41,7 %	1,00
	19,7 - 29,6 %	0,75
	11,2 - 19,7 %	0,50
	2,4 - 11,2 %	0,25
	0 - 2,4 %	0,00
Status das APP	64,6 - 99,1 %	1,00
	40,9 - 64,6 %	0,75
	20,4 - 40,9 %	0,50
	5,8 - 20,4 %	0,25
	0 - 5,8 %	0,00

Fonte: Do autor (2023).

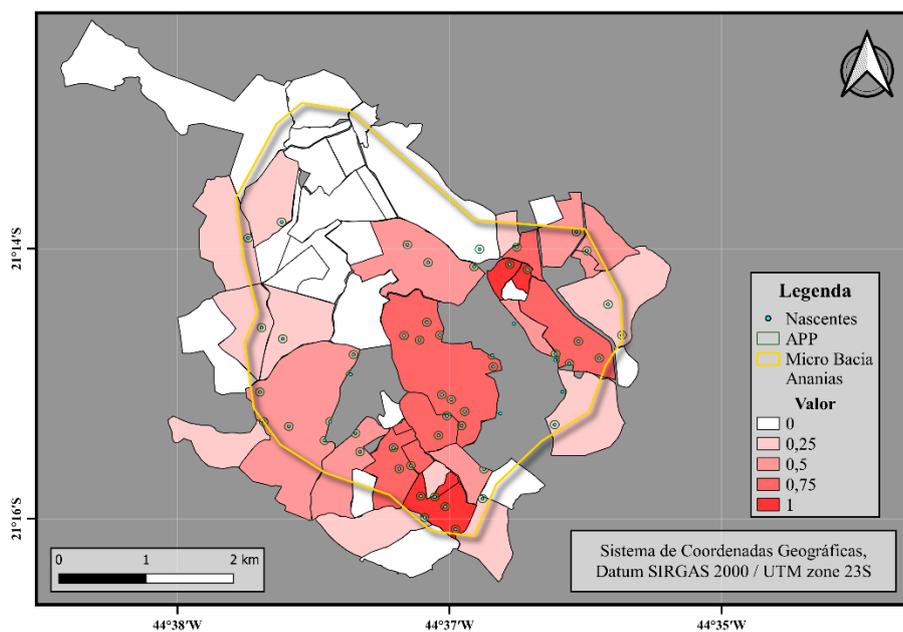
Com os critérios estabelecidos, confeccionados e classificados por meio das camadas vetoriais, se deu origem aos mapas de cada critério como apresentado nas Figuras 5, 6, 7 e 8. Essas camadas também deram origem aos arquivos rasters utilizados na produção do mapa final que apresentará as propriedades prioritárias para o Pagamento por Serviços Ambientais no município de Nazareno-MG.

Figura 5: Mapa dos imóveis rurais classificados de acordo com o critério Remanescente de Vegetação Nativa.



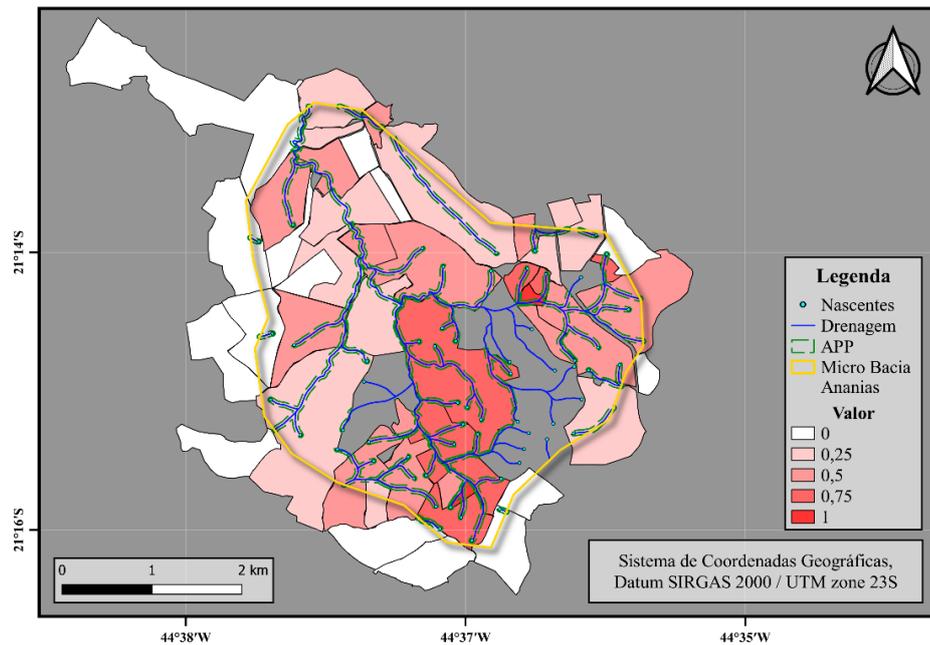
Fonte: Do autor (2023).

Figura 6: Mapa dos imóveis rurais classificados de acordo com o critério APP no entorno de Nascentes.



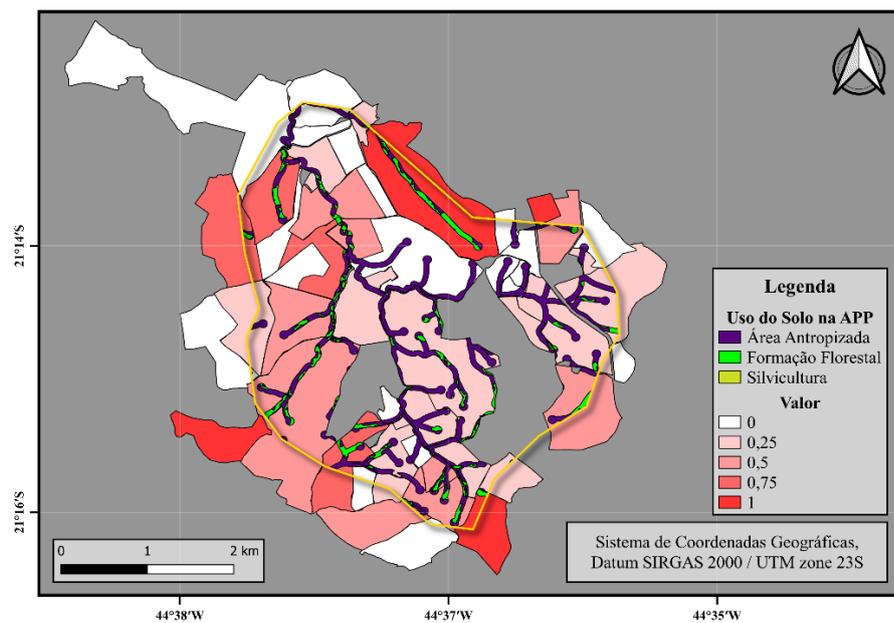
Fonte: Do autor (2023).

Figura 7: Mapa dos imóveis rurais classificados de acordo com o critério APP no entorno de Rios.



Fonte: Do autor (2023).

Figura 8: Mapa dos imóveis rurais classificados de acordo com o critério Status das APP.



Fonte: Do autor (2023).

3.5 Definição dos pesos para os critérios globais

Para verificar a importância de cada critério (camada) da análise foi adotado o método conhecido como Processo Analítico Hierárquico ou Analytic Hierarchy Process (AHP), proposto por Thomas Saaty (1977). Para isso, quatro especialistas no tema contribuíram com o trabalho, avaliando os critérios e comparando cada um de forma pareada de acordo com a escala recomendada por Saaty, apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 – Escala recomendada por Saaty

Valor	Recíproco	Definição
1	1	Importância igual
3	1/3	Moderadamente mais importante
5	1/5	Mais importante
7	1/7	Fortemente mais importante
9	1/9	Extremamente mais importante
2,4,6 e 8	*	Valores intermediários

* 1/2; 1/4; 1/6; 1/8

Fonte: Adaptado de Saaty (1987).

3.5.1 Matriz de comparação pareada

Primeiramente, foi elaborada a matriz de comparação pareada, conforme Tabela 4, e enviada aos especialistas para preencherem de acordo com seus julgamentos. Da posse dos julgamentos, é realizada uma média entre todas as avaliações. Essa média será utilizada como preenchimento definitivo na matriz.

Tabela 4: Matriz de comparação pareada

	C1	C2	C3	C4
C1	1			
C2		1		
C3			1	
C4				1

Fonte: Do autor (2023).

3.5.2 Cálculos e validações

Dando sequência ao método, foram realizados alguns cálculos com o intuito de obter os pesos dos critérios e de validar a consistência da matriz. Para isso, foram executados os seguintes passos:

3.5.2.1 Soma das linhas (SL)

Consiste apenas no somatório dos dados de mesma linha, resultando em 4 novos valores, como apresentado na Tabela 5.

Tabela 5: Soma das linhas

	C1	C2	C3	C4	SL
C1	1				1
C2		1			1
C3			1		1
C4				1	1
					4

Fonte: Do autor (2023).

3.5.2.2 Cálculo dos autovetores (W)

Os autovetores correspondem aos pesos dos critérios e são calculados conforme a Equação 1.

$$Wi = \frac{SLi}{\sum_{i=1}^n SLi} \quad (1)$$

3.5.2.3 Cálculo do produto vetorial (PV)

O cálculo do produto vetorial consiste numa multiplicação de matrizes, com objetivo de verificar a consistência da matriz, onde cada linha da matriz de comparação pareada é multiplicada com a coluna dos autovetores, conforme Equação 2.

$$PVi = Li \times W \quad (2)$$

Em que:

Li: linha da matriz de comparação pareada

W: coluna dos autovetores

3.5.2.4 Cálculo dos autovalores (λ)

No cálculo dos autovalores, o produto vetorial do critério é dividido pelo seu autovetor correspondente, conforme Equação 3.

$$\lambda = \frac{PVi}{Wi} \quad (3)$$

3.5.2.5 Cálculo do autovalor máximo (λ máx)

O autovalor máximo é a média do que a média aritmética dos autovalores (λ).

3.5.2.6 Cálculo do índice de consistência (IC)

O índice de consistência é calculado conforme a Equação 4.

$$IC = \frac{(\lambda_{máx} - n)}{(n-1)} \quad (4)$$

Em que:

n = número de critérios

3.5.2.7 Cálculo da razão de consistência (RC)

Por fim, para calcular a razão de consistência, como apresentado na Equação 5, basta dividir o índice de consistência, calculado anteriormente, pelo índice randômico, tabelado de acordo com o número de critérios, conforme apresentado na Tabela 6.

De acordo com Saaty (1991) a razão de consistência deve ser menor que 0,1 para configurar uma matriz consistente. Caso contrário, se caracteriza uma matriz inconsistente e, nesse caso o julgamento deve ser reformulado.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (5)$$

Tabela 6 – Índice Randômico de acordo com o tamanho da matriz de comparação pareada

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
IR	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Fonte: Saaty (1991)

3.6 Comparação pareada dos critérios

Com os julgamentos dos especialistas em mãos, foi possível sintetizar as avaliações de todos eles em uma única matriz, através da média dos valores em questão dando origem a matriz de comparação pareada definitiva apresentada na Tabela 7.

Tabela 7 – Matriz de comparação pareada definitiva

	C1	C2	C3	C4
C1	1,00	0,25	0,27	1,25
C2	4,50	1,00	1,50	4,00
C3	4,00	0,75	1,00	4,00
C4	1,25	0,27	0,27	1,00

C1: Remanescente de Vegetação Nativa; C2: APP no Entorno de Nascentes; C3: APP no Entorno de Rios; C4: Status das APP

Fonte: Do autor (2023).

Com a matriz de comparação pareada finalizada, foram calculados os pesos para cada critério e também os parâmetros determinados por Saaty (1991) que permitem verificar a consistência da matriz. A sequência lógica das operações está apresentada na Tabela 8. Como se observa, a matriz do presente trabalho apresenta Razão de Consistência (RC) menor que 0,1 e, portanto, se caracteriza como consistente.

Tabela 8 – Sequência lógica para cálculo dos pesos dos critérios e parâmetros de validação

Soma das Linhas (SL)	Autovetor (W)	n	PV	Lambda	Lambda máx.	IC	IR	RC
2,77	0,105		0,441	4,191				
11,00	0,418	4	1,871	4,473	4,255	0,085	0,90	0,095
9,75	0,371		1,529	4,123				
2,78	0,106		0,448	4,231				
26,30	1,000							

Fonte: Do autor (2023).

O método AHP foi adotado para cooperar na ponderação dos critérios globais e permitir uma análise mais precisa e estruturada. O resultado final foi satisfatório, visto que a matriz foi considerada consistente de acordo com os parâmetros do próprio método. A Tabela 9 apresenta o peso calculado de cada critério.

Tabela 9 – Pesos calculados dos critérios

Critério	Peso
Remanescente de Vegetação Nativa	0,105
APP no Entorno de Nascentes	0,418
APP no Entorno de Rios	0,371
Status da APP	0,106

Fonte: Do autor (2023).

Pode-se observar que o critério APP no Entorno de Nascentes (41,8%) foi o mais relevante segundo os avaliadores, seguido, com uma pequena diferença, pela APP no Entorno de Rios (37,1%). Em terceiro lugar, já com uma diferença considerável, encontra-se o critério Status da APP (10,6%) e logo abaixo, Remanescente de Vegetação Nativa (10,5%).

3.7 Elaboração do mapa final

Na confecção do produto final do trabalho, que consiste no mapa de propriedades rurais prioritárias para PSA no município de Nazareno-MG, os pesos de cada critério foram aplicados na calculadora raster do QGIS multiplicando as camadas correspondentes, conforme a Equação 6.

$$\text{Mapa Final} = (C1 \times 0,105) + (C2 \times 0,418) + (C3 \times 0,371) + (C4 \times 0,106) \quad (6)$$

Em que:

C1 = Remanescente de Vegetação Nativa

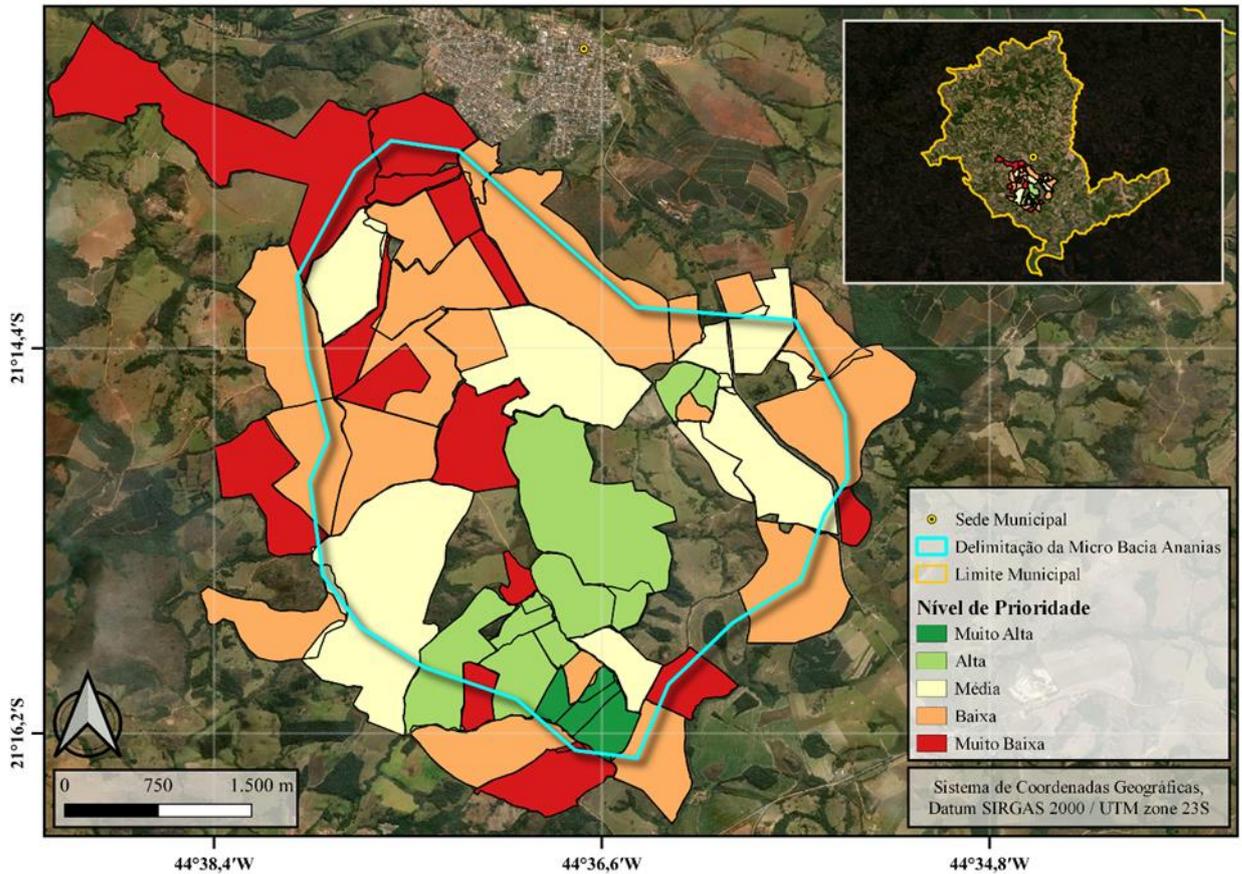
C2 = APP no Entorno de Nascentes

C3 = APP no Entorno de Rios

C4 = Status da APP

Vale ressaltar que, como no cálculo dos autovetores houve a normalização dos valores, não foi preciso efetuar a divisão pela soma dos pesos. A partir dessa operação foi produzido o mapa de propriedades rurais prioritárias, conforme apresentado na Figura 9.

Figura 9 – Mapa das propriedades rurais prioritárias para pagamento por serviços ambientais no município de Nazareno-MG



Fonte: Do autor (2023).

O mapa final apresenta as propriedades classificadas em 5 níveis de prioridade, sendo elas, muito alta, alta, média, baixa e muito baixa. A classificação foi realizada no QGIS, utilizando o método discreto e modo intervalo igual. A Tabela 10 ilustra como os dados foram agrupados.

Vale ressaltar que a presença de espaços vazios no mapeamento corresponde a territórios sem cadastro ambiental rural (CAR).

Tabela 10 – Classes de Prioridade

Valor de Prioridade	Nível de Prioridade
$\leq 0,1894$	Muita Baixa
0,1894 - 0,3788	Baixa
0,3788 - 0,5682	Média
0,5682 - 0,7576	Alta
$> 0,7576$	Muito Alta

Fonte: Do autor (2023).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Seleção de propriedades

Como observado na Figura 9 e na Tabela 11, apenas duas propriedades foram consideradas como prioridade muito alta. Dessa forma, pensando na execução de um programa de pagamento por serviços ambientais, é possível definir ações mais assertivas e focar os esforços e recursos nas propriedades prioritárias.

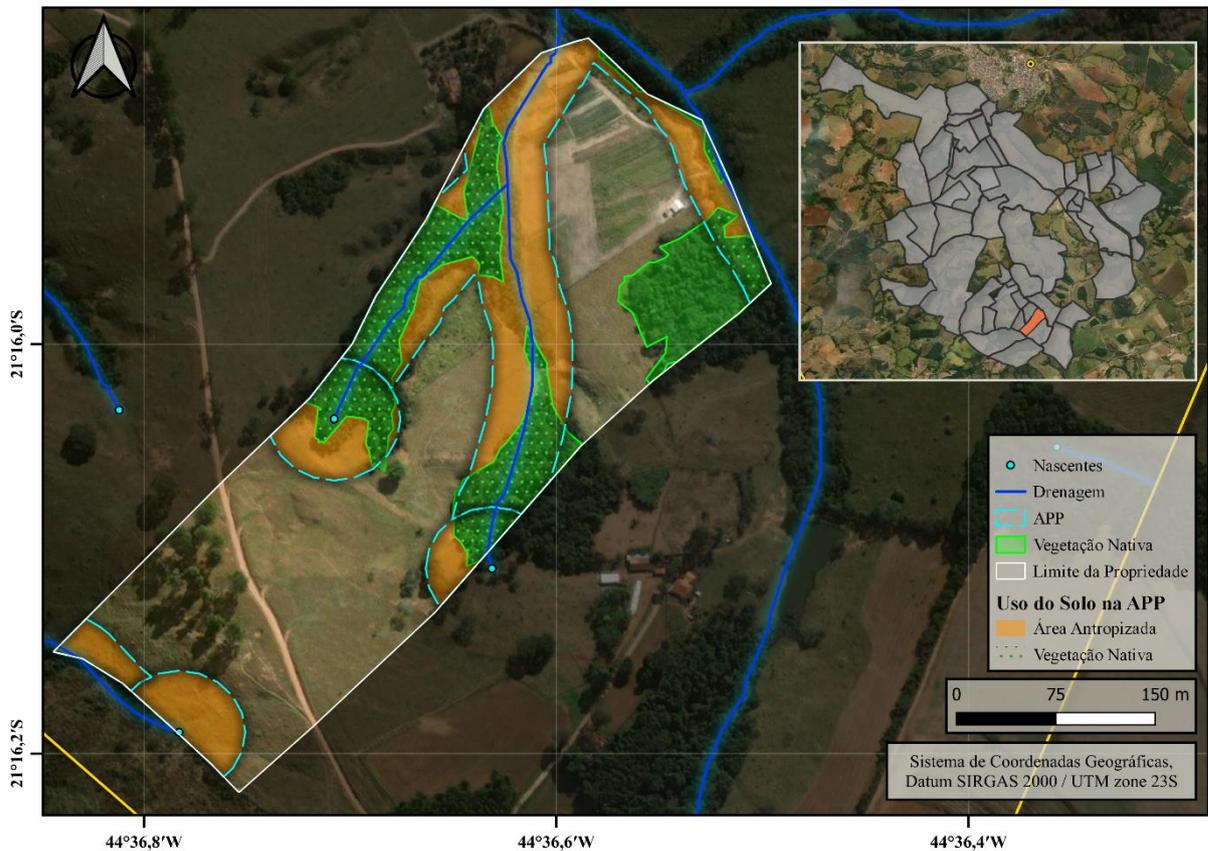
Tabela 11 – Número de propriedades em cada nível de prioridade

Nível de Prioridade	Nº de Propriedades
Muito Alta	2
Alta	8
Média	9
Baixa	19
Muito Baixa	14

Fonte: Do autor (2023).

As Figuras 10, 11 e 12 apresentam o mapa de propriedades classificadas com prioridade muito alta, média e muito baixa, respectivamente, para exemplificar e elucidar as diferenças entre os imóveis de diferentes níveis de prioridade.

Figura 10 – Propriedade classificada com nível de prioridade muito alta



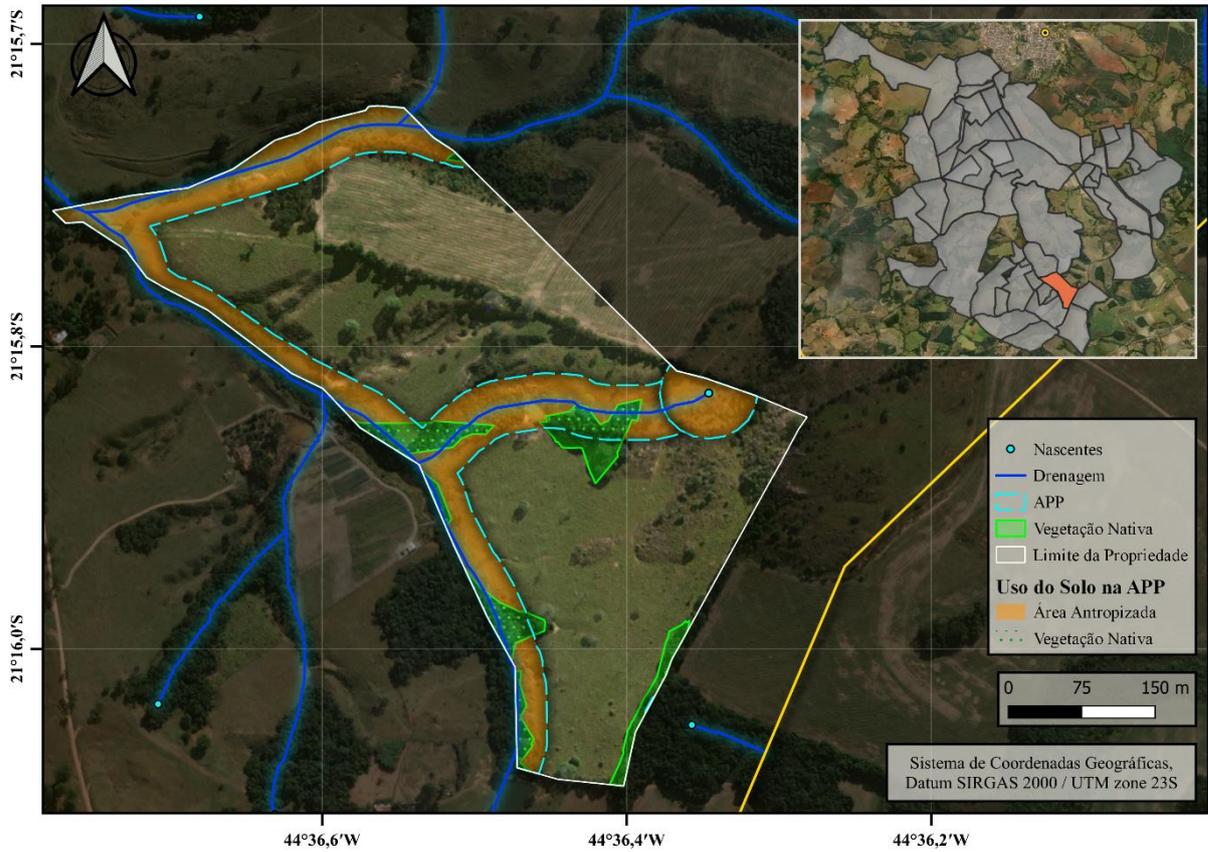
Fonte: Do autor (2023).

Como se pode observar, o imóvel da Figura 10 apresenta problemas de sobreposição com o imóvel vizinho. No entanto, a propriedade em foco foi isolada com o uso de filtro da camada no QGIS com o objetivo de apresentar os detalhes de seu interior.

O imóvel em questão, apresenta uma área total de 12,61ha, sendo 2,54 de vegetação nativa e os outros 10,07 de área antropizada, conforme a classificação de uso e cobertura do solo da Fundação Brasileira de Desenvolvimento Sustentável (FBDS). A propriedade possui drenagem e duas nascentes em seu interior e uma outra, externa, próxima ao limite, com APP adentrando ao imóvel. As Áreas de Preservação Permanente deste imóvel totalizam 4,98ha, sendo 3,12ha coberta por área antropizada e apenas 1,86ha por vegetação nativa.

O imóvel da Figura 11 possui 22,02ha, com cobertura de vegetação nativa igual a 1,28ha e 20,74ha de área antropizada. Observa-se a presença de drenagem e de uma nascente em seu interior, o que configura uma APP de 5,95ha, composta por 5,05 de área antropizada e 0,9 de vegetação nativa.

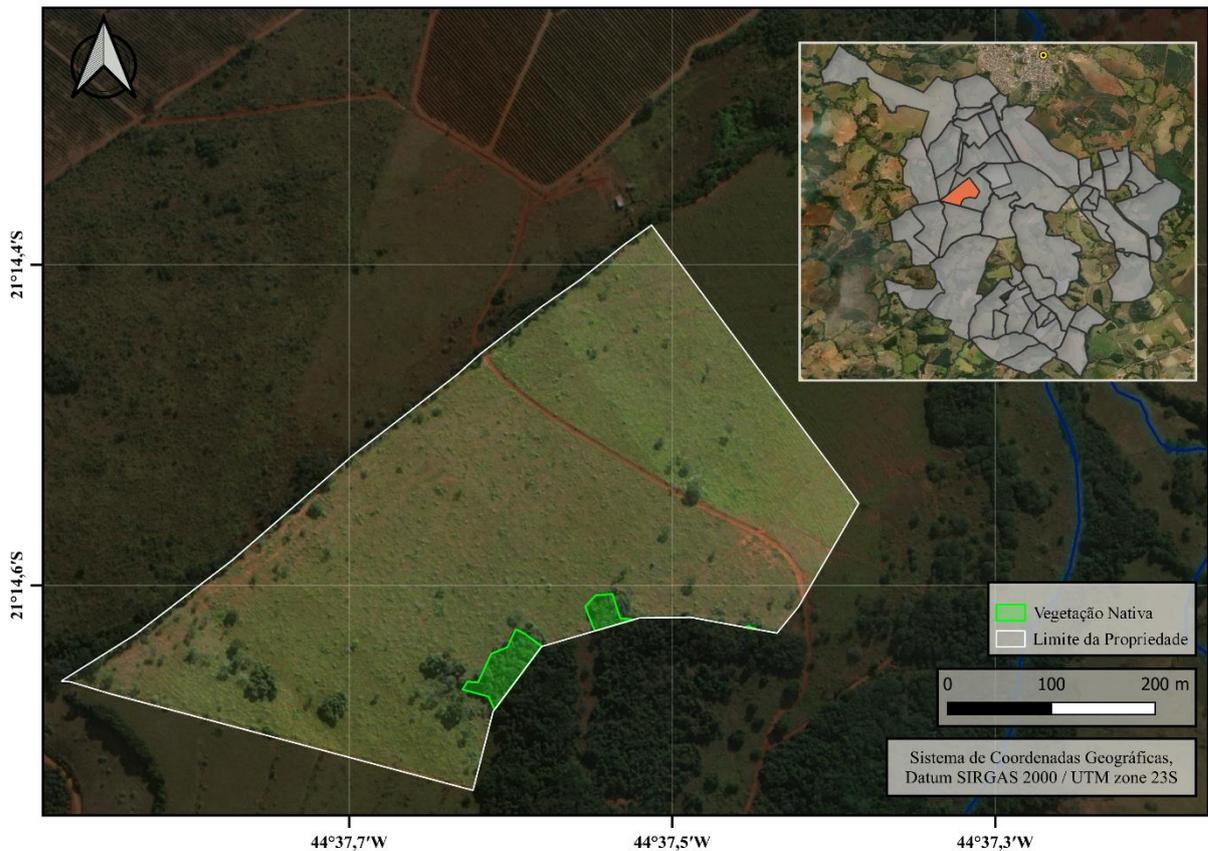
Figura 11 – Propriedade classificada com nível de prioridade média



Fonte: Do autor (2023).

A Figura 12 apresenta o exemplo de um imóvel classificado com nível de prioridade muito baixa. É nítida a diferença na composição do imóvel em relação a seus elementos em comparação com os imóveis apresentados anteriormente (Figuras 10 e 11). Este imóvel possui área de 20,02ha, sendo apenas 0,34 de vegetação nativa e 19,68 de área antropizada. A propriedade em questão não apresenta curso hídrico em seu interior.

Figura 12 – Propriedade classificada com nível de prioridade muito baixa



Fonte: Do autor (2023).

Um estudo realizado para selecionar propriedades rurais prioritárias para PSA no município de Piracicaba-SP, adotou quatro critérios: microbacias de importância hídrica do município, aptidão agrícola, potencial de regeneração natural e malha fundiária do estado de SP com dados integrados e modelados de déficit de APP e Reserva Legal. Foi utilizado o cruzamento temático dos critérios em ambiente SIG. No entanto, para a tomada de decisão foi utilizado um modelo para selecionar propriedades próximas entre si com maiores déficits de APP e/ou Reserva Legal e que apresentassem mais áreas com alto potencial de regeneração e baixa aptidão agrícola. A autora alcançou um objetivo satisfatório ao identificar cinco grupos de propriedades próximas entre si com áreas potenciais para alavancar a restauração necessária no município (ZENILDA, 2023).

Zenilda, (2023), não fez uso do método AHP em seu processo de tomada de decisão, entretanto, essa metodologia é muito utilizada para auxiliar os tomadores de decisão em análises multicritério. São diversas as áreas que possibilitam a aplicabilidade do método, como por exemplo, Cartolano (2023) que desenvolveu o seu estudo voltado para definição de áreas

prioritárias para restauração ecológica no município de Lavras-MG, onde mapeou toda a extensão territorial do município, classificando a área em 5 classes de prioridade.

Ferreira (2023) utilizou o AHP aliado a AMC em ambiente SIG para mapear áreas susceptíveis à erosão no entorno de reservatórios de usinas hidrelétricas, alcançando um resultado que pode servir de base para ações mais assertivas. Oliveira (2019) em seu estudo para definição da aptidão silvicultural de determinada região, fez uso da abordagem multicritério aliada ao método AHP para direcionar e otimizar a compra e arrendamento de terras.

Reis (2016), com o intuito de avaliar estratégias de comercialização do milho, aplicou o AHP para contribuir com os produtores na decisão acerca do melhor momento da venda da produção de milho e encontrou um resultado inviável para os produtores. Dessa maneira, os produtores de milho podem se adaptar e viabilizar a logística apontada como ótima. Por outro lado, para evidenciar a flexibilidade do método, o autor pode reavaliar os critérios e julgamentos de forma que a análise seja calibrada adequadamente à realidade dos produtores.

4.2 Limitações da metodologia aplicada

Os limites dos imóveis foram adquiridos através do sistema oficial do Cadastro Ambiental Rural (CAR), entretanto o Cadastro é feito de forma auto declaratória, o que torna o mesmo sujeito a inúmeras falhas.

A regularização fundiária é um assunto recorrente e até polêmico no país, sendo motivo de conflitos no meio urbano e, principalmente, rural. Como citado anteriormente, alguns imóveis situados na área de estudo apresentam sobreposições com seus imóveis vizinhos, o que pode resultar em distorções nos resultados. Segundo a Federação da Agricultura do Estado do Paraná (FAEP), o sistema do CAR possui uma tolerância quanto a sobreposições. Imóveis de até 4 módulos fiscais possuem tolerância de 10%, aqueles imóveis que apresentam de 4 a 15 módulos a tolerância passa a ser de 5% e em imóveis superiores a 15 módulos a tolerância é de 3%.

Dito isso, para resolver o problema das sobreposições, seria necessário um trabalho minucioso, o que envolveria visitas a campo e a proprietários e também uma avaliação de escrituras e outros documentos. Entretanto, não é objetivo do trabalho realizar análise fundiária, sendo então adotados os dados da forma em que foram disponibilizados no CAR.

Outro ponto que merece ressalva é em relação à camada de Uso e Cobertura do Solo. Obtida através do repositório público da FBDS, a camada em questão é produzida na resolução de 5 metros, inédita, desde então para os biomas brasileiros, o que fornece qualidade na análise. No entanto, a classificação foi realizada em 2021. Dessa forma, para uma maior precisão no método, o mais interessante seria adquirir informações atualizadas ou realizar uma coleta de informações no campo.

5. CONCLUSÃO

O estudo procurou demonstrar detalhadamente a utilização da metodologia AHP aplicada em ambiente SIG como uma ferramenta que busca auxiliar e otimizar a tomada de decisão. A análise realizada no estudo demonstrou que a maior parte das propriedades avaliadas apresentaram nível de prioridade baixo e muito baixo, fato que contribui positivamente para o programa de PSA possibilitando implementar as atividades nas propriedades que apresentam nível de prioridade muito alto, alto e médio de forma mais ágil.

Os critérios estabelecidos no estudo e a abordagem da análise multicritério aliada ao AHP e aplicados em ambiente SIG se demonstraram eficientes para a seleção de propriedades rurais prioritárias no município de Nazareno-MG. Os mapas apresentados no capítulo anterior, representando as classes de nível de prioridade muito alto, médio e muito baixo, evidenciam a eficiência da metodologia, uma vez que se pode perceber claramente a diferença dos componentes ambientais dos imóveis em questão.

Com o intuito de agregar e disponibilizar uma metodologia de priorização de propriedades rurais aos programas de PSA, buscou-se neste estudo expor com detalhes, além da metodologia, as fontes de dados geoespaciais e software de mapeamento GIS, ambos disponíveis gratuitamente para possibilitar a replicação do método em qualquer município desejado.

Visando uma maior precisão no método apresentado, deve-se realizar uma análise fundiária para regularização dos limites dos imóveis, eliminando as sobreposições entre eles. Pensando ainda numa maior precisão, seria importante adquirir a avaliação na matriz de julgamento de um maior número de especialistas.

Recomenda-se atualizações contínuas nos dados geoespaciais mediante as alterações antrópicas no meio bem como no surgimento de dados atualizados pelas plataformas. Além

disso, a adição e/ou substituição de critérios pertinentes no método são possíveis e pode ser alvo de futuras pesquisas.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, Clayton Alcarde et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- BELTON, V.; STEWART, T. **Multiple criteria decision analysis: an integrated approach**. Springer, 2002
- BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Institui o novo código florestal brasileiro.
- CAMHI: Camhi, A., and S. Pagiola, 2009. **Payment for Environmental Services mechanisms in Latin America and the Caribbean: A compendium**. Washington: World Bank.
- CAMPANILI, Maura; SCHÄFFER, Wigold Bertolo. **Mata Atlântica: manual de adequação ambiental**. Brasília: MMA/SBF, 2010. 96 p. (Biodiversidade, 35).
- CARTOLANO, R. T. et al. **Definição de áreas prioritárias para restauração ecológica: análise de decisão multicritério como instrumento para o planejamento ambiental**. Nova Xavantina, MT: Pantanal, 2023.
- CIGEDAS, Vertentes. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Nazareno-MG**. UFSJ, 2013.
- DENT, Borden D. **Cartography: Thematic map design**. 1999.
- DOS SANTOS, Zenilda Ledo; DE MELLO, Kaline; SPAROVEK, Gerd. **Modelagem espacial para seleção de propriedades rurais prioritárias para pagamentos por serviços ambientais em Piracicaba-SP**. 2023.
- EASTON, A. **Complex managerial decision involving multiple objectives**. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1973.
- ECHAVARRIA: Echavarría, M. 2002b. **Water user associations in the Cauca valley: A voluntary mechanism to promote upstream-downs-tream cooperation in the protection of rural watersheds**. Land-Water Linkages in Rural Watersheds Case Study Series. Rome: FAO.
- EXTREMA (Cidade), Prefeitura Municipal. **Conservador das Águas: 8 anos**. 2013.
- FERREIRA, Sophia Domiciano. **Análise multicritério e método AHP aplicados ao mapeamento de áreas suscetíveis à erosão no entorno dos reservatórios das UHE de Itutinga e Camargos da Cemig GT**. Monografia (Bacharel em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2023
- FOLETO, Eliane Maria; LEITE, Michele Benetti. **Perspectivas do pagamento por serviços ambientais e exemplos de caso no Brasil**. Revista de Estudos Ambientais, [S.l.], v. 13, n. 1, p. 6-17, jun. 2011. ISSN 1983-1501.
- FRANCISCO, Carlos Eduardo da Silva et al. **Espacialização de análise multicriterial em SIG: prioridades para recuperação de Áreas de Preservação Permanente**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, v. 13, p. 2643-2650, 2007.

GDOURA, K., Anane, M., Jellali, S. **Geospatial and AHP-multicriteria analyses to locate and rank suitable sites for groundwater recharge with reclaimed water**. Resour. Conserv. Recy. 104, 19–30. 2015.

GOMEDE, Everton; BARROS, Rodolfo Miranda de. **Utilizando o Método Analytic Hierarchy Process (AHP) para Priorização de Serviços de TI: Um Estudo de Caso**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO (SBSI), 8. , 2012, São Paulo. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2012 . p. 679-690.

HORTA, I. M. F. **Levantamento de reconhecimento com apoio digital dos solos do município de Nazareno, MG**. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, vol.33, pp. 1940-1947, 2009.

HORTA, I. M. F. **Levantamento dos solos e ocupação da superfície do município de Nazareno, MG**. 2006. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2022. Cidades e Estados. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/nazareno.html>

IPCC, Painel Intergovernamental sobre mudança do clima. **Mudança do Clima 2021: A base científica - Sumário para formuladores de políticas**.

JARDIM, M. H., & Bursztyn, M. A. **Pagamento por serviços ambientais na gestão de recursos hídricos: o caso de Extrema (MG)**. Engenharia Sanitaria E Ambiental, 20(3), 353–360. 2015.

MARQUES, J.J.G.S.M.; CURI, N.; LIMA, J.M. **Recursos ambientais da Bacia do Alto Rio Grande, Minas Gerais**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 33p.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being: global assessment reports**. Washington, DC: Island Press, 2005.

MOURA, Ana Clara M. **Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, v. 13, p. 2899-2906, 2007.

OLIVEIRA, I. M. (2019). **Expansão silvicultural no estado de São Paulo: uma abordagem multicritério na seleção de áreas para compra e arrendamento**. Monografia (Bacharel em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras – UFLA.

OSGOOD, C.E.; Suci, G.J.; Tannenbaum, P.H. **The Measurement of Meaning**. Urbana: University of Illinois Press. 1957.

PAGIOLA, S.; Glehn, H.C.v.; Taffarello, D. **Experiências de Pagamentos por Serviços Ambientais no Brasil**. São Paulo (Estado); Secretariado Meio Ambiente/Coordenadoria de Biodiversidade e Recursos Naturais: São Paulo, Brazil, 2013.

PARRON, L. M. et al. Estoques de carbono no solo como indicador de serviços ambientais. In: Parron, L. M. et al. **Serviços ambientais em sistemas agrícola e florestais do Bioma Mata Atlântica**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 29-34.

PEREIRA, P.H., B.A. Cortez, T. Trindade, e M.N. Mazochi.. **Projeto Conservador das Águas: 5 anos**. Extrema: Prefeitura Municipal de Extrema, 2010.

PEREIRA, P. H. **Projeto Conservador das Águas: 12 anos**. Secretaria do Meio Ambiente de Extrema, 2017. Disponível em: <https://agencia.baciaspcj.org.br/docs/outros/conservador-aguas-livro.pdf>

PEREIRA, P. H., 2013 Projeto Conservador das Águas - Extrema. In: PAGIOLA, S.; CARRASCOSA, H. V.; TAFARELLO, D. **Experiências de pagamento por serviços ambientais no Brasil**. São Paulo: SMA - SP/CBRN, 2013. p. 29-40.

RAMOS, Rui António Rodrigues. **Localização industrial: um modelo espacial para o noroeste de Portugal**. Universidade do Minho (Portugal), 2000.

REIS, J. G. M. dos ., Vendrametto, O., Naas, I. de A., Costabile, L. T., & Machado, S. T.. (2016). **Avaliação das Estratégias de Comercialização do Milho em MS Aplicando o Analytic Hierarchy Process (AHP)**. Revista De Economia E Sociologia Rural, 54(1), 131–146.

SAATY e SHANG, J. S. **An innovative orders-of-magnitude approach to AHP-based multi-criteria decision making: Prioritizing divergent intangible humane acts**. European Journal Operations Research, Amsterdam, v. 214, p. 703-715, 2011.

SAATY, Roseanna W. **The analytic hierarchy process: what it is and how it is used**. Mathematical modelling, v. 9, n. 3-5, p. 161-176, 1987.

SAATY, T.L. (1991) **How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process**. European Journal of Operations Research, 48, 9-26.

STILLWELL, W.G.; Seaver, D.A.; Edwards, W. **A comparison of weight approximation techniques in multiattribute utility decision making**. Organizational Behavior and Human Performance, Vol.28(1), pp.62-77. 1981.

SURESHCHANDAR, G. S. e LEISTEN, R. **A framework for evaluating the criticality of software metrics: an analytic hierarchy process (AHP) approach**. Measuring Business Excellence, Bingley, v. 10, n. 4, p. 22-33, 2006.

WUNDER, S. **Payments for environmental services: some nuts and bolts**. Occasional Paper n° 42. Jakarta: Center for International Forestry Research. 24 p. 2006.