ReGeo ISSN: 2177-3246

MODELAGEM MULTICRITÉRIO E LÓGICA FUZZY APLICADAS À ANÁLISE DE APTIDÃO SOCIAL EM MORRO DO CHAPÉU, BAHIA

MULTI-CRITERIA MODELLING AND FUZZY LOGIC APPLIED TO SOCIAL SUITABILITY ANALYSIS IN MORRO DO CHAPÉU, BAHIA, BRAZIL

MODELIZACIÓN MULTICRITERIO Y LÓGICA DIFUSA APLICADAS AL ANÁLISIS DE APTITUD SOCIAL EN MORRO DO CHAPÉU, BAHÍA, BRASIL

https://doi.org/10.56238/revgeov17n10-097

Data de submissão: 14/09/2026 **Data de publicação:** 14/10/2026

Roberta Pimenta Cunha dos Santos
Mestra em Ciências Ambientais
Instituição: Universidade Estadual de Feira de Santana
E-mail: rpimenta.ppgm@gmail.com

Alíbia Deysi Guedes da Silva
Mestra em Geografia
Instituição: Universidade Estadual de Feira de Santana
E-mail: alibiadeysi.prof@gmail.com

Rodrigo Nogueira de Vasconcelos
Doutor em Ecologia
Instituição: Universidade Estadual de Feira de Santana
E-mail: rnv@uefs.br

Taimy Cantillo Pérez
Doutora em Botânica
Instituição: Universidade Estadual de Feira de Santana
E-mail: tcperez@uefs.br

Washington de Jesus Sant'Anna da Franca Rocha
Doutor em Geologia
Instituição: Universidade Estadual de Feira de Santana
E-mail: wrocha@uefs.br

RESUMO
O objetivo deste trabalho é modelar a aptidão social da comunidade local no processo de consolidação da Unidade de Conservação Parque Estadual do Morro do Chapéu e da Área de Proteção Ambiental Gruta dos Brejões/Vereda do Romão Gramacho. No modelo proposto foram consideradas oito variáveis: aceitação social, compatibilidade com o modo de vida, impactos socioeconômicos, conflitos e riscos sociais, capacidade institucional, infraestrutura local, potencial turístico e valores intangíveis. Metodologicamente, utilizou-se um modelo híbrido MCDM-Fuzzy de apoio à decisão para construir um índice de aptidão social. O sistema fuzzy produziu um valor defuzzificado de 0,50 (escala 0–1), correspondente a uma aptidão social média (≈3,0 na escala 1–5). O resultado reflete a presença simultânea de fatores positivos (capacidade institucional e valores intangíveis) e restritivos (conflitos

sociais e baixa compatibilidade sociocultural), que, na base de regras adotada, convergiram para a ativação exclusiva do conjunto de aptidão média.

Palavras-chave: Geoparque. Morro do Chapéu. MCDM. Percepção Social. Lógica Fuzzy.

ABSTRACT
This study aims to model the social suitability of the local community in the consolidation process of the Morro do Chapéu State Park and of the Gruta dos Brejões/Vereda do Romão Gramacho Environmental Protection Area. Eight variables were considered in the proposed model: social acceptance, compatibility with local ways of life, socioeconomic impacts, social conflicts and risks, institutional capacity, local infrastructure, tourism potential and intangible values. Methodologically, a hybrid MCDM-Fuzzy decision-support model was used to build a social suitability index. The fuzzy system produced a defuzzified value of 0.50 (0–1 scale), corresponding to a moderate social suitability (≈3.0 on the 1–5 scale). The result reflects the simultaneous presence of positive factors (institutional capacity and intangible values) and restrictive ones (social conflicts and low sociocultural compatibility), which, under the adopted rule base, converged on the activation of the moderate suitability set only.

Keywords: Geopark. Morro do Chapéu. MCDM. Social Perception. Fuzzy Logic.

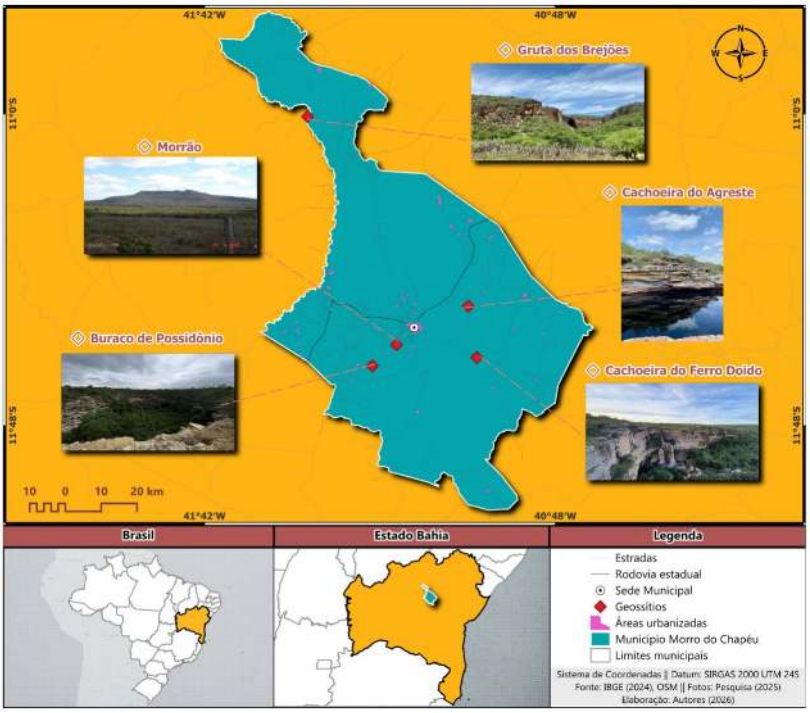
RESUMEN
Este estudio tiene como objetivo modelar la aptitud social de la comunidad local en el proceso de consolidación del Parque Estatal de Morro do Chapéu y del Área de Protección Ambiental Gruta dos Brejões/Vereda do Romão Gramacho. En el modelo propuesto se consideraron ocho variables: aceptación social, compatibilidad con el modo de vida, impactos socioeconómicos, conflictos y riesgos sociales, capacidad institucional, infraestructura local, potencial turístico y valores intangibles. Metodológicamente, se utilizó un modelo híbrido MCDM-Fuzzy de apoyo a la decisión para construir un índice de aptitud social. El sistema difuso produjo un valor desdifusificado de 0,50 (escala 0-1), correspondiente a una aptitud social media (≈3,0 en la escala 1-5). El resultado refleja la presencia simultánea de factores positivos (capacidad institucional y valores intangibles) y restrictivos (conflictos sociales y baja compatibilidad sociocultural), que, en la base de reglas adoptada, convergieron en la activación exclusiva del conjunto de aptitud media.

Palabras clave: Geoparque. Morro do Chapéu. MCDM. Percepción Social. Lógica Difusa.

1 INTRODUÇÃO

A valorização do patrimônio geológico e da geodiversidade tem ganhado destaque, principalmente por meio da implementação de geoparques. No estado da Bahia, a proposição de projetos cujo aspecto primordial é a conservação ambiental e o desenvolvimento sustentável, liderados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), busca a criação do Geoparque de Morro do Chapéu (Figura 1) (Rocha; Pedreira, 2013).

Figura 1. Localização do município de Morro do Chapéu, Bahia, com os limites municipais, a sede, a malha viária, as áreas urbanizadas e uma seleção dos geossítios inventariados, e a respectiva posição no Brasil e no estado da Bahia.



Fonte: Elaborada pelos próprios autores, a partir de IBGE (2024) e OpenStreetMap (2025); sistema de coordenadas SIRGAS 2000 UTM 24S.

A proposta de consolidação do Geoparque de Morro do Chapéu (BA) está baseada em um documento desenvolvido no formato de inventário, que descreve detalhadamente a constituição da região considerada área-escola, composta por 24 geossítios (Rocha; Pedreira, 2013). As oito variáveis estudadas neste trabalho convergem com os princípios de geoconservação, geoturismo e desenvolvimento sustentável que fundamentam a proposta de criação de geoparques, o que justifica sua adoção para avaliar a compatibilidade do território com iniciativas voltadas à valorização do patrimônio geológico e ao desenvolvimento local.

Localizada na Chapada Diamantina, no centro do estado, a região apresenta ampla diversidade de recursos naturais, geomorfossítios e áreas de conservação, como o Parque Estadual do Morro do Chapéu, e áreas de proteção, tal como a Área de Proteção Ambiental Gruta dos Brejões/Vereda do

Romão Gramacho.

A implantação de geoparques constitui um processo alinhado à Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas, conforme preconizado pelo programa de Geoparques Mundiais da UNESCO (Henriques; Brilha, 2017), que perpassa a proteção ambiental e fomenta a melhoria das condições de vida das populações locais (Brilha, 2005), as quais frequentemente mantêm relações históricas, culturais e econômicas com o espaço em que habitam. Além disso, comunidades externas também são beneficiadas no que tange ao turismo ecológico e à vivência cultural (Ruchkys, 2007).

No contexto das iniciativas de geoconservação, as paisagens objetificadas são ambientes onde habitam, por vezes, comunidades tradicionais. De forma analítica, a representação social e a percepção ambiental devem estar associadas ao planejamento da conservação do patrimônio geológico, uma vez que refletem, sobretudo, a forma como essas populações percebem e interagem com o ambiente natural (Dictoro; Galvão; Hanai, 2016). Diante disso, compreender a aptidão social pode subsidiar ações que promovam benefícios para os habitantes locais sem agredir a vida cotidiana e as identidades sócio-históricas previstas nos projetos de geoparques.

Metodologicamente, o desenvolvimento de um modelo híbrido de análise multicritério associada à lógica fuzzy permite a integração de múltiplos indicadores (Asadabadi et al., 2019), oportunizando representar a complexidade inerente aos fenômenos socioculturais. Nesta pesquisa, utilizaram-se oito variáveis na construção de uma modelagem de aptidão social, considerando parâmetros como impactos econômicos, infraestrutura disponível e cultura local.

Nesse sentido, este artigo tem como objetivo modelar a aptidão social da comunidade local no processo de consolidação do Parque Estadual do Morro do Chapéu e da Área de Proteção Ambiental Gruta dos Brejões/Vereda do Romão Gramacho. Ressalte-se que geoparque não constitui categoria de unidade de conservação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (Brasil, 2000), mas um território de gestão integrada do patrimônio geológico que pode abranger áreas protegidas já instituídas, como o Parque Estadual do Morro do Chapéu, recriado em 1998, e a referida APA; neste trabalho, a aptidão social é avaliada para a consolidação dessas unidades no contexto da proposta de geoparque.

1.1 OBJETIVO GERAL

Modelar a aptidão social da comunidade local no processo de consolidação do Parque Estadual do Morro do Chapéu e da Área de Proteção Ambiental Gruta dos Brejões/Vereda do Romão Gramacho, por meio de um modelo híbrido de análise multicritério e lógica fuzzy.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a) definir e hierarquizar as variáveis e subvariáveis representativas da dimensão social da consolidação das unidades;

b) atribuir pesos e notas às subvariáveis a partir de visitas de campo e análise documental, calculando os subíndices por combinação linear ponderada;

c) normalizar os subíndices e modelá-los em um sistema de inferência fuzzy do tipo Mamdani;

d) obter, por desfuzzificação pelo método do centroide, um índice global de aptidão social para o território;

e) interpretar o resultado à luz das dimensões que mais o favorecem e das que mais o restringem.

2 REVISÃO CONCEITUAL

Aptidão social é um conceito usado em planejamento territorial, políticas públicas e estudos socioambientais para expressar o quanto uma área, projeto ou intervenção é socialmente adequada, aceitável e sustentável para a população envolvida. Desta forma, busca-se aqui responder ao seguinte questionamento: qual é o grau de aptidão social da proposta de criação de um geoparque em Morro do Chapéu, considerando sua compatibilidade com as condições sociais, culturais, econômicas e institucionais da população local?

A noção de aptidão adotada neste trabalho dialoga com a abordagem de adequação entre uso e território proposta por McHarg (1969), sendo expandida para incorporar múltiplos critérios de análise (Roy, 1996; Saaty, 1980) e modelada por meio de lógica fuzzy (Zadeh, 1965; Ross, 2010).

Analisar a aceitação e a percepção social é essencial, pois diz respeito às particularidades locais e às ações da comunidade com o meio ambiente (Dictoro; Galvão; Hanai, 2016). O Plano Diretor do município de Morro do Chapéu (Morro do Chapéu, 2005) estabelece diretrizes voltadas à conservação ambiental, ao ordenamento territorial e à valorização das paisagens naturais como recursos estratégicos para o desenvolvimento local. Em junho de 2025 foi constituído o Conselho Municipal de Política Cultural de Morro do Chapéu, que se traduz como estratégia de fortalecimento da cultura e da participação social, favorecendo apoio institucional e decisões ambientais.

Outro aspecto relevante é o grau de compatibilidade entre a consolidação do parque e as práticas culturais, produtivas e sociais existentes. O critério compatibilidade do modo de vida local é importante para avaliar se o parque é compatível com as práticas culturais e econômicas: quanto maior a dependência territorial do modo de vida, menor a compatibilidade espontânea com o parque e maior a necessidade de planejamento participativo. Essa avaliação difere entre as unidades consideradas: o

Parque Estadual pertence ao grupo de proteção integral, que não admite populações residentes nem o uso direto dos recursos naturais, enquanto a APA integra o grupo de uso sustentável, que compatibiliza ocupação humana e conservação (Brasil, 2000); a baixa compatibilidade obtida (Tabela 2) reflete, assim, sobretudo as restrições próprias da categoria parque, e não uma deficiência das comunidades. Além do geoturismo, o município tem como fortes práticas produtivas a agricultura irrigada, com a produção de uvas viníferas para vinhos finos, morango e tomate (Silva, 2016).

A economia pouco diversificada, somada a uma renda média de 1,9 salário mínimo mensal dos trabalhadores formais em 2023 e a um IDHM de 0,588, referente a 2010 (IBGE, 2025), pode ser compensada pelo alto potencial ecoturístico, que funciona como fator compensatório aos impactos, desde que haja condições externas e políticas de gestão específicas para sua concretização. O Plano Diretor Urbano de Morro do Chapéu reconhece o potencial turístico associado aos ambientes naturais e estabelece mecanismos de proteção de áreas ambientalmente sensíveis (Morro do Chapéu, 2005).

Por se tratar de áreas com assentamentos rurais localizados em Morro do Chapéu e Bonito, foi avaliado também o critério conflitos e riscos sociais, considerando a probabilidade de haver conflitos sociais decorrentes da consolidação do parque por interesses diversos. Conflitos fundiários geralmente são o principal fator de risco social na implantação de áreas protegidas, pois envolvem disputas diretas por posse, uso e acesso à terra. Outro fator importante considerado nesta análise foi a pressão por expansão urbana, que pode refletir conflitos potenciais, dependentes de dinâmicas de crescimento e planejamento urbano, além do histórico de conflitos ambientais.

No que tange à capacidade do poder público de gerir o parque, o que se denomina aqui capacidade institucional, é importante destacar que o município de Morro do Chapéu possui, desde 1995, um Conselho Municipal do Meio Ambiente, criado pela Lei municipal n.º 394/1995 (Morro do Chapéu, 1995). A instituição desse instrumento possibilita a descentralização da gestão ambiental, permitindo que soluções específicas sejam adotadas para os problemas ambientais locais, unindo poder público e sociedade civil.

Apesar das riquezas naturais e dos sítios arqueológicos de beleza paisagística reconhecida, a infraestrutura local pode contribuir para inviabilizar a implementação do geoparque. Fatores como acessibilidade viária e existência de serviços básicos favorecem, ou não, a facilidade de gestão e visitação do local. Segundo o IBGE (2025), o município possui percentual de domicílios com esgotamento sanitário adequado de apenas 41,6% e 3,5% de domicílios urbanos em vias públicas com urbanização adequada, considerando a presença de bueiro, calçada, pavimentação e meio-fio.

Por outro lado, o potencial turístico e os valores intangíveis são pontos que favorecem substancialmente a consolidação do geoparque. Os atrativos turísticos, naturais e culturais, são

elementos centrais do turismo. A beleza cênica percebida e o valor cultural são fatores que influenciam fortemente o turismo e a valorização territorial, fortalecendo a identidade local reconhecida internamente, além de refletir a dimensão histórica e simbólica do território.

3 METODOLOGIA E DADOS UTILIZADOS

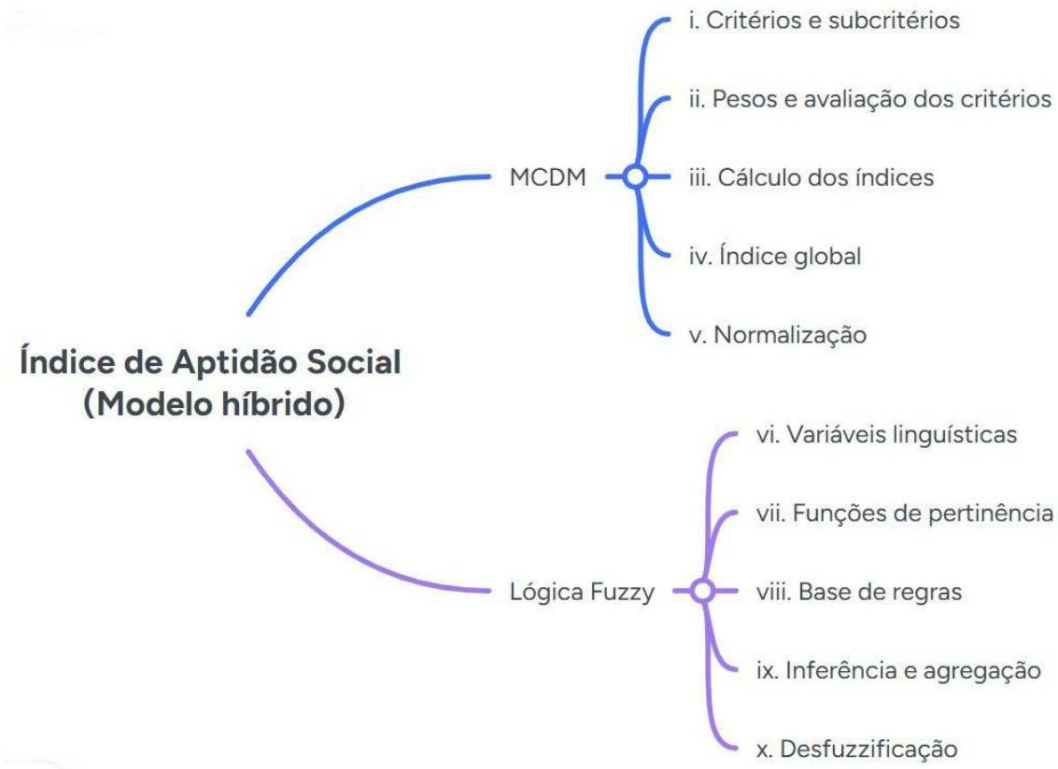
Neste trabalho utilizou-se a análise multicritério de apoio à decisão (MCDM) para estruturar e quantificar os critérios, e a lógica fuzzy para modelar incertezas, interações e julgamentos qualitativos, formando um modelo híbrido de apoio à decisão implementado no ambiente estatístico R.

A Multi-Criteria Decision Making (MCDM) é um campo teórico geral que aborda diversos métodos visando auxiliar os tomadores de decisão diante de critérios conflitantes para a escolha da melhor opção, em lugar de adotar uma abordagem apenas intuitiva (Asadabadi et al., 2019). O Analytic Hierarchy Process (AHP) é um método estruturado de MCDM baseado em comparação par a par, no qual os fatores da decisão são organizados em uma estrutura hierárquica que desce de um objetivo geral para critérios, subcritérios e alternativas em níveis sucessivos (Saaty, 1990; Taherdoost, 2017). Ressalte-se que, neste trabalho, os pesos não foram derivados por comparação par a par, mas atribuídos diretamente (seção 3.2), de modo que o procedimento adotado corresponde a uma combinação linear ponderada, e não ao AHP em sentido estrito, não se aplicando o índice de consistência de Saaty.

A lógica fuzzy, ou lógica nebulosa, tem origem na teoria dos conjuntos fuzzy, proposta por Lotfi Zadeh em 1965 (Zadeh, 1965) como uma extensão da teoria de conjuntos e da lógica clássica (conjunto crisp), que apresenta conclusões do tipo verdadeiro ou falso. De acordo com Klir e Yuan (1995), a lógica fuzzy surgiu da necessidade de representar a incerteza no contexto científico, algo que já foi considerado inadmissível na ciência. Os autores reforçam esse ponto ao afirmar que, na visão moderna, a incerteza é considerada essencial à ciência, não sendo apenas uma praga inevitável, mas de grande utilidade (Klir; Yuan, 1995, p. 1).

O modelo híbrido, a partir da combinação do MCDM com a lógica fuzzy, visa à construção de um índice global de aptidão social para avaliação territorial em nível municipal. A Figura 2 ilustra o percurso metodológico do modelo híbrido.

Figura 2. Estrutura do modelo híbrido de índice de aptidão social, com as etapas da componente multicritério (MCDM) e da componente de lógica fuzzy.



Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

Desta forma, o MCDM funciona como uma ferramenta compensatória na geração dos subíndices, enquanto o sistema fuzzy do tipo Mamdani integra as dimensões sociais do modelo. De maneira mais detalhada, cada etapa é descrita a seguir.

3.1 DEFINIÇÃO DOS CRITÉRIOS E SUBCRITÉRIOS

Inicialmente, foram definidas oito variáveis principais representativas da dimensão social: aceitação e percepção social; compatibilidade com o modo de vida local; impactos socioeconômicos; conflitos e riscos sociais; capacidade institucional; infraestrutura local; potencial turístico; e valores intangíveis. Cada variável foi decomposta em subvariáveis, selecionadas com base em revisão bibliográfica e critérios contextuais, visando representar adequadamente os fatores sociais relevantes.

3.2 ATRIBUIÇÃO DE PESOS E AVALIAÇÃO DOS CRITÉRIOS

Para cada subvariável foi atribuída uma nota em escala ordinal de 1 a 5, na qual 1 representa condição muito desfavorável e 5 representa condição muito favorável. Simultaneamente, foram definidos pesos relativos para cada subvariável, de modo que a soma dos pesos em cada variável principal fosse igual a 1. Os pesos refletem a importância relativa de cada fator no contexto da análise,

sendo estabelecidos com base em visitas de campo e análise de documentos específicos.

3.3 CÁLCULO DOS SUBÍNDICES (MCDM – WLC)

Os subíndices foram calculados por meio do método da soma ponderada (Weighted Linear Combination – WLC) (Malczewski, 2006), conforme a equação 1:

$$SI_j = \Sigma^{n}_{i=1}\, w_i \cdot x_i \qquad (1)$$

Onde: SI_j = subíndice da variável j; w_i = peso da subvariável i; x_i = nota da subvariável i; n = número de subvariáveis.

Este procedimento permitiu a obtenção de valores crisp (Zadeh, 1965) na escala de 1 a 5 para cada variável principal.

3.4 CÁLCULO DO ÍNDICE GLOBAL (MCDM)

Os subíndices foram agregados em um índice global preliminar por meio de uma média ponderada, considerando pesos específicos para cada variável principal, conforme a equação 2:

$$IG = \Sigma^{m}_{j=1}\, p_j \cdot SI_j \qquad (2)$$

Onde: IG = índice global; p_j = peso da variável j; SI_j = subíndice correspondente; m = número de variáveis. Essa etapa representa a agregação multicritério tradicional.

3.5 NORMALIZAÇÃO DOS DADOS

Para viabilizar a aplicação da lógica fuzzy, os subíndices foram normalizados para o intervalo [0,1], conforme a equação 3:

$$x' = (x - 1) / 4 \qquad (3)$$

Onde: x = valor original (1–5); x′ = valor normalizado (0–1). Esta transformação assegura compatibilidade com as funções de pertinência.

Após a normalização, os subíndices foram utilizados como variáveis de entrada em um sistema de inferência fuzzy do tipo Mamdani (Mamdani; Assilian, 1975), uma estrutura operacional dentro da lógica fuzzy que define regras do tipo "se–então".

3.6 VARIÁVEIS LINGUÍSTICAS E FUNÇÕES DE PERTINÊNCIA

As variáveis linguísticas foram modeladas por meio de funções de pertinência lineares por partes, adotando-se funções triangulares para categorias intermediárias e trapezoidais para categorias extremas. A função triangular foi empregada para representar estados médios, por admitir um ponto central de máxima pertinência, com redução gradual à medida que o valor se afasta do centro semântico. Já as funções trapezoidais foram utilizadas para as categorias "baixa" e "alta", permitindo a existência de intervalos de pertinência plena ($\mu = 1$), o que confere maior estabilidade às avaliações extremas. A escolha por funções lineares baseia-se na busca por simplicidade computacional, interpretabilidade e aderência ao julgamento especializado, características recomendadas em sistemas de apoio à decisão baseados em conhecimento. Cada variável de entrada foi representada por três termos linguísticos — baixa, média e alta —, e a variável de saída (aptidão social global) foi definida de forma equivalente.

3.7 BASE DE REGRAS, INFERÊNCIA E AGREGAÇÃO

A inferência foi conduzida por meio de regras do tipo SE–ENTÃO. Por exemplo (valores ilustrativos): se o grau de pertinência da infraestrutura ao conjunto "alta" é 0,7 e o dos impactos socioeconômicos ao conjunto "média" é 0,4, uma regra que combine essas duas condições por meio do operador AND terá grau de ativação limitado pelo menor desses valores. Mesmo que um dos subíndices seja forte, a regra fica limitada pelo menor valor, isto é, $\alpha = \text{mín}(\mu A, \mu B)$. Assim, para $\mu A = 0,7$ e $\mu B = 0,4$ tem-se $\alpha = 0,4$, valor usado para truncar a função de saída da aptidão social. As regras foram formuladas com base em pesquisa de campo e análise contextual.

O operador mínimo foi utilizado para modelar a conjunção lógica (AND), enquanto o operador máximo foi empregado para a agregação das regras, por meio de uma s-norma:

$$\mu\text{agregado}(x) = \text{máx}(\mu_1(x), \mu_2(x), \ldots, \mu_n(x))$$

Ou seja, para cada ponto da função escolhe-se o maior valor de pertinência entre as regras.

3.8 DESFUZZIFICAÇÃO

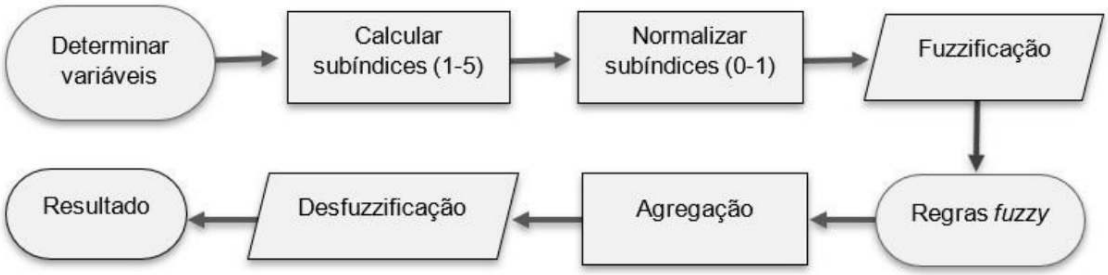
A desfuzzificação foi realizada pelo método do centroide, que determina o ponto correspondente ao centro de massa da função de saída agregada. Esse método considera integralmente a distribuição da pertinência ao longo do universo de discurso, ponderando simultaneamente intensidade e extensão das ativações das regras. A escolha pelo centroide deve-se à sua estabilidade, continuidade e ampla aceitação na literatura de sistemas de inferência fuzzy do tipo Mamdani (Mamdani; Assilian, 1975). A conversão do conjunto fuzzy resultante em valor numérico foi realizada

conforme a equação 4:

$$A = \Sigma y \cdot \mu(y) / \Sigma \mu(y) \qquad (4)$$

Onde: A = valor defuzzificado; μ(y) = grau de pertinência. A modelagem foi implementada no ambiente R, utilizando rotinas próprias para cálculo multicritério, fuzzificação, inferência e desfuzzificação. A Figura 3 sintetiza a sequência das etapas utilizadas no modelo proposto.

Figura 3. Fluxograma das etapas desenvolvidas na modelagem proposta, da definição das variáveis à obtenção do resultado desfuzzificado.



Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os subíndices foram obtidos como valores nítidos (crisp values), conforme a abordagem clássica da teoria dos conjuntos (Zadeh, 1965), os quais posteriormente foram convertidos em representações fuzzy por meio de funções de pertinência (Ross, 2010).

A Tabela 1 apresenta cada uma das variáveis com suas respectivas subvariáveis e os pesos atribuídos a elas.

Tabela 1. Variáveis, subvariáveis (indicadores observáveis) e respectivos pesos adotados no modelo.

Variável	Indicadores observáveis	Peso
Aceitação social	Conflitos sociais formais relacionados ao território	0,35
	Participação social em decisões ambientais	0,30
	Apoio institucional a projetos ambientais	0,20
	Histórico de resistência comunitária	0,15
Compatibilidade com o modo de vida	Dependência direta do território para subsistência	0,35
	Predominância de atividades tradicionais (agricultura familiar, extrativismo)	0,25
	Existência de usos conflitantes do solo (mineração, expansão urbana)	0,10
	Presença de comunidades tradicionais	0,30
Impactos socioeconômicos	Renda média da população	0,30
	Grau de vulnerabilidade social	0,30
	Potencial turístico local	0,25

	Diversificação da economia local	0,15
Conflitos e riscos sociais	Conflitos fundiários registrados	0,35
	Sobreposição com áreas produtivas	0,25
	Pressão por expansão urbana	0,20
	Histórico de conflitos ambientais	0,20
Capacidade institucional	Existência de secretaria/órgão ambiental	0,30
	Conselho municipal de meio ambiente ativo	0,25
	Instrumentos de gestão ambiental	0,25
	Experiência prévia com UCs/projetos ambientais	0,20
Infraestrutura local	Acessibilidade viária	0,30
	Proximidade a centros urbanos	0,25
	Serviços básicos (saúde, segurança)	0,25
	Infraestrutura turística existente	0,20
Potencial turístico	Atrativos turísticos (naturais e culturais)	0,45
	Acessibilidade e localização	0,25
	Infraestrutura turística básica	0,20
	Inserção em políticas e rotas turísticas	0,10
Valores intangíveis	Beleza cênica percebida	0,30
	Valor cultural simbólico	0,25
	Autenticidade cultural	0,20
	Identidade territorial	0,15
	Reconhecimento externo	0,10

Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

Os subíndices obtidos na escala original de 1 a 5 foram reescalonados para o intervalo [0,1] por meio de transformação linear min–max, conforme $x' = (x - 1)/4$. Essa etapa foi aplicada individualmente a cada subíndice, garantindo compatibilidade com o método fuzzy, tendo os resultados apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Subíndices das variáveis, em escala original (1–5) e normalizada (0–1).

Variável	**Valor original**	**Valor normalizado**
Aceitação social	3,15	0,54
Compatibilidade com o modo de vida	1,90	0,23
Impactos socioeconômicos	3,50	0,63
Conflitos e riscos	2,10	0,28
Capacidade institucional	4,50	0,88
Infraestrutura local	2,45	0,36
Potencial turístico	4,10	0,78
Valores intangíveis	4,15	0,79

Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

Os subíndices variam entre 1,90 e 4,50, indicando heterogeneidade entre as dimensões analisadas. Os resultados indicam maior desempenho nas dimensões de capacidade institucional (4,50), valores intangíveis (4,15) e potencial turístico (4,10), enquanto compatibilidade com o modo de vida (1,90), conflitos e riscos (2,10) e infraestrutura local (2,45) apresentaram valores relativamente mais baixos.

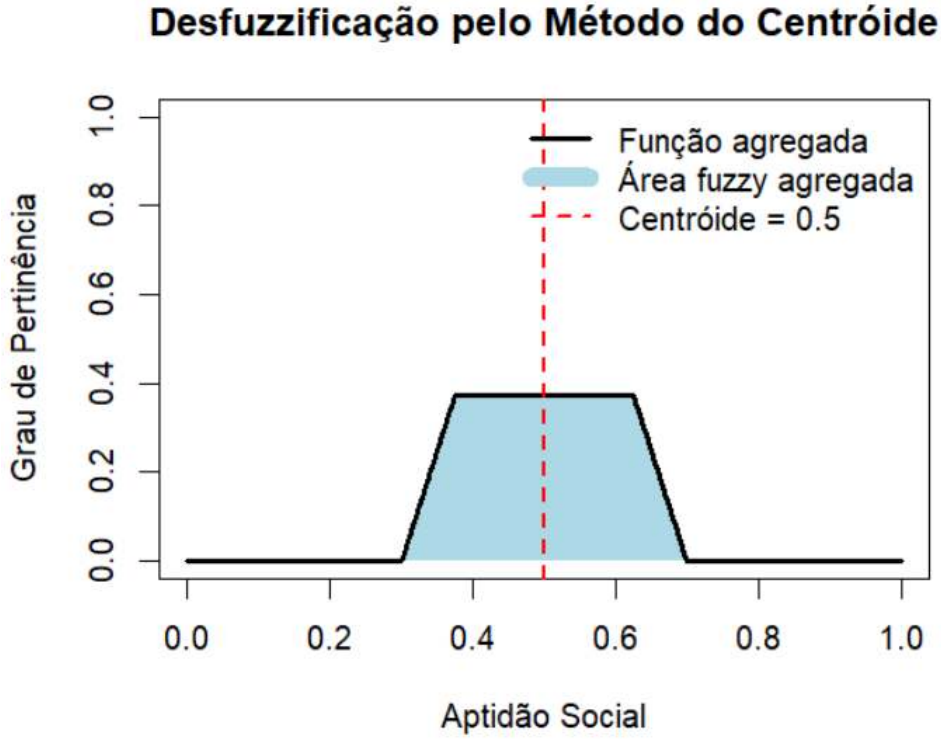
A fuzzificação converteu os valores normalizados em graus de pertinência associados aos conjuntos linguísticos baixo, médio e alto. As regras fuzzy foram aplicadas a partir da avaliação dos

graus de pertinência das variáveis de entrada. Para regras contendo múltiplos antecedentes conectados pelo operador lógico AND, foi utilizada a t-norma do mínimo. Assim, o grau de ativação de cada regra corresponde ao menor grau de pertinência entre suas condições, refletindo o princípio de que a intensidade de uma regra é limitada pela condição menos satisfeita.

As saídas das regras ativadas foram combinadas por meio do operador máximo, caracterizando uma operação de união fuzzy entre os conjuntos resultantes. Esse procedimento permite integrar as contribuições de todas as regras, gerando uma única função de pertinência agregada que representa o conjunto fuzzy final da aptidão social.

A Figura 4 apresenta a função de pertinência resultante da agregação das regras fuzzy associadas à variável de saída aptidão social. Inicialmente, as funções de saída das regras ativadas foram truncadas de acordo com seus respectivos graus de ativação; posteriormente, as saídas foram combinadas por meio do operador máximo, resultando em uma função de pertinência agregada que representa o conjunto fuzzy final da aptidão social antes da etapa de desfuzzificação.

Figura 4. Função de pertinência agregada da variável de saída aptidão social. A curva preta representa a função agregada; a região sombreada representa o conjunto fuzzy resultante; a linha tracejada indica o centroide (0,50).



Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

A forma trapezoidal da função resulta do truncamento do conjunto de saída "média" (triangular, com suporte aproximado entre 0,30 e 0,70) no grau de ativação de cerca de 0,37; os conjuntos "baixa" e "alta" não apresentam pertinência na função agregada (Figura 4), o que indica que apenas regras com

consequente "média" foram ativadas. Nesse contexto, a função agregada representa o conjunto fuzzy resultante, no qual cada ponto do domínio da variável possui um grau de pertencimento associado.

O processo de desfuzzificação pelo método do centroide resultou em um valor de aptidão social igual a 0,50. Considerando a escala de interpretação adotada, esse valor situa-se na faixa de aptidão social moderada, indicando que as condições sociais analisadas apresentam potencial intermediário para a consolidação das unidades de conservação no contexto da proposta de geoparque, conforme apresentado na Tabela 3. Como a função agregada é simétrica em torno de 0,50, o centroide coincide com o ponto central do conjunto "média" e independe do grau de ativação; o valor obtido é, portanto, determinado pela forma do conjunto de saída ativado, e não pela intensidade das regras, comportamento conhecido do método do centroide (Van Leekwijck; Kerre, 1999), o que reforça a necessidade de análise de sensibilidade.

Tabela 3. Faixas de interpretação do índice de aptidão social.

Intervalo do índice	**Classificação**
0,00 – 0,33	Baixa
0,34 – 0,66	Moderada
0,67 – 1,00	Alta

Fonte: Elaborada pelos próprios autores.

Este resultado sugere que, embora existam fatores favoráveis à consolidação das unidades, persistem limitações que impedem a caracterização de um nível elevado de aptidão social.

Cabe interpretar o resultado para além do valor agregado. O índice de 0,50 não expressa um território homogeneamente mediano, mas a coexistência de extremos nos subíndices, que a base de regras converteu em ativação exclusiva do conjunto de saída "média" (Figura 4): a capacidade institucional (0,88), os valores intangíveis (0,79) e o potencial turístico (0,78) situam-se na faixa alta, enquanto a compatibilidade com o modo de vida (0,23), os conflitos e riscos (0,28) e a infraestrutura local (0,36) situam-se na faixa baixa. Em termos de política pública, essa configuração é informativa: os gargalos identificados — compatibilidade sociocultural, conflitos fundiários e infraestrutura — são precisamente as dimensões sobre as quais instrumentos de planejamento participativo e de investimento público podem atuar, ao passo que os fatores favoráveis já apresentam avaliação elevada. O valor intermediário deve, portanto, ser lido como indicativo de viabilidade condicionada, e não de inviabilidade.

4.1 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

Quatro limitações devem ser explicitadas. A primeira, e mais relevante, refere-se à origem das notas e dos pesos: ambos foram atribuídos pelas próprias autoras com base em visitas de campo e

análise documental, sem consulta estruturada a painel de especialistas nem levantamento primário junto à população. Em um modelo cujo objeto é justamente a aptidão social, a ausência de participação direta da comunidade avaliada constitui uma limitação de fundo, e não apenas metodológica. A literatura sobre gestão de áreas protegidas destaca que as percepções dos atores locais constituem evidência legítima e necessária para avaliar a aceitação social de iniciativas de conservação, devendo ser obtidas diretamente junto a esses atores (Bennett, 2016).

A segunda limitação é a ausência de análise de sensibilidade. Como o resultado final depende inteiramente de pesos e notas atribuídos por julgamento, não é possível, com os dados apresentados, distinguir quanto do valor 0,50 decorre da realidade territorial e quanto decorre das escolhas de parametrização. As próprias autoras apontam esse caminho nas considerações finais. Soma-se a isso que as notas atribuídas às subvariáveis, os pesos das variáveis principais (equação 2), a base de regras e os parâmetros das funções de pertinência não são apresentados, o que impede a reprodução do resultado.

A terceira limitação diz respeito à ausência de validação externa: o índice não foi confrontado com indicadores independentes nem com casos de referência de geoparques já consolidados, o que impediria calibrar as faixas de interpretação adotadas na Tabela 3. A quarta é a inexistência de resultado espacialmente explícito: apesar de o trabalho se inserir em modelagem em ambiente SIG, o produto é um único valor municipal, sem desagregação por setor censitário, distrito ou zona do parque, o que limita sua aplicação direta ao zoneamento. Acrescenta-se a possível redundância entre critérios: o potencial turístico aparece tanto como variável própria quanto como subvariável de impactos socioeconômicos, a infraestrutura e a acessibilidade turísticas figuram em duas variáveis distintas e os conflitos territoriais comparecem em aceitação social e em conflitos e riscos (Tabela 1), o que pode sobrerrepresentar determinadas dimensões na agregação por combinação linear ponderada, procedimento que pressupõe critérios independentes (Malczewski, 2006).

4.2 CONTRIBUIÇÃO DO ESTUDO

O trabalho oferece duas contribuições principais. No plano metodológico, demonstra a viabilidade de acoplar combinação linear ponderada e inferência fuzzy do tipo Mamdani para tratar a dimensão social do planejamento territorial, domínio em que os julgamentos são inerentemente qualitativos e os critérios frequentemente conflitantes — situação em que a lógica fuzzy permite representar a imprecisão dos julgamentos e interações não lineares entre critérios, ainda que a informação sobre os extremos seja preservada nos graus de ativação das regras, e não no valor defuzzificado. No plano aplicado, produz um diagnóstico estruturado para a proposta do Geoparque

Morro do Chapéu que identifica, de forma explícita e hierarquizada, quais dimensões sustentam e quais restringem sua consolidação, oferecendo aos gestores um ponto de partida sistematizado para priorizar intervenções.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema de inferência fuzzy utilizado neste estudo segue a estrutura clássica composta pelas etapas de fuzzificação das variáveis de entrada, aplicação da base de regras fuzzy, agregação das saídas e desfuzzificação pelo método do centroide. Esse processo permite transformar indicadores quantitativos em inferências linguísticas e, posteriormente, sintetizá-las em um índice numérico representativo da aptidão social.

O valor encontrado para o índice de aptidão social permite concluir os seguintes pontos: a função agregada é composta exclusivamente pelo conjunto de saída "média", truncado em grau de ativação de cerca de 0,37, sem pertinência nos conjuntos "baixa" e "alta" (Figura 4); os subíndices extremos (Tabela 2) não resultaram em ativação de regras com consequentes extremos; e o valor 0,50 decorre da simetria desse conjunto, devendo ser lido como aptidão moderada condicionada às escolhas de parametrização.

Como a robustez do resultado ainda não foi testada por análise de sensibilidade, em estudos futuros é pertinente a realização de testes de diferentes cenários com o objetivo de investigar detalhadamente quais fatores limitam a elevação do nível de aptidão social. Por exemplo, testar a variável conflitos e riscos mantendo todas as demais constantes poderá responder às perguntas: os conflitos sociais são realmente um gargalo? Quanto o índice global melhora se os conflitos forem reduzidos?

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), por meio do edital CNPq/MCTI nº 441271/2023-5 –Presente, Passado e Futuro da Biodiversidade do Semiárido: Inventários, Monitoramento, Impactos das Mudanças Climáticas e Implicações para o Uso e Conservação da Flora, Fauna e Fungos. W.J.F.R. foi apoiado por bolsa de produtividade em pesquisa do CNPq (processo nº 314954/2021-0), Projeto Prospecta 4.0 –CNPq (processo nº 407907/2022-0) e pelo projeto 30202010010121001 –CTBIO –FINEP, associada ao Centro Temático de Bioeconomia do Semiárido (UEFS –CTBio-CIMATEC SERTÃO). Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estudos Interdisciplinares e Transdisciplinares em Ecologia e Evolução (INCT

IN-TREE), financiado pelo CNPq (408930/2024-1), pela CAPES (88887.195651/2025-00) e pela FAPESP. Financiamento adicional foi fornecido pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), por meio do programa Bioeconomia, Recursos Hídricos e Sustentabilidade Ambiental na Bahia, no âmbito da Chamada nº 38/2022, Acordo de Cooperação Técnica nº 294/2023 e Termo de Outorga nº PPF0003/2023. Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente (PPGM/UEFS) pelo apoio institucional, bem como ao SENAI CIMATEC pela contribuição no desenvolvimento científico e tecnológico voltado à inovação aplicada.R.N.V. foi apoiado pelo INCT IN-TREE e agradece a bolsa SET-G 30202010010121001 –CTBIO –FINEP, associada ao Centro Temático de Bioeconomia doSemiárido (UEFS –CTBio-CIMATEC SERTÃO), vinculado a Projetos Especiais.

REFERÊNCIAS

ASADABADI, M. R.; CHANG, E.; SABERI, M. Are MCDM methods useful? A critical review of analytic hierarchy process (AHP) and analytic network process (ANP). Cogent Engineering, v. 6, n. 1, art. 1623153, 2019. DOI: 10.1080/23311916.2019.1623153.

BENNETT, N. J. Using perceptions as evidence to improve conservation and environmental management. Conservation Biology, v. 30, n. 3, p. 582-592, 2016. DOI: 10.1111/cobi.12681.

BRASIL. Lei n.º 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 19 jul. 2000.

BRILHA, J. Patrimônio geológico e geoconservação: a conservação da natureza na sua vertente geológica. Viseu: Palimage Editores, 2005. 190 p.

DICTORO, V. P.; GALVÃO, D. F.; HANAI, F. Y. O estudo das representações sociais e da percepção ambiental como instrumentos de análise das relações humanas com a água. Ambiente & Educação: Revista de Educação Ambiental, v. 21, n. 1, p. 232-251, 2016.

HENRIQUES, M. H.; BRILHA, J. UNESCO Global Geoparks: a strategy towards global understanding and sustainability. Episodes, v. 40, n. 4, p. 349-355, 2017. DOI: 10.18814/epiiugs/2017/v40i4/017036.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Malha municipal digital do Brasil: 2024. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html. Acesso em: 26 set. 2026.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cidades@: Bahia: Morro do Chapéu: panorama. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ba/morro-do-chapeu/panorama. Acesso em: 27 ago. 2026.

KLIR, G. J.; YUAN, B. Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications. Upper Saddle River: Prentice Hall PTR, 1995.

MALCZEWSKI, J. GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. International Journal of Geographical Information Science, v. 20, n. 7, p. 703-726, 2006. DOI: 10.1080/13658810600661508.

MAMDANI, E. H.; ASSILIAN, S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. International Journal of Man-Machine Studies, v. 7, n. 1, p. 1-13, 1975. DOI: 10.1016/S0020-7373(75)80002-2.

McHARG, I. L. Design with nature. New York: Natural History Press, 1969.

MORRO DO CHAPÉU (Município). Lei n.º 394, de 1995. Cria o Conselho Municipal do Meio Ambiente de Morro do Chapéu. Morro do Chapéu, BA: Prefeitura Municipal, 1995.

MORRO DO CHAPÉU (Município). Lei n.º 715, de 2005. Institui o Plano Diretor Urbano do município de Morro do Chapéu. Morro do Chapéu, BA: Prefeitura Municipal, 2005.

OPENSTREETMAP. OpenStreetMap: base cartográfica colaborativa. [S. l.]: OpenStreetMap Foundation, 2025. Disponível em: https://www.openstreetmap.org. Acesso em: 26 set. 2026.

ROCHA, A. J. D.; PEDREIRA, A. J. Geoparque Morro do Chapéu – Bahia: proposta. Salvador: Companhia Baiana de Pesquisa Mineral; Governo do Estado da Bahia, 2013.

ROSS, T. J. Fuzzy logic with engineering applications. 3. ed. Chichester: John Wiley & Sons, 2010.

ROY, B. Multicriteria methodology for decision aiding. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996.

RUCHKYS, Ú. de A. Patrimônio geológico e geoconservação no Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais: potencial para criação de um geoparque da UNESCO. 2007. 211 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

SAATY, T. L. The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation. New York: McGraw-Hill, 1980.

SAATY, T. L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. European Journal of Operational Research, v. 48, n. 1, p. 9-26, 1990. DOI: 10.1016/0377-2217(90)90057-I.

SILVA, A. C. Modelagem da geodiversidade e identidade como suporte para roteiros geoturísticos: estudo de caso no Geoparque Morro do Chapéu, Bahia. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2016.

TAHERDOOST, H. Decision making using the analytic hierarchy process (AHP): a step by step approach. International Journal of Economics and Management Systems, v. 2, p. 244-246, 2017.

VAN LEEKWIJCK, W.; KERRE, E. E. Defuzzification: criteria and classification. Fuzzy Sets and Systems, v. 108, n. 2, p. 159-178, 1999. DOI: 10.1016/S0165-0114(97)00337-0.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. Information and Control, v. 8, n. 3, p. 338-353, 1965. DOI: 10.1016/S0019-9958(65)90241-X.