Hierarquização de serviços ecossistêmicos mediante a aplicação do método AHP: evidências empíricas do Cerro das Almas Capão do Leão – RS

Prioritization of ecosystem services using the AHP Method: empirical evidence from Cerro das Almas Capão do Leão – RS, Brazil

José Gomes de Oliveira Nascimento
Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). Pelotas, RS, Brasil
Alain Hernández Santoyo
Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). Pelotas, RS, Brasil
Marielen Priscila Kaufmann
Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). Pelotas, RS, Brasil
Lúcio André de Oliveira Fernandes
Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). Pelotas, RS, Brasil
Gustavo Gonçalves da Rosa
Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). Pelotas, RS, Brasil

GT04 - Meio ambiente, agroecologia, sustentabilidade e mudanças climáticas

Resumo: O objetivo do presente estudo consistiu em hierarquizar os serviços ecossistêmicos (SEs) associados ao Cerro das Almas, inserido no Bioma Pampa, mediante a utilização do Processo Analítico Hierárquico (AHP), como suporte ao subsídio de políticas ambientais de conservação, manejo sustentável e valorização do território. A metodologia utilizada baseou-se na construção de uma estrutura hierárquica composta por quatro categorias de serviços ecossistêmicos: provisão, regulação, culturais e suporte; avaliadas por um painel interdisciplinar de especialistas (n = 14), através de comparações pareadas. Os resultados indicaram a predominância dos serviços de regulação (35,55%) e suporte (28,06%), seguidos pelos serviços de provisão (25,88%) e culturais (10,50%). A análise de consistência demonstrou elevada confiabilidade dos julgamentos, com razão de consistência global (CR = 0,0210) e valores de $CR_{máx}$ adequados para todas as categorias, destacando-se os serviços de suporte ($CR_{máx}$ = 0,0000), evidenciando um adequado consenso entre os especialistas. Os achados revelam a centralidade dos serviços de manutenção ecológica na percepção técnica, embora persistam tensões com a lógica produtiva associada aos serviços de provisão. Conclui-se que a aplicação do AHP constitui ferramenta robusta para apoio à decisão em planejamento ambiental, permitindo explicitar prioridades, conflitos e níveis de incerteza na valoração dos serviços ecossistêmicos.
Palavras-chave: Serviços Ecossistêmicos, Método AHP, Bioma Pampa, Análise multicritério, Planejamento ambiental.

Abstract: The objective of this study consisted of ranking the ecosystem services (ES) associated with Cerro das Almas, located within the Pampa Biome, using the Analytic Hierarchy Process (AHP), to support environmental policies related to conservation, sustainable management, and the enhancement of the region. The methodology used was based on a hierarchical structure composed of four ecosystem service categories: provisioning, regulating, cultural, and supporting; evaluated by an interdisciplinary panel of experts (n = 14) through pairwise comparisons. The results indicated the predominance of regulating services (35.55%) and supporting services (28.06%), followed by provisioning (25.88%) and cultural services (10.50%). Consistency analysis demonstrated high reliability of judgments, with a global consistency ratio (CR=0.0210) and acceptable CR_{max} values for all categories, especially supporting services (CR_{max} = 0.0000), indicating strong consensus among experts. The findings highlight the central role of ecological maintenance services in technical perception, although tensions remain with the productive logic associated with provisioning services. It is concluded that AHP is a robust tool for environmental planning, enabling the identification of priorities, trade-offs, and uncertainties in ecosystem service valuation.
Keywords: Ecosystem Services, AHP Method, Pampa Biome, Multicriteria analysis, Environmental planning.

1. Introdução

A crescente degradação ambiental exige um mecanismo de decisão que integre múltiplos valores (MEA, 2005), superando a simples avaliação de custos de mercado (Brander et al., 2024). A finitude dos recursos de conservação torna a priorização dos Serviços Ecossistêmicos (SEs) uma necessidade estratégica. A busca pela maximização de um único SE (ex: produção) frequentemente gera trade-offs negativos, comprometendo os serviços de Regulação e Suporte, e diminuindo a resiliência do sistema (MEA, 2005).

Relatórios internacionais como o da *Intergovernamental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services - IPBES* (2019) indicam que aproximadamente 75% das áreas terrestres do planeta já foram significativamente modificadas pelas atividades humanas, refletindo a intensificação do uso da terra, da exploração de recursos naturais e da expansão das atividades produtivas. Esse processo tem contribuído para uma crise ambiental sem precedentes, marcada pela perda acelerada da biodiversidade, com estimativas indicando que cerca de um milhão de espécies estão atualmente ameaçadas de extinção. Além disso, projeções recentes da ONU (2024) apontam que centenas de milhões de hectares de terras naturais poderão sofrer processos de degradação até 2050 caso os atuais padrões de uso e exploração dos recursos naturais sejam mantidos.

No estado do Rio Grande do Sul, a paisagem atual resulta de uma longa evolução geológica e climática iniciada há cerca de 1 bilhão de anos (Holz, 1999) e culminando no clima Subtropical-Temperado (Nimer, 1989); sua geodiversidade formou-se entre o final da Era Mesozoica e o início da Cenozoica, sendo posteriormente modelada pelas variações climáticas do final do Pleistoceno ao início do Holoceno e pela ocupação humana (Teixeira & Coura Neto, 1986). A partir do século XVIII, a chegada de imigrantes europeus intensificou as transformações ambientais (Soares & Klamt, 2005; Overbeck et al., 2009), levando à significativa redução da vegetação nativa, com a Floresta Subtropical Atlântica restringindo-se a apenas 6,8% de sua área original e as formações campestres diminuindo de cerca de 60% para 33% do território (MAPBIOMAS, 2023).

Essa intensificação do uso e ocupação do solo, principalmente no final do século XX e início do século XXI, tem provocado a degradação ambiental no Pampa (Pillar et al., 2009), com consequências diretas sobre a biodiversidade, como a fragmentação de habitats (Fontana et al., 2003) e a perda de serviços ambientais, a exemplo do avanço da erosão do solo na região da Campanha (Suertegaray, 2011). Embora esforços recentes tenham catalogado mais de 12.503 espécies nos Campos Sulinos (Andrade et al., 2023), ainda persistem lacunas no

conhecimento da ocorrência e distribuição da biodiversidade, especialmente nas diferentes tipologias vegetais que compõem o mosaico da paisagem (Hasenack et al., 2023).

Diante da heterogeneidade ambiental e das pressões antrópicas, o Cerro das Almas destaca-se como uma paisagem de exceção no sul do Rio Grande do Sul (Ab'Saber, 2005), caracterizada por elevada biodiversidade e por sua condição ecotonal entre os biomas Pampa e Mata Atlântica (GEEPAA - RS, 2023), onde coexistem a Floresta Subtropical Atlântica, com idade entre 430 e 1000 anos, e os campos rupestres, com milhares de anos (Behling et al., 2009), além de um histórico de uso intensivo que demanda abordagens de gestão além da ótica ecológica (GEEPAA - RS, 2023).

Inserido no Bioma Pampa, reconhecido como hotspot de biodiversidade e provedor de Serviços Ecossistêmicos essenciais (Pillar et al., 2009; Barbosa et al., 2024), esse contexto evidencia a relevância de áreas como o Cerro das Almas (Capão do Leão, RS), que sustentam tanto a economia regional quanto a estabilidade ecológica (Pillar et al., 2009), motivando a proposição de um modelo hierárquico para priorização de Serviços Ecossistêmicos voltado à gestão territorial sustentável na região.

O objetivo central do artigo consistiu em hierarquizar os serviços ecossistêmicos (SEs) associados ao Cerro das Almas, inserido no Bioma Pampa, mediante a utilização do Processo Analítico Hierárquico (AHP), como suporte ao subsídio de políticas ambientais de conservação, manejo sustentável e valorização do território. Para alcançar este propósito, a metodologia empregada foi o Processo Analítico Hierárquico (AHP), dada sua pertinência para estruturar e hierarquizas problemas multicritérios complexos (SAATY, 1980).

Assim, o artigo justifica-se pela necessidade de oferecer uma ferramenta de apoio ao processo de tomada de decisões, que gere uma ordem de urgência robusta e cientificamente fundamentada para orientar o planejamento e conservação ambiental no Pampa Gaúcho.

2. O papel dos serviços ecossistêmicos na preservação do capital natural

Historicamente, o capital natural foi tratado como um conjunto de bens livres, considerados abundantes e sem custo, o que levou à sua exploração indiscriminada e à subestimação de suas funções ecológicas; contudo, a literatura demonstra que a maioria dos serviços ecossistêmicos (SEs) não é incorporada aos mecanismos de mercado, resultando em decisões que ignoram seus benefícios e os custos da degradação (Aznar-Bellver & Estruch-Guitart, 2020). Nesse contexto, a degradação ambiental configura-se como expressão de uma falha estrutural associada à percepção equivocada de abundância dos recursos naturais, incentivando práticas produtivas intensivas que tratam o meio ambiente como fonte inesgotável

de insumos e sumidouro de resíduos (Carvalho e Adolfo, 2012), o que gera externalidades negativas, como poluição, esgotamento de recursos e impactos à saúde, cujos custos são socializados e transferidos às gerações futuras, caracterizando injustiça intergeracional (Carvalho; Adolfo, 2012; Sen, 2010).

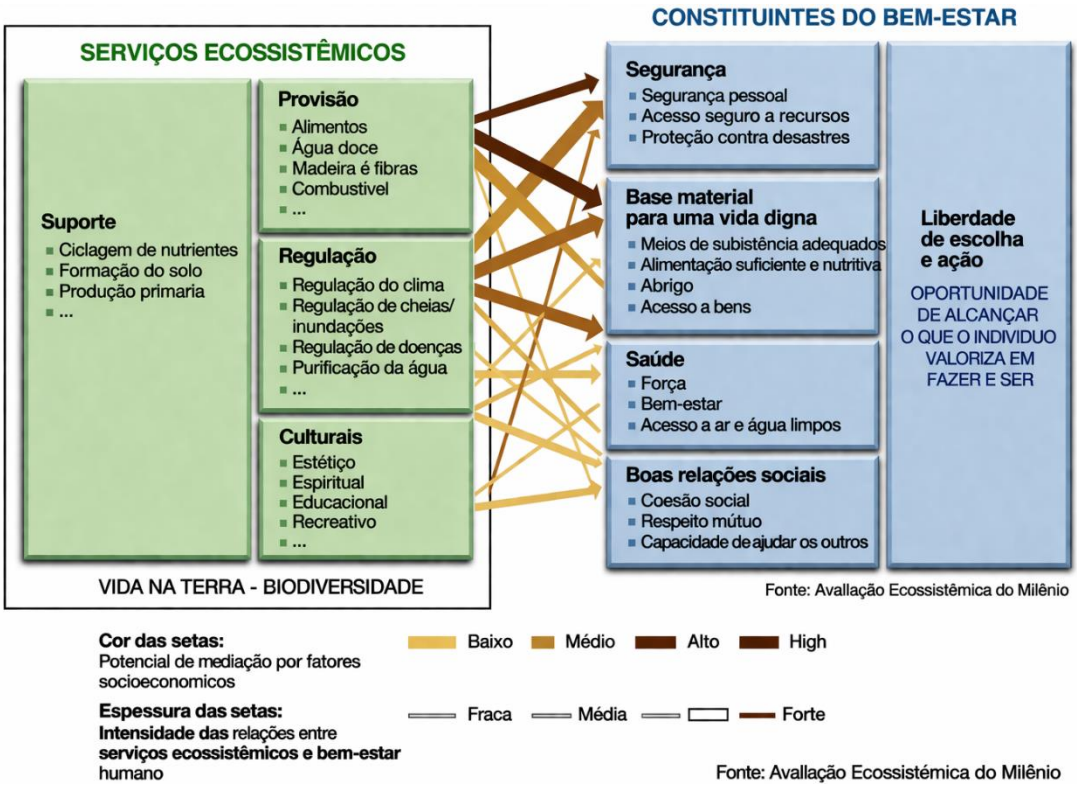
Assim, os serviços ecossistêmicos assumem papel central na preservação do capital natural ao evidenciar os benefícios derivados dos ecossistemas e sua importância para a sustentação dos sistemas econômicos, sendo a Valoração Econômica Ambiental (VEA) um instrumento fundamental para seu reconhecimento, especialmente daqueles invisíveis ao mercado, como regulação hídrica, estabilidade climática e manutenção da biodiversidade (Motta, 2011); além disso, a VEA subsidia a formulação de políticas públicas e a internalização de externalidades (Portugal Júnior; Portugal; Abreu, 2012; Derani, 2008; Antunes, 2005), ao se fundamentar na concepção de SEs como fluxos de benefícios oriundos do capital natural entendido como o estoque de recursos e ecossistemas (Costanza et al., 1997; Carvalho e Adolfo, 2012) , gerando informações essenciais para decisões mais sustentáveis (Romeiro e Maia, 2011; Vargas Salinas et al., 2021)

Nesse contexto, destacam-se duas estruturas conceituais fundamentais: a Avaliação Ecossistêmica do Milênio (MEA) e o projeto The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB), que contribuíram significativamente para a consolidação do conceito e para sua aplicação em políticas públicas.

2.1. Estrutura conceitual dos Serviços Ecossistêmicos (SEs) e suas classificações

A priorização dos Serviços Ecossistêmicos (SEs) do presente estudo, fundamenta-se na estrutura conceitual proposta pelo Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2005), a qual constitui um referencial essencial para a gestão territorial sustentável e para a aplicação da Valoração Analítica Multicritério (AMUVAM). Esse framework estabelece uma taxonomia global dos benefícios que os ecossistemas fornecem ao bem-estar humano. Conforme figura1.

Figura 1 – Serviços ecossistêmicos e suas classificações



Fonte: Adaptado e traduzido de MEA, 2005.

O MEA (2005) classifica os serviços ecossistêmicos em quatro categorias: serviços de provisão, relacionados aos bens materiais diretamente obtidos da natureza e amplamente incorporados à Valoração Econômica Total (VET) (Brander et al., 2024); serviços de regulação, associados à manutenção da qualidade ambiental e à estabilidade dos sistemas; serviços culturais, que englobam benefícios imateriais ligados ao bem-estar social; e serviços de suporte, que correspondem aos processos ecológicos fundamentais que sustentam os demais serviços e garantem o funcionamento dos ecossistemas no longo prazo (MEA, 2005; GEEPAA – RS, 2023).

A adoção dessa estrutura permite superar as limitações da economia convencional, ao integrar, no processo de priorização, não apenas o valor econômico, mas também os valores intrínsecos e o risco de perda dos serviços ecossistêmicos (Brander et al., 2024; MEA, 2005).

A evolução do debate sobre serviços ecossistêmicos demonstra que a compreensão da dependência humana em relação aos sistemas naturais não é recente, mas se intensifica ao longo do século XX, especialmente após a institucionalização da agenda ambiental internacional. Marcos como a publicação de *Silent Spring* (1962), de Rachel Carson, o relatório *The Limits to*

Growth (1972) e a Conferência de Estocolmo (1972) foram fundamentais para consolidar a percepção de que os sistemas naturais sustentam o desenvolvimento econômico e social (Mooney & Ehrlich, 1997).

A consolidação desse paradigma ocorre com a Avaliação Ecossistêmica do Milênio (2005), que definiu os serviços ecossistêmicos como os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas, classificando-os em provisão, regulação, culturais e suporte (MEA, 2005). Posteriormente, novas classificações foram desenvolvidas com o objetivo de aprimorar a padronização, mensuração e integração desses serviços aos sistemas econômicos e contábeis. Dentre elas, a CICES (Common International Classification of Ecosystem Services), proposta pela European Environment Agency, organiza os serviços em categorias padronizadas e exclui os serviços de suporte para evitar dupla contagem; o FEGS-CS (Final Ecosystem Goods and Services Classification System), desenvolvido pela United States Environmental Protection Agency, foca nos bens e serviços finais diretamente percebidos pelos beneficiários; o NESCS (National Ecosystem Services Classification System), que busca integrar os serviços ecossistêmicos às contas nacionais como fluxos econômicos; e o SEEA (System of Environmental-Economic Accounting), estruturado pela United Nations, que estabelece um padrão estatístico internacional ao tratar os ecossistemas como ativos e os serviços como fluxos mensuráveis.

Essas classificações fornecem a base conceitual e operacional necessária para identificar, organizar e comparar os serviços ecossistêmicos, constituindo etapa fundamental para processos de hierarquização e priorização no planejamento da conservação do capital natural no longo prazo.

Esse processo reflete um movimento crescente de institucionalização e economicização da natureza, no qual os serviços ecossistêmicos passam a ser compreendidos como fluxos mensuráveis derivados de estoques de capital natural. Embora essa abordagem represente um avanço na integração entre economia e meio ambiente, ela também levanta desafios teóricos, especialmente no que se refere à redução de valores ecológicos e culturais a métricas monetárias.

Diante da multiplicidade de serviços ecossistêmicos, de suas diferentes naturezas e da limitação de recursos destinados à conservação, torna-se evidente a necessidade de estabelecer critérios que permitam sua priorização. A simples valoração, embora essencial, não é suficiente para orientar decisões em contextos de escassez e conflito entre usos.

Assim, a hierarquização dos serviços ecossistêmicos emerge como uma etapa fundamental para o planejamento da preservação do capital natural no longo prazo, permitindo

identificar aqueles serviços que são simultaneamente mais relevantes para o bem-estar humano e mais vulneráveis às pressões antrópicas e ambientais. Essa abordagem possibilita superar a visão fragmentada da gestão ambiental, integrando dimensões ecológicas, econômicas e sociais em um processo estruturado de tomada de decisão.

2.2. A Abordagem Multicritério como Suporte à Valoração de Serviços Ecossistêmicos

A Teoria da Decisão Multicritério (MCDA/MCDM) constitui um importante campo da Pesquisa Operacional ao oferecer um arcabouço metodológico para lidar com problemas complexos, envolvendo múltiplos critérios, conflitos e subjetividade, adotando uma abordagem construtivista que valoriza a estruturação do problema e as preferências do decisor (Ensslin; Montibeller Neto; Noronha, 2001). Sua principal contribuição está na modelagem participativa, que permite incorporar julgamentos subjetivos de forma explícita, sem buscar uma solução única ótima, mas sim decisões consistentes e fundamentadas (Roy, 1996), sendo especialmente relevante em contextos estratégicos com trade-offs entre critérios (Belton; Stewart, 2002) e ampla aplicação prática (Junior; Piratelli; Pacheco, 2022).

Entre suas vantagens destacam-se a transparência e a credibilidade, sobretudo com o uso de métodos como o AHP, que estrutura problemas hierarquicamente, atribui pesos e verifica a consistência dos julgamentos (Saaty, 1988; 1990), reforçando seu papel como suporte à decisão (Briozo; Musetti, 2015); nesse contexto, o AHP mostra-se adequado para a priorização de serviços ecossistêmicos, ao permitir a quantificação de preferências de especialistas e stakeholders e gerar uma hierarquização robusta, especialmente em áreas complexas como o Cerro das Almas (Luján et al., 2020).

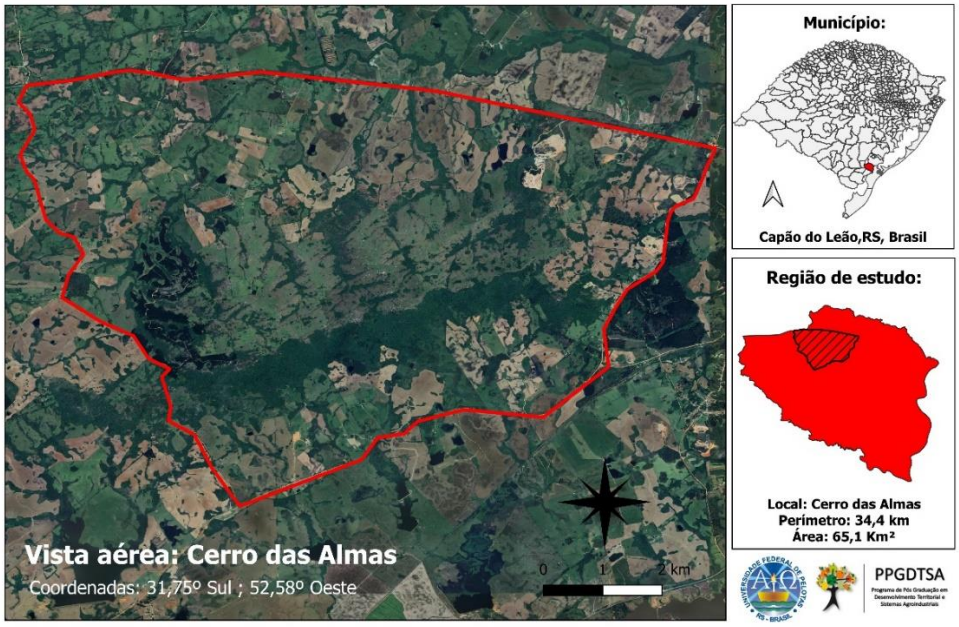
3. Metodologia

Utiliza-se uma abordagem metodológica que combina a descrição detalhada da área de estudo, a identificação dos serviços ecossistêmicos (Ses) e a aplicação do método AHP, como ferramenta de apoio ao processo de tomada de decisões, uma vez que permite estruturar e hierarquizar problemas multicritérios complexos.

3.1. Área de Estudo

O estudo de caso foi aplicado ao Cerro das Almas, uma área de notável relevância ecológica e histórica situada no município de Capão do Leão, no estado do Rio Grande do Sul (RS). A área está localizada na encosta atlântica da Serra do Sudeste, possuindo uma gênese de idade Pré-Cambriana e caracterizando-se por um relevo ondulado a fortemente ondulado que atinge picos de até 262 metros de altitude, conforme se apresenta na figura 2.

Figura 2 - Localização do Cerro das Almas, município Capão do Leão-RS.



Fonte: Elaboração própria (2026).

Este espaço natural configura-se como uma paisagem de exceção, por representar uma zona de contato biogeográfico entre ecossistemas com origens e trajetórias evolutivas distintas, sendo sua análise delimitada à área de influência direta do Cerro, com foco na história natural e na biodiversidade sob pressão antrópica. Esse ponto de transição ecotonal marca o limite entre o bioma Pampa (Campos Sulinos) e a Mata Atlântica (Floresta Subtropical Atlântica), resultando em um mosaico vegetacional contrastante.

Nesse contexto, observa-se que a porção leste é ocupada por um remanescente disjunto de Floresta Estacional Semidecidual, enquanto a porção oeste apresenta uma transição abrupta para campos rupestres associados aos Campos Sulinos, classificados como Região Fito ecológica do Campo Tipo (BUG) (Bush grassland). A área de estudo, portanto, configura-se como um mosaico paisagístico complexo, marcado por histórico de uso intensivo, o que a torna estratégica para estudos de priorização da conservação.

Esse mosaico é composto por biótopos naturais como Floresta Nativa, Campo Nativo, Matas Ciliares, Afloramentos Rochosos e Banhados e por elementos antrópicos, incluindo áreas de exploração mineral (pedreiras), agricultura e pecuária, silvicultura e infraestrutura viária.

3.2. Identificação dos Serviços Ecossistêmicos

A primeira etapa da pesquisa envolve o levantamento e a classificação do conjunto de serviços ecossistêmicos oferecidos pelo Cerro das Almas, conforme a classificação do MEA (2005). A tabela 1 detalha os serviços identificados, e a justificativa teórica para sua escolha, ancorada na literatura.

Tabela 1 - Serviços Ecossistêmicos identificados no Cerro das Almas, RS.

Grupo	SEs	Descrição do serviço ecossistêmico no Cerro das Almas
Provisão	Minerais	Refere-se à provisão de recursos geológicos presentes no maciço rochoso e no solo (ex.: argilas, agregados minerais, eventuais jazidas).
	Pecuária (Leite e Corte bovinos, ovinos)	Serviço derivado da biomassa primária produzida pelas pastagens naturais do Pampa. O sistema campestre fornece forragem nativa que sustenta a pecuária extensiva.
	Agricultura (Grãos, olerícolas e frutíferas)	Produção vegetal, Milho, Soja e Feijão; Olerícolas e Frutíferas, dependente da fertilidade natural do solo, ciclagem de nutrientes e regulação hídrica.
	Floresta (Madeira, celulose)	Refere-se à produção de biomassa lenhosa, seja nativa ou plantada.
	Água (Poços, nascentes potáveis)	Serviço de provisão de água superficial e subterrânea para consumo humano e dessedentação animal.
Regulação	Regulação climática (Carbono)	Captura e armazenamento de carbono na biomassa herbácea e no solo do Pampa.
	Regulação da erosão	Serviço crítico no Pampa. A cobertura vegetal campestre protege solos rasos e frágeis contra erosão hídrica e eólica.
	Purificação da água	Filtragem natural por meio do solo e da vegetação, reduzindo sedimentos e contaminantes.
	Controle biológico (Defensores)	Regulação natural de populações de insetos e organismos potencialmente danosos por predadores e equilíbrio trófico.
Culturais	Patrimônio cultural	Valor simbólico, histórico e identitário associado ao Cerro como marco paisagístico e cultural regional.
	Valores estéticos (Beleza cênica)	Serviço associado à paisagem campestre, formações rochosas e horizontes abertos do Pampa. Contribui para identidade regional e potencial turístico.
	Recreação, ócio e turismo	Potencial para turismo ecológico, trilhas, contemplação e educação ambiental.
Suporte	Proteção genética / Biodiversidade	Manutenção da diversidade genética e de habitats campestres típicos do Pampa.
	Ciclagem de nutrientes	Processos ecológicos de decomposição e mineralização que mantêm fertilidade do solo

Fonte: Elaboração própria (2026).

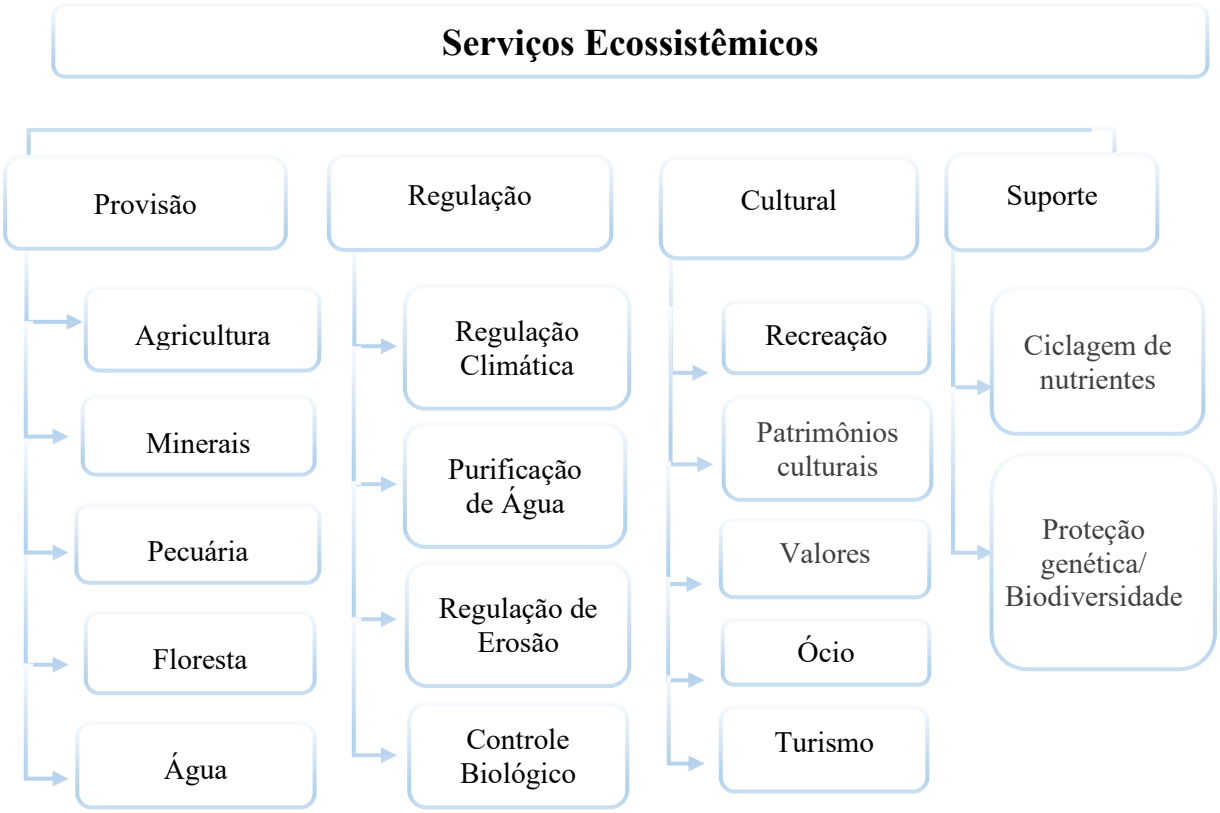
3.3. O Processo Analítico Hierárquico (AHP)

O Método AHP (Analytic Hierarchy Process), desenvolvido por Thomas L. Saaty, constitui uma técnica de decisão multicritério voltada à resolução de problemas complexos com múltiplos critérios, permitindo estruturar e quantificar julgamentos subjetivos (Saaty, 1997). Nesta pesquisa, sua aplicação foi organizada em três etapas principais.

Na **primeira etapa**, realiza-se a seleção de um painel interdisciplinar de especialistas, etapa essencial para garantir a confiabilidade dos resultados, considerando conhecimento técnico e domínio da área de estudo (Gómez-Aguayo; Estruch, 2019

O AHP permite que se inclua detalhe relevante o suficiente para representar o problema minuciosamente, mas sem perder a sensibilidade à mudança nos elementos (Saaty, 1990). Essa decomposição facilita a compreensão e a avaliação de cada parte do problema isoladamente, antes da síntese final, conforme se mostra na figura 3:

Figura 3 - Estruturação do Problema



Fonte: Elaboração Própria (2026).

Na **segunda etapa**, são obtidas as preferências individuais por meio de comparações pareadas, nas quais os especialistas avaliam dois critérios ou alternativas por vez, utilizando a escala fundamental de Saaty, conforme tabela 2.

Tabela 2 - Escala fundamental de comparações pareadas.

Escala Numérica	Escala verbal	Explicação
1	Igual importância.	Os dois elementos contribuem igualmente à propriedade ou critério.
3	Moderadamente mais importante um elemento que o outro.	O julgamento e a experiência prévia favorecem a um elemento frente ao outro.
5	Fortemente mais importante um elemento que o outro.	O julgamento e a experiência prévia favorecem fortemente a um elemento frente ao outro.
7	Muito mais forte a importância de um elemento do que o outro.	Um elemento domina fortemente. O domínio está comprovado com a prática.
9	Importância extrema de um elemento.	Um elemento domina o outro com maior ordem marginal possível.

2;4;6;8	Importância intermediária.	Valor intermediário casa a classificação adotada se enquadre entre as importâncias definidas.

Fonte: Adaptado de Saaty (1997).

O método AHP destaca-se por converter julgamentos subjetivos em valores numéricos consistentes, permitindo a priorização por meio do cálculo do vetor de prioridades (autovetor) e a verificação da consistência dos julgamentos (Saaty, 1997; Murphy, 1993; Martínez-Rodríguez, 2007; Santoyo, 2012); essa consistência é avaliada pela Razão de Consistência

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

Onde o Índice de Consistência (IC) é calculado por:

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Em que λ_{max} representa o maior autovalor da matriz de comparação pareada A, obtido a partir da equação:

$$Aw = \lambda_{max} w$$

Sendo A a matriz de comparação pareada e wo vetor próprio associado.

O Índice de Consistência Aleatória (IA) corresponde a um valor médio de inconsistência obtido a partir de matrizes geradas aleatoriamente, variando conforme a ordem da matriz n.considerada aceitável quando inferior a 0,10 (Aguarón; Moreno-Jiménez, 2003; Saaty, 1997), conforme apresenta a tabela 3:

Tabela 3 - Índice de Consistência Aleatória (IA)

N.° **E (n)**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
IA	0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Elaboração própria (2026)

De acordo com Saaty (1997), considera-se que o vetor de prioridades tem uma inconsistência aceitável quando o RC é menor que 10% para matrizes n ≥ 5, 5% para n = 3 e 8% para n = 4.

Na **terceira etapa**, ocorre a agregação das preferências individuais por meio da média geométrica, procedimento recomendado por preservar a proporcionalidade das escalas e reduzir a influência de valores extremos, garantindo maior robustez ao processo decisório (Saaty, 1980; Saaty, 2008; Forman; Peniwati, 1998; Ishizaka; Labib, 2011; Triantaphyllou, 2000).

Assim, o AHP se consolida como uma ferramenta robusta de apoio à decisão, capaz de transformar problemas complexos e subjetivos em modelos estruturados, transparentes e consistentes, alinhados às abordagens contemporâneas de valoração ambiental (Zeleny, 1994).

4. Análise e Discussão dos Resultados

A aplicação do *Processo* Analítico Hierárquico *(AHP)* permitiu a hierarquização quantitativa dos Serviços Ecossistêmicos (SEs) associados ao Cerro das Almas, situado no Bioma Pampa. Os resultados apresentados correspondem à matriz agregada do grupo de especialistas (AHP-OS), obtida por média geométrica dos julgamentos individuais e validada por meio da Razão de Consistência (RC ≤ 0,10), garantindo coerência lógica interna.

4.1 Caracterização dos especialistas

O painel foi interdisciplinar, incluiu pesquisadores, acadêmicos, engenheiros, funcionários públicos, agricultores e ecologistas, estruturado a partir da equipe técnica do Projeto História Natural do Cerro das Almas, no município de Capão do Leão (RS), articulado pelo Grupo Especial de Estudo e Proteção do Ambiente Aquático do Rio Grande do Sul (GEEPAA-RS). O painel é composto por 13 especialistas vinculados a instituições de ensino, pesquisa e gestão ambiental, dentre as quais se destacam a Universidade Federal do Rio Grande (FURG), a Universidade Federal de Pelotas (UFPel), a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), o Instituto Federal Sul-rio-grandense (IFSUL) e o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio).

O grupo reúne profissionais com formação multidisciplinar, contemplando as áreas de Biologia, Ecologia, Oceanologia, Engenharia Agronômica, Engenharia Agrícola, Engenharia Florestal, Economia, Geografia, Geologia, Arquitetura e Urbanismo, Jornalismo e Ciências Naturais. Essa diversidade de especialidades confere ao painel uma abordagem integrada e sistêmica, fundamental para análises ambientais complexas e para a valoração de bens e serviços ecossistêmicos sob diferentes perspectivas técnicas, científicas e socioeconômicas.

4.2 Priorização dos Serviços Ecossistêmicos – Nível 1

No nível 1 da estrutura hierárquica encontram-se os quatro grandes grupos de serviços ecossistêmicos considerados na análise: serviços de provisão, serviços de regulação, serviços culturais e serviços de suporte, conforme a classificação proposta pela Millennium Ecosystem Assessment, esses grupos representam diferentes tipos de benefícios fornecidos pelos ecossistemas à sociedade, abrangendo desde bens materiais diretamente utilizados pelas populações até processos ecológicos fundamentais para o funcionamento e a manutenção dos sistemas naturais (MEA, 2005; De Groot et al., 2002).

A partir das comparações par a par realizadas pelos especialistas, utilizando o método Analytic Hierarchy Process (AHP), desenvolvido por Thomas L. Saaty, foi possível calcular o vetor global de pesos, que expressa a importância relativa atribuída a cada grupo de serviços

ecossistêmicos dentro da estrutura hierárquica analisada. Esse vetor representa o resultado agregado das preferências dos especialistas e permite identificar a contribuição proporcional de cada categoria para o valor econômico total estimado (Saaty, 1980; Ishizaka; Labib, 2011), conforme tabela 4:

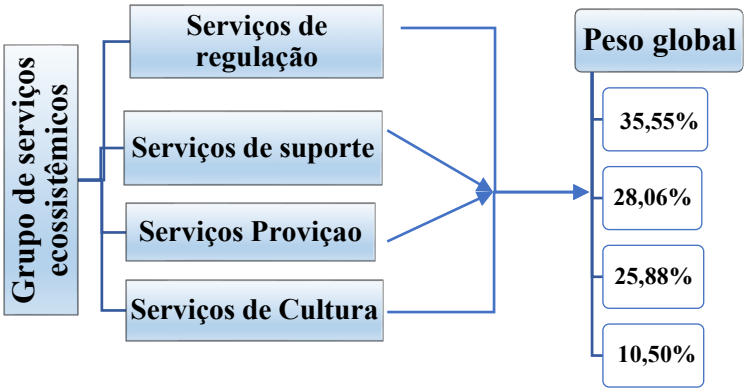
Tabela 4 - Resultados individuais dos especialistas

Participante	Provisão	Regulação	Cultural	Suporte
P1	0,9519	0,0312	0,0164	0,0005
P2	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500
P3	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500
P4	0,0196	0,1512	0,0032	0,8260
P5	0,2500	0,2500	0,2500	0,2500
P6	0,0136	0,1739	0,0759	0,7366
P7	0,9036	0,0782	0,0118	0,0065
P8	0,0500	0,1000	0,0500	0,8000
P9	0,9469	0,0209	0,0026	0,0296
P10	0,0029	0,3796	0,2378	0,3796
P11	0,0054	0,1096	0,0312	0,8538
P12	0,6052	0,3414	0,0427	0,0107
P13	0,0634	0,2097	0,0131	0,7138
P14	0,2934	0,4094	0,2465	0,0507
Grupo	**0,2588**	**0,3555**	**0,1050**	**0,2806**
CR_{max}	**0,0210**	**0,0070**	**0,0150**	**0,0000**

Fonte: Elaboração própria (2026)

Os resultados obtidos para o vetor global de pesos do nível 1 são apresentados a seguir na figura 4:

Figura 4 - Vetor global dos serviços ecossistêmicos.



Fonte: Elaboração própria (2026)

Os resultados evidenciam que os serviços de regulação apresentaram o maior peso relativo (35,55%), seguidos pelos serviços de suporte (28,06%) e de provisão (25,88%), enquanto os serviços culturais obtiveram a menor representatividade (10,50%). Essa hierarquização indica que, na percepção dos especialistas, os serviços associados à regulação ambiental e à manutenção dos processos ecológicos são mais relevantes, por sustentarem o

funcionamento e a estabilidade dos ecossistemas, base para os demais serviços ecossistêmicos (Costanza et al., 1997; MEA, 2005).

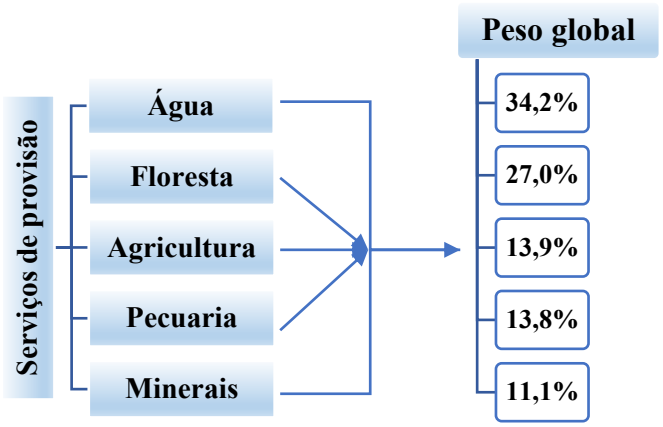
Adicionalmente, o índice de consistência (CR = 0,0210) mostrou-se inferior ao limite de 0,10, confirmando a confiabilidade e coerência dos julgamentos no processo de comparação par a par, conforme os pressupostos do método AHP (Saaty, 1980).

4.3 Priorização dos Serviços Ecossistêmicos – Nível 2

A literatura de valoração ambiental evidencia a transição de abordagens estritamente monetárias para modelos mais abrangentes, que incorporam dimensões sociais, ecológicas e institucionais do valor ambiental (Chaudhary et al., 2015; Costanza et al., 1997), contexto em que os pesos obtidos pelo AHP passam a refletir não apenas valores numéricos, mas prioridades estratégicas associadas ao capital natural e à percepção de especialistas sobre funções ecológicas.

Conforme o Millennium Ecosystem Assessment, os serviços ecossistêmicos devem ser analisados por suas funções sistêmicas, organizadas em categorias que expressam diferentes contribuições ao bem-estar humano, tornando a análise por grupos funcionais essencial para compreender a lógica da valoração e evitar interpretações fragmentadas que ocultam interdependências entre funções ecológicas e benefícios econômicos (Costanza et al., 1997). Nesse sentido, os serviços de provisão, por representarem bens materiais diretamente obtidos dos ecossistemas, configuram a dimensão mais tangível do capital natural e assumem elevada relevância estratégica no Bioma Pampa, especialmente quanto à manutenção dos estoques naturais. são apresentados a seguir na figura 5

Figura 5 - Vetor global dos Serviços de Provisão



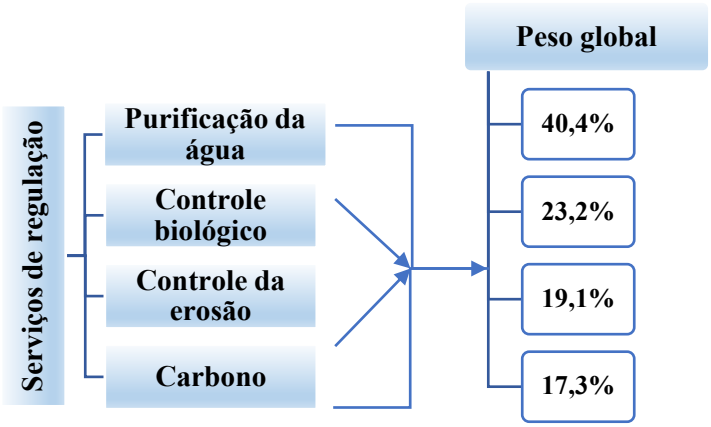
Fonte elaboração própria (2026)

A predominância da água (34,2%) destaca seu papel como recurso essencial para o abastecimento humano, a produção agropecuária e a manutenção dos ecossistemas, sendo reconhecida como um serviço de uso direto que também sustenta diversos serviços indiretos (Hernández-Blanco; Costanza, 2021). Em seguida, o peso atribuído à floresta (27,0%) reflete a percepção do capital natural como estoque estratégico de riqueza futura, associado à formação da riqueza inclusiva intergeracional (Kurniawan et al., 2021).

Os minerais (11,1%), embora menos representativos, evidenciam a permanência de uma lógica econômica orientada pelo valor de mercado, já que serviços vinculados a mercados consolidados tendem a receber maior reconhecimento institucional (Gómez-Baggethun et al., 2009). Por sua vez, a agricultura (13,9%) e a pecuária (13,8%) apresentam pesos semelhantes e relativamente reduzidos, sugerindo que são percebidas como atividades dependentes de processos ecológicos mais amplos, e não como serviços ecossistêmicos autônomos.

Os serviços de regulação correspondem aos benefícios derivados da moderação dos processos naturais que mantêm a estabilidade ambiental, são apresentados a seguir na figura 6

Figura 6 - Vetor global dos Serviços de Regulação



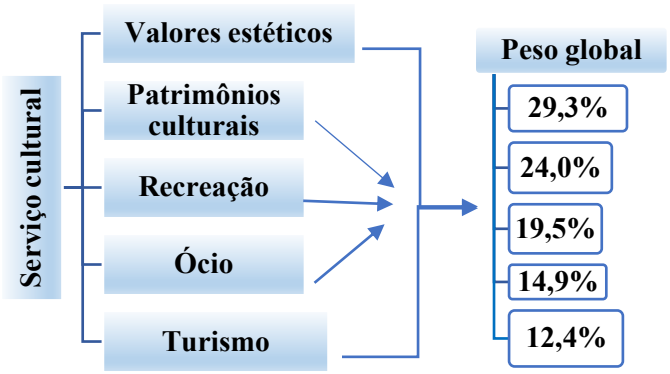
Fonte: Elaboração própria (2026)

A purificação da água (40,4%) apresenta o maior peso, evidenciando o ecossistema como uma infraestrutura natural de tratamento hídrico, cujo valor pode ser compreendido como custo evitado diante da ausência desse serviço (Garrido Mateos et al., 2025). O sequestro de carbono (17,3%) reforça a conexão entre processos ecológicos locais e a estabilidade climática global, sendo classificado como bem público global essencial à mitigação das mudanças climáticas (Hernández-Blanco; Costanza, 2021). Já o controle biológico (23,2%) destaca-se pela regulação natural de pragas, reduzindo a dependência de insumos químicos e refletindo a lógica da intensificação ecológica (Zhen et al., 2022). Já o controle da erosão (17,3%) está associado à conservação do solo e à sustentabilidade da produção no longo prazo. De modo

geral, a predominância desses serviços indica uma mudança na percepção do valor ambiental, priorizando processos ecológicos de estabilidade em detrimento da produção imediata

Os serviços culturais correspondem aos benefícios não materiais proporcionados pelos ecossistemas, incluindo valores estéticos, identitários e recreativos. são apresentados a seguir na figura 7

Figura 7 - Vetor global dos Serviço culturais



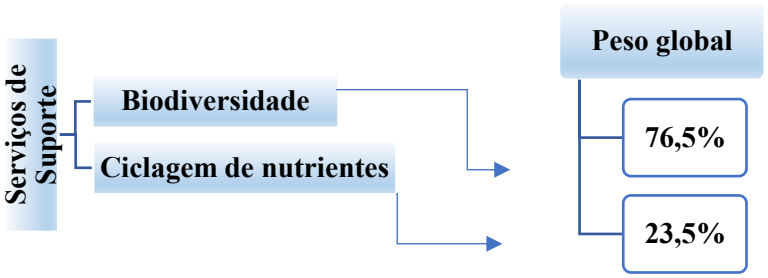
Fonte: elaboração própria (2026)

Os resultados revelam a predominância dos valores estéticos e patrimoniais, que somam mais de 55% do total, indicando que o território é percebido principalmente como paisagem cultural e patrimônio identitário, e não apenas como espaço econômico, conforme o Millennium Ecosystem Assessment, os serviços culturais englobam valores espirituais, estéticos, educacionais e simbólicos, perspectiva também reforçada pela classificação CICES, que enfatiza as interações culturais entre sociedade e ecossistemas, em contraste com estudos globais, nos quais serviços recreativos e turísticos tendem a apresentar maior valor monetário devido à sua mensuração por métodos como custo de viagem e disposição a pagar (Brander et al., 2024), o turismo aparece com menor peso no presente estudo.

Isso indica que o território não é percebido prioritariamente como destino turístico, mas sim como espaço de forte significado simbólico e identitário, refletindo relações culturais profundas entre a população local e a paisagem natural.

Os serviços de suporte correspondem aos processos ecológicos fundamentais que sustentam o funcionamento dos ecossistemas. são apresentados a seguir na figura 8

Figura 8 - Vetor global do Serviços de Suporte



Fonte elaboração própria (2026)

A biodiversidade (78,8%) apresenta forte predominância, evidenciando seu papel central na funcionalidade ecológica, ao influenciar a produtividade, estabilidade e resiliência dos ecossistemas (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Sob a perspectiva da economia ecológica, a biodiversidade sustenta serviços ecossistêmicos que geram benefícios diretos e indiretos, incluindo valores de não uso, como existência, opção e legado (Costanza et al., 1997).

Por outro lado, a menor priorização da ciclagem de nutrientes (23,5%) pode ser explicada pela baixa visibilidade desses processos bioquímicos, apesar de sua importância para a fertilidade do solo e a produtividade primária. Esse padrão confirma uma tendência recorrente na literatura: processos ecológicos intermediários tendem a ser subvalorizados em avaliações participativas, não por sua menor relevância, mas por apresentarem menor tangibilidade perceptiva.

4. Considerações finais

A abordagem multicritério aplicada mostrou-se eficaz na priorização de serviços ecossistêmicos em contextos de elevada complexidade ambiental, como o Cerro das Almas, ao permitir a integração consistente de dimensões ecológicas, econômicas e sociais no processo decisório. A elevada consistência global dos julgamentos (CR = 0,0210) e os baixos valores de razão de consistência por categoria provisão (0,0210), regulação (0,0070), culturais (0,0150) e suporte (0,0000) evidenciam elevada coerência interna e asseguram a confiabilidade da hierarquização proposta, com destaque para os serviços de suporte, cuja consistência perfeita indica forte convergência entre os especialistas.

Os resultados apontam a predominância dos serviços de regulação e suporte, reforçando seu papel estruturante na manutenção dos ecossistemas, enquanto a menor representatividade dos serviços culturais e a maior variabilidade nos serviços de provisão e culturais evidenciam a presença de trade-offs e influências subjetivas.

Observa-se ainda maior estabilidade nos julgamentos associados aos serviços de regulação e suporte, em contraste com a maior sensibilidade dos serviços de provisão e culturais a fatores econômicos e perceptivos.

A abordagem adotada permitiu explicitar essas relações, destacando a necessidade de estratégias de gestão integradas que conciliem conservação e uso sustentável dos recursos naturais, especialmente em áreas ecotonais sob pressão antrópica.

A participação de especialistas e a agregação dos julgamentos contribuíram para a robustez do modelo, embora a dependência dessas percepções indique como limitação a necessidade de ampliação da participação de diferentes atores sociais.

Nesse sentido, a priorização baseada em métodos multicritério consolida-se como ferramenta estratégica para subsidiar políticas públicas e o planejamento territorial sustentável, recomendando-se o avanço de estudos com abordagens participativas, análises espaciais e construção de cenários prospectivos

Referências

AGUARÓN, J.; MORENO-JIMÉNEZ, J. M. The geometric consistency index: approximated thresholds. **European Journal of Operational Research**, v. 147, n. 1, p. 137–145, 2003. DOI: 10.1016/S0377-2217(02)00255-2.

ANDRADE, B. O. *et al*. Biodiversity in South Brazilian grasslands: current status and conservation challenges. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 21, n. 2, p. 1–10, 2023. DOI: 10.1016/j.pecon.2023.01.001.

ANTUNES, P. B. **Direito ambiental**. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 2005.

AZNAR-BELLVER, J.; ESTRUCH-GUITART, V. **Environmental valuation methods and applications**. London: Routledge, 2020.

BARBOSA, M. *et al*. Serviços ecossistêmicos no Bioma Pampa: desafios e perspectivas. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 1–15, 2024.

BEHLING, H. *et al*. Late Quaternary vegetation and climate dynamics in southern Brazil. **Quaternary International**, v. 210, p. 57–65, 2009. DOI: 10.1016/j.quaint.2009.06.014.

BELTON, V.; STEWART, T. J. **Multiple criteria decision analysis**: an integrated approach. Boston: Kluwer Academic Publishers, 2002.

BRANDER, L. *et al*. Ecosystem service valuation: a global synthesis. **Ecosystem Services**, v. 66, 101571, 2024. DOI: 10.1016/j.ecoser.2024.101571.

BRIOZO, R. A.; MUSETTI, M. A. Aplicação do método AHP na tomada de decisão. **Revista Produção**, v. 25, n. 3, p. 1–12, 2015.

CARSON, R. **Silent spring**. Boston: Houghton Mifflin, 1962.

CARVALHO, F.; ADOLFO, L. **Economia ambiental**. São Paulo: Atlas, 2012.

CHAUDHARY, S. *et al*. The evolution of ecosystem services: a time series and discourse-centered analysis. **Environmental Science & Policy**, [s. l.], v. 54, p. 25–34, 2015. DOI: 10.1016/j.envsci.2015.06.025.

COSTANZA, R. *et al*. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, v. 387, p. 253–260, 1997. DOI: 10.1038/387253a0.

DE GROOT, R. S. *et al*. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 41, n. 3, p. 393–408, 2002. DOI: 10.1016/S0921-8009(02)00089-7.

DERANI, C. **Direito ambiental econômico**. São Paulo: Saraiva, 2008.

ENSSLIN, L.; MONTIBELLER NETO, G.; NORONHA, S. **Apoio multicritério à decisão**. Florianópolis: Insular, 2001.

FONTANA, C. S. *et al*. **Biodiversidade e conservação no sul do Brasil**. Porto Alegre: UFRGS, 2003.

FORMAN, E.; PENIWATI, K. Aggregating individual judgments and priorities with the analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, v. 108, n. 1, p. 165–169, 1998. DOI: 10.1016/S0377-2217(97)00244-0.

GARRIDO MATEOS, R. *et al*. Water purification ecosystem service valuation methods. **Journal of Environmental Management**, v. 350, 2025. DOI: 10.1016/j.jenvman.2024.119999.

GEEPAA-RS. **Relatório técnico**: Cerro das Almas. Porto Alegre, 2023.

GÓMEZ-BAGGETHUN, E. *et al*. Ecosystem services in urban planning. **Ecological Economics**, v. 68, n. 5, p. 1310–1318, 2009. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2008.11.009.

HASENACK, H. *et al*. **Biodiversidade do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 2023.

HERNÁNDEZ-BLANCO, M.; COSTANZA, R. Global ecosystem services valuation revisited. **Ecosystem Services**, v. 49, 101273, 2021. DOI: 10.1016/j.ecoser.2021.101273.

HOLZ, M. **Geologia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 1999.

IPBES. **Global assessment report on biodiversity and ecosystem services**. Bonn, 2019.

ISHIZAKA, A.; LABIB, A. Review of the main developments in the analytic hierarchy process. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 11, p. 14336–14345, 2011. DOI: 10.1016/j.eswa.2011.04.143.

KURNIAWAN, R. *et al*. Ecosystem services and sustainability assessment. **Sustainability**, v. 13, n. 5, 2021. DOI: 10.3390/su13052631.

LUJÁN, J. *et al*. Applications of AHP in environmental decision-making. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 85, 106456, 2020. DOI: 10.1016/j.eiar.2020.106456.

MAPBIOMAS. **Perda de vegetação nativa no Brasil acelerou na última década**. 2023. Disponível em: https://www.google.com/search?q=https://brasil.mapbiomas.org/2023/08/31/perda-de-vegetacao-nativa-no-brasil-acelerou-na-ultima-decada/. Acesso em: 7 abr. 2026.

MARTÍNEZ-RODRÍGUEZ, F. Multi-criteria decision analysis in environmental management. **Ecological Modelling**, v. 203, p. 125–135, 2007.

MEA – MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being**. Washington, DC: Island Press, 2005.

MOTTA, R. S. **Economia ambiental**. Rio de Janeiro: FGV, 2011.

MURPHY, J. Decision-making in environmental policy. **Journal of Environmental Planning**, v. 36, p. 45–60, 1993.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Relatório ambiental global**. Nova York, 2024.

OVERBECK, G. E. *et al*. Conservation in southern Brazilian grasslands. **Biodiversity and Conservation**, v. 18, p. 3309–3329, 2009. DOI: 10.1007/s10531-009-9646-1.

PILLAR, V. P. *et al*. **Campos Sulinos**. Brasília: MMA, 2009.

PORTUGAL JÚNIOR, P.; PORTUGAL, N.; ABREU, M. Valoração ambiental aplicada. **Revista Econômica**, v. 14, n. 2, p. 45–60, 2012.

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

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

SAATY, T. L. **Fundamentals of decision making and priority theory with the analytic hierarchy process**. Pittsburgh: RWS Publications, 1997.

SAATY, T. L. **Multicriteria decision making**: the analytic hierarchy process. Pittsburgh: RWS Publications, 1988.

SAATY, T. L. **The analytic hierarchy process**. New York: McGraw-Hill, 1980.

SEN, A. **Desenvolvimento como liberdade**. São Paulo: Companhia das Letras, 2010.

SOARES, J. C.; KLAMT, E. **Solos do sul do Brasil**. Porto Alegre: UFRGS, 2005.