Conflitos e sinergias entre serviços ecossistêmicos em sistemas pecuários: evidências do bioma Pampa brasileiro

Trade-offs and synergies of ecosystem services in livestock systems: evidence from the Brazilian Pampa

João Garibaldi Almeida Viana
Departamento de Educação Agrícola e Extensão Rural, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Av. Roraima, 1000, Santa Maria – RS, Brasil
Fernanda Novo da Silva
Departamento de Educação Agrícola e Extensão Rural, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Av. Roraima, 1000, Santa Maria – RS, Brasil
Letícia Paludo Vargas
Departamento de Zootecnia, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA), Marabá – PA, Brasil
Carine Dalla Valle
Campus Pantanal, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Avenida Rio Branco, 1.270, Bairro Universitário, Corumbá – MS, Brasil
Márcio Pereira Cordeiro
Programa de Pós-Graduação em Extensão Rural, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Av. Roraima, 1000, Santa Maria – RS, Brasil

GT4. Meio ambiente, agroecologia, sustentabilidade e mudanças climáticas

Resumo: As transformações no uso da terra estão remodelando o bioma Pampa brasileiro. Essas mudanças levantam preocupações sobre as compensações entre as funções ecológicas e os benefícios socioculturais tradicionalmente sustentados pelos sistemas de pecuária. Este estudo avalia e compara os serviços ecossistêmicos prestados por sistemas extensivos de pecuária (SPE) e sistemas de pecuária integrados à agricultura (SPI) no bioma Pampa brasileiro, com ênfase nas compensações entre serviços de provisão, regulação e culturais. Os dados foram coletados em 121 propriedades pecuárias na Bacia do Rio Ibirapuitã por meio de um survey com amostragem estratificada georreferenciada. Trinta indicadores de serviços ecossistêmicos foram derivados da estrutura MESMIS e agrupados em três categorias — Provisão, Regulação e Cultura — seguindo a classificação CICES. Um modelo linear de efeitos mistos, com a propriedade pecuária como interceptação aleatória, testou os efeitos do sistema de produção, da categoria de serviço e de sua interação. Foram calculadas médias marginais estimadas e contrastes pareados, com valores p ajustados usando a taxa de descobertas falsas. Os resultados indicam que os SPE oferecem níveis mais altos de serviços de provisão, refletindo o papel ecológico das pastagens nativas. Em contrapartida, os SPI alcançam pontuações significativamente mais altas em serviços culturais, associados à participação social, sucessão e integração comunitária. Não foram observadas diferenças significativas nos serviços de regulação, que permaneceram estáveis em todos os sistemas. Os tamanhos dos efeitos revelam compromissos moderados entre as dimensões de provisão e culturais, com variação insignificante na regulação. Essas descobertas destacam a multifuncionalidade dos sistemas de pecuária no Pampa e fornecem evidências para informar estratégias de uso da terra que conciliem produção, conservação da biodiversidade e sustentabilidade rural.

Palavras-chave: serviços ecossistêmicos; sistemas de produção pecuária; Pampa; multifuncionalidade; mudança no uso da terra.

Abstract: Land-use transformations are reshaping the Brazilian Pampa biome, where crops, particularly soybeans, are increasingly replacing native grasslands. These changes raise concerns about trade-offs between ecological functions and sociocultural benefits traditionally sustained by livestock systems. This study assesses and compares the ecosystem services provided by extensive livestock systems (SPE) and livestock systems integrated with agriculture (SPI) in the Brazilian Pampa biome, with emphasis on trade-offs among provisioning, regulating, and cultural services. Data were collected from 121 farms in the Ibirapuitã River Basin through a structured survey and georeferenced sampling. Thirty ecosystem service indicators were derived from the MESMIS framework and grouped into three categories—Provisioning, Regulating, and Cultural—following the CICES classification. A

linear mixed-effects model, with farm as a random intercept, tested the effects of production system, service category, and their interaction. Estimated marginal means and pairwise contrasts were calculated, with p-values adjusted using the false discovery rate. Results indicate that SPE deliver higher levels of provisioning services, reflecting the ecological role of native grasslands. In contrast, SPI achieve significantly higher cultural service scores, associated with social participation, succession, and community integration. No significant differences were observed in regulating services, which remained stable across systems. Effect sizes reveal moderate trade-offs between provisioning and cultural dimensions, with negligible variation in regulation. These findings highlight the multifunctionality of livestock systems in the Pampa and provide evidence to inform land-use strategies that reconcile production, biodiversity conservation, and rural sustainability.
Keywords: ecosystem services; livestock systems; Pampa; multifunctionality; land-use change.

1. Introdução

As atividades humanas transformaram profundamente os ecossistemas, criando novos desafios para o desenvolvimento de estratégias de produção que equilibrem a sustentabilidade ambiental e a viabilidade econômica. Nessa perspectiva, os sistemas de produção pecuária apresentam contrastes significativos na utilização dos recursos naturais, nos níveis de intensificação, nas espécies animais e nas práticas de manejo e comercialização (BERNUÉS et al., 2011).

Além da produção de carne, leite e lã, os sistemas pecuários também fornecem serviços ecossistêmicos, notadamente a conservação da biodiversidade (BRAGAGLIO et al., 2020). Essa perspectiva é particularmente relevante no estado mais ao sul do Brasil, o Rio Grande do Sul, onde a pecuária bovina tem sido, há muito tempo, a principal atividade produtiva e desempenhou um papel central no desenvolvimento econômico, cultural e social da região.

O bioma do Pampa brasileiro, localizado inteiramente no Rio Grande do Sul, cobre aproximadamente 63% do território do estado. As pastagens nativas constituem a principal base forrageira da região, onde predominam a pecuária extensiva de bovinos e ovinos. Esses sistemas, caracterizados por baixos níveis de intervenção humana, apresentam maior potencial para a preservação da biodiversidade.

No entanto, nas últimas décadas, o uso da terra no Pampa passou por intensas transformações, especialmente com a expansão da agricultura mecanizada e do cultivo de soja, que avançaram sobre áreas tradicionalmente utilizadas para a pecuária extensiva (OVERBECK et al., 2007; NABINGER et al., 2009; VIANA et al., 2022). Tais transformações podem gerar compensações entre as funções de provisão ecológica e benefícios socioculturais, como também evidenciado em outros contextos pastorais em todo o mundo (RAUDSEPP-HEARNE et al., 2010; DENG et al., 2023).

Esses aspectos dinâmicos destacam a necessidade de medir e comparar os serviços ecossistêmicos prestados por diferentes sistemas de uso da terra, particularmente entre sistemas pecuários extensivos (baseados em pastagens nativas) e sistemas pecuários integrados à

agricultura. Ao analisar esses contrastes, é possível compreender como a conversão da terra pode estar transformando as funções de provisão, reguladoras e culturais dos ecossistemas locais, com implicações diretas para a sustentabilidade socioambiental (SCHOSSLER et al., 2021; ICKOWICZ et al., 2022; ROBERTI et al., 2024).

Esse contexto tem incentivado pesquisas em sustentabilidade e conservação, particularmente no que diz respeito à avaliação ambiental, entendida como a capacidade de atribuir valores econômicos aos serviços ecossistêmicos (ANDRADE & ROMEIRO, 2009). Esses serviços estão diretamente associados aos benefícios que a sociedade obtém dos ecossistemas, variando de bens tangíveis a funções reguladoras e culturais. De acordo com Andrade e Romeiro (2009), os serviços ecossistêmicos são indispensáveis para as atividades econômicas, a qualidade de vida e a coesão social. Compreender como as variáveis humanas interagem com esses serviços é, portanto, essencial, uma vez que o crescimento econômico e populacional pode comprometer a capacidade dos ecossistemas de sustentar funções vitais.

Nesse sentido, os serviços ecossistêmicos têm influência direta nas transformações socioeconômicas e ambientais. No bioma do Pampa, muitos pecuaristas continuam a gerenciar seus sistemas com intervenção ambiental mínima, visando minimizar os impactos ecológicos. No entanto, a literatura sobre os serviços ecossistêmicos prestados por sistemas pecuários extensivos no Brasil continua escassa (VARGAS & SILVEIRA, 2020; SCHOSSLER et al., 2021), apesar da crescente atenção internacional às dimensões culturais e sociais das paisagens pastoris (DANIEL et al., 2012; KOSANIC & PETZOLD, 2020).

Assim, este estudo visa avaliar e comparar os serviços ecossistêmicos prestados por sistemas pecuários extensivos (SPE) e sistemas pecuários integrados à agricultura (SPI) no bioma do Pampa brasileiro, com ênfase especial na identificação de conflitos e sinergias entre as funções ecológicas de provisão, regulação e benefícios socioculturais. Ao integrar as dimensões de provisão, regulação e cultura em um quadro analítico unificado, a pesquisa fornece evidências de como as estratégias de uso da terra moldam a multifuncionalidade dos sistemas pecuários e suas contribuições para a sustentabilidade em contextos socioecológicos baseados em pastagens naturais.

2. Materiais e Métodos

2.1 Área de estudo e abordagem de Serviços Ecossistêmicos

O bioma Pampa é caracterizado pela vegetação de campos, notadamente conhecida como campos do sul. Suas regiões pastoris se estendem por parte da Argentina (províncias de

Buenos Aires, La Pampa, Santa Fé, Entrerríos e Corrientes), todo o Uruguai e parte (63%) do Rio Grande do Sul, Brasil (SUERTEGARAY & SILVA, 2009). No Brasil, o Pampa representa aproximadamente 2,3% do território nacional, cobrindo cerca de 19 milhões de hectares (MAPBIOMAS, 2021).

A área de estudo selecionada foi a Bacia Hidrográfica do Rio Ibirapuitã (Figura 1). Essa escolha se justifica porque a bacia abrange diversas dinâmicas que refletem as de outras regiões dentro do bioma, incluindo sistemas pecuários, assentamentos urbanos e a expansão de áreas de cultivo, particularmente o cultivo de soja (SILVEIRA, 2022).

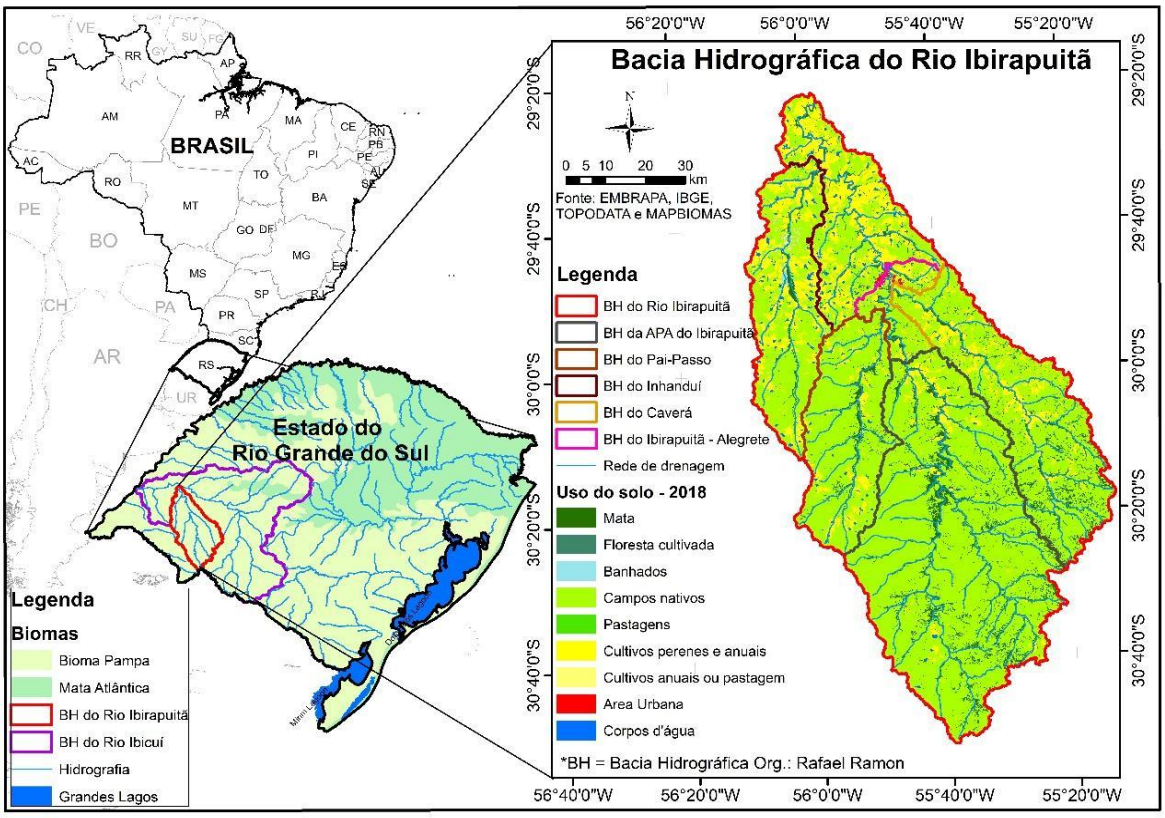

Figura 1. Delimitação da área de estudo no bioma da Pampa do Brasil: a bacia hidrográfica do rio Ibirapuitã.

Fonte: (VIANA et al., 2023; VIANA et al., 2025).

O quadro analítico seguiu a Classificação Internacional Comum de Serviços Ecossistêmicos (CICES) (HAINES-YOUNG & POTSCHIN, 2013), que distingue três categorias: (i) Serviços de Provisão, (ii) Serviços de Regulação e (iii) Serviços Culturais. Para cada categoria, foi desenvolvido um conjunto de indicadores com base na metodologia MESMIS (MASERA et al., 1999), que enfatiza que a sustentabilidade deve ser avaliada em cada contexto socioambiental e temporal, utilizando uma abordagem sistêmica, participativa e

interdisciplinar. Assim, o tradicional tripé da sustentabilidade (social, econômico e ambiental) foi adaptado às modalidades de prestação de serviços ecossistêmicos (de provisão, de regulação e culturais).

O conjunto de dados teve origem em pesquisas anteriores destinadas a medir a sustentabilidade sob a perspectiva do Nexo Água-Energia-Alimentos (WEF) (VIANA et al., 2025). A construção dos indicadores do Banco de Dados do Nexo WEF seguiu as seis etapas do ciclo de avaliação MESMIS (LÓPEZ-RIDAURA et al., 2002): (i) definição do objeto de avaliação; (ii) identificação de pontos críticos; (iii) seleção de indicadores; (iv) medição e monitoramento; (v) integração dos resultados; e (vi) conclusões e recomendações.

Para este estudo, o Banco de Dados do Nexo Água-Energia-Alimentos foi avaliado pela equipe de pesquisa, levando ao desenvolvimento de uma nova matriz de 30 indicadores (Tabela 1), projetada para medir os serviços ecossistêmicos prestados por sistemas de pecuária extensiva (SPE) e sistemas de pecuária integrados à agricultura (SPI) localizados na Bacia Hidrográfica do Rio Ibirapuitã, dentro do bioma da Pampa brasileiro. Esses indicadores foram organizados hierarquicamente em três dimensões de serviços ecossistêmicos — de provisão, de regulação e culturais —, cada uma expressa por meio de um índice variando de 0 a 100. Cada índice foi formado a partir de indicadores específicos, que, por sua vez, foram construídos a partir de múltiplas variáveis ponderadas, com as ponderações determinando um máximo de 100 pontos por indicador. A atribuição de pesos seguiu um processo participativo em duas etapas: primeiro, por meio de um grupo focal com especialistas e, posteriormente, validado em um grupo focal com pecuaristas. O valor final de cada índice corresponde à média aritmética dos indicadores que o compõem.

Tabela 1. Indicadores de serviços ecossistêmicos em sistemas pecuários.

Indicadores de Serviços Ecossistêmicos	Indicadores	Variáveis
Serviços Ecossistêmicos de Provisão (PES)	Infraestrutura logística e energética	Condições da infraestrutura energética e logística para o desenvolvimento das atividades agrícolas
	Genética da produção animal	Raças de gado de corte criadas na fazenda
	Manejo de pastagens	Relação entre carga e capacidade de carga da pastagem Forragens, plantas invasoras e cobertura do solo
	Manejo produtivo	Tempo de incorporação da agricultura Porcentagem da agricultura no sistema
	Manejo nutricional	Gestão da alimentação do gado
	Dependência de insumos externos	Grau de dependência da fazenda em relação a insumos externos Impacto da escassez de insumos na produção
	Diversificação produtiva	Número de atividades produtivas
	Produtos secundários	Número adicional de produtos comercializados

	Autoconsumo e venda direta	Quantidade de alimentos que a família consome da fazenda Frequência de vendas diretas de produtos ao consumidor
	Água para produção	A fonte atende à demanda de produção
	Eficiência no uso da água	Forragem e agricultura de sequeiro Horticultura Arroz
Serviços Ecossistêmicos de Regulação (RES)	Geração de Energia	Geração independente
	Consumo de Energia	Uso contínuo Equipamentos de alto consumo energético Demanda Excesso de reagentes
	Rede elétrica	Acesso à rede da concessionária Qualidade Dependência da Rede
	Uso de energia térmica	Cozinhar Higiene pessoal Limpeza doméstica Processo produtivo
	Fonte de energia térmica	Fonte
	Bombeamento	Doméstico Produtivo
	Combustíveis fósseis	Intensidade do uso (L/ha) Acesso Armazenamento
	Suscetibilidade à seca	Ocorrência Frequência
	Existência de Práticas Conservacionistas	Gestão tecnológica do solo Gestão da compactação do solo Gestão de culturas Gestão hídrica
	Percepção do processo de erosão	Erosão eólica Erosão concentrada Erosão difusa Erosão do solo causada por tráfego rodoviário Erosão fluvial
Serviços Ecossistêmicos Culturais (CES)	Tradição e Cultura	A importância da cultura e da tradição na fazenda
	Organizações parceiras	Grau de relação com as organizações parceiras
	Políticas Públicas	Conhecimento e acesso às políticas públicas
	Participação Social e Associativa	Grau de participação em associações de produtores, sindicatos e na comunidade local
	Cooperação nos mercados	Existência de comercialização colaborativa
	Qualidade de vida	Condições que garantem a qualidade de vida estrutural
	Sucessão/transmissibilidade	Existência e disposição dos sucessores para continuar administrando a fazenda
	Gestão econômica	Utilização de ferramentas de gestão econômica na unidade produtiva
	Avaliação da força de trabalho	Avaliação do nível da força de trabalho

2.2 Amostragem, pesquisa de campo e coleta de dados

As variáveis subjacentes aos indicadores de serviços ecossistêmicos foram mensuradas por meio de um questionário estruturado aplicado a uma amostra representativa de criadores de gado. Foi realizado um estudo piloto com 45 unidades de produção para aperfeiçoar o instrumento de pesquisa e definir o plano de amostragem. O tamanho da amostra foi calculado utilizando a fórmula para populações finitas (Equação 1).

$$n = \frac{\sigma^2 \cdot Z^2 \cdot N}{\varepsilon^2 \cdot (N-1) + \sigma^2 \cdot Z^2} \qquad (1)$$

Onde: n = tamanho da amostra; σ = desvio padrão; Z = nível de confiança; N = tamanho da população; ε = margem de erro

A população-alvo consistiu em 2.685 propriedades pecuárias localizadas na Bacia Hidrográfica do Rio Ibirapuitã, conforme identificado pelo Censo Agrícola de 2017 (IBGE, 2025). Foi adotado um nível de confiança de 95% (Z = 1,96). O desvio padrão e a margem de erro foram estimados a partir do estudo piloto, e o indicador com maior variabilidade foi utilizado para determinar o tamanho mínimo da amostra, resultando em 104 sistemas representativos.

Para melhor representar a heterogeneidade do uso da terra e dos sistemas de produção, a pesquisa final abrangeu 121 sistemas pecuários, que foram selecionados aleatoriamente e subsequentemente classificados em 80 sistemas extensivos (SPE) e 41 sistemas integrados (SPI). Todas as propriedades foram georreferenciadas, e a Figura 2 mostra a distribuição espacial da amostra na Bacia Hidrográfica do Rio Ibirapuitã. Todos os questionários foram aplicados presencialmente.

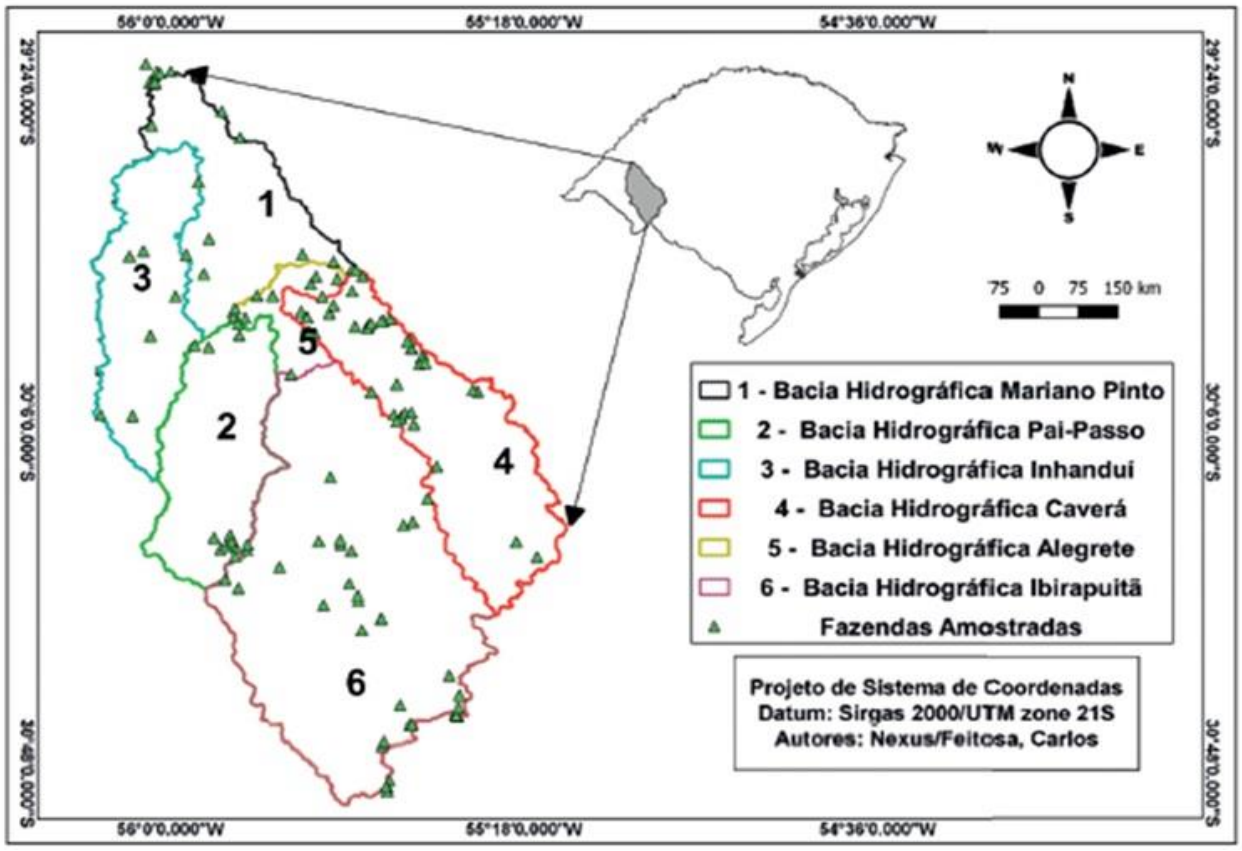

Figura 2. A localização espacial dos sistemas agropecuários amostrados em cada sub-bacia do rio Ibirapuitã, no Pampa brasileiro.
Fonte: (VIANA et al., 2023; VIANA et al., 2025).

Após a coleta de dados, os resultados foram integrados e analisados por meio de índices de provisão de serviços ecossistêmicos, que variam de 0 a 100 em cada uma das três categorias (de provisão, de regulação e culturais). Pontuações mais altas indicam maior provisão de serviços ecossistêmicos. Assim, foram estabelecidos três índices: PES (Serviços Ecossistêmicos de Provisão), RES (Serviços Ecossistêmicos de Regulação) e CES (Serviços Ecossistêmicos Culturais), conforme Figura 3.

Figura 3. Níveis de prestação de serviços ecossistêmicos para sistemas de pecuária (SPEs e SPIs).
Fonte: Elaborado pelos autores.

2.3 Análise estatística

A crescente demanda por ferramentas analíticas robustas tem incentivado a adoção de técnicas inovadoras de visualização de dados, como o diagrama de nuvem de chuva. De acordo

com Allen et al. (2021), esse método permite a visualização simultânea de dados brutos, densidade de probabilidade e estatísticas resumidas (por exemplo, mediana, média, intervalos de confiança) em um formato flexível e visualmente atraente, proporcionando uma "inferência à primeira vista". Neste estudo, os indicadores de serviços ecossistêmicos foram apresentados utilizando essa técnica.

Para a análise inferencial, empregamos uma estrutura de modelagem linear de efeitos mistos (LMM) para levar em conta a estrutura hierárquica do conjunto de dados, na qual múltiplas categorias de serviços foram avaliadas dentro da mesma propriedade. Os dados foram organizados com uma observação por combinação de propriedade, sistema e serviço. O objetivo principal da análise foi triplo: (i) testar diferenças nos índices de serviços ecossistêmicos entre as categorias (Provisão, Regulação, Culturais); (ii) avaliar se a prestação geral de serviços diferia entre os sistemas de produção (sistemas pecuários extensivos – SPE vs. sistemas pecuários integrados – SPI); e (iii) examinar se o contraste SPE–SPI variava dependendo da categoria de serviço (interação Sistema × Serviço).

O modelo incluiu efeitos fixos para o sistema de produção, a categoria de serviço e sua interação, bem como um intercepto aleatório para a exploração pecuária, a fim de capturar a variabilidade entre explorações não explicada pelos efeitos fixos. A estimativa foi realizada utilizando a máxima verossimilhança restrita (REML) com o otimizador de Nelder-Mead. Especificações alternativas foram exploradas como testes de robustez, incluindo a transformação logarítmica da resposta e estruturas de variância heterocedástica por categoria de serviço, com a seleção do modelo orientada pelo Critério de Informação de Akaike (AIC) e pelo Critério de Informação Bayesiano (BIC) e ajustada sob máxima verossimilhança (ML) quando necessário.

As suposições do modelo foram avaliadas por meio de inspeção gráfica (gráficos QQ e resíduos versus valores ajustados) e do teste de Shapiro-Wilk para normalidade dos resíduos. Para auxiliar na interpretação, derivamos médias marginais estimadas (EMMs) para cada combinação Sistema × Serviço, juntamente com erros-padrão e intervalos de confiança de 95%, obtidos por meio de um bootstrap paramétrico dos efeitos fixos. Foram realizados contrastes pareados para comparar sistemas dentro de cada categoria de serviço, com valores p ajustados para testes múltiplos utilizando o procedimento da taxa de descobertas falsas (FDR) de Benjamini–Hochberg.

Os tamanhos do efeito foram quantificados por meio de estimativas baseadas em modelos (d de Cohen para contrastes entre pares) e de cálculos a partir dos dados brutos (d de

Cohen e g de Hedges, com variância agrupada por serviço). As medidas da qualidade do ajuste do modelo foram apresentadas utilizando o R^2 marginal (apenas efeitos fixos) e o R^2 condicional (efeitos fixos + aleatórios).

Formalmente, o modelo pode ser expresso da seguinte forma:

$$Y_{jsk} = \beta_0 + \beta_1 System_j + \beta_2 Service_s + \beta_3 (System_j \cdot Service_s) + u_j + \varepsilon_{jsk}$$

Onde Y_{jsk} denota o índice de serviço ecossistêmico para a propriedade j, categoria de serviço s, e observação k; β0 é o intercepto; β1, β2 e β3 representam efeitos fixos para o sistema de produção, a categoria de serviço e sua interação; $u_j \sim N(0, \sigma_u^2)$ é o intercepto aleatório para a propriedade; e $\varepsilon_{jsk} \sim N(0, \sigma^2)$ é o termo de erro residual.

Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o JASP 0.19.3.0 e submetidas a validação cruzada em Python (pandas, numpy, scipy, statsmodels, patsy) e R (lme4, emmeans). Por fim, os resultados foram interpretados à luz da literatura internacional recente sobre serviços ecossistêmicos, com especial atenção às relações de compromisso entre a produtividade ecológica e a integração sociocultural nos sistemas pecuários.

3. Resultados

A análise dos índices de prestação de serviços ecossistêmicos (Figura 4) revela diferenças evidentes entre as três categorias avaliadas: culturais (CES), de provisão (PES) e de regulação (RES). Em média, todos os grupos obtiveram pontuações na faixa intermediária a alta (cerca de 60 pontos em uma escala de 0 a 100), ressaltando a importância dos sistemas pecuários na bacia do rio Ibirapuitã para a manutenção de múltiplas funções ecossistêmicas.

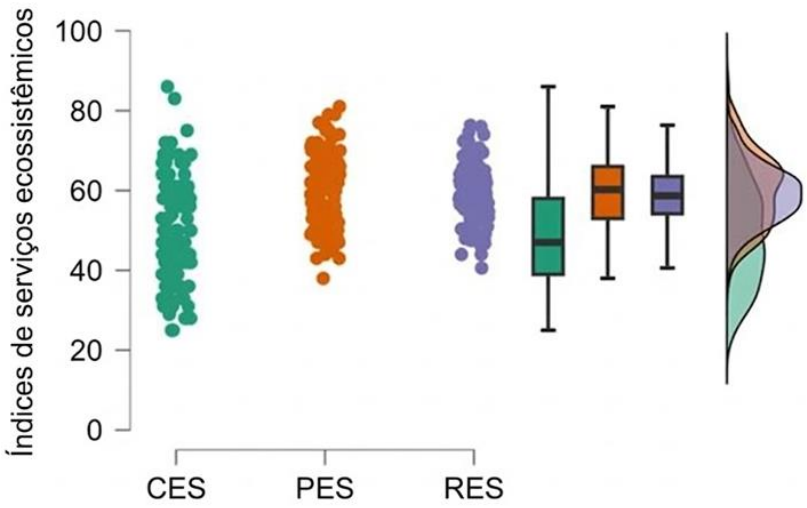

Figura 4. Diagrama de nuvens de chuva dos índices de prestação de serviços ecossistêmicos para sistemas pecuários no bioma da Pampa.

No entanto, os serviços culturais apresentaram a variabilidade mais significativa entre as propriedades, com índices que variaram de relativamente baixos (~20) a altos (~80). Essa heterogeneidade pode estar relacionada a fatores como diferenças nos processos de sucessão familiar, níveis de envolvimento comunitário, o valor atribuído às práticas tradicionais e as percepções dos proprietários sobre o papel da pecuária no território. Assim, os serviços culturais refletem mais diretamente as dimensões sociais e culturais dos sistemas pecuários extensivos, que são menos padronizados e mais sensíveis às particularidades locais.

Em contrapartida, os serviços de provisão apresentaram uma distribuição mais concentrada, variando predominantemente entre 45 e 70 pontos, com menor dispersão. Esse padrão sugere relativa homogeneidade entre os sistemas de produção em sua capacidade de gerar bens materiais, como carne bovina, leite e lã. Da mesma forma, os serviços de regulação também se mostraram consistentes, com variação reduzida e valores próximos da média. Tal estabilidade sugere que as funções ecológicas — incluindo conservação da biodiversidade, manutenção da qualidade do solo e regulação hídrica — são desempenhadas de maneira relativamente uniforme nos sistemas pecuários analisados.

As médias marginais estimadas (EMMs) do modelo linear misto ajustado para efeitos aleatórios no nível da propriedade são apresentadas na Tabela 2. De modo geral, os índices de serviços ecossistêmicos variaram de níveis moderados a relativamente altos (47–62 em uma escala de 0 a 100), confirmando que os sistemas pecuários na Bacia Hidrográfica do Rio Ibirapuitã contribuem para o fornecimento de múltiplas funções ecossistêmicas. Os serviços de provisão e de regulação apresentaram níveis mais elevados e mais homogêneos, enquanto os serviços culturais exibiram pontuações médias mais baixas e maior variabilidade entre as propriedades.

Tabela 2. Médias marginais estimadas (EMMs) dos índices de serviços ecossistêmicos por sistema de produção (SPE vs. SPI) e categoria de serviço (de provisão, de regulação, culturais).

Sistemas	Serviços	EMM	SE	95% CI
SPE	Provisão	61.80	1.18	(59.48, 64.09)
	Regulação	59.79	1.19	(57.54, 62.16)
	Cultural	47.14	1.13	(44.85, 49.4)
SPI	Provisão	57.32	1.53	(54.39, 60.17)
	Regulação	58.98	1.59	(55.96, 62.23)
	Cultural	54.34	1.61	(51.27, 57.64)

Nos sistemas pecuários extensivos (SPE), a maior contribuição foi observada nos serviços de provisão (61,80), seguidos pelos serviços de regulação (59,79). Em contrapartida, os serviços culturais apresentaram valores significativamente mais baixos (47,14). Nos sistemas

pecuários integrados (SPI), os serviços culturais alcançaram a pontuação média mais alta (54,34), enquanto os serviços de provisão diminuíram (57,32) e os serviços de regulação permaneceram estáveis (58,98). Esses resultados descritivos já sugerem um conflito: os SPE preservam as funções ecológicas de provisão de forma mais eficaz, enquanto os SPI reforçam os benefícios sociais e culturais.

A Tabela 3 apresenta os resultados inferenciais. Os contrastes pareados entre SPI e SPE, com valores p ajustados pelo procedimento de taxa de descobertas falsas (FDR) de Benjamini–Hochberg, forneceram confirmação estatística dos padrões observados. O SPI obteve pontuação significativamente mais baixa nos serviços de provisão em comparação com o SPE ($\Delta = -4,48$, $p = 0,022$), reforçando o papel das pastagens nativas na sustentação da capacidade de provisão de sistemas extensivos. Por outro lado, o SPI obteve pontuação significativamente mais alta nos serviços culturais ($\Delta = +7,20$, $p < 0,001$), indicando que a integração com a produção agrícola promove dimensões culturais e sociais, como participação comunitária, planejamento sucessório e diversificação de práticas.

Tabela 3. Contrastes entre pares (SPI − SPE) dos índices de serviços ecossistêmicos por categoria de serviço.

Serviço	Contraste	Diff	SE	z	CI	p-value
Provisão	SPI - SPE	-4.48	1.84	-2.44	(-7.9, -0.86)	0.022
Regulação	SPI - SPE	-0.81	1.85	-0.44	(-4.25, 2.77)	0.661
Cultural	SPI - SPE	7.2	1.86	3.87	(3.55, 10.91)	< 0.001

Não foram detectadas diferenças significativas nos serviços reguladores ($\Delta = -0,81$, $p = 0,661$), demonstrando que ambos os sistemas mantêm uma regulação ecológica comparável, incluindo a qualidade do solo, a conservação da biodiversidade e o equilíbrio hidrológico. A interpretação dos tamanhos de efeito indicou uma desvantagem moderada para o SPI nos serviços de provisão, uma vantagem moderada para o SPI nos serviços culturais e apenas um efeito pequeno e insignificante nos serviços reguladores. Os cálculos da magnitude do efeito e os diagnósticos do modelo estão detalhados na Tabela 4. A magnitude das diferenças confirmou que os serviços de provisão favoreceram claramente o SPE, enquanto os serviços culturais favoreceram o SPI, com os serviços reguladores permanecendo estáveis entre os sistemas.

Tabela 4. Dimensões do efeito (d de Cohen e g de Hedges) dos índices de serviços ecossistêmicos por sistema de produção (SPI − SPE), com base em dados brutos.

Serviço	n SPE	n SPI	Cohen's d	Hedges' g
Provisão	80	41	-0.58	-0.58
Regulação	80	41	-0.21	-0.21
Cultural	80	41	0.51	0.51

De acordo com as convenções de Cohen, o efeito negativo para a Provisão (d = −0,58) indica uma desvantagem moderada para os SPI, destacando a importância ecológica da manutenção das pastagens naturais. Por sua vez, o efeito positivo para os Serviços Culturais (d = 0,51) corresponde a uma vantagem moderada para os SPI, sugerindo que a integração com as culturas agrícolas melhora substancialmente as interações socioculturais. Em contrapartida, o efeito mínimo observado para os serviços reguladores (d = −0,21) reforça que as funções reguladoras ecológicas são relativamente resilientes ao tipo de sistema.

As métricas de qualidade do modelo indicaram poder explicativo adequado. O R^2 marginal (efeitos fixos) foi de 0,21, indicando que o sistema (SPE-SPI), o serviço e sua interação, coletivamente, foram responsáveis por aproximadamente um quinto da variância nos índices de serviço. Em contrapartida, o R^2 condicional (efeitos fixos + aleatórios) atingiu 0,46, demonstrando que a heterogeneidade no nível da propriedade explicava uma parcela adicional da variação. A diferença entre o R^2 marginal e o R^2 condicional mostra que uma parcela substancial da variação na prestação de serviços não pode ser explicada apenas pelos efeitos fixos. Em vez disso, ela é impulsionada principalmente por fatores não observados no nível da propriedade, como histórico de manejo, composição do rebanho ou heterogeneidade da paisagem. Além disso, os critérios de seleção de modelo (Critério de Informação de Akaike – AIC e Critério de Informação Bayesiano – BIC) identificaram a especificação com interceptações aleatórias por fazenda como a opção de melhor ajuste, uma vez que produziu os valores mais baixos entre as alternativas testadas. Em conjunto, esses resultados apoiam essa especificação como a representação mais parcimoniosa e apropriada dos dados.

No geral, os resultados demonstram que os SPE mantêm funções de provisão mais fortes ligadas às pastagens naturais, mas apresentam limitações nas dimensões culturais, provavelmente devido à interação reduzida com redes externas e iniciativas sociais. Em contrapartida, os SPI sofrem uma perda de capacidade de provisão como consequência do uso mais intensivo da terra, mas ganham valor cultural por meio da diversificação e da integração social. Os serviços reguladores permanecem robustos em todos os sistemas, confirmando sua resiliência diante de diferentes estratégias de manejo. Essas descobertas fornecem evidências quantitativas de um trade-off entre produtividade ecológica e integração sociocultural, ressaltando o papel multifacetado dos sistemas pecuários no bioma da Pampa.

4. Discussão

Os resultados demonstram que os sistemas pecuários avaliados no bioma do Pampa brasileiro apresentam níveis moderados de prestação de serviços ecossistêmicos, com diferenças significativas entre os serviços de provisão e culturais. De modo geral, as dimensões de provisão e regulação apresentaram resultados positivos, com índices semelhantes, enquanto os serviços culturais apresentaram médias mais baixas e maior variabilidade.

Esse padrão corrobora Bernués et al. (2011) e Bragaglio et al. (2020), que indicam que os sistemas pecuários extensivos garantem maior capacidade de fornecer bens ligados à produção animal e à regulação ecológica (por exemplo, ciclagem de nutrientes e fertilidade do solo), mas revelam menor valorização dos serviços culturais, frequentemente subestimados em avaliações econômicas e ambientais. De fato, estudos internacionais reforçam que os serviços culturais são mais difíceis de medir e permanecem marginalizados nas análises econômicas, apesar de desempenharem um papel central na qualidade de vida e no bem-estar das comunidades locais (PLIENINGER et al., 2013). A análise inferencial confirmou que os serviços culturais constituem a dimensão mais fraca. No entanto, estudos como os de Vargas e Silveira (2020) e Schossler et al. (2021) destacam sua relevância para promover a coesão social, preservar práticas tradicionais e fomentar a identidade regional.

Ao comparar os sistemas de produção, observou-se um claro conflito: os sistemas extensivos (SPE) apresentaram melhor desempenho na provisão, pois mantiveram as pastagens nativas como base forrageira e promoveram o equilíbrio ecológico, mas apresentaram índices culturais mais baixos, possivelmente devido a uma interação menos participativa e associativa com o ambiente externo. Em contrapartida, os sistemas integrados à agricultura (SPI) perderam parte do potencial de provisão como resultado de maior intervenção antropogênica decorrente do cultivo. No entanto, compensaram com serviços culturais mais fortes, fomentados pela diversificação produtiva e maior participação social. Esse resultado está alinhado com estudos que enfatizam como diferentes arranjos de produção influenciam a intensidade dos serviços ecossistêmicos, resultando em inevitáveis conflitos entre produtividade ecológica e integração sociocultural (VARGAS & SILVEIRA, 2020; SCHOSSLER et al., 2021). Evidências semelhantes foram relatadas por Koo et al. (2024), que, ao analisar mudanças no uso da terra no Equador, constataram que a expansão agrícola e o desmatamento reduziram significativamente os serviços reguladores e culturais, enquanto aumentaram apenas marginalmente o suprimento de alimentos. Esse padrão está em consonância com o observado

na Pampa, reforçando a noção de que a conversão de pastagens nativas em terras de cultivo representa uma ameaça à multifuncionalidade do ecossistema.

Os resultados também indicam a influência dos arranjos produtivos na intensidade dos serviços ecossistêmicos (MEA, 2005; HAINES-YOUng & POTSCHIN, 2013). O estudo de Martín-López et al., (2014) em Doñana (Espanha) reforça esse ponto, mostrando que diferentes usos humanos moldam a relevância atribuída aos serviços de provisão, regulação e culturais. Da mesma forma, no Pampa brasileiro, os serviços de regulação e de suporte se destacam em sistemas extensivos, enquanto os serviços culturais, embora essenciais para a identidade regional, permanecem menos reconhecidos nos processos de avaliação. Conclusões consistentes foram relatadas por Whiteis et al. (2025), que, ao desenvolver um índice de sustentabilidade agregado para diferentes tipos de uso da terra no sul das Grandes Planícies (EUA), demonstrou que cada uso da terra se destaca em certos serviços, mas acarreta perdas em outros, reforçando a importância de abordagens quantitativas integradas para capturar o equilíbrio entre serviços de provisão, reguladores e culturais.

Esse debate está em sintonia com as preocupações globais. A União Europeia (2010) alerta que a perda de biodiversidade compromete o fornecimento de bens e serviços essenciais, podendo levar a cenários críticos de escassez de água, energia e alimentos até 2030. No Pampa, a intensificação agrícola e a conversão de pastagens nativas em áreas de cultivo reproduzem esse risco, ameaçando a conservação da biodiversidade e a prestação de serviços ecossistêmicos. No entanto, os sistemas tradicionais de pecuária extensiva mantêm maior potencial de conservação e podem mitigar os riscos associados à insegurança alimentar e ambiental. Nesse sentido, estudos de síntese global, como o de Herrero et al. (2013), reforçam que os sistemas de pecuária baseados no pastoreio, quando adequadamente geridos, desempenham um papel estratégico não apenas no abastecimento alimentar, mas também na mitigação das mudanças climáticas e na manutenção das funções ecossistêmicas.

Revisões recentes, como a de Mancilla-Leytón et al. (2022), demonstram um crescente interesse científico no papel da pecuária em campo natural na manutenção de múltiplos serviços ecossistêmicos, mas alertam para o risco de sua redução ou desaparecimento devido à falta de reconhecimento institucional, mudanças nos hábitos alimentares e à ausência de incentivos. Esses riscos também estão ligados à escassez de instrumentos econômicos eficazes, conforme discutido por Kosoy e Corbera (2010), que problematizam os Pagamentos por Serviços Ecossistêmicos (PSE) e defendem sua adoção em modelos que transcendam uma lógica puramente de mercado, valorizando as dimensões sociais e culturais da conservação.

Esse cenário também se aplica ao Pampa brasileiro, onde a produção pecuária extensiva baseada em pastagens nativas está ameaçada pela expansão agrícola e pela falta de políticas específicas. Contribuições adicionais vêm de Gaylard et al. (2025), que, em um estudo de caso australiano, demonstraram que a incorporação de avaliações de serviços ecossistêmicos nos processos de licenciamento ambiental fortalece a transparência, amplia o envolvimento da comunidade e apoia decisões mais equilibradas entre conservação e desenvolvimento. Essa experiência reforça a relevância de integrar a medição e a valorização dos serviços ecossistêmicos aos processos formais de planejamento e gestão, também no contexto do sul do Brasil.

Nesse sentido, instrumentos como os Pagamentos por Serviços Ecossistêmicos (PSE) e mecanismos de certificação diferenciada, como o "Selo da Carne do Pampa Gaúcho", representam alternativas viáveis para valorizar economicamente os serviços ecossistêmicos gerados pela pecuária extensiva. Sua adoção e expansão poderiam não apenas reforçar a sustentabilidade socioambiental do bioma, mas também garantir a permanência das famílias rurais no território, promovendo o equilíbrio entre produção pecuária, conservação ambiental e desenvolvimento regional. Além disso, este estudo traz uma contribuição significativa ao demonstrar, pela primeira vez no contexto do Pampa brasileiro, que diferentes arranjos produtivos (SPE × SPI) têm um impacto significativo na intensidade e no perfil dos serviços ecossistêmicos prestados, oferecendo evidências que podem apoiar políticas públicas e estratégias de gestão orientadas para a sustentabilidade.

5. Conclusões

Este estudo analisou a prestação de serviços ecossistêmicos em sistemas pecuários da bacia hidrográfica do rio Ibirapuitã, no bioma do Pampa brasileiro, identificando diferenças nas dimensões de provisão, regulação e culturais, bem como entre sistemas extensivos (SPE) e aqueles integrados à agricultura (SPI). Os resultados mostraram que os serviços de provisão e regulação atingiram níveis mais elevados e homogêneos, enquanto os serviços culturais apresentaram médias mais baixas e maior variabilidade.

A comparação entre os sistemas revelou um conflito: os sistemas extensivos se destacaram por sua contribuição mais substancial aos serviços de provisão, resultante da manutenção de pastagens nativas e funções ecológicas associadas, mas apresentaram desempenho inferior nos serviços culturais devido à menor interação participativa com o ambiente social. Por outro lado, os sistemas integrados à agricultura, embora enfrentassem

perdas relativas nos serviços de provisão devido à pressão antrópica do cultivo, alcançaram melhores resultados na dimensão cultural, impulsionados pela diversificação produtiva e por um maior engajamento social.

Essas descobertas reforçam o caráter multifuncional da pecuária no Pampa, destacando que diferentes estratégias de produção contribuem de maneiras distintas para a sustentabilidade socioambiental da região. Eles também enfatizam a necessidade de políticas públicas e mecanismos de valorização — tais como Pagamentos por Serviços Ecossistêmicos (PSE) e esquemas de certificação diferenciados, capazes de reconhecer e fortalecer tanto os serviços tangíveis ligados à produção quanto os intangíveis, essenciais para a conservação da biodiversidade, a permanência das famílias rurais e o equilíbrio entre produção pecuária, conservação ambiental e desenvolvimento regional.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq — Brasil), pelo financiamento de apoio a pesquisa.

Referências

ALLEN, M.; POGGIALI, D.; WHITAKER, K.; MARSHALL, T. R.; VAN LANGEN, J.; KIEVIT, R. A. Raincloud plots: A multi-platform tool for robust data visualization. **Wellcome Open Research**, v. 4, n. 63, p. 15191.2, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.12688/wellcomeopenres.15191.2.

ANDRADE, D. C.; ROMEIRO, A. R. **Capital Natural, Serviços Ecossistêmicos e Sistema Econômico**: rumo a uma 'Economia dos Ecossistemas'. Campinas: IE/Unicamp, 2009. (Texto para Discussão, 159). Disponível em: https://www.eco.unicamp.br/images/arquivos/artigos/1789/texto159.pdf.

BERNUÉS, A.; RUIZ, R.; OLAIZOLA, A.; VILLALBA, D.; CASASÚS, I. Sustainability of pasture-based livestock farming systems in the European Mediterranean context: Synergies and trade-offs. **Livestock Science**, v. 139, n. 1-2, p. 44-57, 2011. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.03.018.

BRAGAGLIO, A.; BRAGHIERI, A.; PACELLI, C.; NAPOLITANO, F. Environmental Impacts of Beef as Corrected for the Provision of Ecosystem Services. **Sustainability**, v. 12, n. 9, p. 3828, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su12093828.

DANIEL, T. C.; MUHAR, A.; ARNBERGER, A.; AZNAR, O.; BOYD, J. W.; CHAN, K. M.; COSTANZA, R.; ELMQVIST, T.; FLINT, C. G.; GOBSTER, P. H.; GRÊT-REGAMEY, A.; LAVE, R.; MUHAR, S.; PENKER, M.; RIBE, R. G.; SCHAUPPENLEHNER, T.; SIKOR, T.; SOLOVIY, I.; SPIERENBURG, M.; TACZANOWSKA, K.; TAM, J.; VON DER DUNK, A. Contributions of cultural services to the ecosystem services agenda.

Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 109, n. 23, p. 8812-8819, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1073/pnas.1114773109.

DENG, X.; XIONG, K.; YU, Y.; SHANG, S.; KONG, L.; ZHANG, Y. A Review of Ecosystem Service Trade-Offs/Synergies: Enlightenment for the Optimization of Forest Ecosystem Functions in Karst Desertification Control. **Forests**, v. 14, n. 1, p. 10088, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.3390/f14010088.

GAYLARD, S.; DICKSON, M.; BANHALMI-ZAKAR, Z. Integrating ecosystem services into environmental impact assessment: Insights from an Australian case study. **Ecosystem Services**, v. 71, p. 101716, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2025.101716.

HAINES-YOUNG, R.; POTSCHIN, M. **Common International Classification of Ecosystem Services (CICES)**: consultation on version 4, August-December 2012. EEA Framework Contract No EEA/IEA/09/003. 2013. Disponível em: https://cices.eu/content/uploads/sites/8/2012/07/CICES-V43_Revised-Final_Report_29012013.pdf. Acesso em: 2 abr. 2025.

HERRERO, M.; HAVLIK, P.; VALIN, H.; NOTENBAERT, A.; RUFINO, M. C.; THORNTON, P. K.; BLÜMMEL, M.; WEISS, F.; GRACE, D.; OBERSTEINER, M. Biomass use, production, feed efficiencies, and greenhouse gas emissions from global livestock systems. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 52, p. 9110, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.1073/pnas.1308149110.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2017**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017. Acesso em: 27 set. 2025.

ICKOWICZ, A.; HUBERT, B.; BLANCHARD, M.; BLANFORT, V.; CESARO, J. D.; DIAW, A.; LASSEUR, J.; HUYEN, L. T. T.; LI, L.; MAURICIO, R. M.; CANGUSSU, M.; MÜLLER, J-P.; MENDIOLA, M. Q.; ROGER, J. Q.; VERA, T. A.; ULAMBAYAR, T.; WEDDERBURN, L. Multifunctionality and diversity of livestock grazing systems for sustainable food systems throughout the world: Are there learning opportunities for Europe? **Grass and Forage Science**, v. 77, n. 4, p. 12588, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1111/gfs.12588.

KOO, H.; KLEEMANN, J.; CUENCA, P.; NOH, J. K.; FÜRST, C. Implications of landscape changes for ecosystem services and biodiversity: A national assessment in Ecuador. **Ecosystem Services**, v. 69, p. 101652, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2024.101652.

KOSANIC, A.; PETZOLD, J. A systematic review of cultural ecosystem services and human wellbeing. **Ecosystem Services**, v. 45, p. 101168, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101168.

KOSOY, N.; CORBERA, E. Payments for ecosystem services as commodity fetishism. **Ecological Economics**, v. 69, n. 6, p. 11002, 2010. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.11.002.

LÓPEZ-RIDAURA, S. Evaluating the sustainability of complex socio-environmental systems: The MESMIS framework. **Ecological Indicators**, v. 2, p. 135-148, 2002. Disponível em: https://doi.org/10.1016/S1470-160X(02)00043-2.

MANCILLA-LEYTÓN, J. M.; GRIBIS, D.; POZO-CAMPOS, C.; MORALES-JERRETT, E.; MENA, Y.; CAMBROLLÉ, J.; VICENTE, A. M. Ecosystem Services Provided by Pastoral Husbandry: A Bibliometric Analysis. **Land**, v. 11, p. 2083, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.3390/land11112083.

MAPBIOMAS. **Mapeamento Anual da Cobertura e Uso da Terra no Brasil (1984–2020)**: Destaques Pampa. 2021. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/12/Fact_Sheet_Pampa_2021.pdf. Acesso em: 27 maio 2025.

MARTÍN-LÓPEZ, B.; GÓMEZ-BAGGETHUN, E.; GARCÍA-LLORENTE, M.; MONTES, C. Trade-offs across value-domains in ecosystem services assessment. **Ecological Indicators**, v. 37, p. 220-228, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ecolond.2013.03.003.

MASERA, O. R.; ASTIER, M.; LÓPEZ-RIDAURA, S. **Sustentabilidad y Manejo de Recursos Naturales**: El Marco de Evaluación MESMIS. México: Mundi-Prensa, 1999.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MEA). **Ecosystems and Human Wellbeing**: Synthesis. Washington, DC: Island Press, 2005. Disponível em: https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf. Acesso em: 14 abr. 2025.

NABINGER, C.; FERREIRA, E. T.; FREITAS, A. K. D.; CARVALHO, P. C. D.; SANT'ANNA, D. M. Produção animal com base no campo nativo: aplicações de resultados de pesquisa. *In*: PILLAR, V. D. P.; MÜLLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. S.; JACQUES, A. V. A. (ed.). **Campos sulinos**: conservação e uso sustentável da biodiversidade. 2. ed. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2009. p. 175-198. Disponível em: http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br/arquivos/Livros/CamposSulinos.pdf.

OVERBECK, G. E.; MÜLLER, S. C.; FIDELIS, A.; PFADENHAUER, J.; PILLAR, V. D. P.; BLANCO, C. C.; BOLDRINI, I. I.; BOTH, R.; FORNECK, E. D. Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, v. 9, n. 2, p. 101-116, 2007. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ppees.2007.07.005.

PLIENINGER, T.; DIJKS, S.; OTEROS-ROZAS, E.; BIELING, C. Assessing, mapping, and quantifying cultural ecosystem services at community level. **Land Use Policy**, v. 33, p. 118-129, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.12.013.

RAUDSEPP-HEARNE, C.; PETERSON, G. D.; BENNETT, E. M. Ecosystem service bundles for analyzing tradeoffs in diverse landscapes. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 11, p. 5242-5247, 2010. Disponível em: https://doi.org/10.1073/pnas.0907284107.

REED, M. S.; STRINGER, L. C.; DOUGILL, A. J.; PERKINS, J. S.; ATLHOPHENG, J. R.; MULALE, K.; FAVRETTTO, N. Reorienting land degradation towards sustainable land management: Linking sustainable livelihoods with ecosystem services. **Journal of Environmental Management**, v. 151, p. 472-485, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.11.010.

ROBERTI, D. R.; MERGEN, A.; GOTUZZO, R. A.; VEECK, G. P.; BREMM, T.; MARIN, L.; QUADROS, F. L. F.; JACQUES, R. J. S. Sustainability in Natural Grassland in the Brazilian Pampa Biome: Livestock Production with CO2 Absorption. **Sustainability**, v. 16, n. 9, p. 3672, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su16093672.

SCHOSSLER, D.; NABINGER, C.; RIBEIRO, C.; BOGGIANO, P.; CADENAZZI, M.; RESTREPO-OSORIO, D. L. Applying a participatory methodology to evaluate ecosystem

services in the Pampa biome: lessons learned from the Tessa methodology in Uruguay. **Sustainability in Debate**, v. 12, n. 3, p. 38175, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.18472/SustDeb.v12n1.2021.38175.

SILVEIRA, V. C. P. (ed.). **Livestock Production Systems in the Ibirapuitã Catchment and Their Relations with Water and Energy in Food Production — Nexus Pampa**. Curitiba: CRV, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.7476/9786557250044.0004.

SUERTEGARAY, D. M. A.; SILVA, L. A. P. Tchê Pampa: Histórias da natureza gaúcha. *In*: PILLAR, V. D. P.; MÜLLER, S. C.; CASTILHOS, Z. M. S.; JACQUES, A. V. A. (ed.). **Campos sulinos**: conservação e uso sustentável da biodiversidade. 2. ed. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2009. p. 42-59. Disponível em: http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br/arquivos/Livros/CamposSulinos.pdf.

UNIÓN EUROPEA. **Cronología**: La historia de la PAC. 2020. Disponível em: https://www.consilium.europa.eu/es/policies/cap-introduction/timeline-history/. Acesso em: 11 set. 2025.

VARGAS, L. P.; SILVEIRA, V. C. P. Serviços ecossistêmicos na produção animal: uma análise da percepção dos pecuaristas de Alegrete (RS). **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 1, p. 235-258, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.17765/2176-9168.2020v13n1p235-258.

VIANA, J. G. A.; DE BARROS, C. A. P.; RIBEIRO, C. G.; MINELLA, J. P. G.; DOS SANTOS, C. F.; RIBEIRO, C. M.; SILVEIRA, V. C. P. Sustainability attributes from the water-energy-food nexus: An application to livestock systems in the Brazilian Pampa biome. **Energy Nexus**, v. 12, p. 100248, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.nexus.2023.100248.

VIANA, J. G. A.; DA SILVA, F. N.; DALLA VALLE, C.; RIBEIRO, C. M.; DE BARROS, C. A.; MINELLA, J.; SANTOS, C. F.; SILVEIRA, V. C. P. WEF Nexus Indicators for Livestock Systems: A Comparative Analysis in Southern Brazil. **Sustainability**, v. 17, n. 12, p. 5309, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su17125309.

VIANA, J. G. A.; SILVEIRA, V. C. P.; ANTUNES, Y. C. Soybean expansion and its impact on livestock in the Brazilian Pampa. **Journal of Livestock Science**, v. 13, p. 42-51, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.33259/JLivestSci.2022.107-111.

WHITEIS, A. M.; ZOU, C. B.; JOSHI, O.; FERGUSON, B.; ROBERTS, S. Quantitative assessment of ecosystem services in diverse land uses within the forest-grassland transition zone of southern Great Plains, USA. **Ecosystem Services**, v. 71, p. 101697, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2025.101697.

YAHDJIAN, L.; SALA, O. E.; HAVSTAD, K. M. Rangeland ecosystem services: Shifting focus from supply to reconciling supply and demand. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 13, n. 1, p. 44-51, 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1890/140156.