



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS**  
**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**



**FRANCIELE FATH**

**Intensificação Sustentável: Limites e contradições da Pecuária bovina baseada em  
pastagens no Cerrado**

**GOIÂNIA, GOIÁS**

**2026**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
GERÊNCIA DE CURSOS E PROGRAMAS INTERDISCIPLINARES

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

### E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

#### 1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação     Tese     Outro\*: \_\_\_\_\_

\*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

#### 2. Nome completo do autor

Franciele Fath

#### 3. Título do trabalho

Intensificação Sustentável: Limites e contradições da Pecuária bovina baseada em pastagens no Cerrado

#### 4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento  SIM     NÃO<sup>1</sup>

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

- a) consulta ao(à) autor(a) e ao(à) orientador(a);
- b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

**Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.**



Documento assinado eletronicamente por **Franciele Fath, Discente**, em 09/07/2025, às 15:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fausto Miziara, Professor do Magistério Superior**, em 10/07/2025, às 10:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **5491633** e o código CRC **8AEE2912**.

FRANCIELE FATH

2026

**Intensificação Sustentável: Limites e contradições da Pecuária bovina baseada em pastagens no Cerrado**

Tese apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Ciências Ambientais da Pró-Reitoria de Pós-Graduação da Universidade Federal de Goiás - UFG, como requisito para obtenção do título de Doutora em Ciências Ambientais.

Área de Concentração: Estrutura e Dinâmica Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Fausto Miziara

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Fath, Franciele

Intensificação Sustentável: Limites e contradições da Pecuária bovina baseada em pastagens no Cerrado [manuscrito] / Franciele Fath. – 2026.

102 f.

Orientador: Prof. Dr. Fausto Miziara.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás, Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, 2026.

1. Pecuária sustentável, 2. Intensificação da pecuária, 3. Degradação de pastagens, 4. Práticas de manejo sustentável, 5. Análise espacial, tipologia territorial. I. Miziara, Fausto, orient. II. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

GERÊNCIA DE CURSOS E PROGRAMAS INTERDISCIPLINARES

### ATA DE DEFESA DE TESE

Ata Nº **DD005/2025** da sessão de Defesa de Tese de **Franciele Fath**, que confere o título de Doutor(a) em **Ciências Ambientais**, na área de concentração em **Estrutura e Dinâmica Ambiental**.

Ao(s) **dois dias de julho de dois mil e vinte e cinco**, a partir da(s) **nove horas**, no(a) **Google Meet**, realizou-se a sessão pública de Defesa de Tese intitulada “**O que adotamos como Intensificação Sustentável? Limites e contradições da Pecuária bovina baseada em pastagens no Cerrado**”. Os trabalhos foram instalados pelo(a) Orientador(a), Doutor(a) **Fausto Miziara (FCS/UFG)** com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Doutor(a) **Nilson Clementino Ferreira (EECA/UFG)**, membro titular interno, cuja participação ocorreu através de videoconferência; Doutor(a) **Manuel Eduardo Ferreira (IESA/UFG)**, membro titular interno, cuja participação ocorreu através de videoconferência; Doutor(a) **Fernando Moreira de Araújo (IESA/UFG)**, membro titular externo, cuja participação ocorreu através de videoconferência; Doutor(a) **Janete Rêgo Silva (UEG)**, membro titular externo, cuja participação ocorreu através de videoconferência. Durante a arguição os membros da banca fizeram sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Tese tendo sido o(a) candidato(a) **aprovado(a)** pelos seus membros.

Proclamados os resultados pelo(a) Doutor(a) **Fausto Miziara (FCS/UFG)**, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos membros da Banca Examinadora, ao(s) **dois dias de julho de dois mil e vinte e cinco**.

#### TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA

**Intensificação Sustentável: Limites e contradições da Pecuária bovina baseada em pastagens no Cerrado**



Documento assinado eletronicamente por **Fausto Miziara, Professor do Magistério Superior**, em 14/01/2026, às 16:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Nilson Clementino Ferreira, Professor do Magistério Superior**, em 14/01/2026, às 17:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fernando Moreira De Araujo, Professor do Magistério Superior**, em 19/02/2026, às 15:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Janete Rêgo Silva, Usuário Externo**, em 19/02/2026, às 15:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Manuel Eduardo Ferreira, Professor do Magistério Superior**, em 19/02/2026, às 18:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **5908434** e o código CRC **F21C66C1**.

---

Referência: Processo nº 23070.032928/2025-91

SEI nº 5908434

## **Agradecimentos**

Expresso meus agradecimentos ao meu orientador, Professor Fausto Miziara, pela orientação, sensibilidade e atenção. Em momentos em que me senti perdida durante esse processo, sua orientação foi muito importante.

Agradeço também aos meus pais, Maria de Lurdes Fath e Romeu Fath, que de forma simples, sempre voltaram seus esforços para me proporcionar uma boa formação educacional. Nunca mediram esforços para me incentivar a seguir estudando e buscando conhecimento. São meus exemplos de dedicação, ética e simplicidade da vida.

Sou grata ao sistema de ensino público, por me permitir estar em contato com excelentes profissionais. Em especial, à Universidade Federal de Goiás e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, aos coordenadores e docentes, deixo meu agradecimento por construírem um espaço de formação crítica e plural.

Meu agradecimento especial ao meu companheiro, Alexandro do Nascimento Vaz, que durante todo o processo me apoiou com presença, escuta e paciência.

A todas as amigas que caminharam comigo ao longo desse período, dentro e fora da academia, meu carinho e reconhecimento pelo papel importante na construção deste trabalho.

E agradeço, a mim mesma, por ter persistido, mesmo quando duvidei, e por seguir adiante, mesmo sem saber exatamente como. Ainda me pergunto como aguentei até aqui, mas aguentei.

## SUMÁRIO

Resumo .....	11
Abstract .....	12
Introdução .....	13
Referências.....	17
Capítulo I .....	20
1. Introdução.....	20
2. Conceitos e definições da Intensificação Sustentável da pesquisa .....	21
3. Estratégia de revisão sistemática da literatura.....	23
4. Indicadores e métricas da IS: Quais são mais utilizados? .....	25
4.1 Indicadores Ambientais .....	26
4.2 Indicadores Econômicos.....	28
4.3 Indicadores de Produtividade .....	30
4.4 Indicadores Sociais .....	32
5. Escalas de aplicação dos Indicadores .....	33
6. Consensos e controvérsias na literatura .....	35
7. O que ainda falta explorar? .....	36
8. Conclusão .....	38
Referências .....	39
Material Suplementar .....	46
Capítulo 2.....	59
1. Introdução.....	59
2. Metodologia .....	61
2.1 Área de estudo .....	61
2.2 Coleta de dados e análise.....	62
3. Resultados e Discussão .....	64
4. Conclusões .....	67
Agradecimentos.....	68
Referências .....	68
Capítulo 3.....	73
1 Introdução.....	74
2 Material e Métodos.....	75
2.1 Área de estudo .....	75
2.2 Base de dados .....	76
2.3 Processamento dos dados .....	76

2.4 Análise estatística e agrupamento dos Perfis Territoriais.....	77
2.5 Ferramentas utilizadas .....	78
3 Resultados .....	78
4 Discussão:.....	84
5 Conclusão .....	87
Referências .....	88
Material Suplementar. ....	92
Considerações Finais .....	100

## **Resumo**

A intensificação sustentável tem sido amplamente promovida como uma estratégia-chave para conciliar produtividade agropecuária com conservação ambiental no Brasil. No entanto, persistem dúvidas sobre o que se adota, na prática, como intensificação sustentável, especialmente no contexto da pecuária bovina baseada em pastagens no Brasil, com foco no Cerrado, um bioma estratégico e intensamente pressionado por atividades agropecuárias. Esta tese investiga criticamente os limites e contradições desse modelo, com foco na degradação de pastagens e na efetividade das estratégias de intensificação na promoção da sustentabilidade. A pesquisa está estruturada em três capítulos complementares, apresentados no formato de artigos científicos. No primeiro artigo, é conduzido uma revisão sistemática de 58 publicações sobre intensificação sustentável em pastagens cultivadas no Brasil, identificando e classificando os principais indicadores (ambientais, produtivos, econômicos e sociais) e suas métricas, revelando uma ênfase desproporcional em aspectos produtivos e ambientais em escalas locais e macrorregionais, ao passo que indicadores sociais permanecem escassos e diluídos em análises de maior escala. No segundo artigo, parte-se para um estudo empírico no estado de Goiás, comparando sistemas de pecuária de corte e de leite submetidos a diferentes níveis de intensificação, demonstrando que práticas intensivas nem sempre promovem melhoria na qualidade das pastagens, chegando a agravar processos de degradação em sistemas leiteiros. No terceiro artigo, adotamos uma abordagem espacial e multivariada para tipificar municípios goianos segundo padrões de intensificação pecuária e relacioná-los à dinâmica da qualidade das pastagens e à frequência de queimadas, constatando que áreas classificadas como alta intensificação não apresentam recuperação ambiental consistente nem redução do uso do fogo. Com base na articulação desses três artigos, conceitual, empírico e territorial, a tese conclui que o modelo vigente de intensificação, tal como adotado em políticas públicas e práticas produtivas, apresenta limitações em termos de sustentabilidade efetiva. A tese contribui para o debate sobre os caminhos possíveis para a sustentabilidade na pecuária brasileira, em especial, na recuperação de pastagens degradadas, propondo uma reflexão crítica sobre os critérios adotados, os impactos reais das estratégias em curso e a urgência de políticas mais integradas, inclusivas e adaptadas aos territórios.

**Palavras-chave:** Pecuária sustentável, Intensificação da pecuária, Degradação de pastagens, Pecuária bovina, Agronegócio e sustentabilidade, Bioma Cerrado, Práticas de manejo sustentável, Análise espacial, tipologia territorial

## **Abstract**

Sustainable intensification has been widely promoted as a key strategy to reconcile agricultural productivity with environmental conservation in Brazil. However, doubts persist about what is actually adopted as sustainable intensification in practice, especially in the context of pasture-based cattle ranching in Brazil, with a focus on the Cerrado, a strategic biome that is intensely pressured by agricultural activities. This thesis critically investigates the limits and contradictions of this model, focusing on pasture degradation and the effectiveness of intensification strategies in promoting sustainability. The research is structured into three complementary chapters, presented in the format of scientific papers. The first paper presents a systematic review of 58 publications on sustainable intensification in cultivated pastures in Brazil, identifying and categorizing the main indicators (environmental, productive, economic, and social) and their metrics. It reveals a disproportionate emphasis on productive and environmental aspects at local and macro-regional scales, while social indicators remain scarce and diluted in broader scale analyses. In the second paper, an empirical study is conducted in the state of Goiás, comparing beef and dairy cattle systems subjected to different levels of intensification. The findings demonstrate that intensive practices do not always improve pasture quality and may even exacerbate degradation processes in dairy systems. In the third paper, a spatial and multivariate approach is used to classify municipalities in Goiás based on livestock intensification patterns and relate them to pasture quality dynamics and the frequency of fires. It is found that areas classified as highly intensified do not show consistent environmental recovery or reduced use of fire. Based on the integration of these three Papers, conceptual, empirical, and territorial, the thesis concludes that the current intensification model, as adopted in public policies and productive practices, presents limitations in terms of effective sustainability. The thesis contributes to the debate on possible pathways to sustainability in Brazilian cattle ranching, particularly in the recovery of degraded pastures, proposing a critical reflection on the adopted criteria, the real impacts of ongoing strategies, and the urgency of more integrated, inclusive, and territory-adapted policies.

**Keywords:** Sustainable livestock farming, Livestock intensification, Pasture degradation, Cattle ranching, Agribusiness and sustainability, Cerrado biome, Sustainable management practices, Spatial analysis, Territorial typology

## Introdução

O Brasil, como um país megabiодiverso, desempenha um papel fundamental na conservação da biodiversidade e na proteção dos sistemas naturais que regulam o clima global. A perda de biodiversidade e a degradação de ecossistemas florestais intensificam a crise climática, dificultando a meta de manter o aumento da temperatura média global bem abaixo de 2 °C em relação aos níveis pré-industriais, além de comprometer os esforços para limitar esse aumento a 1,5 °C. Essa preocupação impulsionou o Brasil a adotar compromissos voluntários no âmbito da 15ª Conferência das Partes (COP 15) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), assumindo metas de redução de emissões de gases de efeito estufa e reforçando seu compromisso com a proteção ambiental e o desenvolvimento sustentável.

Esses compromissos foram formalizados por meio de leis, decretos e programas de desenvolvimento que buscam conciliar o crescimento econômico com a redução das emissões de gases de efeito estufa, a conservação dos recursos naturais e a promoção de práticas produtivas sustentáveis. É nesse cenário que a degradação das pastagens se impõe como um dos grandes desafios ambientais do país, levando o Brasil a estabelecer metas específicas para o setor agropecuário no âmbito de sua Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) (Brasil, 2009), com os Planos de Ações para a Prevenção e Controle do Desmatamento no Cerrado e na Amazônia e o Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono (ABC 2010–2020) e de sua continuidade no Plano ABC+ (2020–2030) (Brasil, 2012; Brasil, 2021).

A degradação das pastagens transforma áreas que poderiam atuar como sumidouros de carbono em fontes de emissão de gases de efeito estufa, ao reduzir a cobertura vegetal, empobrecer o solo e intensificar a liberação de metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Bolfé et al., 2024; Prudêncio et al., 2022; Santos et al., 2024). Além de aumentar as emissões diretas e indiretas, a baixa produtividade leva ao abandono de áreas degradadas e à expansão da fronteira agropecuária sobre ecossistemas nativos, impulsionando o desmatamento e agravando a perda de biodiversidade (Feltran-Barbieri et al., 2021; Pendrill et al., 2022). Nesse contexto, compreender a dinâmica da degradação e avaliar a efetividade das estratégias de intensificação é fundamental para que o Brasil avance no cumprimento de seus compromissos climáticos e na construção de um modelo de desenvolvimento sustentável (Gianetti et al., 2024).

O Brasil é um dos principais produtores e exportadores de carne bovina no mundo, e esse protagonismo está diretamente associado ao uso extensivo de áreas de pastagem, que cobrem cerca de 21% do território nacional (LAPIG, 2023). Contudo, grande parte dessas

pastagens resulta da conversão de áreas nativas para fins pecuários, e mais de dois terços delas estão em algum estágio de degradação (LAPIG, 2023), o que inclui perda de produtividade, empobrecimento do solo e redução da cobertura vegetal.

No Cerrado, bioma estratégico para a produção pecuária, a situação é ainda mais crítica. No estado de Goiás 72% das pastagens plantadas apresentam sinais de degradação, com 3,5 milhões de hectares classificados como severamente degradados (Bolfe et al., 2024; Vieira et al., 2022). Essas condições não só comprometem a sustentabilidade ambiental, mas também fragilizam a eficiência e competitividade do sistema de produção, que ainda se baseia em práticas extensivas e de baixo nível tecnológico (Ferraz & De Felício, 2010). As mudanças climáticas, com o aumento das secas e chuvas irregulares, agravam essas condições, intensificando a poluição da água e aumentando a competição por recursos hídricos, o que torna as pastagens ainda mais vulneráveis (Sattler et al., 2018; Gil et al., 2018). Este quadro reforça a necessidade urgente de ações de recuperação e manejo adequado das pastagens para garantir a continuidade da produção no longo prazo.

Nesse contexto, a intensificação da pecuária surge como uma estratégia para promover a sustentabilidade do setor, buscando aumentar a produtividade por unidade de área e reduzir a pressão pela expansão de novas fronteiras agropecuárias. No Brasil, políticas públicas como o Plano ABC+ e o Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (Planaveg) (Brasil, 2017) foram criadas para fomentar a adoção de práticas de baixa emissão e ampliar os serviços de assistência técnica e extensão rural voltados à recuperação da vegetação nativa com aproveitamento econômico.

Apesar desses incentivos, a intensificação enfrenta diversos desafios. A prática extensiva ainda predomina no território nacional, e o uso de técnicas rudimentares, como o fogo para renovação de pastagens, continua disseminado (Vieira et al., 2016; Oliveira et al., 2024), evidenciando a persistência de métodos de manejo pouco intensificados. Essa realidade é agravada por fatores como os altos custos de implantação, a carência de assistência técnica qualificada e a necessidade de investimentos de longo prazo, que dificultam a adoção em larga escala (Mendes et al., 2024; Terra et al., 2019; Latawiec et al., 2019).

Nesse cenário, é importante distinguir entre abordagens convencionais de intensificação e o conceito de intensificação sustentável (IS). De forma geral, o primeiro refere-se ao aumento da produção por unidade de área, frequentemente associado ao maior uso de insumos, tecnologias e práticas de manejo (Cardoso et al., 2020; Fraanje et al., 2018). Esse termo é amplamente utilizado nas políticas brasileiras de enfrentamento à mudança do clima no setor agropecuário brasileiro. Já a IS é um conceito mais recente e em constante evolução,

desenvolvido em resposta à necessidade de compatibilizar o aumento da produtividade agrícola com a preservação ambiental e a equidade social (Fraanje et al., 2018; Godfray et al., 2010; Mahon et al., 2017; The Royal Society, 2009). De acordo com esses autores, um entendimento comum de IS é aquele que designa o princípio de aumentar ou manter a produção agrícola nas terras já cultivadas, enquanto se reduzem os impactos ambientais e o uso adicional de terras. Essa definição, no entanto, não prescreve métodos agronômicos específicos, podendo incluir diferentes tipos de intensificação, como o uso de tecnologias, conhecimento técnico, trabalho ou biotecnologias, aplicados a distintos sistemas de produção, sejam eles convencionais ou agroecológicos.

A complexidade da IS vai além das dimensões produtivas e ambientais, englobando também aspectos sociais, econômicos e éticos. Adotar a IS implica equilibrar debates sobre segurança alimentar, sustentabilidade dos sistemas alimentares, inclusão social e conservação da biodiversidade (Fraanje et al., 2018; Musumba et al., 2017). Assim, embora o conceito de IS represente uma meta aspiracional, sua implementação prática é objeto de controvérsias e críticas, com diferentes interpretações e expectativas entre apoiadores e críticos, o que torna a avaliação dos seus resultados um desafio para a pecuária (Mahon et al., 2017; Weltin et al., 2018).

Estratégias com sistemas de integração, como Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) e Sistemas Agroflorestais (SAF) são citadas como exemplos de IS no Brasil, com potencial para restaurar áreas degradadas e reduzir emissões de gases de efeito estufa (Glatzle et al., 2021; Marques Moura et al., 2023; Monteiro et al., 2024; Oliveira et al., 2024). No entanto, apesar dessas iniciativas pontuais, a realidade predominante ainda revela grandes obstáculos para a adoção ampla e efetiva de práticas sustentáveis, sendo especialmente limitada entre pequenos e médios produtores (Gianetti et al., 2024; Oliveira et al., 2024; Telles et al., 2021). Além disso, críticas recentes apontam que a intensificação, tal como vem sendo implementada, pode reproduzir desigualdades, gerar trade-offs socioecológicos e não necessariamente assegurar a conservação da biodiversidade ou a segurança alimentar (Garnett et al., 2013; Loos et al., 2014; Musumba et al., 2017). Esses questionamentos reforçam a necessidade de investigar se, de fato, a intensificação ou a intensificação sustentável da pecuária tem resultado em ganhos ambientais e produtivos, ou se permanece restrita a ganhos setoriais sem alterar as bases insustentáveis do modelo atual.

Diante desse cenário, a presente tese parte da constatação de que a degradação das pastagens no Brasil, especialmente no Cerrado, continua avançando, apesar dos discursos em torno da intensificação sustentável. O objetivo geral é avaliar como a intensificação da pecuária

influencia a degradação das pastagens, analisando os métodos de mensuração utilizados, seus efeitos sobre a qualidade das pastagens e sua relação com práticas rudimentares, como o uso do fogo, em diferentes contextos territoriais.

A tese está organizada em três capítulos em formato de artigos científicos, cada um explorando uma dimensão da problemática:

O Capítulo 1, intitulado *Intensificação sustentável em pastagens brasileiras: uma revisão sistemática de indicadores e métricas em diferentes escalas*, analisa como a intensificação sustentável tem sido avaliada na literatura científica, identificando os principais indicadores e métricas utilizados, as escalas de aplicação e as lacunas nas abordagens existentes. A análise revela uma tendência à priorização de aspectos produtivos e ambientais em detrimento da dimensão social, o que levanta questionamentos sobre a forma como a intensificação sustentável tem sido compreendida e mensurada.

No Capítulo 2, *Efeito da intensificação da pecuária sobre a qualidade das pastagens*, a pesquisa avança para a análise empírica, investigando os efeitos da intensificação da pecuária bovina sobre a qualidade das pastagens no estado de Goiás. Diferenciando os sistemas de gado de corte e de leite, os resultados demonstram que a intensificação nem sempre promove a melhoria das pastagens, e que, no caso da pecuária leiteira, pode inclusive agravar os processos de degradação.

O Capítulo 3, intitulado *Tipologia Territorial da Pecuária em Goiás: Análise dos Padrões de Intensificação e seus Impactos Ambientais*, amplia a análise para integrar, em uma perspectiva espacial e temporal, as relações entre a dinâmica da qualidade das pastagens, a frequência de queimadas e o grau de intensificação da pecuária nos municípios de Goiás. Os resultados mostram que a intensificação, mesmo quando presente, nem sempre está associada à recuperação ambiental ou à redução do uso do fogo, evidenciando a complexidade das interações territoriais e a importância de políticas públicas adequadas para a promoção de uma intensificação verdadeiramente sustentável.

Deste modo, esta tese integra análise crítica de conceitos, avaliação empírica e abordagem espacial multivariada, oferecendo uma visão mais ampla sobre os desafios e limitações da intensificação como estratégia de sustentabilidade. Espera-se que os resultados apresentados contribuam para novas interpretações e subsidiem políticas públicas e práticas de manejo mais alinhadas com a realidade dos territórios.

## Referências

- Bolfe, É. L., Victoria, D. D. C., Sano, E. E., Bayma, G., Massruhá, S. M. F. S., & De Oliveira, A. F. (2024). *Potential for agricultural expansion in degraded pasture lands in Brazil based on geospatial databases*. *Land*, 13(2), 200. <https://doi.org/10.3390/land13020200>
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). (2012). *Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: Plano ABC (2010–2020)*. Brasília: MAPA. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc>
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). (2021). *Plano setorial para adaptação à mudança do clima e baixa emissão de carbono na agricultura: ABC+ 2020–2030*. Brasília: MAPA. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/abc-2020-2030>
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. (2017). *Planaveg: Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa*. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente; Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; Ministério da Educação. 73 p. ISBN 978-85-7738-336-8.
- Cardoso, A. D. S., Barbero, R. P., Romanzini, E. P., Teobaldo, R. W., Ongaratto, F., Fernandes, M. H. M. D. R., Ruggieri, A. C., & Reis, R. A. (2020). *Intensification: A key strategy to achieve great animal and environmental beef cattle production sustainability in Brachiaria grasslands*. *Sustainability*, 12(16), 6656. <https://doi.org/10.3390/su12166656>
- Ferraz, J. B. S., & De Felício, P. E. (2010). *Production systems – An example from Brazil*. *Meat Science*, 84(2), 238–243. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.06.006>
- Feltran-Barbieri, R., & Féres, J. G. (2021). *Degraded pastures in Brazil: improving livestock production and forest restoration*. *Royal Society Open Science*, 8(7), 201854. doi: 0.1098/rsos.201854
- Fraanje, W., Lee-Gammage, S., & Garnett, T. (2018). *What is sustainable intensification?* Food Climate Research Network. doi: 10.56661/075f639f
- Garnett, T., Appleby, M. C., Balmford, A., Bateman, I. J., Benton, T. G., Bloomer, P., Burlingame, B., Dawkins, M., Dolan, L., Fraser, D., Herrero, M., Hoffmann, I., Smith, P., Thornton, P. K., Toulmin, C., Vermeulen, S. J., & Godfray, H. C. J. (2013). *Sustainable Intensification in Agriculture: Premises and Policies*. *Science*, 341(6141), 33–34. doi: 10.1126/science.1234485
- Gianetti, G. W., & Filho, J. B. D. S. F. (2024). *Pasture recovery, emissions, and the Brazilian Paris agreement commitments*. *Land Use Policy*, 141, 107118. doi: 10.1016/j.landusepol.2024.107118
- Gil, J. D. B., et al. (2018). *Tradeoffs in the quest for climate smart agricultural intensification in Mato Grosso, Brazil*. *Environmental Research Letters*, 13(6), 064025. DOI 10.1088/1748-9326/aac4d1
- Glatzle, S., Stuerz, S., Giese, M., Pereira, M., De Almeida, R. G., Bungenstab, D. J., Macedo, M. C. M., & Asch, F. (2021). *Seasonal dynamics of soil moisture in an integrated-crop-livestock-forestry system in Central-West Brazil*. *Agriculture*, 11(3), 245. <https://doi.org/10.3390/agriculture11030245>
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M., & Toulmin, C. (2010). *Food security: The challenge of feeding 9 billion people*. *Science*, 327(5967), 812–818. <https://doi.org/10.1126/science.1185383>
- Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento – LAPIG. (2025). *Atlas das Pastagens Brasileiras*. Recuperado em 8 de setembro de 2025, de <https://atlasdaspastagens.ufg.br/>

- Latawiec, A. E., et al. (2019). *Biochar amendment improves degraded pasturelands in Brazil: Environmental and cost-benefit analysis*. *Scientific Reports*, 9(1), 11993. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47647-x>
- Loos, J., Abson, D. J., Chappell, M. J., Hanspach, J., Mikulcak, F., Tichit, M., & Fischer, J. (2014). *Putting meaning back into “sustainable intensification.”* *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12(6), 356–361. <https://doi.org/10.1890/130157>
- Mahon, N., Crute, I., Simmons, E., & Islam, M. M. (2017). *Sustainable intensification – “Oxymoron” or “third-way”?* A systematic review. *Ecological Indicators*, 74, 73–97. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.001>
- Marques Moura, T., Carvalho, M. T. D. M., Stone, L. F., Madari, B. E., Santos, D. D. C., Moreira Alves, E., Trogello, E., Faustino, L. L., & Machado, P. L. O. D. A. (2023). *Newly implemented crop-livestock-forest systems increase available water and aeration in soils of the Brazilian savannah*. <https://doi.org/10.17170/KOBRA-202311028941>
- Mendes, D. V., Rocha, F. R. T., Ramos, J. G., Viana, M. M., Ferreira, M. A. S., De Souza, V. G., & Da Silva, R. M. (2024). *Tecnologias e práticas intensivas rumo a uma produção eficiente e sustentável*. *Observatório de la Economía Latinoamericana*, 22(5), e4534–e4534. <https://doi.org/10.55905/oelv22n5-049>
- Monteiro, A., Barreto-Mendes, L., Fanchone, A., Morgavi, D. P., Pedreira, B. C., Magalhães, C. A. S., Abdalla, A. L., & Eugène, M. (2024). *Crop-livestock-forestry systems as a strategy for mitigating greenhouse gas emissions and enhancing the sustainability of forage-based livestock systems in the Amazon biome*. *Science of the Total Environment*, 906, 167396. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167396>
- Musumba, M., Grabowski, P., Palm, C., & Snapp, S. (2017). *Guide for the sustainable intensification assessment framework*. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3906994>
- Oliveira, D. M. S., Santos, R. S., Chizzotti, F. H. M., Bretas, I. L., Franco, A. L. C., Lima, R. P., Freitas, D. A. F., Cherubin, M. R., & Cerri, C. E. P. (2024). *Crop, livestock, and forestry integration to reconcile soil health, food production, and climate change mitigation in the Brazilian Cerrado: A review*. *Geoderma Regional*, 37, e00796. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2024.e00796>
- Pendrill, F., Gardner, T. A., Meyfroidt, P., Persson, U. M., Adams, J., Azevedo, T., Bastos Lima, M. G., Baumann, M., Curtis, P. G., De Sy, V., Garrett, R., Godar, J., Goldman, E. D., Hansen, M. C., Heilmayr, R., Herold, M., Kuemmerle, T., Lathuillière, M. J., Ribeiro, V., ... West, C. (2022). *Disentangling the numbers behind agriculture-driven tropical deforestation*. *Science*, 377(6611), eabm9267. <https://doi.org/10.1126/science.abm9267>
- Prudencio, M. F., Freitas, G. D. S., & Soares Filho, C. V. (2022). *New technologies in pasture and grazing management in the face of climate change perspectives*. *Research, Society and Development*, 11(9), e20311931680. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i9.31680>
- Santos, C. O. D., Pinto, A. D. S., Santos, M. P. D., Alves, B. J. R., Neto, M. B. R., & Ferreira, L. G. (2024). *Livestock intensification and environmental sustainability: An analysis based on pasture management scenarios in the Brazilian savanna*. *Journal of Environmental Management*, 355, 120473. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120473>
- Sattler, D., et al. (2017). *Pasture degradation in South East Brazil: Status, drivers and options for sustainable land use under climate change*. In *Climate change adaptation in Latin America: Managing vulnerability, fostering resilience* (pp. 3–17). Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-56946-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-56946-8_1)

Telles, T. S., Filho, J. E. R. V., Righetto, A. J., & Ribeiro, M. R. (2021). *TD 2638 - Desenvolvimento da agricultura de baixo carbono no Brasil. Texto para Discussão*, 1–41. <https://doi.org/10.38116/td2638>

Terra, A. B. C., Florentino, L. A., De Rezende, A. V., & Silva, N. C. D. E. (2019). *Forage legumes in pasture recovery in Brazil. Revista de Ciências Agrárias (Portugal)*, 42(2), 305–313. Sociedade de Ciências Agrárias de Portugal. <https://doi.org/10.19084/rca.16016>

The Royal Society. (2009). *Reaping the benefits: Science and the sustainable intensification of global agriculture*. London, United Kingdom: The Royal Society.

Vieira, D. L. M., Sampaio, A. B., Sano, E. E., Bruziguessi, E. P., Martello, F., Moreira, G. D. L. B., Betiol, G. M., Bringel Jr, J. B. D. A., Pena, J. C. C., Ferreira, L. G., Rodrigues, S. B., Silva, T. R., & Mesquita, V. V. (2021). *Degradação e recuperação de pastagens no Cerrado: Incluindo o Cerrado na equação. Relatório do Projeto CEPF/02-2017/D3/7176-004*. Brasília, 37 p.

Vieira, D. L. M., Sano, E. E., & Silva, T. R. (2022). *A classification of cultivated pastures in the Brazilian Cerrado for sustainable intensification and savanna restoration. Ambio*, 51, 1219–1226. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01646-3>

Weltin, M., Zasada, I., Piorr, A., Debolini, M., Geniaux, G., Moreno Perez, O., Scherer, L., Tudela Marco, L., & Schulp, C. J. E. (2018). *Conceptualising fields of action for sustainable intensification – A systematic literature review and application to regional case studies. Agriculture, Ecosystems & Environment*, 257, 68–80. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.01.023>

# Capítulo I

Capítulo adaptado para o modelo de artigo para a revista *Agriculture, Ecosystems and Environment*

## **Intensificação sustentável em pastagens brasileiras: uma revisão sistemática de indicadores e métricas em diferentes escalas**

### **Sustainable Intensification in Brazilian pastures: A systematic review of indicators and metrics across multiple scales**

Franciele Fath<sup>a</sup>, Daiany Caroline Joner<sup>b</sup>, Fausto Miziara<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás*

<sup>a</sup> *Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás*

<sup>b</sup> *Pesquisadora independente, Bahia, Brasil*

#### **Resumo**

A Intensificação Sustentável (IS) tem se consolidado como uma importante estratégia para aumentar a produtividade agropecuária sem expandir áreas agrícolas, minimizando impactos ambientais e promovendo a sustentabilidade social e econômica. No Brasil, a IS tem grande relevância para a pecuária bovina, dado o já que a maior parte da produção depende de extensas áreas de pastagens, que frequentemente enfrentam problemas de degradação e uso insustentável dos recursos naturais. Este estudo realiza uma revisão sistemática da literatura com o objetivo de identificar os principais indicadores e métricas utilizados para avaliar a IS na pecuária brasileira, explorando suas escalas de aplicação e destacando consensos, divergências e lacunas nas pesquisas. A análise revelou uma predominância de indicadores ambientais e produtivos em escalas locais e macrorregionais, enquanto os indicadores sociais e econômicos são menos representados e frequentemente diluídos em análises de maiores amplitudes geográficas. A escassez de indicadores sociais dificulta a mensuração integrada da IS, evidenciando a necessidade de abordagens mais holísticas e de uma maior diversidade de indicadores para capturar a complexidade da sustentabilidade nos sistemas pecuários. Este estudo contribui para o fortalecimento do conceito de IS, oferecendo subsídios para a formulação de políticas públicas e estratégias de manejo mais equilibradas e sustentáveis.

**Palavras-chave:** sustentabilidade agropecuária, indicadores de intensificação, pastagens, métricas ambientais, escalas de aplicação, sistemas sustentáveis.

#### **Abstract**

Sustainable intensification (SI) has emerged as an important strategy to increase agricultural productivity without expanding farmland, while minimizing environmental impacts and promoting social and economic sustainability. In Brazil, SI is particularly relevant to cattle ranching, as most of the country's beef production relies on extensive pasture areas, which often face degradation and unsustainable use of natural resources. This study conducts a systematic literature review aiming to identify the main indicators and metrics used to assess SI in Brazilian livestock systems, examining their scales of application and highlighting key areas of consensus, divergence, and research gaps. The analysis revealed a predominance of environmental and productive indicators at local and macro-regional scales, whereas social and economic indicators are less represented and often diluted in broader geographic analyses. The lack of robust social indicators hinders the integrated assessment of SI, underscoring the need for more holistic approaches and a greater diversity of metrics to capture the complexity of sustainability in livestock systems. This study contributes to strengthening the conceptual basis of SI, offering insights to support the development of more balanced and sustainable public policies and management strategies.

**Keywords:** Sustainable intensification, Livestock systems, Pasture, Sustainability indicators, Environmental impact, Public policies.

## **1. Introdução**

A Intensificação Sustentável (IS) tem se consolidado como uma estratégia para solucionar os desafios

globais de aumento da produção agropecuária sem expandir as fronteiras agrícolas, buscando ao mesmo tempo minimizar os impactos ambientais (Conway and Waage, 2010; Garnett et al., 2013; Pretty, 2008; The Royal Society, 2009; United Nations General Assembly, 2015). Esse conceito surgiu da necessidade de equilibrar a segurança alimentar com a conservação dos ecossistemas e vem se fortificando diante de pressões como as mudanças climáticas, a degradação de pastagens e a crescente demanda por alimentos (Godfray and Garnett, 2014; Montpellier Panel, 2013).

Em regiões tropicais como na América Latina, onde as taxas de desmatamento e perda de biodiversidade são altas (Gibbs et al., 2010; Laura Kehoe et al., 2017) e a subnutrição ainda persiste (FAO et al., 2024), a IS torna-se uma estratégia para reverter essas tendências. No Brasil, em 2023, a pecuária ocupava 164 milhões de hectares de pastagens (Projeto MapBiomas, 2025), a IS tem-se buscado promover por meio de políticas e práticas voltadas à recuperação de pastagens degradadas, à implementação de sistemas integrados e ao manejo sustentável do solo e da água (Brasil, 2009).

Entretanto, a IS reconhece que não existe uma solução única para todos os contextos e suas abordagens devem ser adaptadas às condições locais, sistemas agrícolas, preferências culturais, instituições e políticas (Campbell et al., 2014; Tiftonell, 2014). Além disso, a adoção da IS na pecuária tem se concentrado principalmente em aspectos produtivos e ambientais, enquanto aspectos sociais ficam em segundo plano (Loos et al., 2014; Weltin et al., 2018).

Embora a IS não determine métodos específicos, ela enfatiza princípios e objetivos que devem guiar a escolha de práticas e tecnologias (Garnett et al., 2013; Musumba et al., 2017; Pretty et al., 2011; Wezel et al., 2015). Em muitos casos, as abordagens adotadas criam uma ilusão de transformação, focando mais na melhoria da imagem das práticas do que em mudanças substantivas que realmente promovem a sustentabilidade e atendam aos princípios da IS (Giller et al., 2015; Petersen and Snapp, 2015). A falta de uma compreensão clara sobre o que constitui a IS dificulta a definição de práticas que atendem aos seus princípios (Mahon et al., 2017). Por isso, a importância de identificar a estrutura dos indicadores de IS para compreender qual direção está sendo escolhida para a sustentabilidade da pecuária.

Diante desse cenário, o objetivo deste artigo é realizar uma revisão sistemática da literatura sobre o uso da IS em sistemas pecuários baseados em pastagem plantadas no Brasil. A análise visa identificar os principais indicadores e métricas utilizados, compreender as variações nas escalas de aplicação e destacar consensos e divergências na literatura. Além disso, busca-se identificar lacunas na pesquisa, especialmente no que se refere a indicadores pouco explorados ou ausentes. Este estudo é um passo inicial para entender as abordagens de IS por meio dos indicadores e métricas utilizados, essenciais para o desenvolvimento de políticas públicas e estratégias de manejo que promovam a sustentabilidade ambiental, econômica e social.

## **2. Conceitos e definições da Intensificação Sustentável da pesquisa**

A IS possui diversas abordagens que complementam seu conceito, refletindo diferentes interpretações e estratégias aplicadas. Para alguns autores, a IS deve basear-se em domínios fundamentais como eficiência produtiva, conservação ambiental, viabilidade econômica e equidade social (Garnett et al., 2013; Tilman et

al., 2011). Outros autores ressaltam a importância de integrar aspectos técnicos e sociais para promover sistemas agrícolas sustentáveis (Pretty, 2008). Diretrizes internacionais, como as estabelecidas pela FAO (2024) por meio do framework SAFA, propõem que os sistemas agrícolas devem ser estruturados a partir de princípios fundamentais distribuídos em quatro dimensões principais: Boa Governança, Integridade Ambiental, Resiliência Econômica e Bem-Estar Social.

Além disso, há um movimento em direção ao desenvolvimento de indicadores de IS compostos para cada domínio da sustentabilidade, fornecendo transparência e parcimônia na identificação de mudanças e desempenho dos sistemas agrícolas (Musumba et al., 2017). De forma semelhante, outros autores propõem frameworks específicos para uma análise integrada e multidimensional, capaz de capturar a complexidade inerente à implementação da IS, incluindo dimensões como bem-estar humano, segurança alimentar, qualidade de governança, equidade de gênero e resiliência dos sistemas produtivos (Smith et al., 2017).

No contexto desta pesquisa, os indicadores da IS são organizados em quatro domínios principais: Ambiental, Econômico, Produtividade e Social. Essa divisão, embora funcional, é uma simplificação diante da diversidade de abordagens existentes na literatura.

Devido as múltiplas interpretações da IS, frequentemente os conceitos se sobrepõem a outros relacionados (Fraanje et al., 2018; Wezel et al., 2015). A IS está intimamente relacionada a conceitos como agroecologia, agricultura climaticamente inteligente e intensificação ecológica (Fraanje et al., 2018), cujas fronteiras nem sempre são bem definidas. Por esse motivo, incluímos na pesquisa, além do termo IS, conceitos relacionados, ampliando a análise para capturar diferentes interpretações e práticas associadas à IS. Essas abordagens, embora distintas, compartilham objetivos comuns, permitindo uma avaliação mais integrada dos sistemas pecuários no Brasil.

## Quadro Conceitual

### Conceitos relacionados a IS utilizados na pesquisa.

**Intensificação Agroecológica** (*Agroecological Intensification*): Enfatiza processos ecológicos para aumentar a produtividade, promovendo a regeneração ambiental e a diversificação de sistemas produtivos (Wezel et al., 2015).

**Agroecologia** (*Agroecology*): Prioriza a interação entre ecossistemas agrícolas e naturais, focando na sustentabilidade de longo prazo e na equidade social (Altieri, 2002).

**Agricultura Climaticamente Inteligente** (*Climate-Smart Agriculture - CSA*): Visa aumentar a resiliência dos sistemas agropecuários às mudanças climáticas, promovendo práticas de mitigação e adaptação (FAO, 2013).

**Agricultura Ecoeficiente** (*Eco-Efficient Agriculture*): Foca na otimização do uso de recursos naturais e na redução de impactos ambientais, maximizando a eficiência produtiva (Pretty et al., 2011).

**Intensificação Ecológica** (*Ecological Intensification*): Propõe o redesenho dos sistemas agrícolas para melhorar a produtividade com base em processos ecológicos (Tiftonell, 2014).

**Agricultura Regenerativa** (*Regenerative Agriculture*): Busca restaurar a saúde do solo, a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos através de práticas agrícolas sustentáveis (Gosnell et al., 2020).

**Agricultura Inteligente** (*Smart Agriculture*): Integra tecnologias avançadas para monitorar e melhorar a eficiência dos sistemas produtivos, promovendo uma gestão agrícola mais precisa e sustentável (Hunt et al., 2019).

**Intensificação Sustentável** (*Sustainable Intensification*): Mantém o princípio central de aumentar a produtividade sem expandir áreas agrícolas, minimizando impactos ambientais e sociais (Garnett & Godfray, 2012).

### 3. Estratégia de revisão sistemática da literatura

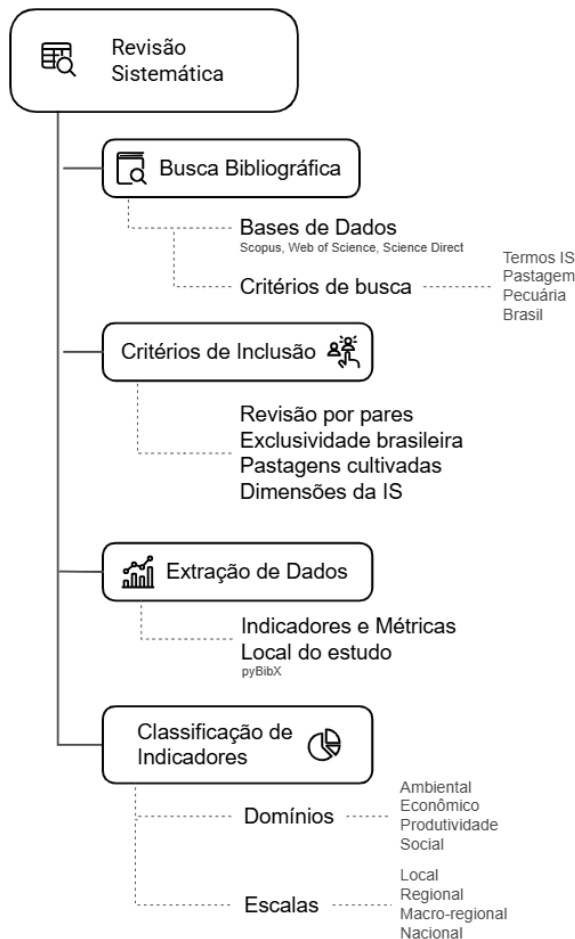
A revisão sistemática foi conduzida para compilar publicações sobre IS em sistemas agropecuários voltados à pecuária bovina no Brasil, com foco em pastagens cultivadas. A busca bibliográfica considerou variações de termos relacionados ao conceito de IS, abrangendo um conjunto amplo de descritores. As buscas foram conduzidas nas bases de dados Scopus, Web of Science e Science Direct, limitando-se a publicações revisadas por pares até o dia 27 agosto de 2024.

Os critérios de busca incluíram: (i) termos relacionados à IS (e.g., *Agroecological Intensification*, *Agroecology*, *Climate-Smart*, *Climate-Smart Agriculture*, *Eco-Efficient*, *Ecological Intensification*, *Regenerative Agriculture*, *Smart Agriculture*, *Sustainable Intensification*); (ii) termos associados a pastagens (e.g., *pastures*, *rangeland*); (iii) termos ligados à pecuária bovina (e.g., *livestock*, *cattle*); e (iv) limitação geográfica ao Brasil (CU = Brazil). Os termos foram aplicados em inglês e português nos campos de título, resumo e palavras-chave. Trabalhos não revisados por pares, como resumos de conferências, capítulos de livros, dissertações e teses, foram excluídos.

As informações bibliográficas foram compiladas em formato .bib, com duplicatas removidas e variáveis de interesse selecionadas utilizando a biblioteca pyBibX (Pereira et al., 2025) no Google Colaboratory. Em seguida, procedeu-se à verificação manual para correção de inconsistências. A busca inicial identificou 82 publicações.

Em seguida, aplicaram-se os seguintes critérios de inclusão: (i) estudos conduzidos exclusivamente

no Brasil; (ii) focados em sistemas pecuários baseados em pastagens cultivadas, excluindo sistemas com pastagens naturais e; (iii) e que abordassem explicitamente aspectos produtivos, ambientais, sociais e/ou econômicos relacionados a IS. Estudos centrados exclusivamente em abordagens metodológicas ou técnicas específicas, sem explorar diretamente os aspectos mencionados, foram excluídos. Após essa triagem, 58 publicações foram selecionadas, das quais 47 eram estudos experimentais e 11 revisões. A **Figura 1** ilustra o fluxo metodológico adotado, desde a busca inicial até a seleção final das publicações incluídas na análise.



**Figura 1.** Fluxograma ilustrando as etapas sequenciais e os critérios de seleção para a realização da revisão sistemática sobre indicadores e métricas relacionados à Intensificação Sustentável em sistemas pecuários baseados em pastagens no Brasil.

A extração das informações incluiu a identificação dos indicadores e métricas empregadas na avaliação dos sistemas pecuários, com base nas seções de resumo e metodologia dos artigos. A distinção entre esses conceitos seguiu a definição proposta por Smith et al. (2017), na qual um indicador representa um conceito ou qualidade essencial associada à IS, enquanto a métrica corresponde a uma propriedade mensurável relacionada a esse indicador. Por exemplo, "qualidade do solo" foi considerada um indicador, podendo ser mensurada por métricas como teor de carbono orgânico, densidade do solo e pH. Os indicadores foram então classificados em quatro domínios representando os pilares da IS: ambiental, econômico, produtividade e social.

As publicações também foram categorizadas de acordo com a escala geográfica do estudo, considerando quatro níveis descritos na **Tabela 1**.

**Tabela 1.** Classificação dos estudos segundo a escala geográfica de abrangência. Os estudos foram categorizados conforme a escala espacial considerada na pesquisa, variando desde investigações locais em propriedades específicas até abordagens de abrangência nacional.

Escala	Critério de Classificação
Local	Estudos conduzidos em uma única propriedade (fazenda, sítio ou estação experimental), geralmente dentro de um único município.
Regional	Estudos que abrangem múltiplas propriedades em diferentes municípios dentro de um mesmo estado ou regiões vizinhas, incluindo bacias hidrográficas regionais.
Macro-regional	Estudos que cobrem um estado inteiro, biomas completos ou regiões compostas por mais de um estado, como a região Centro-Oeste do Brasil.
Nacional	Estudos de abrangência nacional, considerando todos os biomas brasileiros.

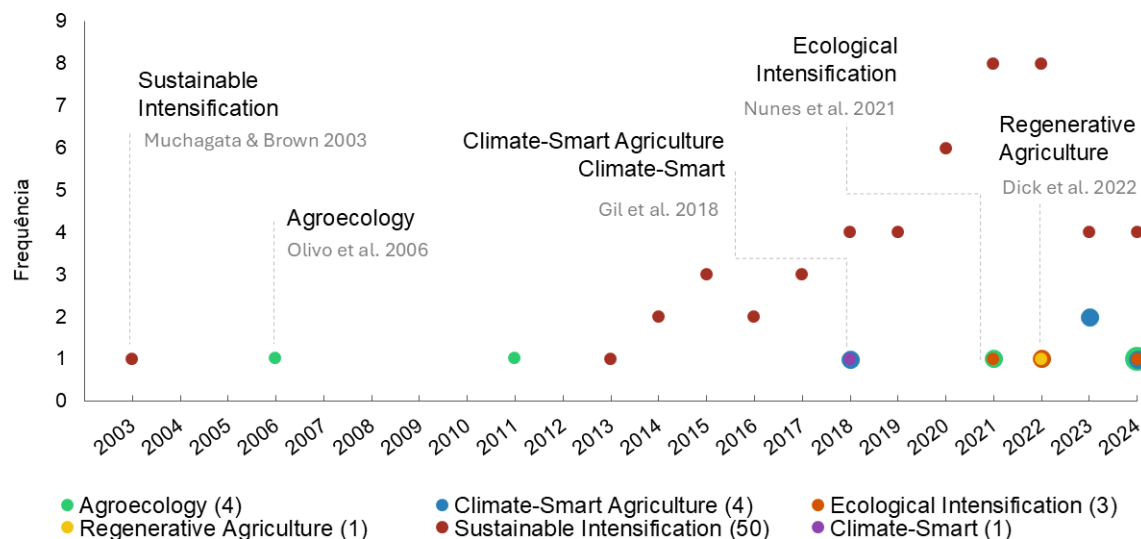
Alguns casos exigiram tratamentos específicos. O artigo de Vieira Junior et al. (2022), que utilizou o termo *Sustainably Intensify*, considerado sinônimo de *Sustainable Intensification*, foi incluído na análise. Publicações de revisão sistemática, como Cardoso et al. (2020), foram classificadas como escala nacional quando abrangiam dados de múltiplos estados e biomas.

Estudos com coleta de dados em múltiplos municípios de diferentes estados foram classificados como macrorregional. Isso ocorreu, por exemplo, em Mato Grosso, onde a sobreposição dos biomas Pantanal, Cerrado e Amazônia dificulta a categorização exata (D'Aurea et al., 2021).

Para publicações de revisão, foram considerados os indicadores e métricas abordados na pesquisa, mesmo que não tenham sido mensurados diretamente pelos autores.

#### **4. Indicadores e métricas da IS: Quais são mais utilizados?**

As 58 publicações selecionadas não abrangeram os termos *Agroecological Intensification* e *Eco-Efficient*. Entre as menções aos termos relacionados à IS, 86% dos registros referem-se ao termo *Sustainable Intensification* (**Figura 2**). Para o Brasil, o primeiro registro de IS voltado para a pesquisa em sistemas agropecuárias baseados em pastagens ocorreu no ano de 2003 (Muchagata and Brown, 2003). Desde então, o número de publicações tem aumentado, incorporando novos termos relacionados às mudanças climáticas (Gil et al., 2018), ecologia e agricultura regenerativa (De Albuquerque Nunes et al., 2021; Dick et al., 2022).



**Figura 2.** Frequência de registros dos termos relacionados a IS em relação ao ano da publicação. Os valores entre parênteses na legenda correspondem a frequência total que o termo foi identificado. Os nomes dos termos dentro do gráfico, correspondem ao primeiro registro encontrado para o termo na literatura científica e a identificação do autor. Os termos "Agroecological Intensification" e "Eco-Efficient" não foram encontrados nas buscas.

Para avaliar a diversidade de perspectivas na revisão, as publicações foram analisadas de duas formas: comparando cada publicação individualmente com as demais para identificar a recorrência de autores e, em seguida, comparando todas as publicações entre si. Duas publicações foram consideradas do mesmo grupo de autores quando compartilhavam pelo menos dois autores em comum, ou um autor, no caso de publicações com até dois autores. Como resultado, 51,72% das publicações compartilham autores em comum, ou seja, possuem sobreposição de autoria entre elas. No entanto, ao comparar todas as publicações entre si, apenas 3,02% das comparações apresentaram autores em comum, indicando que as comparações entre publicações não revelaram tantas relações de autoria quanto a análise individual das publicações.

Os indicadores de IS classificados em quatro domínios seguem apresentados nas seções seguintes, acompanhados das métricas mais recorrentes na literatura. A seleção das métricas baseou-se no número de publicações que abordaram cada indicador, enquanto o número de métricas registradas por indicador e as menções em diferentes escalas são apresentados para análise e comparação. Essa abordagem permite destacar indicadores amplamente utilizados, mesmo quando associados a um número reduzido de métricas, e diferenciar aqueles com maior variedade de métricas, mas menor frequência de menções.

#### 4.1 Indicadores Ambientais

Foram identificados 26 indicadores ambientais, abrangendo uma variedade de aspectos relacionados à sustentabilidade da produção pecuária (**Tabela 2**). Esses indicadores foram abordados em 78% dos artigos revisados, destacando sua relevância para a IS.

**Tabela 2.** Indicadores ambientais mais relevantes, com o número de métricas associadas, o número de publicações que as citam e a escala de aplicação (Local - L, Regional - R, Macrorregional - MR, Nacional - N). Vale ressaltar que uma única publicação pode citar múltiplas métricas para um mesmo indicador, o que explica por que o número total de citações pode exceder o número de métricas ou publicações.

Indicador	Nº Métricas	Nº de publicações	Citações por Escala			
			L	R	MR	N

Emissões de GEE	22	22	8	2	12	5	
Qualidade do solo	20	12	16		8	1	
Sequestro de carbono	12	9	4	1	7		
Conversão de habitat nativo	9	8	1		8		
Eficiência hídrica	6	6	3	1	1	1	
Estoque de carbono	4	6	2		4		
Biodiversidade	7	4	2		5		
Eficiência de uso da terra	5	4		2	1	4	
Produtividade da Pastagem	4	4	3		1		
Qualidade da pastagem	4	4	2		2		
Manejo da Pastagem	5	3	1		4		
Demanda por terras agrícolas	4	3	1		3		
Ciclagem de nutrientes	4	3	3	1			
Carga de energia fóssil	1	3		2	1		
Restauração e Preservação de habitats	3	2	3				
Economia de terra	2	2	1			1	
Regeneração/Recuperação da vegetação nativa	8	1			8		
Poluente atmosférico	3	1			3		
Eutrofização	2	1			2		
Redução de insumos	2	1	2				
Eficiência do sistema de produção	1	1			1		
Esgotamento de Recursos Minerais	1	1			1		
Impacto tóxico	1	1			1		
Conservação ambiental da propriedade	1	1		1			
Fragmentação Florestal e conectividade	1	1	1				
Resiliência do sistema de pastagem	1	1	1				
			<i>Total</i>	54	10	73	12

As **Emissões de GEE** é o indicador ambiental mais explorado nos estudos, que pode estar associado a crescente preocupação com as mudanças climáticas, necessidade de adequação às políticas públicas voltadas à mitigação de impactos ambientais e exigência do mercado por práticas de produção mais sustentável. Esse indicador é avaliado em diferentes escalas, com métricas que permitem comparar sistemas, regiões e práticas de manejo. As emissões são frequentemente reportadas em termos absolutos ou relativos, como equivalentes de CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>eq) por área, por animal, peso vivo ganho (LWG) ou unidade de produto, como peso de carcaça (HDP) (Bieluczyk et al., 2024; Monteiro et al., 2020; Portugal et al., 2023). Enquanto a maioria dos estudos concentra-se na mensuração de um único gás, como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), uma parte menor aborda as emissões de forma integrada, considerando os três principais GEE: CO<sub>2</sub>, metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) (De Oliveira Silva et al., 2015a; Dick et al., 2015; Glatzle et al., 2024; Marques Moura et al., 2023).

O segundo indicador ambiental amplamente utilizado pela literatura é a **Qualidade do Solo**. Avaliado principalmente em escala local devido à necessidade de medições diretas e análises de campo. A literatura adota uma abordagem multifacetada, combinando análises químicas, biológicas e físicas. Métricas como o estoque de carbono (C) e a qualidade da matéria orgânica do solo (MOS) são amplamente utilizadas para comparar sistemas integrados e práticas de Agricultura Inteligente para o Clima (*Climate-Smart Agriculture*) (Do Carmo et al., 2024; Oliveira et al., 2023; Tadini et al., 2021).

Métricas que avaliam comunidades bacterianas e de nematoides também foram registradas na literatura avaliando a biodiversidade em sistemas integrados (De Moraes et al., 2014; Do Carmo et al., 2024; Schmitt et al., 2021). Além disso, aspectos físicos, como densidade, textura e umidade do solo, estão entre as métricas mais recorrentes (Castelo Branco Brasileiro-Assing et al., 2021; De Moraes et al., 2014; Glatzle et al., 2021; Latawiec et al., 2014; Marques Moura et al., 2023; Oliveira et al., 2023; Peterson et al., 2020; Schmitt et al., 2021).

O *Sequestro de Carbono*, comumente avaliado em escalas macrorregionais e locais, especialmente em sistemas de pastagens e integrados (Integração Lavoura-Pecuária - ILP ou Integração Lavoura-Pecuária-Floresta - ILPF) é um indicador de IS comumente sugerido pela literatura. Esse indicador é mensurado por diferentes métricas, como o aumento da biomassa em áreas restauradas (Garcia et al., 2017) ou o uso de modelos preditivos, como o CENTURY, para avaliar a dinâmica do carbono no solo (De Oliveira Silva et al., 2015a; Dick et al., 2015; Mazzetto et al., 2015). Em relação a práticas de manejo em pastagens degradadas, as métricas são frequentemente expressas em unidades como megagramas de carbono por hectare por ano ( $\text{Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) ou equivalentes de  $\text{CO}_2$  ( $\text{CO}_2\text{eq}$ ).

A *Conversão de Habitat Nativo* é associada ao desmatamento, sendo um indicador importante para avaliar os impactos da expansão de pastagens sobre ecossistemas naturais. Predominantemente analisado em escalas macrorregionais, esse indicador é mensurado por métricas que utilizam dados de sensoriamento remoto e compõem modelos que estimam mudanças no uso da terra, desmatamento, perda de carbono da vegetação natural e a expansão agropecuária (De Oliveira Silva et al., 2021; Dick et al., 2021; Muchagata and Brown, 2003; Silveira et al., 2022; Skidmore et al., 2022). Por exemplo, no estudo de Silva et al. (2015b), mapas de uso e cobertura do solo foram utilizados para quantificar áreas desmatadas e a conversão para agropecuária, destacando os impactos cumulativos dessas mudanças.

#### 4.2 Indicadores Econômicos

Os principais indicadores econômicos da IS identificados na literatura abrangem nove categorias, cada uma com métricas específicas, e estão relacionados à eficiência, desempenho, custos e benefícios, além da resiliência econômica (**Tabela 3**). Esses indicadores foram abordados em apenas 38% dos artigos revisados, o que pode ocorrer principalmente pela menor disponibilidade de dados econômicos, como informações financeiras das fazendas que não são de fácil disponibilização.

**Tabela 3.** Indicadores econômicos com o número de métricas associadas, o número de publicações que as citam e a escala de aplicação (Local - L, Regional - R, Macrorregional - MR, Nacional - N). Vale ressaltar que uma única publicação pode citar múltiplas métricas para um mesmo indicador, o que explica por que o número total de citações pode exceder o número de métricas ou publicações.

Indicador	Nº Métricas	Nº de publicações	Nº de citações por escala			
			L	R	MR	N
Eficiência Econômica	13	11	7	1	4	1
Desempenho Econômico	11	8	4		6	1
Custos e Benefícios	7	7	3	1	4	
Sustentabilidade Econômica	4	3	1		1	2

Receita Agrícola	3	2	3		
Diversificação de Atividades Produtivas	1	1		1	
Eficiência do uso da terra	1			1	
Infraestrutura da Cadeia Produtiva	1	1		1	
Resiliência Econômica				1	
		<i>Total</i>	19	5	15
				4	

A *Eficiência Econômica* é o indicador econômico mais frequente na literatura, sendo aplicado em todas as escalas para comparar sistemas de produção, como extensivos *versus* intensivos de pecuária ou, monocultura *versus* ILP. Esses estudos buscam identificar sistemas mais rentáveis e sustentáveis (Castelo Branco Brasileiro-Assing et al., 2021; De Albuquerque Nunes et al., 2021; De Moraes et al., 2014; Gil et al., 2018) ou avaliar estratégias de intensificação, analisando o retorno financeiro em relação a custos e receitas (De Oliveira Silva et al., 2018; Euclides et al., 2022; Garcia et al., 2017; Muchagata and Brown, 2003).

A métrica mais comum é o lucro líquido (USD/ha ou R\$/ha) de práticas como fertilização de pastagens e ILP (De Albuquerque Nunes et al., 2021; Euclides et al., 2022). Outras métricas incluem o retorno econômico anual, que incorpora lucratividade e resiliência climática (Gil et al., 2018; Muchagata and Brown, 2003), e o retorno econômico anual, utilizado em diferentes sistemas agrícolas (De Moraes et al., 2014; Peterson et al., 2020). Estudos locais tendem a usar R\$/ha, enquanto análises regionais ou internacionais preferem USD/ha, facilitando comparações. Além dessas unidades, algumas análises incorporam indicadores específicos, como a redução de emissões de CO<sub>2</sub> (R\$/tonelada) em cenários de mitigação (De Oliveira Silva et al., 2015b) ou a rentabilidade relativa (USD/ha) para comparar eficiência entre cultivos e pecuária (Sparovek et al., 2018).

O *Desempenho Econômico* é um indicador que abrange desde métricas relacionadas a mensuração do valor bruto da produção até a rentabilidade e o acesso a crédito, avaliados em escalas locais e regionais (Skidmore et al. 2022; Szymczak et al. 2020; Silva, R. et al. 2017). Os estudos sobre esse indicador geralmente avaliam a viabilidade econômica de práticas agrícolas, considerando a eficiência de sistemas produtivos, as relações entre intensificação, uso da terra e exportação de carne, além de estratégias como restauração de pastagens e redução do desmatamento (De Oliveira Silva et al., 2021; Skidmore et al., 2022; Sparovek et al., 2018). A análise de custos, receitas e preços de mercado é comum, destacando o desempenho econômico das práticas agropecuárias em termos de lucros, valores agregados, retorno de investimentos e impacto no comércio internacional (Castelo Branco Brasileiro-Assing et al., 2021; De Oliveira Silva et al., 2021, 2017, 2017; Szymczak et al., 2020).

Assim como o indicador Desempenho Econômico, o indicador *Custos e Benefícios* está presente em estudos locais e macrorregionais, sendo analisado por meio de métricas quantitativas que avaliam a relação entre os custos e os retornos econômicos associados à adoção de diferentes práticas produtivas. Essas métricas incluem a aplicação de insumos, a transição para sistemas de produção mais sustentáveis e os custos totais de produção (Euclides et al., 2022; Garcia et al., 2017; Muchagata and Brown, 2003). Além disso, fatores contextuais, como o tamanho da propriedade, são considerados na análise, uma vez que influenciam diretamente os custos de produção (Gil et al., 2016a). Dentre as métricas destaca-se a restauração de

pastagens, que avalia os custos de recuperação de áreas degradadas e seus benefícios em termos de produtividade e sustentabilidade (De Oliveira Silva et al., 2018, 2015a). Esse indicador é expresso em valores monetários absolutos, como dólares (USD) ou reais (R\$), e em relação a unidades de área ou produção, como custo por hectare (USD/ha, R\$/ha) ou por quilograma produzido (kg).

### 4.3 Indicadores de Produtividade

Na literatura que avalia a IS, os indicadores de produtividade são os mais comumente utilizados, estando presentes em 82% das publicações analisadas (**Tabela 4**), o que pode ocorrer porque refletem diretamente o desempenho dos sistemas agropecuários, evidenciando a viabilidade econômica e ambiental da produção. Esses indicadores abordam aspectos como a eficiência da produção animal, a produtividade das pastagens, a estrutura forrageira e a capacidade de suporte dos sistemas.

**Tabela 4.** Indicadores de produtividade com o número de métricas associadas, o número de publicações que as citam e a escala de aplicação (Local - L, Regional - R, Macrorregional - MR, Nacional - N). Vale ressaltar que uma única publicação pode citar múltiplas métricas para um mesmo indicador, o que explica por que o número total de citações pode exceder o número de métricas ou publicações.

Indicador	Nº Métricas	Nº de publicações	Nº de citações por escala			
			L	R	MR	N
Produtividade Zootécnica	28	33	31	5	11	6
Produtividade da Pastagem	21	31	39		7	9
Estrutura da Pastagem	6	14	14			3
Capacidade de carga	3	21	11	2	6	2
Qualidade Nutricional das Pastagens	3	10	15			1
Demanda por terras agrícolas	2	2			1	1
Eficiência de Produção de Grãos	2	6	4		2	
Eficiência de conversão	1	1	1			
Eficiência energética relativa	1	1				1
		<i>Total</i>	115	7	27	23

O indicador *Produtividade Zootécnica* é amplamente utilizado para avaliar o desempenho dos animais em sistemas produtivos, com foco na eficiência da produção em relação aos recursos disponíveis, maximizando a produção animal, reduzindo simultaneamente impactos ambientais. A métrica mais comum é o ganho médio diário (ADG, sigla em inglês), que mede o ganho de peso dos animais por dia ou por área, refletindo o desempenho individual dos animais ao longo do período experimental (Cavazzana et al., 2023; Euclides et al., 2022; Garcia et al., 2017).

Outras métricas incluem a produção de carne digerível, peso vivo (LW), idade de abate e produção de leite, geralmente expressas em unidades como kg/animal/dia ou kg/animal/ha. Essas métricas são utilizadas para investigar o impacto de estratégias de manejo, como suplementação alimentar, tipos de pastagem e sistemas de integração lavoura-pecuária (De Carvalho et al., 2019a; Euclides et al., 2022), a eficiência no uso de recursos naturais, como água e nutrientes (Cavazzana et al., 2023), e a influência de práticas como fertilização e controle de pragas na produtividade zootécnica (Garcia et al., 2017).

A maioria dos estudos é conduzida em escala local, com experimentos em unidades de pesquisa ou

fazendas experimentais, mas alguns extrapolam os dados para simular cenários regionais ou nacionais (Cavazzana et al., 2023; Garcia et al., 2017).

A **Produtividade da Pastagem** é mensurada pela quantidade e qualidade da biomassa produzida ao longo do tempo, considerando a matéria seca disponível, a taxa de acúmulo e o aproveitamento pelo pastejo. As métricas mais utilizadas incluem a produção de massa seca (kg MS/ha), a taxa de acúmulo diário de biomassa (kg MS/ha/dia) e o índice de área foliar (Bieluczyk et al., 2024; Cardoso et al., 2020; Gomes et al., 2020). Essas métricas são aplicadas para avaliar práticas de manejo, como adubação e rotação de pastagens, e a influência de fatores climáticos na produção forrageira (De Carvalho et al., 2019a; Garcia et al., 2017).

A maioria dos estudos que abordam esse indicador são realizadas em escala local, com dados obtidos em parcelas de campo delimitadas e controladas. No entanto, alguns resultados são extrapolados para escalas regionais, principalmente para estimar a capacidade produtiva de sistemas de pastagem em condições semelhantes (Cavazzana et al., 2023; Garcia et al., 2017). Os artigos que investigam esse indicador focam principalmente em práticas de manejo (Carvalho et al., 2019; Euclides et al., 2022), na influência de fatores climáticos (Garcia et al., 2017) e na eficiência do uso da terra em sistemas integrados para produção forrageira ou de biomassa vegetal (Cavazzana et al., 2023; Garcia et al., 2017).

As métricas mais comuns para o indicador **Estrutura da Pastagem** incluem a altura do dossel forrageiro (cm) e a densidade de folhas (%), que monitoram o impacto do manejo no perfil estrutural da pastagem (Bieluczyk et al., 2024; Cardoso et al., 2020; Euclides et al., 2022; Freiberg et al., 2020; Gomes et al., 2020; Nunes et al., 2019; Olivo et al., 2006; Schmitt et al., 2021). Essas métricas são utilizadas para avaliar o acesso dos animais à forragem e sua eficiência alimentar, com foco em práticas como fertilização e frequência de pastejo. A maioria dos trabalhos é realizada em escala local, com experimentos em áreas delimitadas e controladas, permitindo o monitoramento detalhado das mudanças na estrutura da pastagem em resposta ao manejo e às condições ambientais. Outras métricas também foram registradas para esse indicador.

A **Capacidade de Carga** é um dos indicadores de produtividade mais populares na literatura e mede a sustentabilidade do uso do solo, prevenindo a degradação das pastagens. Esse indicador é utilizado para investigar a intensidade de pastejo, a rotação de pastagens e a eficiência do uso de recursos (De Carvalho et al., 2019a; Euclides et al., 2022; Garcia et al., 2017). O indicador é mensurado pela métrica taxa de lotação (kg de peso vivo/ha ou unidade animal/ha), que avalia a relação entre o peso total ou unidade de animais e a área de pastagem. Em casos específicos, valores máximos e mínimos dessa taxa também foram apresentados (De Carvalho et al., 2019a). A maioria dos estudos é realizada em escala local, com experimentos em áreas delimitadas e controladas, mas alguns dados são extrapolados para estimar a capacidade de carga em escalas regionais (Cavazzana et al., 2023; Euclides et al., 2022).

A **Qualidade Nutricional das Pastagens** é avaliada por métricas que medem o valor nutritivo da forragem por meio de suas composições bioquímicas, como a proteína bruta (PB), a fibra em detergente neutro (FDN) e a fibra em detergente ácido (FDA), geralmente expressas em porcentagem da matéria seca (% MS) (Da Silva et al., 2020; De Carvalho et al., 2019a; De Souza Filho et al., 2019; Euclides et al., 2022;

Gomes et al., 2022; Leal et al., 2024; Meinerz et al., 2011; Olivo et al., 2006).

As métricas que avaliam a qualidade nutricional das pastagens estão associadas à investigação de práticas sustentáveis, como adubação orgânica, irrigação e rotação de pastagens, que maximizam a qualidade da forragem sem comprometer a sustentabilidade ambiental (De Carvalho et al., 2019a; Garcia et al., 2017). Além disso, essas métricas são utilizadas para analisar a influência de fatores climáticos e sazonais e a relação entre a qualidade nutricional da forragem e o desempenho animal, incluindo ganho de peso e produtividade zootécnica.

A maioria dos estudos são realizadas em escala local, frequentemente em experimentos conduzidos em estações de pesquisa ou áreas de pastagem controladas. As métricas compartilham metodologias laboratoriais padronizadas, como a técnica de digestibilidade *in vitro* (DIV) e análises químicas para determinação de PB, FDN e FDA (Euclides et al., 2022; Garcia et al., 2017). Em alguns casos, os resultados são extrapolados para escalas regionais ou aplicados em modelos de simulação para prever a qualidade nutricional em sistemas extensivos (Cavazzana et al., 2023; Euclides et al., 2022).

#### 4.4 Indicadores Sociais

Por último, ao avaliar Indicadores Sociais, observou-se que eles foram os menos frequentes nos estudos incluídos nessa pesquisa, representando apenas 15%, possivelmente pelo fato desses indicadores serem mais subjetivos, complexos de quantificar e de difícil obtenção. Além disso, a dimensão social, apesar de essencial, muitas vezes não recebe a mesma atenção, pois seus benefícios são menos perceptíveis à curto prazo. Esses indicadores avaliam o impacto da IS nas comunidades rurais, especialmente no que diz respeito ao acesso à informação técnico-científica, à educação formal e à empregabilidade. Esses indicadores são abordados em estudos que exploram os efeitos da IS nas condições de vida e trabalho dos agricultores, além de analisar o papel das práticas sustentáveis no fortalecimento do capital humano e social nas áreas de estudo.

**Tabela 5.** Indicadores sociais com o número de métricas associadas, o número de publicações que as citam e a escala de aplicação (Local - L, Regional - R, Macrorregional - MR, Nacional - N). Vale ressaltar que uma única publicação pode citar múltiplas métricas para um mesmo indicador, o que explica por que o número total de citações pode exceder o número de métricas ou publicações.

Indicador	Nº Métricas	Nº de publicações	Nº de citações por escala			
			L	R	MR	N
Empregabilidade	2	3	1		1	1
Engajamento comunitário	3	2		2		1
Acesso à informação técnico-científica	4	2			1	3
Demografia rural	1	1	1			
Disponibilidade de capital	1	1				1
Educação formal	1	1				1
Impacto social	1	1	14			
Qualidade de vida	1	1	1			
		<i>Total</i>	17	2	2	7

A IS na pecuária pode gerar benefícios sociais, como a criação de empregos e o aumento da renda rural, mas enfrenta desafios como a necessidade de mão de obra qualificada, acesso a recursos financeiros e

infraestrutura adequada. O indicador **Empregabilidade**, medido por métricas que associam o número de trabalhadores ou contratados, ou então, publicações que abordam esse tema, refletem mudanças socioeconômicas associadas à adoção de práticas sustentáveis, especialmente em propriedades que adotam tecnologias (Garcia et al., 2017). Nesse contexto, a assistência técnica e a educação ampliando as oportunidades de trabalho e facilitando a qualificação da mão de obra no setor (Gil et al., 2016a). Aliadas a políticas públicas voltadas à infraestrutura e capacitação da força de trabalho, as práticas sustentáveis de manejo de pastagens podem ainda impulsionar o emprego rural, promovendo uma transição para modelos produtivos mais eficientes (Latawiec et al., 2014).

O **Acesso à informação técnico-científica** é outro indicador importante para avaliar o sucesso da IS, uma vez que a adoção de práticas sustentáveis depende diretamente do acesso a conhecimentos atualizados, o que influencia as decisões dos produtores em relação à implementação de práticas intensivas e sustentáveis. As métricas para mensurar esse acesso incluem o índice de acesso à assistência técnica, o índice de acesso à informação do setor e a presença de fazendas com experimentos da Embrapa (Gil et al., 2016b; Latawiec et al., 2014). A falta de formação técnica em manejo sustentável, como apontado pelos estudos, pode representar um obstáculo significativo para a adoção em larga escala de estratégias sustentáveis, o que reforça a necessidade de capacitação contínua para superar esse desafio (Latawiec et al., 2014).

Por fim, o **Engajamento comunitário** também está entre os indicadores comuns de IS, avaliando a coesão social e a colaboração entre agricultores e suas comunidades, refletindo a disposição dos produtores em adotar práticas sustentáveis e participar de iniciativas coletivas que promovem a conservação ambiental, a melhoria da qualidade de vida e o desenvolvimento econômico regional. A participação em associações ou cooperativas está fortemente relacionada ao apoio à adoção de práticas mais eficientes, incluindo a IS (Cortner et al., 2019), enquanto a presença de membros da família na gestão das propriedades favorece uma tomada de decisão mais integrada e colaborativa, potencializando o sucesso a longo prazo. Além disso, a percepção positiva sobre os benefícios ambientais e sociais das práticas sustentáveis aumenta a disposição dos agricultores em se engajar em iniciativas que promovem a conservação e o uso eficiente da terra (Alves-Pinto et al., 2017).

## 5. Escalas de aplicação dos Indicadores

A distribuição dos indicadores por escalas geográficas reflete a forma como as pesquisas sobre IS são conduzidas. Observa-se uma predominância de indicadores nas escalas local e macrorregional, enquanto as escalas regional e nacional são menos exploradas. Esse padrão reflete fatores metodológicos, estruturais e a natureza dos dados analisados. A Tabela 6 descreve essa distribuição.

**Tabela 6.** Tabela de contingência das frequências observadas para cada combinação de indicador e escala.

<b>Indicador</b>	<b>Local</b>	<b>Regional</b>	<b>Macrorregional</b>	<b>Nacional</b>
Ambiental	54	6	79	12
Econômico	19	5	9	4

Produtividade	110	4	28	23
Social	4	7	2	2

Indicadores locais predominam devido à necessidade de capturar variações em práticas de manejo, eficiência produtiva e impactos ambientais diretos, o que exige medições detalhadas em campo, especialmente em propriedades experimentais. Indicadores como qualidade do solo, manejo de pastagens, produtividade pecuária e emissões de GEE são amplamente utilizadas para monitorar o manejo sustentável em fazendas e unidades produtivas específicas (De Carvalho et al., 2019b; Dick et al., 2015). Além de fornecerem informações detalhadas, esses indicadores alimentam bases de dados que subsidiam análises em escalas mais amplas.

Na escala macrorregional, o foco principal é a avaliação dos impactos ambientais da pecuária em grandes territórios, incluindo mudanças no uso da terra, emissões de GEE e a influência da IS sobre biomas inteiros. A variabilidade climática e as distintas práticas agropecuárias exigem abordagens abrangentes baseadas em dados secundários e modelos para estimar cenários de mitigação desses impactos em biomas como Amazônia, Cerrado e Pampa (De Oliveira Silva et al., 2021; Dick et al., 2021; Oliveira et al., 2023; Silva et al., 2023; Vieira Junior et al., 2022).

As análises regionais tendem a simplificar informações, resultando em médias que diluem particularidades locais. Estudos sobre IS em bacias hidrográficas indicam que essa escala permite identificar áreas prioritárias para a conversão de pastagens em usos mais sustentáveis, como a restauração florestal (Alves-Pinto et al., 2017). Essa abordagem facilita a identificação de padrões de uso da terra replicáveis em contextos semelhantes.

Em nível nacional, as pesquisas enfrentam desafios na coleta de dados devido às limitações de recursos, como tempo, investimento financeiro e estrutura logística, o que restringe a diversidade de métricas aplicáveis. A necessidade de informações sobre diferentes regiões leva ao uso de modelos matemáticos e estatísticos, que permitem análises amplas, mas reduzem a capacidade de captar variações ambientais locais ou regionais. No caso dos indicadores ambientais, as medições diretas de fluxos de GEE nas fazendas alimentam a calibração desses modelos e contribuem para a precisão das estimativas nacionais. Essa relação implica na confiabilidade dos dados usados em políticas de certificação e mercado de carbono, que exigem métricas robustas e representativas das condições reais das propriedades rurais (Bieluczyk et al., 2024).

À medida que a escala aumenta, a especificidade dos indicadores diminui, e há uma transição de estudos experimentais para análises baseadas em modelos. Estudos na Amazônia reforçam que avaliações locais são essenciais para medir a viabilidade econômica e ambiental da IS da pecuária, pois identificam variações que não são perceptíveis em escalas mais amplas (Garcia et al., 2017).

Os indicadores ambientais são mais frequentes nas escalas local e macrorregional, refletindo a aplicação de metodologias de monitoramento e modelagem de dados, como emissões de GEE e conversão de habitat. Indicadores de produtividade e econômicos são predominantemente locais, pois analisam fazendas e setores específicos. No entanto, em escalas maiores, esses indicadores ganham relevância por estarem diretamente relacionados ao planejamento de políticas públicas e à dinâmica dos mercados, sendo

usados para monitorar a produção agropecuária em larga escala, orientar subsídios, investimentos e estratégias de desenvolvimento agrícola.

Os indicadores sociais são os menos explorados e sua distribuição equilibrada entre as escalas dificulta sua aplicação em estudos. Essa limitação deve-se à natureza subjetiva da sustentabilidade social, às diferenças na percepção entre grupos sociais e à escassez de dados (van Calker et al., 2007). Além disso, a dimensão social recebe menos atenção nas avaliações de sustentabilidade em relação aos domínios ambiental, produtivo e econômico, devido à dificuldade de mensuração objetiva e à variabilidade nas percepções das partes interessadas (Lebacqz et al., 2012).

## **6. Consensos e controvérsias na literatura**

A literatura científica apresenta diferentes formas de analisar a IS, com base em variados indicadores e perspectivas. Alguns estudos, como os de Alves-Pinto et al. (2017) e Barbosa et al. (2023), mostram que práticas como o manejo rotacional de pastagens, a integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) e a recuperação de pastagens degradadas aumentam a produtividade e reduzem impactos ambientais, como emissões de gases de efeito estufa e perda de biodiversidade. Esses resultados destacam a importância de usar recursos como solo, água e nutrientes de forma eficiente, promovendo sistemas mais resilientes e sustentáveis.

Outro ponto de consenso é a importância da integração entre agricultura, pecuária e floresta como estratégia de IS. Estudos como os de Carvalho et al. (2018) e Gil et al. (2016a) afirmam que sistemas integrados geram sinergias entre os componentes produtivos, otimizam o uso de recursos naturais, diversificam a produção e aumentam a renda dos produtores. Além disso, contribuem para melhorar a qualidade do solo e das pastagens, indicadores frequentemente usados para avaliar desempenho ambiental e produtivo.

Também há consenso sobre a necessidade de políticas públicas e incentivos econômicos para viabilizar a transição para sistemas de IS. Estudos como os de Cortner et al. (2019) e De Oliveira Silva et al. (2015a) destacam a importância de programas como crédito rural, assistência técnica e pagamento por serviços ambientais. A regulamentação ambiental e uma fiscalização eficaz são apontadas como essenciais para evitar a expansão desordenada da fronteira agrícola, risco potencial associado ao aumento da produtividade.

Por outro lado, existem divergências sobre como definir e medir a sustentabilidade na pecuária. Embora a redução das emissões de GEE por unidade de produto seja um indicador comum, estudos como os de Dick et al. (2021) e Mazzetto et al. (2015) questionam se esse critério é suficiente. Eles argumentam que outros aspectos, como bem-estar animal, preservação da biodiversidade e justiça social, ainda são pouco considerados, revelando lacunas importantes na abordagem atual.

Também há debates sobre os conflitos entre produtividade e conservação ambiental. Latawiec et al. (2014) e Sparovek et al. (2018) alertam que o aumento da produtividade, sem práticas de manejo adequadas, pode causar degradação ambiental, especialmente em biomas sensíveis como a Amazônia e o Cerrado. Além

disso, a intensificação pode aumentar a pressão sobre recursos hídricos e biodiversidade, e favorecer desproporcionalmente grandes produtores, marginalizando pequenos agricultores.

A viabilidade econômica e cultural da IS também enfrenta desafios. Cortner et al. (2019) e Gil et al. (2018) mostram que muitos produtores resistem à adoção dessas práticas devido aos altos custos iniciais, à falta de conhecimento técnico e à preferência por métodos tradicionais. Em algumas regiões, a baixa fertilidade do solo e condições climáticas desfavoráveis tornam ainda mais difícil a implementação da IS.

As divergências também aparecem na forma como os indicadores são utilizados em diferentes áreas. Há consenso sobre a necessidade de otimizar o uso de recursos e reduzir impactos ambientais, mas os aspectos econômicos e sociais ainda carecem de padronização. Indicadores ambientais, como emissões de GEE e qualidade do solo, são amplamente usados, enquanto indicadores sociais — como qualidade de vida e participação comunitária, são menos considerados, o que indica uma valorização menor desses aspectos.

A diversidade de interpretações do conceito de IS também é observada nas variações regionais e nos indicadores envolvidos. No Brasil, a IS é frequentemente associada à recuperação de pastagens degradadas e à integração de sistemas agrícolas e florestais. Enquanto em outras regiões do mundo, como na África, o foco recai sobre a sustentabilidade social, econômica, política e ambiental na produção agropecuária (Ajibade et al., 2023). Na Europa, com longa tradição de políticas agrícolas, as práticas concentram-se na adaptação dos cultivos, uso eficiente de insumos, gestão de resíduos e integração regional para otimizar mercados e implementar medidas agroambientais (Meike Weltin et al., 2018). Essa diferença chama atenção devido a IS brasileira dar menor ênfase na inclusão de aspectos sociais e econômicos, como o bem-estar de produtores, viabilidade econômica a longo prazo e distribuição equitativa dos benefícios da intensificação.

## **7. O que ainda falta explorar?**

As lacunas nos indicadores da IS dizem respeito especialmente às dimensões social e econômica. Como mostrado na Figura 3, a integração entre os quatro domínios da sustentabilidade (ambiental, produtivo, social e econômico) ainda é limitada. Poucos trabalhos adotam indicadores com uma abordagem multidimensional, dificultando a construção de uma visão sistêmica, essencial para a formulação de estratégias de intensificação que sejam equilibradas e sustentáveis a longo prazo.

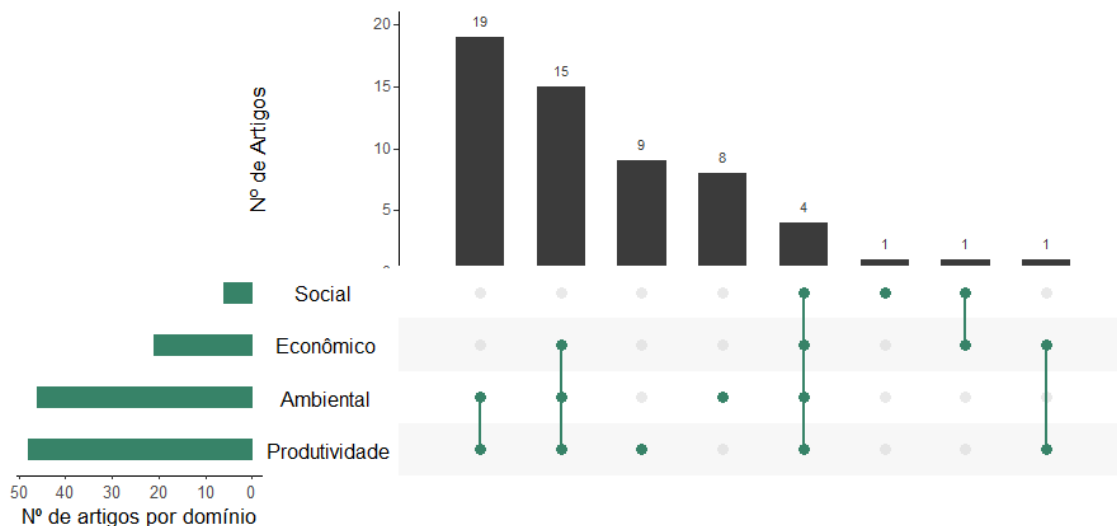


Figura 3 . Matriz para todas as interseções entre os quatro domínios em que os indicadores foram classificados. Círculos verdes na matriz indicam conjuntos que são parte da interseção.

**Indicadores Ambientais**, como restauração de habitats, economia de terra, fragmentação florestal, conectividade, poluentes atmosféricos e eutrofização (**Tabela 2**) são pouco explorados na literatura, apesar de sua relevância ambiental. A carga de energia fóssil também é sub-representada, mesmo com a importância do uso de combustíveis fósseis na pecuária. O esgotamento de recursos minerais e a conservação ambiental das propriedades rurais, fundamentais para sistemas pecuários sustentáveis, recebem pouca atenção. Além disso, a fragmentação florestal compromete a biodiversidade, enquanto poluentes atmosféricos e impactos tóxicos afetam a qualidade ambiental e a saúde pública. A eutrofização, resultante do acúmulo de nutrientes em ecossistemas aquáticos, e a resiliência das pastagens, essencial para sua recuperação pós-distúrbio, também são pouco estudadas, limitando a compreensão dos impactos da IS.

Para os **indicadores Econômicos**, a diversificação de atividades produtivas (**Tabela 3**) é abordada por apenas uma métrica na literatura, apesar de sua importância para a resiliência econômica das propriedades rurais, que mede a capacidade de adaptação a variações de mercado e eventos climáticos extremos. A eficiência do uso da terra, essencial para otimizar a produção sem comprometer recursos naturais, também recebe pouca atenção. Da mesma forma, a infraestrutura da cadeia produtiva, fundamental para o desenvolvimento agrícola, é negligenciada. Além disso, métricas financeiras relacionadas à IS, como custos de transição, retorno sobre investimento, lucro líquido e análise custo-benefício, são tratadas de forma fragmentada, dificultando a avaliação da viabilidade econômica desses sistemas. De modo geral, esses indicadores são sub-representados e frequentemente analisados com base em uma única métrica.

Alguns **indicadores de produtividade** ainda são pouco explorados na literatura, como a eficiência de conversão de insumos em produtos e a eficiência energética relativa (**Tabela 4**), ambas essenciais para otimizar o uso de recursos e reduzir impactos ambientais. Indicadores como demanda por terras agrícolas, conversão alimentar e eficiência energética são abordados de forma limitada, geralmente com apenas uma ou duas métricas. Já os indicadores de bem-estar animal são escassos e frequentemente restritos a métricas relacionadas a vacinação, controle de parasitas e uso de medicamentos, mesmo com evidências de que

sistemas mais intensivos podem comprometer a saúde dos animais (Latawiec et al., 2014).

A representatividade dos **indicadores sociais** é limitada em comparação a outros domínios da sustentabilidade (**Tabela 5**), comprometendo sua adoção integrada. Aspectos como bem-estar humano, qualidade de vida das populações envolvidas e impactos sociais da pecuária, incluindo a invasão de terras indígenas e o trabalho análogo à escravidão, são pouco abordados. Essa lacuna reflete a complexidade da sustentabilidade sociocultural, que varia conforme o contexto e a percepção dos diferentes grupos sociais (Boogaard et al., 2011). Além disso, a transparência e a integridade socioambiental são fundamentais para mecanismos que combinem assistência técnica e incentivos regulatórios. Estudos que abordam esse domínio (Silva et al., 2020; Almeida et al., 2019) destacam a necessidade de incorporar indicadores sociais para uma IS equilibrada e inclusiva. A ausência desses dados dificulta a formulação de políticas públicas que integrem essa dimensão.

A análise dos indicadores menos representados em cada grupo revela áreas que carecem de mais atenção na pesquisa. A diversificação de atividades produtivas, a resiliência econômica, a eficiência energética na agricultura e os impactos sociais da atividade rural são apenas alguns dos temas que poderiam beneficiar de mais estudos para promover práticas mais sustentáveis e eficientes nos setores ambiental, econômico, produtivo e social.

## **8. Conclusão**

A análise realizada neste estudo revela a predominância de indicadores ambientais e produtivos, especialmente em escalas locais e macrorregionais, refletindo a necessidade de monitoramento detalhado e adaptado a diversidade dos sistemas agropecuários brasileiros. No entanto, a escassez de indicadores sociais e econômicos evidencia uma lacuna na mensuração integrada da IS, o que limita a compreensão completa da sustentabilidade na pecuária.

A distribuição desigual dos indicadores entre as diferentes escalas de análise sugere uma tendência à simplificação nas escalas regionais e nacionais, muitas vezes resultando na diluição de particularidades locais e limitando a precisão das avaliações. Esse padrão reforça a importância de adotar abordagens mais amplas e integradas, que considerem os aspectos ambientais, sociais, econômicos e produtivos ao mesmo tempo.

Com base nesses resultados, este estudo busca avaliar a base conceitual e metodológica da IS. A inclusão de indicadores que também considerem questões sociais e econômicas pode ajudar a criar políticas públicas mais eficazes e programas de incentivo mais justos. Isso também pode contribuir para tornar os sistemas produtivos mais resilientes e sustentáveis. A IS na pecuária e nas pastagens é um conceito complexo e dinâmico, que precisa ser constantemente atualizado diante de mudanças ambientais, tecnológicas e sociais.

Apesar de seu potencial para equilibrar produção de alimentos e conservação ambiental, a aplicação da IS ainda enfrenta desafios, como os altos custos, a desigualdade entre produtores e os conflitos entre produtividade e preservação. O avanço nesse campo exige a integração de diferentes pontos de vista, o fortalecimento da base científica e o alinhamento das políticas públicas com os princípios da sustentabilidade

a longo prazo.

Por fim, o modo como os indicadores são organizados está diretamente ligado às políticas públicas do país. Criar mecanismos de monitoramento mais robustos e incorporar indicadores que abordem múltiplas dimensões pode melhorar tanto a gestão dos sistemas agropecuários quanto a formulação de políticas voltadas a um desenvolvimento rural mais equilibrado, sustentável e inclusivo.

## Referências

- Alves-Pinto, H.N., Latawiec, A.E., Strassburg, B.B.N., Barros, F.S.M., Sansevero, J.B.B., Iribarrem, A., Crouzeilles, R., Lemgruber, L., C. Rangel, M., Silva, A.C.P., 2017. Reconciling rural development and ecological restoration: Strategies and policy recommendations for the Brazilian Atlantic Forest. *Land Use Policy* 60, 419–426. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.08.004>
- Barbosa, F.R.G.M., Duarte, V.N., Staduto, J.A.R., Kreter, A.C., 2023. Land-Use Dynamics for Agricultural and Livestock in Central-West Brazil and its Reflects on the Agricultural Frontier Expansion. *Clean. Circ. Bioeconomy* 4, 100033. <https://doi.org/10.1016/j.clcb.2022.100033>
- Bieluczyk, W., Cherubin, M.R., Cerri, C.E.P., Siqueira-Neto, M., Abdalla-Filho, A.L., Castro, J.I.A., Locatelli, J.L., Tsai, S.M., Camargo, P.B.D., 2024. Greenhouse gas fluxes in brazilian climate-smart agricultural and livestock systems: A systematic and critical overview. *J. Clean. Prod.* 464, 142782. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142782>
- Boogaard, B.K., Oosting, S.J., Bock, B.B., Wiskerke, J.S.C., 2011. The sociocultural sustainability of livestock farming: an inquiry into social perceptions of dairy farming. *Animal* 5, 1458–1466. <https://doi.org/10.1017/S1751731111000371>
- Brasil, 2009. Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Brasília.
- Campbell, B.M., Thornton, P., Zougmore, R., Van Asten, P., Lipper, L., 2014. Sustainable intensification: What is its role in climate smart agriculture? *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 8, 39–43. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.07.002>
- Cardoso, A.D.S., Barbero, R.P., Romanzini, E.P., Teobaldo, R.W., Ongaratto, F., Fernandes, M.H.M.D.R., Ruggieri, A.C., Reis, R.A., 2020. Intensification: A Key Strategy to Achieve Great Animal and Environmental Beef Cattle Production Sustainability in Brachiaria Grasslands. *Sustainability* 12, 6656. <https://doi.org/10.3390/su12166656>
- Carvalho, P.C.D.F., Barro, R.S., Barth Neto, A., Nunes, P.A.D.A., Moraes, A.D., Anghinoni, I., Bredemeier, C., Bayer, C., Martins, A.P., Kunrath, T.R., Santos, D.T.D., Carmona, F.D.C., Barros, T., Souza Filho, W.D., Almeida, G.M.D., Caetano, L.A.M., Cecagno, D., Arnuti, F., Denardin, L.G.D.O., Bonetti, J.D.A., Toni, C.A.G.D., Borin, J.B.M., 2018. Integrating the pastoral component in agricultural systems. *Rev. Bras. Zootec.* 47. <https://doi.org/10.1590/rbz4720170001>
- Castelo Branco Brasileiro-Assing, A., Wironen, M., Adams, A., Farley, J., De Almeida Sinisgalli, P.A., Schmitt-Filho, A., 2021. Sustainable intensification of livestock as a means to achieve forest conservation and food production in the Brazilian Southern Atlantic forest. *Agroecol. Sustain. Food Syst.* 45, 817–842. <https://doi.org/10.1080/21683565.2021.1896617>
- Cavazzana, J.F., Paris, W., Molinete, M.L., Auache Filho, A.A., Denardin Costa, O.A., De Paula, A.L., De Paula, F.M., De Menezes, L.F.G., 2023. Beef steer performance on African Bermuda grass pasture overseeded with black oat and annual ryegrass: effects of added irrigation and temperate legumes. *Agron. Sustain. Dev.* 43, 9. <https://doi.org/10.1007/s13593-022-00857-6>

- Conway, G., Waage, J., 2010. Science and innovation for development. UK Collaborative on Development Sciences, London.
- Cortner, O., Garrett, R.D., Valentim, J.F., Ferreira, J., Niles, M.T., Reis, J., Gil, J., 2019. Perceptions of integrated crop-livestock systems for sustainable intensification in the Brazilian Amazon. *Land Use Policy* 82, 841–853. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.01.006>
- Da Silva, F.S., Domiciano, L.F., Gomes, F.J., Sollenberger, L.E., Pedreira, C.G.S., Pereira, D.H., Pedreira, B.C., 2020. Herbage accumulation, nutritive value and beef cattle production on marandu palisadegrass pastures in integrated systems. *Agrofor. Syst.* 94, 1891–1902. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00508-3>
- D’Aurea, A.P., Da Silva Cardoso, A., Guimarães, Y.S.R., Fernandes, L.B., Ferreira, L.E., Reis, R.A., 2021. Mitigating Greenhouse Gas Emissions from Beef Cattle Production in Brazil through Animal Management. *Sustainability* 13, 7207. <https://doi.org/10.3390/su13137207>
- De Albuquerque Nunes, P.A., Laca, E.A., De Faccio Carvalho, P.C., Li, M., De Souza Filho, W., Robinson Kunrath, T., Posselt Martins, A., Gaudin, A., 2021. Livestock integration into soybean systems improves long-term system stability and profits without compromising crop yields. *Sci. Rep.* 11, 1649. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81270-z>
- De Carvalho, P., Domiciano, L.F., Mombach, M.A., Do Nascimento, H.L.B., Cabral, L.D.S., Sollenberger, L.E., Pereira, D.H., Pedreira, B.C., 2019a. Forage and animal production on palisadegrass pastures growing in monoculture or as a component of integrated crop–livestock–forestry systems. *Grass Forage Sci.* 74, 650–660. <https://doi.org/10.1111/gfs.12448>
- De Carvalho, P., Domiciano, L.F., Mombach, M.A., Do Nascimento, H.L.B., Cabral, L.D.S., Sollenberger, L.E., Pereira, D.H., Pedreira, B.C., 2019b. Forage and animal production on palisadegrass pastures growing in monoculture or as a component of integrated crop–livestock–forestry systems. *Grass Forage Sci.* 74, 650–660. <https://doi.org/10.1111/gfs.12448>
- De Moraes, A., Carvalho, P.C.D.F., Anghinoni, I., Lustosa, S.B.C., Costa, S.E.V.G.D.A., Kunrath, T.R., 2014. Integrated crop–livestock systems in the Brazilian subtropics. *Eur. J. Agron.* 57, 4–9. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.10.004>
- De Oliveira Silva, R., Barioni, L.G., Albertini, T.Z., Eory, V., Topp, C.F.E., Fernandes, F.A., Moran, D., 2015a. Developing a nationally appropriate mitigation measure from the greenhouse gas GHG abatement potential from livestock production in the Brazilian Cerrado. *Agric. Syst.* 140, 48–55. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2015.08.011>
- De Oliveira Silva, R., Barioni, L.G., Hall, J.A.J., Moretti, A.C., Fonseca Veloso, R., Alexander, P., Crespolini, M., Moran, D., 2017. Sustainable intensification of Brazilian livestock production through optimized pasture restoration. *Agric. Syst.* 153, 201–211. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2017.02.001>
- De Oliveira Silva, R., Barioni, L.G., Moran, D., 2021. Fire, deforestation, and livestock: When the smoke clears. *Land Use Policy* 100, 104949. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104949>
- De Oliveira Silva, R., Barioni, L.G., Moran, D., 2015b. Greenhouse Gas Mitigation through Sustainable Intensification of Livestock Production in the Brazilian *Cerrado*. *EuroChoices* 14, 28–34. <https://doi.org/10.1111/1746-692X.12079>
- De Oliveira Silva, R., Barioni, L.G., Queiroz Pellegrino, G., Moran, D., 2018. The role of agricultural intensification in Brazil’s Nationally Determined Contribution on emissions mitigation. *Agric. Syst.* 161, 102–112. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2018.01.003>
- De Souza Filho, W., Nunes, P.A.D.A., Barro, R.S., Kunrath, T.R., De Almeida, G.M., Genro, T.C.M.,

- Bayer, C., De Faccio Carvalho, P.C., 2019. Mitigation of enteric methane emissions through pasture management in integrated crop-livestock systems: Trade-offs between animal performance and environmental impacts. *J. Clean. Prod.* 213, 968–975. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.245>
- Dick, M., Abreu Da Silva, M., Dewes, H., 2015. Mitigation of environmental impacts of beef cattle production in southern Brazil – Evaluation using farm-based life cycle assessment. *J. Clean. Prod.* 87, 58–67. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.10.087>
- Dick, M., Abreu Da Silva, M., Franklin Da Silva, R.R., Ferreira, O.G.L., Maia, M.D.S., Lima, S.F.D., Paiva Neto, V.B.D., Dewes, H., 2022. Climate change and land use from Brazilian cow-calf production amidst diverse levels of biodiversity conservation. *J. Clean. Prod.* 342, 130941. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130941>
- Dick, M., Abreu Da Silva, M., Franklin Da Silva, R.R., Lauz Ferreira, O.G., De Souza Maia, M., Ferreira De Lima, S., Borges De Paiva Neto, V., Dewes, H., 2021. Environmental impacts of Brazilian beef cattle production in the Amazon, Cerrado, Pampa, and Pantanal biomes. *J. Clean. Prod.* 311, 127750. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127750>
- Do Carmo, K.B., Dias, R., De Quadros, P.D., Berber, G.C.M., Bourscheidt, M.L.B., De Farias Neto, A.L., Dos Santos Weber, O.L., Triplett, E.W., Ferreira, A., 2024. Assessment of soil bacterial communities in integrated crop production systems within the Amazon Biome, Brazil: a comparative study. *Braz. J. Microbiol.* 55, 2815–2825. <https://doi.org/10.1007/s42770-024-01352-8>
- Euclides, V.P.B., Montagner, D.B., De Araújo, A.R., De Aragão Pereira, M., Dos Santos Difante, G., De Araújo, I.M.M., Barbosa, L.F., Barbosa, R.A., Gurgel, A.L.C., 2022. Biological and economic responses to increasing nitrogen rates in Mombaça guinea grass pastures. *Sci. Rep.* 12, 1937. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05796-6>
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP, WHO, 2024. The State of Food Security and Nutrition in the World 2024 – Financing to end hunger, food insecurity and malnutrition in all its forms. FAO; IFAD; UNICEF; WFP; WHO; Rome. <https://doi.org/10.4060/cd1254en>
- Fraanje, W., Lee-Gammage, S., Garnett, T., 2018. What is sustainable intensification? Food Climate Research Network. <https://doi.org/10.56661/075f639f>
- Freiberg, J.A., De Sales Dambros, C., Rodrigues, E.N.L., Teixeira, R.A., Vieira, Â.D.H.N., De Almeida, H.S., De Faccio Carvalho, P.C., Jacques, R.J.S., 2020. Increased grazing intensity in pastures reduces the abundance and richness of ground spiders in an integrated crop-livestock system. *Agron. Sustain. Dev.* 40, 1. <https://doi.org/10.1007/s13593-019-0604-0>
- Garcia, E., Ramos Filho, F., Mallmann, G., Fonseca, F., 2017. Costs, Benefits and Challenges of Sustainable Livestock Intensification in a Major Deforestation Frontier in the Brazilian Amazon. *Sustainability* 9, 158. <https://doi.org/10.3390/su9010158>
- Garnett, T., Appleby, M.C., Balmford, A., Bateman, I.J., Benton, T.G., Bloomer, P., Burlingame, B., Dawkins, M., Dolan, L., Fraser, D., Herrero, M., Hoffmann, I., Smith, P., Thornton, P.K., Toulmin, C., Vermeulen, S.J., Godfray, H.C.J., 2013. Sustainable Intensification in Agriculture: Premises and Policies. *Science* 341, 33–34. <https://doi.org/10.1126/science.1234485>
- Gibbs, Ruesch, A., Achard, F., Clayton, M., Holmgren, P., Ramankutty, N., Foley, J., 2010. Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 107, 16732–16737. <https://doi.org/10.1073/pnas.0910275107>
- Gil, J.D.B., Garrett, R., Berger, T., 2016a. Determinants of crop-livestock integration in Brazil: Evidence from the household and regional levels. *Land Use Policy* 59, 557–568. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.09.022>

- Gil, J.D.B., Garrett, R., Berger, T., 2016b. Determinants of crop-livestock integration in Brazil: Evidence from the household and regional levels. *Land Use Policy* 59, 557–568. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.09.022>
- Gil, J.D.B., Garrett, R.D., Rotz, A., Daioglou, V., Valentim, J., Pires, G.F., Costa, M.H., Lopes, L., Reis, J.C., 2018. Tradeoffs in the quest for climate smart agricultural intensification in Mato Grosso, Brazil. *Environ. Res. Lett.* 13, 064025. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aac4d1>
- Giller, K.E., Andersson, J.A., Corbeels, M., Kirkegaard, J., Mortensen, D., Erenstein, O., Vanlauwe, B., 2015. Beyond conservation agriculture. *Front. Plant Sci.* 6. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00870>
- Glatzle, S., De Almeida, R.G., Pereira Barsotti, M., Bungenstab, D.J., Giese, M., Macedo, M.C.M., Stuerz, S., Asch, F., 2024. Integrated Land-Use Systems Contribute to Restoring Water Cycles in the Brazilian Cerrado Biome. *Land* 13, 221. <https://doi.org/10.3390/land13020221>
- Glatzle, S., Stuerz, S., Giese, M., Pereira, M., De Almeida, R.G., Bungenstab, D.J., Macedo, M.C.M., Asch, F., 2021. Seasonal Dynamics of Soil Moisture in an Integrated-Crop-Livestock-Forestry System in Central-West Brazil. *Agriculture* 11, 245. <https://doi.org/10.3390/agriculture11030245>
- Godfray, H.C.J., Garnett, T., 2014. Food security and sustainable intensification. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 369, 20120273. <https://doi.org/10.1098/rstb.2012.0273>
- Gomes, F.J., Bosi, C., Pedreira, B.C., Santos, P.M., Pedreira, C.G.S., 2020. Parameterization of the APSIM model for simulating palisadegrass growth under continuous stocking in monoculture and in a silvopastoral system. *Agric. Syst.* 184, 102876. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2020.102876>
- Gomes, F.J., Cavalli, J., Pedreira, B.C., Pedreira, C.G.S., Holschuch, S.G., Pereira, D.H., 2022. Forage nutritive value of Marandu palisade grass under clipping in a silvopastoral system. *Agrofor. Syst.* 96, 79–88. <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00696-6>
- Latawiec, A.E., Strassburg, B.B.N., Valentim, J.F., Ramos, F., Alves-Pinto, H.N., 2014. Intensification of cattle ranching production systems: socioeconomic and environmental synergies and risks in Brazil. *Animal* 8, 1255–1263. <https://doi.org/10.1017/S1751731114001566>
- Laura Kehoe, Alfredo Romero-Muñoz, Ester Polaina, Lyndon Estes, Holger Kreft, Tobias Kueimmerle, 2017. Biodiversity at risk under future cropland expansion and intensification. *Nat Ecol Evol.* <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0234-3>
- Leal, V.N., Paim, T.D.P., De Castro Santos, D., Fernandes, P.B., Dos Santos, L.P., Souza, B.R., Bueno, M.S.L., Valicheski, R.R., Gonçalves, L.F., Claudio, F.L., Alves, E.M., 2024. Grazing effect on different forage species in yield of soybean-pasture succession. *J. Agric. Food Res.* 15, 101053. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101053>
- Loos, J., Abson, D.J., Chappell, M.J., Hanspach, J., Mikulcak, F., Tichit, M., Fischer, J., 2014. Putting meaning back into “sustainable intensification.” *Front. Ecol. Environ.* 12, 356–361. <https://doi.org/10.1890/130157>
- Mahon, N., Crute, I., Simmons, E., Islam, Md.M., 2017. Sustainable intensification – “oxymoron” or “third-way”? A systematic review. *Ecol. Indic.* 74, 73–97. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.001>
- Marques Moura, T., Carvalho, M.T.D.M., Stone, L.F., Madari, B.E., Santos, D.D.C., Moreira Alves, E., Trogello, E., Faustino, L.L., Machado, P.L.O.D.A., 2023. Newly implemented crop-livestock-forest systems increase available water and aeration in soils of the Brazilian Savannah. <https://doi.org/10.17170/KOBRA-202311028941>
- Mazzetto, A.M., Feigl, B.J., Schils, R.L.M., Cerri, C.E.P., Cerri, C.C., 2015. Improved pasture and herd

- management to reduce greenhouse gas emissions from a Brazilian beef production system. *Livest. Sci.* 175, 101–112. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.02.014>
- Meinerz, G.R., Olivo, C.J., Agnolin, C.A., Dullius, A.P., Moraes, R.D.S., Mombach, G., Foletto, V., Machado, P.R., 2011. Produção e valor nutritivo da forragem de capim-elefante em dois sistemas de produção. *Rev. Bras. Zootec.* 40, 2673–2680. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011001200009>
- Monteiro, L.A., Allee, A.M., Campbell, E.E., Lynd, L.R., Soares, J.R., Jaiswal, D., De Castro Oliveira, J., Dos Santos Vianna, M., Morishige, A.E., Figueiredo, G.K.D.A., Lamparelli, R.A.C., Mueller, N.D., Gerber, J., Cortez, L.A.B., Sheehan, J.J., 2020. Assessment of yield gaps on global grazed-only permanent pasture using climate binning. *Glob. Change Biol.* 26, 1820–1832. <https://doi.org/10.1111/gcb.14925>
- Montpellier Panel, 2013. Montpellier Panel. Agriculture for Impact, Londres, Reino Unido.
- Muchagata, M., Brown, K., 2003. Cows, colonists and trees: rethinking cattle and environmental degradation in Brazilian Amazonia. *Agric. Syst.* 76, 797–816. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(02\)00015-X](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(02)00015-X)
- Musumba, M., Grabowski, P., Palm, C., Snapp, S., 2017. Guide for the Sustainable Intensification Assessment Framework. *SSRN Electron. J.* <https://doi.org/10.2139/ssrn.3906994>
- Nunes, P.A.D.A., Bredemeier, C., Bremm, C., Caetano, L.A.M., De Almeida, G.M., De Souza Filho, W., Anghinoni, I., Carvalho, P.C.D.F., 2019. Grazing intensity determines pasture spatial heterogeneity and productivity in an integrated crop-livestock system. *Grassl. Sci.* 65, 49–59. <https://doi.org/10.1111/grs.12209>
- Oliveira, D.M.D.S., Tavares, R.L.M., Loss, A., Madari, B.E., Cerri, C.E.P., Alves, B.J.R., Pereira, M.G., Cherubin, M.R., 2023. Climate-smart agriculture and soil C sequestration in Brazilian Cerrado: a systematic review. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* 47, e0220055. <https://doi.org/10.36783/18069657rbc20220055>
- Olivo, J.C., Sobczak, M.F., Charão, P.S., Ziech, M.F., Rossarolla, G., Alves, E.M., Uberty, L.F., Schwendler, S.E., 2006. Evaluation of an elephantgrass pasture, managed under agroecology principles, during the summer period. *Livest. Res. Rural Dev.* 18.
- Pereira, V., Basilio, M.P., Santos, C.H.T., 2025. PyBibX – a Python library for bibliometric and scientometric analysis powered with artificial intelligence tools. *Data Technol. Appl.* ahead-of-print. <https://doi.org/10.1108/DTA-08-2023-0461>
- Petersen, B., Snapp, S., 2015. What is sustainable intensification? Views from experts. *Land Use Policy* 46, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.02.002>
- Peterson, C.A., Bell, L.W., Carvalho, P.C.D.F., Gaudin, A.C.M., 2020. Resilience of an Integrated Crop–Livestock System to Climate Change: A Simulation Analysis of Cover Crop Grazing in Southern Brazil. *Front. Sustain. Food Syst.* 4, 604099. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.604099>
- Portugal, T.B., De Faccio Carvalho, P.C., De Campos, B.M., Szymczak, L.S., Savian, J.V., Zubieta, A.S., De Souza Filho, W., Rossetto, J., Bremm, C., De Oliveira, L.B., De Moraes, A., Bayer, C., Gomes Monteiro, A.L., 2023. Methane emissions and growth performance of beef cattle grazing multi-species swards in different pesticide-free integrated crop-livestock systems in southern Brazil. *J. Clean. Prod.* 414, 137536. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137536>
- Pretty, J., 2008. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 363, 447–465. <https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2163>

- Pretty, J., Toulmin, C., Williams, S., 2011. Sustainable intensification in African agriculture. *Int. J. Agric. Sustain.* 9, 5–24. <https://doi.org/10.3763/ijas.2010.0583>
- Projeto MapBiomass, 2025. Coleção 9 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil.
- Schmitt, J., Portela, V.O., Santana, N.A., Freiberg, J.A., Bellé, C., Pacheco, D., Antonioli, Z.I., Anghinoni, I., Cares, J.E., De Araújo Filho, J.V., Jacques, R.J.S., 2021. Effect of grazing intensity on plant-parasitic nematodes in an integrated crop–livestock system with low plant diversity. *Appl. Soil Ecol.* 163, 103908. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103908>
- Silva, T.R., Rodrigues, S.B., Bringel, J.B.D.A., Sampaio, A.B., Sano, E.E., Vieira, D.L.M., 2023. Factors affecting savanna and forest regeneration in pastures across the cerrado. *J. Environ. Manage.* 330, 117185. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117185>
- Silveira, J.G.D., Oliveira Neto, S.N.D., Canto, A.C.B.D., Leite, F.F.G.D., Cordeiro, F.R., Assad, L.T., Silva, G.C.C., Marques, R.D.O., Dalarme, M.S.L., Ferreira, I.G.M., Conceição, M.C.G.D., Rodrigues, R.D.A.R., 2022. Land Use, Land Cover Change and Sustainable Intensification of Agriculture and Livestock in the Amazon and the Atlantic Forest in Brazil. *Sustainability* 14, 2563. <https://doi.org/10.3390/su14052563>
- Skidmore, M.E., Sims, K.M., Rausch, L.L., Gibbs, H.K., 2022. Sustainable intensification in the Brazilian cattle industry: the role for reduced slaughter age. *Environ. Res. Lett.* 17, 064026. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac6f70>
- Smith, A., Snapp, S., Chikowo, R., Thorne, P., Bekunda, M., Glover, J., 2017. Measuring sustainable intensification in smallholder agroecosystems: A review. *Glob. Food Secur.* 12, 127–138. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2016.11.002>
- Sparovek, G., Guidotti, V., Pinto, L.F.G., Berndes, G., Barretto, A., Cerignoni, F., 2018. Asymmetries of cattle and crop productivity and efficiency during Brazil’s agricultural expansion from 1975 to 2006. *Elem. Sci. Anthr.* 6, 25. <https://doi.org/10.1525/elementa.187>
- Szymczak, L.S., Carvalho, P.C.D.F., Lurette, A., Moraes, A.D., Nunes, P.A.D.A., Martins, A.P., Moulin, C.-H., 2020. System diversification and grazing management as resilience-enhancing agricultural practices: The case of crop-livestock integration. *Agric. Syst.* 184, 102904. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102904>
- Tadini, A.M., Xavier, A.A.P., Milori, D.M.B.P., Oliveira, P.P.A., Pezzopane, J.R., Bernardi, A.C.C., Martin-Neto, L., 2021. Evaluation of soil organic matter from integrated production systems using laser-induced fluorescence spectroscopy. *Soil Tillage Res.* 211, 105001. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105001>
- The Royal Society, 2009. Reaping the Benefits: Science and the Sustainable Intensification of Global Agriculture. The Royal Society, London, United Kingdom.
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., Befort, B.L., 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 108, 20260–20264. <https://doi.org/10.1073/pnas.1116437108>
- Tittonell, P., 2014. Ecological intensification of agriculture—sustainable by nature. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 8, 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.08.006>
- United Nations General Assembly, 2015. Resolution 69/315: Draft outcome document of the United Nations summit for the adoption of the post-2015 development agenda (Resolution No. A/RES/69/315). United Nations, New York, United States.
- Vieira Junior, N.A., Evers, J., Dos Santos Vianna, M., Pedreira, B.C.E., Pezzopane, J.R.M., Marin, F.R., 2022. Understanding the arrangement of Eucalyptus-Marandu palisade grass silvopastoral systems

in Brazil. *Agric. Syst.* 196, 103316. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103316>

Weltin, M., Zasada, I., Piorr, A., Debolini, M., Geniaux, G., Moreno Perez, O., Scherer, L., Tudela Marco, L., Schulp, C.J.E., 2018. Conceptualising fields of action for sustainable intensification – A systematic literature review and application to regional case studies. *Agric. Ecosyst. Environ.* 257, 68–80. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.01.023>

Wezel, A., Soboksa, G., McClelland, S., Delespesse, F., Boissau, A., 2015. The blurred boundaries of ecological, sustainable, and agroecological intensification: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 35, 1283–1295. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0333-y>

## Material Suplementar

Tabela 1: Relação das 58 publicações selecionadas para a análise dos termos relacionados à intensificação sustentável.

author	title	si_term	type	doi	keywords	scale
<b>Alves-Pinto et al. (2017)</b>	Reconciling rural development and ecological restoration: Strategies and policy recommendations for the Brazilian Atlantic Forest	Sustainable Intensification	R	10.1016/j.landusepol.2016.08.004	Cattle ranching, Land sparing, Land-use policies, Restoration, Sustainable intensification	R
<b>Barbosa et al. (2023)</b>	Land-Use Dynamics for Agricultural and Livestock in Central-West Brazil and its Reflects on the Agricultural Frontier Expansion	Sustainable Intensification	E	10.1016/j.clcb.2022.100033	Agricultural production; Amazon; Cerrado; Environment; Land use; Pasture areas	M
<b>Bieluczyk et al. (2024)</b>	Greenhouse gas fluxes in brazilian climate-smart agricultural and livestock systems: A systematic and critical overview	Climate-Smart Agriculture	R	10.1016/j.jclepro.2024.142782	Climate-smart agriculture; Crop-livestock systems; Greenhouse gas emissions; Meta-analysis; Systematic literature review	N
<b>Brasileiro-Assing et al. (2021)</b>	Sustainable intensification of livestock as a means to achieve forest conservation and food production in the Brazilian Southern Atlantic forest	Sustainable Intensification; Agroecology	R	10.1080/21683565.2021.1896617	atlantic Forest; dairy production; forest conservation; management intensive grazing; Sustainable intensification	L
<b>Cardoso et al. (2020)</b>	Intensification: A key strategy to achieve great animal and environmental beef cattle production sustainability in Brachiaria grasslands	Sustainable Intensification	R	10.3390/su12166656	Animal supplementation, Beef cattle, Grazing management, Pasture fertilization, Sustainable intensification	N
<b>Carvalho et al. (2018)</b>	Integrating the pastoral component in agricultural systems	Sustainable Intensification	R	10.1590/rbz4720170001	Grazing management, Integrated crop-livestock system, Sustainable intensification	M
<b>Carvalho et al. (2019)</b>	Forage and animal production on palisadegrass pastures growing in monoculture or as a component of integrated crop-livestock-forestry systems	Sustainable Intensification	E	10.1111/gfs.12448	agroforestry; beef cattle; Eucalyptus; grazing management; shading; silvopasture	L
<b>Cavazzana et al. (2023)</b>	Beef steer performance on African Bermuda grass pasture overseeded with black oat and annual ryegrass: effects of added irrigation and temperate legumes	Sustainable Intensification	E	10.1007/s13593-022-00857-6	Beef cattle; Farming; Mixed pasture; Livestock	L
<b>Cortner et al. (2019)</b>	Perceptions of integrated crop-livestock systems for sustainable intensification in the Brazilian Amazon	Sustainable Intensification	E	10.1016/j.landusepol.2019.01.006	Innovation; Integrated systems; Sustainable agriculture; Pasture intensification; Technology diffusion; Farmer decision-making; Supply chains	M
<b>D'aurea et al. (2021)</b>	Mitigating greenhouse gas emissions from beef cattle production in brazil through animal management	Sustainable Intensification	E	10.3390/su13137207	Beef production; GHG emissions; GHG inventories; Livestock; Sustainable intensification	M
<b>Dick et al. (2014)</b>	Mitigation of environmental impacts of beef cattle production in southern Brazil - Evaluation using farm-based life cycle assessment	Sustainable Intensification	E	10.1016/j.jclepro.2014.10.087	Global warming, Grassland restoration, Lca, Rotational grazing, Soil carbon stocks, Sustainable intensification	M
<b>Dick et al. (2021)</b>	Environmental impacts of Brazilian beef cattle production in the Amazon, Cerrado, Pampa, and Pantanal biomes	Sustainable Intensification	E	10.1016/j.jclepro.2021.127750	Agro-ecological zoning; Agroecosystems; Global warming; Grassland management; Meat supply chain; Sustainable intensification	M
<b>Dick et al. (2022)</b>	Climate change and land use from Brazilian cow-calf production amidst diverse levels of biodiversity conservation	Regenerative Agriculture; Sustainable Intensification	E	10.1016/j.jclepro.2022.130941	Cattle grazing, Ecosystem services, Global warming, Grassland management, Regenerative agriculture, Sustainable intensification	M
<b>Do Carmo et. Al. (2024)</b>	Assessment of soil bacterial communities in integrated crop production systems within the Amazon Biome, Brazil: a comparative study	Ecological Intensification	R	10.1007/s42770-024-01352-8	16S rRNA sequencing; Illumina; Integrated crop-livestock-forest; Tropical forest biodiversity	L
<b>Euclides et al. (2022)</b>	Biological and economic responses to increasing nitrogen rates in Mombaca guinea grass pastures	Sustainable Intensification	E	10.1038/s41598-022-05796-6	(vazio)	L
<b>Fernandes et al. (2022)</b>	Human-edible protein contribution of tropical beef cattle production systems at different levels of intensification	Sustainable Intensification	E	10.1016/j.animal.2022.100538	Food security; Meat; Nellore; Sustainability; Tropical grassland	N

<b>Freiberg et al. (2020)</b>	Increased grazing intensity in pastures reduces the abundance and richness of ground spiders in an integrated crop-livestock system	Sustainable Intensification	E	10.1007/s13593-019-0604-0	Araneae, Bioindicator, Pasture, Soil fauna, Soybean, Sustainable intensification	L
<b>Garcia et al. (2017)</b>	Costs, benefits and challenges of sustainable livestock intensification in a major deforestation frontier in the Brazilian amazon	Sustainable Intensification	E	10.3390/su9010158	Amazon, Deforestation, Livestock, Sustainable intensification	L
<b>Gil et al. (2016)</b>	Determinants of crop-livestock integration in Brazil: Evidence from the household and regional levels	Sustainable Intensification	E	10.1016/j.laandusepol.2016.09.022	Agricultural technology diffusion, Integrated systems, Land cover change, Pasture degradation, Sustainable intensification	R
<b>Gil et al. (2018)</b>	Tradeoffs in the quest for climate smart agricultural intensification in Mato Grosso, Brazil	Sustainable Intensification; Climate-Smart; Climate-Smart Agriculture	E	10.1088/1748-9326/aac4d1	climate scenarios, integrated crop-livestock systems, low carbon agriculture, pasture intensification, sustainability	R
<b>Glatzle et al. (2021)</b>	Seasonal dynamics of soil moisture in an integrated-crop- livestock-forestry system in Central-west Brazil	Sustainable Intensification	E	10.3390/agriculture11030245	Agroforestry; Brachiaria brizantha; Eucalyptus; Grazing cattle; Photosynthetically active radiation	L
<b>Gomes et al. (2020)</b>	Parameterization of the APSIM model for simulating palisadegrass growth under continuous stocking in monoculture and in a silvopastoral system	Sustainable Intensification	E	10.1016/j.agsy.2020.102876	Agricultural systems modeling, Agroforestry, APSIM-Tropical Pasture, Brachiaria brizantha cv. Marandu, Forest livestock integration, Tropical grass	L
<b>Gomes et al. (2022)</b>	Forage nutritive value of Marandu palisade grass under clipping in a silvopastoral system	Sustainable Intensification	E	10.1007/s10457-021-00696-6	Agroforestry; Shaded pastures; Silvopasture; Sustainable intensification	L
<b>Latawiec et al. (2014)</b>	Intensification of cattle ranching production systems: socioeconomic and environmental synergies and risks in Brazil	Sustainable Intensification	R	10.1017/S1751731114001566	pasture intensification; trade-offs; Brazil; sustainability; land-use change	N
<b>Leal et al. (2024)</b>	Grazing effect on different forage species in yield of soybean-pasture succession	Sustainable Intensification	E	10.1016/j.jafr.2024.101053	Animal production; Cerrado; Crop-livestock integrated system; Nutrient cycling	L
<b>Martha Jr et al. (2024)</b>	Getting pastoral systems productivity right	Sustainable Intensification	R	10.1016/j.scitotenv.2024.170268	Agricultural policies; Bio-economic modeling; Decision-making; Sustainable intensification; Yield gap	N
<b>Mazzetto et al. (2015)</b>	Improved pasture and herd management to reduce greenhouse gas emissions from a Brazilian beef production system	Sustainable Intensification	E	10.1016/j.livsci.2015.02.014	Beef herd, Brazil, Carbon dioxide, Methane, Nitrous oxide, Sustainable intensification	L
<b>Meinerz et al. (2011)</b>	Produção e valor nutritivo da forragem de capim-elefante em dois sistemas de produção	Agroecology	E	10.1590/S1516-3598201101200009	agroecology; dairy cattle; intercropped pastures; Lolium multiflorum; Pennisetum purpureum	L
<b>Monteiro et al. (2024)</b>	Crop-livestock-forestry systems as a strategy for mitigating greenhouse gas emissions and enhancing the sustainability of forage-based livestock systems in the Amazon biome	Agroecology	E	10.1016/j.scitotenv.2023.167396	Agroecology; Agroforestry; Climate change; Ecosystem services; Grazing; Ruminants	L
<b>Moraes et al. (2013)</b>	Integrated crop-livestock systems in the Brazilian subtropics	Sustainable Intensification	R	10.1016/j.eja.2013.10.004	Mixed farming system; Sustainable intensification; Soybean; Winter pasture; Soil quality	M
<b>Moura et al. (2023)</b>	Newly implemented crop-livestock-forest systems increase available water and aeration in soils of the Brazilian Savannah	Sustainable Intensification	E	10.17170/kobra-202311028941	Eucalyptus trees; integration; pasture; soil water retention capacity	L
<b>Muchagata &amp; Brown (2003)</b>	Cows, colonists and trees: Rethinking cattle and environmental degradation in Brazilian Amazonia	Sustainable Intensification	E	10.1016/S0308-521X(02)00015-X	Agricultural colonisation; Amazonia; Frontier agriculture; Livestock production systems; Sustainable agriculture	L
<b>Nunes et al. (2019)</b>	Grazing intensity determines pasture spatial heterogeneity and productivity in an integrated crop-livestock system	Sustainable Intensification	E	10.1111/grs.12209	conservation agriculture; geostatistics; mixed systems; sustainable intensification; sward height	L
<b>Nunes et al. (2021)</b>	Livestock integration into soybean systems improves long-term system stability and profits without compromising crop yields	Ecological Intensification	E	10.1038/s41598-021-81270-z	(vazio)	L

<b>Oliveira et al. (2023)</b>	Climate-smart agriculture and soil C sequestration in Brazilian Cerrado: a systematic review	Climate-Smart Agriculture	R	10.36783/18069657rbc s20220055	soil organic matter; no-till; integrated agricultural systems; soil health; climate change mitigation	M
<b>Oliveira et al. (2024)</b>	Crop, livestock, and forestry integration to reconcile soil health, food production, and climate change mitigation in the Brazilian Cerrado: A review	Sustainable Intensification	R	10.1016/j.g eodrs.2024. e00796	Integrated systems, Sustainable intensification, Pasture degradation, Soil quality, Greenhouse gases	M
<b>Olivo et al. (2006)</b>	Evaluation of an elephantgrass pasture, managed under agroecology principles, during the summer period; [Avaliação de uma pastagem de capim-elefante, manejada sob princípios agroecológicos, no período estival]	Agroecology	E	<a href="https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20063074061">https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20063074061</a>	Chemical composition; Dairy cattle; Mixed pasture; Pennisetum purpureum; Stocking rate	L
<b>Pasquini Neto et al. (2024)</b>	Forage accumulation and nutritive value in extensive, intensive, and integrated pasture-based beef cattle production systems	Sustainable Intensification	E	10.1071/CP24043	Avena byzantine; cool-season C3 grasses; feed quality; grazing systems; Lolium multiflorum; Megathyrus maximus; silvopastoral systems; sustainable intensification; tropical pastures; Urochloa brizantha; Urochloa decumbens; warm-season C4 grasses	L
<b>Peterson et al. (2020)</b>	Resilience of an Integrated Crop–Livestock System to Climate Change: A Simulation Analysis of Cover Crop Grazing in Southern Brazil	Sustainable Intensification	E	10.3389/fsu fs.2020.604099	APSIM, climate change, cover crop grazing, cropping systems, pasture, resilience, soybean	L
<b>Portugal et al. (2023)</b>	Methane emissions and growth performance of beef cattle grazing multi-species swards in different pesticide-free integrated crop-livestock systems in southern Brazil	Climate-Smart Agriculture	E	10.1016/j.jc lepro.2023. 137536	Animal production; Enteric methane emissions; Eucalyptus; Mixed swards; Steers	L
<b>Schmitt et al. (2021)</b>	Effect of grazing intensity on plant-parasitic nematodes in an integrated crop–livestock system with low plant diversity	Sustainable Intensification	E	10.1016/j.a psoil.2021. 103908	Helicotylenchus dihystra; Nematode community; Pasture; Soybean; Sustainable intensification	L
<b>Silva, F. et al. (2020)</b>	Herbage accumulation, nutritive value and beef cattle production on marandu palisadegrass pastures in integrated systems	Sustainable Intensification	E	10.1007/s10457-020-00508-3	Agroforestry; Animal production; Brachiaria brizantha; Crop-livestock; Silvopastoral	L
<b>Silva, R. et al. (2015a)</b>	Developing a nationally appropriate mitigation measure from the greenhouse gas GHG abatement potential from livestock production in the Brazilian Cerrado	Sustainable Intensification	E	10.1016/j.a gsy.2015.08.011	Climate change; Grassland restoration, Linear programming, Marginal abatement cost curves, Mitigation measures, Sustainable intensification	M
<b>Silva, R. et al. (2015b)</b>	Greenhouse gas mitigation through sustainable intensification of livestock production in the Brazilian cerrado	Sustainable Intensification	E	10.1111/1746-692X.12079	Brazil; Animalia; carbon dioxide; cerrado; deforestation; emission control; food production; greenhouse gas; livestock farming; pasture; soil carbon	M
<b>Silva, R. et al. (2016)</b>	Increasing beef production could lower greenhouse gas emissions in Brazil if decoupled from deforestation	Sustainable Intensification	E	10.1038/ncl imate2916	Brazil; Animalia; agricultural emission; carbon sequestration; cerrado; deforestation; food consumption; greenhouse gas; life cycle analysis; livestock; meat; optimization; organic carbon; pasture; soil carbon	M
<b>Silva, R. et al. (2017)</b>	Sustainable intensification of Brazilian livestock production through optimized pasture restoration	Sustainable Intensification	E	10.1016/j.a gsy.2017.02.001	Sustainable agricultural intensification; Grassland management; Linear programming; Soil organic carbon	L
<b>Silva, R. et al. (2018)</b>	The role of agricultural intensification in Brazil's Nationally Determined Contribution on emissions mitigation	Sustainable Intensification	E	10.1016/j.a gsy.2018.01.003	Agriculture; Mitigation; sustainable intensification; Deforestation; Amazon	M
<b>Silva, R. et al. (2021)</b>	Fire, deforestation, and livestock: When the smoke clears	Sustainable Intensification	R	10.1016/j.la ndusepol.2020.104949	Deforestation; Amazon; Sustainable intensification; Livestock; Land use change; Dietary change	M
<b>Silva, T. et al. (2021)</b>	Not only exotic grasslands: The scattered trees in cultivated pastures of the Brazilian Cerrado	Sustainable Intensification	E	10.1016/j.a gee.2021.107422	Brazilian savanna, Cerrado ecoregions, Isolated trees, Sustainable livestock, Silvopastoral systems	M

<b>Silva, T. et al. (2023)</b>	Factors affecting savanna and forest regeneration in pastures across the cerrado	Sustainable Intensification	E	10.1016/j.jenvman.2022.117185	Brazilian cerrado; Natural regeneration; Neotropical savannas; Pasture degradation; Savanna restoration; Sustainable intensification	M
<b>Silveira et al. (2022)</b>	Land Use, Land Cover Change and Sustainable Intensification of Agriculture and Livestock in the Amazon and the Atlantic Forest in Brazil	Sustainable Intensification	E	10.3390/su14052563	Agroforestry; Deforestation; Integration crop-livestock-forestry; Sustainable development	M
<b>Skidmore et al. (2022)</b>	Sustainable intensification in the Brazilian cattle industry: The role for reduced slaughter age	Sustainable Intensification	E	10.1088/1748-9326/ac6f70	cattle supply chain; intensification; legal Amazon; production; slaughter	M
<b>Souza Filho et al. (2019)</b>	Mitigation of enteric methane emissions through pasture management in integrated crop-livestock systems: Trade-offs between animal performance and environmental impacts	Sustainable Intensification	E	10.1016/j.jclepro.2018.12.245	Continuous stocking; Greenhouse gas emission; Italian ryegrass; Black oat; Sustainable intensification; Grazing	L
<b>Sparovek et al. (2018)</b>	Asymmetries of cattle and crop productivity and efficiency during Brazil's agricultural expansion from 1975 to 2006	Sustainable Intensification	E	10.1525/elementa.187	crop; expansion; harvest; intensification; pasture; productivity	N
<b>Szymczak et al. (2020)</b>	System diversification and grazing management as resilience-enhancing agricultural practices: The case of crop-livestock integration	Sustainable Intensification	E	10.1016/j.agsy.2020.102904	Cattle, Soybean, Nutrient flows, Downside risk, Ecological network analysis	L
<b>Tadini et al. (2021)</b>	Evaluation of soil organic matter from integrated production systems using laser-induced fluorescence spectroscopy	Sustainable Intensification	E	10.1016/j.still.2021.105001	Cation exchange capacity; Integrated crop-livestock-forest system; Laser-induced fluorescence spectroscopy; Soil carbon sequestration; Soil organic matter stability; Sustainable intensification	L
<b>Vieira et al. (2022)</b>	A classification of cultivated pastures in the Brazilian Cerrado for sustainable intensification and savanna restoration	Sustainable Intensification; Ecological Intensification	E	10.1007/s13280-021-01646-3	Ecological intensification; LULC; Pasture degradation; Savannas; Secondary savannas; Silvopastoral systems	M
<b>Vieira Junior et al. (2022)</b>	Understanding the arrangement of Eucalyptus-Marandu palisade grass silvopastoral systems in Brazil	Sustainable Intensification	E	10.1016/j.agsy.2021.103316	Functional-structural plant modeling, CROPGRO-perennial forage, Livestock-forest, Intercropping	N

Tabela 2: Relação da domínios da intensificação sustentável, os indicadores e autores identificados nas 58 publicações selecionadas para a pesquisa.

domain	indicator	metric	author	domain	indicator	metric	author
Ambiental	Biodiversidade	% de áreas cultivadas com monoculturas em relação à área total de estabelecimentos rurais	Dick et al. (2022)	Produtividade	Capacidade de carga	Taxa de Lotação (kg LW/ha ou UA/ha)	Alves-Pinto et al. (2017)
Ambiental	Biodiversidade	% de espécies ameaçadas em relação ao total de espécies descritas para o bioma	Dick et al. (2022)	Produtividade	Capacidade de carga	Taxa de Lotação (kg LW/ha ou UA/ha)	Brasileiro-Assing et al. (2021)
Ambiental	Biodiversidade	% de vegetação nativa remanescente no bioma (%/área)	Dick et al. (2022)	Produtividade	Capacidade de carga	Taxa de Lotação (kg LW/ha ou UA/ha)	Cavazzana et al. (2023)
Ambiental	Biodiversidade	Composição da comunidade de espécies indicadoras (aranhas): abundância e riqueza	Freiberg et al. (2020)	Produtividade	Capacidade de carga	Taxa de Lotação (kg LW/ha ou UA/ha)	D'aurea et al. (2021)
Ambiental	Biodiversidade	Estoque de carbono orgânico no solo (ton/ha)	Dick et al. (2022)	Produtividade	Capacidade de carga	Taxa de Lotação (kg LW/ha ou UA/ha)	Euclides et al. (2022)
Ambiental	Biodiversidade	Nº de árvores e riqueza de spp por hectare de pastagens (árvores/ha)	Silva, T. et al. (2021)	Produtividade	Capacidade de carga	Taxa de Lotação (kg LW/ha ou UA/ha)	Fernandes et al. (2022)
Ambiental	Biodiversidade	Percepção de aumento de pequenos animais no solo (entrevistas)	Brasileiro-Assing et al. (2021)	Produtividade	Capacidade de carga	Taxa de Lotação (kg LW/ha ou UA/ha)	Garcia et al. (2017)

Ambiental	Carga de energia fóssil	Consumo de Combustíveis Fósseis (Kg LWG/kg oil eq. Ou MJ/Kg HDP)	Dick et al. (2014)	Produtividade	Capacidade de carga	Taxa de Lotação (kg LW/ha ou UA/ha)	Gil et al. (2018)
Ambiental	Carga de energia fóssil	Consumo de Combustíveis Fósseis (Kg LWG/kg oil eq. Ou MJ/Kg HDP)	Dick et al. (2021)	Produtividade	Capacidade de carga	Taxa de Lotação (kg LW/ha ou UA/ha)	Leal et al. (2024)
Ambiental	Carga de energia fóssil	Consumo de Combustíveis Fósseis (Kg LWG/kg oil eq. Ou MJ/Kg HDP)	Gil et al. (2018)	Produtividade	Capacidade de carga	Taxa de Lotação (kg LW/ha ou UA/ha)	Martha Jr et al. (2024)
Ambiental	Ciclagem de nutrientes	Eficiência de uso de nitrogênio (kg MS/kg N aplicado)	Pasquini Neto et al. (2024)	Produtividade	Capacidade de carga	Taxa de Lotação (kg LW/ha ou UA/ha)	Mazzetto et al. (2015)
Ambiental	Ciclagem de nutrientes	Fluxo de Fósforo (P-Rflow)	Szymczak et al. (2020)	Produtividade	Capacidade de carga	Taxa de Lotação (kg LW/ha ou UA/ha)	Muchagata & Brown (2003)
Ambiental	Ciclagem de nutrientes	Fluxo de Nitrogênio (N-Rflow)	Szymczak et al. (2020)	Produtividade	Capacidade de carga	Taxa de Lotação (kg LW/ha ou UA/ha)	Portugal et al. (2023)
Ambiental	Ciclagem de nutrientes	Perda de Nitrogênio por Lixiviação, Amônia e Óxido Nitroso (kg N/kg HDP)	Gil et al. (2018)	Produtividade	Capacidade de carga	Taxa de Lotação (kg LW/ha ou UA/ha)	Silva, F. et al. (2020)
Ambiental	Conservação ambiental da propriedade	Nº de produtores que afirmam proteger os recursos hídricos e florestais	Alves-Pinto et al. (2017)	Produtividade	Capacidade de carga	Taxa de Lotação (kg LW/ha ou UA/ha)	Silva, R. et al. (2017)
Ambiental	Conversão de habitat nativo	Área de ecossistemas naturais convertida para uso agrícola ou pecuário (m²/kg LWG)	Dick et al. (2021)	Produtividade	Capacidade de carga	Taxa de Lotação (kg LW/ha ou UA/ha)	Silva, R. et al. (2018)
Ambiental	Conversão de habitat nativo	Área de pastagem ao longo do tempo (ha)	Silva, R. et al. (2021)	Produtividade	Capacidade de carga	Taxa de Lotação (kg LW/ha ou UA/ha)	Silveira et al. (2022)
Ambiental	Conversão de habitat nativo	Área desmatada (ha) para cada propriedade rural	Skidmore et al. (2022)	Produtividade	Capacidade de carga	Taxa de Lotação (kg LW/ha ou UA/ha)	Skidmore et al. (2022)
Ambiental	Conversão de habitat nativo	Classificação dos usos e cobertura do solo (ha)	Silveira et al. (2022)	Produtividade	Capacidade de carga	Taxa de lotação máxima (SRmax) mínima (SRmin) e média (SR) (kg peso vivo/ha)	Carvalho et al. (2019)
Ambiental	Conversão de habitat nativo	Cobertura florestal em relação à cobertura de pastagem e outros usos (% e anos)	Muchagata & Brown (2003)	Produtividade	Capacidade de carga	Taxa de lotação/pastoreio em relação a ciclagem de nutrientes	Moraes et al. (2013)
Ambiental	Conversão de habitat nativo	Conversão de habitat nativo para pastagem (ha/ano)	Silva, R. et al. (2015b)	Produtividade	Demanda por terras agrícolas	Crescimento da produção de commodities por área, produtividade e localização (Modelo Shift-Share)	Barbosa et al. (2023)
Ambiental	Conversão de habitat nativo	Estimativa de perda média de carbono da vegetação natural devido ao desmatamento (C ton/ha)	Silva, R. et al. (2015a)	Produtividade	Demanda por terras agrícolas	Variação na área de cultivos e pastagens ao longo do tempo (kha)	Sparovek et al. (2018)
Ambiental	Conversão de habitat nativo	Taxa de desmatamento (ha/ano)	Silva, R. et al. (2021)	Produtividade	Eficiência de conversão	Produção de matéria seca por estação e por ano (kg MS/ha)	Pasquini Neto et al. (2024)
Ambiental	Conversão de habitat nativo	Variação anual da cobertura vegetal natural (ha/ano)	Silva, R. et al. (2018)	Produtividade	Eficiência de Produção de Grãos	Produção de grãos (kg/ha)	Carvalho et al. (2018)
Ambiental	Demanda por terras agrícolas	Área de terra utilizada para a produção de pastagens e outros insumos para a pecuária (m² ano/kg LWG)	Dick et al. (2021)	Produtividade	Eficiência de Produção de Grãos	Produção de grãos (kg/ha)	Monteiro et al. (2024)
Ambiental	Demanda por terras agrícolas	Área total de pastagens nas fazendas (%/ano)	Muchagata & Brown (2003)	Produtividade	Eficiência de Produção de Grãos	Produção de grãos (kg/ha)	Moraes et al. (2013)
Ambiental	Demanda por terras agrícolas	Área urbana necessária para produzir 1 kg de LWG (m²/ano/kg LWG)	Dick et al. (2021)	Produtividade	Eficiência de Produção de Grãos	Produção de grãos (kg/ha)	Nunes et al. (2021)
Ambiental	Demanda por terras agrícolas	Conversão de pastagem degradadas para produção agrícola ou restauração ambiental (ha, Modelo Shift-Share)	Barbosa et al. (2023)	Produtividade	Eficiência de Produção de Grãos	Rendimento de grãos (kg/ha)	Peterson et al. (2020)
Ambiental	Economia de terra	Área de terra economizada pela intensificação de pastagem (ha)	Pasquini Neto et al. (2024)	Produtividade	Eficiência de Produção de Grãos	Rendimento de grãos (kg/ha)	Szymczak et al. (2020)

Ambiental	Economia de terra	Área de terra para produção equivalente de carne: sistemas intensivos vs. extensivos (ha)	Bieluczyk et al. (2024)	Produtividade	Eficiência energética relativa	Comparação da eficiência energética relativa dos cultivos e do gado (GJ/ha) para energia bruta e metabolizável	Sparovek et al. (2018)
Ambiental	Eficiência de uso da terra	Área de terra para produzir 1 kg de carcaça bovina (m <sup>2</sup> /kg) em diferentes cenários de intensificação	Fernandes et al. (2022)	Produtividade	Estrutura da Pastagem	Altura da pastagem (cm)	Cardoso et al. (2020)
Ambiental	Eficiência de uso da terra	Área de terra utilizada por kg de LWG (m <sup>2</sup> /ano/kg LWG)	Dick et al. (2014)	Produtividade	Estrutura da Pastagem	Altura da pastagem (cm)	Freiberg et al. (2020)
Ambiental	Eficiência de uso da terra	Área de terra utilizada por kg de LWG (m <sup>2</sup> /ano/kg LWG)	Dick et al. (2022)	Produtividade	Estrutura da Pastagem	Altura da pastagem (cm)	Nunes et al. (2019)
Ambiental	Eficiência de uso da terra	Impacto da IS na liberação de terras para conservação (land sparing)	Latawiec et al. (2014)	Produtividade	Estrutura da Pastagem	Altura da pastagem (cm)	Schmitt et al. (2021)
Ambiental	Eficiência de uso da terra	Redução da área desmatada associada à adoção de práticas de IS	Latawiec et al. (2014)	Produtividade	Estrutura da Pastagem	Altura do Dossel (cm)	Souza Filho et al. (2019)
Ambiental	Eficiência de uso da terra	Taxa de lotação (UA/ha)	Latawiec et al. (2014)	Produtividade	Estrutura da Pastagem	Composição da forragem (% ou g/kg MS ou perfilhos/m <sup>2</sup> )	Bieluczyk et al. (2024)
Ambiental	Eficiência de uso da terra	Taxa de lotação potencial sustentável (UA/ha)	Alves-Pinto et al. (2017)	Produtividade	Estrutura da Pastagem	Composição da forragem (% ou g/kg MS ou perfilhos/m <sup>2</sup> )	Cardoso et al. (2020)
Ambiental	Eficiência do sistema de produção	Taxa de mudança nos estoques de carbono do solo (Mg C /ha/ano)	Oliveira et al. (2023)	Produtividade	Estrutura da Pastagem	Composição da forragem (% ou g/kg MS ou perfilhos/m <sup>2</sup> )	Gomes et al. (2020)
Ambiental	Eficiência hídrica	Consumo de água por LWG (m <sup>3</sup> /kg LWG)	Dick et al. (2021)	Produtividade	Estrutura da Pastagem	Composição da forragem (% ou g/kg MS ou perfilhos/m <sup>2</sup> )	Meinerz et al. (2011)
Ambiental	Eficiência hídrica	Consumo de água por PDH (kg água/kg HDP)	Gil et al. (2018)	Produtividade	Estrutura da Pastagem	Composição da forragem (% ou g/kg MS ou perfilhos/m <sup>2</sup> )	Oliveira et al. (2006)
Ambiental	Eficiência hídrica	Consumo de água produção de forragem (kg MS/mm)	Pasquini Neto et al. (2024)	Produtividade	Estrutura da Pastagem	Composição da forragem (% ou g/kg MS ou perfilhos/m <sup>2</sup> )	Pasquini Neto et al. (2024)
Ambiental	Eficiência hídrica	Potencial hídrico do solo e água aplicada (kPa, curva de retenção de água)	Cavazza et al. (2023)	Produtividade	Estrutura da Pastagem	Composição da forragem (% ou g/kg MS ou perfilhos/m <sup>2</sup> )	Silva, F. et al. (2020)
Ambiental	Eficiência hídrica	Precipitação pluviométrica (mm)	Glatzle et al. (2021)	Produtividade	Estrutura da Pastagem	Composição da forragem pré e pós-pastejo (%)	Euclides et al. (2022)
Ambiental	Eficiência hídrica	Redução da Pegada hídrica (l/kg de carne)	Latawiec et al. (2014)	Produtividade	Estrutura da Pastagem	Composição da forragem pré e pós-pastejo (%)	Gomes et al. (2022)
Ambiental	Emissões de GEE	Área desmatada (ha)	Silva, R. et al. (2016)	Produtividade	Estrutura da Pastagem	Espécies de gramíneas que compõem a pastagem (N ou %)	Meinerz et al. (2011)
Ambiental	Emissões de GEE	Emissão diária média de CH <sub>4</sub> (g CH <sub>4</sub> /animal/dia)	Portugal et al. (2023)	Produtividade	Estrutura da Pastagem	Espécies de gramíneas que compõem a pastagem (N ou %)	Muchagata & Brown (2003)
Ambiental	Emissões de GEE	Emissões de CH <sub>4</sub> por animal, área e LWG (g CH <sub>4</sub> /dia, g CH <sub>4</sub> /ha/dia, g CH <sub>4</sub> /kg ADG)	Souza Filho et al. (2019)	Produtividade	Estrutura da Pastagem	Número e tamanho de Piquetes (N ou hectares)	Muchagata & Brown (2003)
Ambiental	Emissões de GEE	Emissões de CH <sub>4</sub> : por animal (g CH <sub>4</sub> /animal/dia), por matéria seca ingerida (g CH <sub>4</sub> /kg DMI), por ADG (g CH <sub>4</sub> /kg ADG) e por área (kg CH <sub>4</sub> /ha/ano)	Bieluczyk et al. (2024)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Acúmulo de biomassa da cultura de cobertura (kg/ha)	Peterson et al. (2020)
Ambiental	Emissões de GEE	Emissões de CO <sub>2</sub> de diferentes fontes do sistema pecuário (CO <sub>2</sub> eq./ano)	Silva, R. et al. (2015b)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Acúmulo de forragem (kg MS/ha/dia)	Bieluczyk et al. (2024)
Ambiental	Emissões de GEE	Emissões de CO <sub>2</sub> da produção de suplementos, fertilizantes, energia e combustível (kg CO <sub>2</sub> /ha/ano)	Monteiro et al. (2024)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Acúmulo de forragem (kg MS/ha/dia)	Euclides et al. (2022)
Ambiental	Emissões de GEE	Emissões de CO <sub>2</sub> por fermentação entérica, uso de esterco, fertilizantes e desmatamento evitado (t CO <sub>2</sub> eq)	Garcia et al. (2017)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Acúmulo de forragem (kg MS/ha/dia)	Gomes et al. (2020)

Ambiental	Emissões de GEE	Emissões de CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O (kg CO <sub>2</sub> eq/ kg LWG)	Dick et al. (2014)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Acúmulo de forragem (kg MS/ha/dia)	Szymczak et al. (2020)
Ambiental	Emissões de GEE	Emissões de GEE (kg CH <sub>4</sub> /ha/ano, Mg CO <sub>2</sub> eq/ha)	Monteiro et al. (2024)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Biomassa residual após pastejo (Kg MS/ha)	Souza Filho et al. (2019)
Ambiental	Emissões de GEE	Emissões de GEE (tCO <sub>2</sub> e/ano ou tCO <sub>2</sub> e)	Silva, R. et al. (2017)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Decomposição da biomassa da forragem	Leal et al. (2024)
Ambiental	Emissões de GEE	Emissões de GEE (tCO <sub>2</sub> e/ano ou tCO <sub>2</sub> e)	Silva, R. et al. (2018)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Densidade volumétrica da pastagem (Herbage Bulk Density - HBD)	Carvalho et al. (2019)
Ambiental	Emissões de GEE	Emissões de GEE (tCO <sub>2</sub> e/ano ou tCO <sub>2</sub> e)	Sparovek et al. (2018)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Eficiência do uso da radiação (RUE) em matéria seca (g/MS/MJ)	Gomes et al. (2020)
Ambiental	Emissões de GEE	Emissões de GEE de carcaça (kg CO <sub>2</sub> eq/kg de carcaça)	Cardoso et al. (2020)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Índice de área foliar (LAI m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ou m <sup>2</sup> folha/m <sup>2</sup> ou SLA cm <sup>2</sup> /g)	Bieluczyk et al. (2024)
Ambiental	Emissões de GEE	Emissões de GEE de carcaça (kg CO <sub>2</sub> eq/kg de carcaça)	D'aurea et al. (2021)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Índice de área foliar (LAI m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ou m <sup>2</sup> folha/m <sup>2</sup> ou SLA cm <sup>2</sup> /g)	Cardoso et al. (2020)
Ambiental	Emissões de GEE	Emissões de GEE de carcaça (kg CO <sub>2</sub> eq/kg de carcaça)	Mazzetto et al. (2015)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Índice de área foliar (LAI m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ou m <sup>2</sup> folha/m <sup>2</sup> ou SLA cm <sup>2</sup> /g)	Gomes et al. (2020)
Ambiental	Emissões de GEE	Emissões de GEE de proteína humana digerível (kg CO <sub>2</sub> -eq/HDP)	Gil et al. (2018)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Índice de área foliar (LAI m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ou m <sup>2</sup> folha/m <sup>2</sup> ou SLA cm <sup>2</sup> /g)	Pasquini Neto et al. (2024)
Ambiental	Emissões de GEE	Emissões de GEE do IPCC por LWG (kg CO <sub>2</sub> eq/kg LWG)	Dick et al. (2022)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Interceptação da radiação solar (%)	Vieira Junior et al. (2022)
Ambiental	Emissões de GEE	Emissões de GEE do solo: CO <sub>2</sub> (Mg/ha/ano), CH <sub>4</sub> (kg/ha/ano) e N <sub>2</sub> O (kg/ha/ano)	Bieluczyk et al. (2024)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Massa seca durante o pastejo (kg MS/ha)	Nunes et al. (2019)
Ambiental	Emissões de GEE	Emissões de GEE na produção bovina (CH <sub>4</sub> kg/animal, N <sub>2</sub> O kg/animal e CO <sub>2</sub> t/ha)	Silva, R. et al. (2015a)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Matéria seca pós pastejo (% MS)	Meinerz et al. (2011)
Ambiental	Emissões de GEE	Emissões de GEE por carne produzida (tCO <sub>2</sub> e/kg)	Silva, R. et al. (2021)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Matéria/biomassa seca (Kg/ha ou m <sup>2</sup> ou Mg/ha ou % MS)	Cardoso et al. (2020)
Ambiental	Emissões de GEE	Emissões de GEE por LWG (kg CO <sub>2</sub> eq/kg LWG)	Dick et al. (2021)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Matéria/biomassa seca (Kg/ha ou m <sup>2</sup> ou Mg/ha ou % MS)	Cavazzana et al. (2023)
Ambiental	Emissões de GEE	Emissões de N <sub>2</sub> O (kg N-N <sub>2</sub> O/ha/ano)	Oliveira et al. (2024)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Matéria/biomassa seca (Kg/ha ou m <sup>2</sup> ou Mg/ha ou % MS)	Dick et al. (2021)
Ambiental	Emissões de GEE	Emissões de Óxido Nitroso do estercor, fertilizantes e resíduos de cultivos (kg N/ha/Ano)	Monteiro et al. (2024)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Matéria/biomassa seca (Kg/ha ou m <sup>2</sup> ou Mg/ha ou % MS)	Freiberg et al. (2020)
Ambiental	Emissões de GEE	Modelo de avaliação do ciclo de vida do IPCC (kg CO <sub>2</sub> -eq)	Skidmore et al. (2022)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Matéria/biomassa seca (Kg/ha ou m <sup>2</sup> ou Mg/ha ou % MS)	Glatzle et al. (2021)
Ambiental	Emissões de GEE	Nitrogênio aplicado por hectare (kg N/ha)	D'aurea et al. (2021)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Matéria/biomassa seca (Kg/ha ou m <sup>2</sup> ou Mg/ha ou % MS)	Gomes et al. (2022)
Ambiental	Emissões de GEE	Redução de emissões de CO <sub>2</sub> pela IS (publicações)	Latawiec et al. (2014)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Matéria/biomassa seca (Kg/ha ou m <sup>2</sup> ou Mg/ha ou % MS)	Leal et al. (2024)
Ambiental	Emissões de GEE	Total de emissões associadas ao manejo do gado, uso de fertilizantes, desmatamento e ciclo de vida da produção agrícola - modelo EAGGLE	Silva, R. et al. (2016)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Matéria/biomassa seca (Kg/ha ou m <sup>2</sup> ou Mg/ha ou % MS)	Nunes et al. (2019)
Ambiental	Esgotamento de Recursos Minerais	Consumo de recursos minerais utilizados na produção de insumos e infraestrutura para a pecuária (kg Fe eq/kg LWG)	Dick et al. (2021)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Matéria/biomassa seca (Kg/ha ou m <sup>2</sup> ou Mg/ha ou % MS)	Oliveira et al. (2006)
Ambiental	Estoque de carbono	Carbono armazenado na biomassa de árvores (Mg C/ha)	Silva, T. et al. (2021)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Matéria/biomassa seca (Kg/ha ou m <sup>2</sup> ou Mg/ha ou % MS)	Silva, F. et al. (2020)

Ambiental	Estoque de carbono	Carbono no solo (Mg/ha ou C%)	Carvalho et al. (2018)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Matéria/biomassa seca (Kg/ha ou m <sup>2</sup> ou Mg/ha ou % MS)	Vieira Junior et al. (2022)
Ambiental	Estoque de carbono	Carbono no solo (Mg/ha ou C%)	Oliveira et al. (2024)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Modelo de produtividade de pastagem anual (tMS/ha/ano)	Silva, R. et al. (2017)
Ambiental	Estoque de carbono	Carbono no solo (Mg/ha ou C%)	Tadini et al. (2021)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Potencial de produtividade das pastagens	Latawiec et al. (2014)
Ambiental	Estoque de carbono	Dinâmica de carbono orgânico no solo em pastagens (t C/ha)	Silva, R. et al. (2018)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Produção de forragem/biomassa (kg MS/ha ou kg/ha/mês ou DHA x n° dias)	Carvalho et al. (2018)
Ambiental	Estoque de carbono	Estoque e variação de carbono no solo (toneladas de C/ha ou C/ha/ano) - modelo EAGGLE	Silva, R. et al. (2016)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Produção de forragem/biomassa (kg MS/ha ou kg/ha/mês ou DHA x n° dias)	Carvalho et al. (2019)
Ambiental	Estoque de carbono	Modelagem de carbono no solo para diferentes produtividades de pastagem (tC/ha)	Silva, R. et al. (2017)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Produção de forragem/biomassa (kg MS/ha ou kg/ha/mês ou DHA x n° dias)	Meinerz et al. (2011)
Ambiental	Eutrofização	Eutrofização de água doce por kg de LWG (kg P eq/kg LWG)	Dick et al. (2021)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Produção de forragem/biomassa (kg MS/ha ou kg/ha/mês ou DHA x n° dias)	Monteiro et al. (2024)
Ambiental	Eutrofização	Eutrofização marinha por kg de LWG (kg N eq/kg LWG)	Dick et al. (2021)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Produção de forragem/biomassa (kg MS/ha ou kg/ha/mês ou DHA x n° dias)	Nunes et al. (2021)
Ambiental	Fragmentação Florestal e conectividade	Fragmentos florestais e distância entre eles	Brasileiro-Assing et al. (2021)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Produção de forragem/biomassa (kg MS/ha ou kg/ha/mês ou DHA x n° dias)	Oliveira et al. (2024)
Ambiental	Impacto tóxico	Ecotoxicidade terrestre (TEt), de água doce (WET), marinha (MEt) e toxicidade humana (HT): kg 1,4-DBeq/kg LWG.	Dick et al. (2021)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Produção de forragem/biomassa (kg MS/ha ou kg/ha/mês ou DHA x n° dias)	Souza Filho et al. (2019)
Ambiental	Manejo da Pastagem	Altura do dossel (cm) Sistemas Integrados de Lavoura-Pecuária (ICLS)	Carvalho et al. (2018)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Quantidade de matéria seca associada à restauração de pastagens (t MS/ha/ano)	Silva, R. et al. (2015b)
Ambiental	Manejo da Pastagem	Custos de restauração da pastagem (R\$/ha) - modelo EAGGLE	Silva, R. et al. (2016)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) Disponível para Fotossíntese ( $\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	Silva, F. et al. (2020)
Ambiental	Manejo da Pastagem	Espécies de gramíneas e leguminosas nas pastagens	Brasileiro-Assing et al. (2021)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Resíduo vegetal remanescente pós-pastejo (kg MS/ha)	Nunes et al. (2019)
Ambiental	Manejo da Pastagem	Idade da Pastagem desde o estabelecimento da pastagem (anos)	Silva, T. et al. (2023)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Simulação da produtividade de matéria seca por nível de degradação e manejo (t MS/ha)	Silva, R. et al. (2015a)
Ambiental	Manejo da Pastagem	Tempo entre as renovações da pastagem (anos)	Silva, T. et al. (2023)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Taxa de acúmulo de forragem/biomassa (kg MS/ha/dia ou t MS/ha/ano)	Carvalho et al. (2019)
Ambiental	Manejo da Pastagem	Uso de Herbicidas e Fertilizantes (1 = uso, 0 = não uso)	Silva, T. et al. (2023)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Taxa de acúmulo de forragem/biomassa (kg MS/ha/dia ou t MS/ha/ano)	Cavazzana et al. (2023)
Ambiental	Manejo da Pastagem	Variação da área de pastagem (ha) - modelo EAGGLE	Silva, R. et al. (2016)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Taxa de acúmulo de forragem/biomassa (kg MS/ha/dia ou t MS/ha/ano)	Meinerz et al. (2011)
Ambiental	Poluente atmosférico	Depleção do ozônio (kg CFC-11eq/kg LWG)	Dick et al. (2021)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Taxa de acúmulo de forragem/biomassa (kg MS/ha/dia ou t MS/ha/ano)	Nunes et al. (2019)
Ambiental	Poluente atmosférico	Formação de material particulado (kg PM10eq/kg LWG)	Dick et al. (2021)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Taxa de acúmulo de forragem/biomassa (kg MS/ha/dia ou t MS/ha/ano)	Pasquini Neto et al. (2024)

Ambiental	Poluente atmosférico	Formação de oxidantes fotoquímicos (kg NMVOC/kg LWG)	Dick et al. (2021)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Taxa de acúmulo de forragem/biomassa (kg MS/ha/dia ou t MS/ha/ano)	Portugal et al. (2023)
Ambiental	Produtividade da Pastagem	Probabilidade de obter produção de forragem abaixo do 10º percentil (%)	Nunes et al. (2021)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Taxa de acúmulo de forragem/biomassa (kg MS/ha/dia ou t MS/ha/ano)	Silva, F. et al. (2020)
Ambiental	Produtividade da Pastagem	Radiação disponível para plantas (Modelo diário (Bosi, 2017))	Gomes et al. (2022)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Taxa de acúmulo de forragem/biomassa (kg MS/ha/dia ou t MS/ha/ano)	Silva, R. et al. (2018)
Ambiental	Produtividade da Pastagem	Radiação fotossinteticamente ativa ( $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ )	Glatzle et al. (2021)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Taxa de acúmulo de forragem/biomassa (kg MS/ha/dia ou t MS/ha/ano)	Souza Filho et al. (2019)
Ambiental	Produtividade da Pastagem	Radiação Ionizante: kBq U235eq/kg LWG	Dick et al. (2021)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Taxa de declínio da biomassa (kg/ ha)	Vieira Junior et al. (2022)
Ambiental	Qualidade da pastagem	Área de pastagem degradada ou não (entrevistas)	Brasileiro-Assing et al. (2021)	Produtividade	Produtividade da Pastagem	Tempo de meia-vida da biomassa	Leal et al. (2024)
Ambiental	Qualidade da pastagem	Cinzas, matéria orgânica, proteína bruta, FDN, FDA e DIVMS (% ou g/kg MS)	Cavazza et al. (2023)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Carga animal (Kg LW/ha)	Meinerz et al. (2011)
Ambiental	Qualidade da pastagem	Cobertura do solo (%) nas classes gramíneas exóticas, solo nu e vegetação nativa	Vieira et al. (2022)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Comparação da produtividade de proteína entre cultivos e gado (t proteína/ha)	Sparovek et al. (2018)
Ambiental	Qualidade da pastagem	Degradação da pastagem (t CO <sub>2</sub> e/ha)	Silva, R. et al. (2015a)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Consumo de forragem pelos animais	Souza Filho et al. (2019)
Ambiental	Qualidade do solo	Acidificação terrestre por kg de LWG (kg SO <sub>2</sub> eq/kg LWG)	Dick et al. (2021)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Consumo diário de matéria orgânica (% LW)	Portugal et al. (2023)
Ambiental	Qualidade do solo	Aeração do solo em Sistemas Lavoura-Pecuária-Floresta: macroporosidade e capacidade de aeração ( $\text{m}^3$ de poros por $\text{m}^3$ de solo)	Moura et al. (2023)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Eficiência de conversão da biomassa forrageira em ADG (%)	Dick et al. (2014)
Ambiental	Qualidade do solo	Análise química do solo ( $\text{cmolc}/\text{dm}^3$ ou $\text{mg}/\text{dm}^3$ )	Gomes et al. (2022)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Eficiência de conversão de proteína (carne produzida/consumida e contribuição líquida de proteína)	Fernandes et al. (2022)
Ambiental	Qualidade do solo	Análise química do solo ( $\text{cmolc}/\text{dm}^3$ ou $\text{mg}/\text{dm}^3$ )	Schmitt et al. (2021)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Energia contida nos alimentos produzidos (Mcal/ha)	Gil et al. (2018)
Ambiental	Qualidade do solo	Biomassa microbiana do solo ( $\text{mg C kg}^{-1}$ de solo)	Moraes et al. (2013)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Fêmeas que desmamam bezerras (%/ano)	Dick et al. (2014)
Ambiental	Qualidade do solo	Capacidade de troca de cátions do solo ( $\text{cmolc}/\text{kg}$ )	Tadini et al. (2021)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Ganho de peso (kg LW/dia ou g LW/dia ou kg BW/dia ou kg BW/ha ou % LW ou )	Cardoso et al. (2020)
Ambiental	Qualidade do solo	Composição e estrutura das comunidades bacterianas do solo (% grupo taxonômico/total de sequências de DNA).	Do Carmo et al. (2024)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Ganho de peso (kg LW/dia ou g LW/dia ou kg BW/dia ou kg BW/ha ou % LW ou )	Carvalho et al. (2018)
Ambiental	Qualidade do solo	Curvas de retenção de água no solo: Theta R (umidade residual) e Theta S (umidade saturada) (kg de água/kg de solo)	Moura et al. (2023)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Ganho de peso (kg LW/dia ou g LW/dia ou kg BW/dia ou kg BW/ha ou % LW ou )	Carvalho et al. (2019)
Ambiental	Qualidade do solo	Densidade do solo ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	Moura et al. (2023)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Ganho de peso (kg LW/dia ou g LW/dia ou kg BW/dia ou kg BW/ha ou % LW ou )	Cavazzana et al. (2023)
Ambiental	Qualidade do solo	Densidade do solo ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	Peterson et al. (2020)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Ganho de peso (kg LW/dia ou g LW/dia ou kg BW/dia ou kg BW/ha ou % LW ou )	D'aurea et al. (2021)
Ambiental	Qualidade do solo	Efeitos da IS na densidade, erosão, matéria orgânica e ciclagem de nutrientes do solo ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	Latawiec et al. (2014)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Ganho de peso (kg LW/dia ou g LW/dia ou kg BW/dia ou kg BW/ha ou % LW ou )	Dick et al. (2014)

Ambiental	Qualidade do solo	Fração volumétrica do solo (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Peterson et al. (2020)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Ganho de peso (kg LW/dia ou g LW/dia ou kg BW/dia ou kg BW/ha ou % LW ou )	Dick et al. (2021)
Ambiental	Qualidade do solo	Impacto do pastoreio nos atributos físicos do solo (densidade, porosidade, umidade e resistência)	Moraes et al. (2013)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Ganho de peso (kg LW/dia ou g LW/dia ou kg BW/dia ou kg BW/ha ou % LW ou )	Dick et al. (2022)
Ambiental	Qualidade do solo	Índice de Diversidade de Shannon (H) de comunidades microbianas no solo	Moraes et al. (2013)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Ganho de peso (kg LW/dia ou g LW/dia ou kg BW/dia ou kg BW/ha ou % LW ou )	Euclides et al. (2022)
Ambiental	Qualidade do solo	Índice de humificação da matéria orgânica do solo	Tadini et al. (2021)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Ganho de peso (kg LW/dia ou g LW/dia ou kg BW/dia ou kg BW/ha ou % LW ou )	Leal et al. (2024)
Ambiental	Qualidade do solo	Matéria orgânica no solo (g C kg)	Moura et al. (2023)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Ganho de peso (kg LW/dia ou g LW/dia ou kg BW/dia ou kg BW/ha ou % LW ou )	Mazzetto et al. (2015)
Ambiental	Qualidade do solo	Matéria orgânica no solo (g C kg)	Oliveira et al. (2023)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Ganho de peso (kg LW/dia ou g LW/dia ou kg BW/dia ou kg BW/ha ou % LW ou )	Monteiro et al. (2024)
Ambiental	Qualidade do solo	Número de nematoides por 300 cm <sup>3</sup> de solo e índices de biodiversidade (H' e J)	Schmitt et al. (2021)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Ganho de peso (kg LW/dia ou g LW/dia ou kg BW/dia ou kg BW/ha ou % LW ou )	Muchagata & Brown (2003)
Ambiental	Qualidade do solo	Propriedades físicas do solo, podendo ser porosidade (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ), umidade, PT, Ma, Mi, DS e índice S	Brasileiro-Assing et al. (2021)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Ganho de peso (kg LW/dia ou g LW/dia ou kg BW/dia ou kg BW/ha ou % LW ou )	Nunes et al. (2021)
Ambiental	Qualidade do solo	Propriedades físicas do solo, podendo ser porosidade (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ), umidade, PT, Ma, Mi, DS e índice S	Moura et al. (2023)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Ganho de peso (kg LW/dia ou g LW/dia ou kg BW/dia ou kg BW/ha ou % LW ou )	Oliveira et al. (2024)
Ambiental	Qualidade do solo	Propriedades físicas do solo, podendo ser porosidade (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ), umidade, PT, Ma, Mi, DS e índice S	Schmitt et al. (2021)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Ganho de peso (kg LW/dia ou g LW/dia ou kg BW/dia ou kg BW/ha ou % LW ou )	Peterson et al. (2020)
Ambiental	Qualidade do solo	Quociente metabólico microbiano (mg CO <sub>2</sub> /mg C por dia (×10 <sup>-3</sup> ))	Moraes et al. (2013)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Ganho de peso (kg LW/dia ou g LW/dia ou kg BW/dia ou kg BW/ha ou % LW ou )	Portugal et al. (2023)
Ambiental	Qualidade do solo	Relação entre carbono microbiano e carbono orgânico total (MB-C/TOC <sub>c</sub> )	Moraes et al. (2013)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Ganho de peso (kg LW/dia ou g LW/dia ou kg BW/dia ou kg BW/ha ou % LW ou )	Silva, F. et al. (2020)
Ambiental	Qualidade do solo	Respiração basal do solo (mg C-CO <sub>2</sub> /kg solo/dia)	Moraes et al. (2013)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Ganho de peso (kg LW/dia ou g LW/dia ou kg BW/dia ou kg BW/ha ou % LW ou )	Souza Filho et al. (2019)
Ambiental	Qualidade do solo	Umidade do solo em sistema de ICLF (Vol% em diferentes profundidades)	Glatzle et al. (2021)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Ganho de peso (kg LW/dia ou g LW/dia ou kg BW/dia ou kg BW/ha ou % LW ou )	Szymczak et al. (2020)
Ambiental	Redução de insumos	Gasto mensal com fertilizantes (R\$/mês/hectare)	Brasileiro-Assing et al. (2021)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Ganho de peso animal por Kg de nitrogênio aplicado (kg LW/kg N)	Euclides et al. (2022)
Ambiental	Redução de insumos	Gasto mensal com herbicidas (R\$/mês/hectare)	Brasileiro-Assing et al. (2021)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Idade de abate (meses)	D'aurea et al. (2021)
Ambiental	Regeneração/Recuperação da vegetação nativa	% de cobertura de savana e floresta em um raio de 5 km ao redor da pastagem	Silva, T. et al. (2023)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Idade de abate (meses)	Skidmore et al. (2022)
Ambiental	Regeneração/Recuperação da vegetação nativa	Cobertura de gramíneas exóticas nas pastagens (%/ha)	Silva, T. et al. (2023)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Nº de bezerras, novilhos abatidos para reposição de vacas em diferentes cenários de intensificação (UA)	Mazzetto et al. (2015)
Ambiental	Regeneração/Recuperação da vegetação nativa	Déficit hídrico climático anual (mm)	Silva, T. et al. (2023)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Peso dos animais por faixa etária (Kg)	D'aurea et al. (2021)

Ambiental	Regeneração/R ecuperação da vegetação nativa	Fertilidade do solo classificada como distrófica (baixa fertilidade) ou eutrófica (alta fertilidade)	Silva, T. et al. (2023)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Peso dos animais por faixa etária (Kg)	Silva, R. et al. (2015a)
Ambiental	Regeneração/R ecuperação da vegetação nativa	Inclinação do terreno (graus)	Silva, T. et al. (2023)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Produção de animais vivos (LAP) (Nº Animais por Hectare x GMD dos Animais de Teste x Dias de Pastejo)	Szymczak et al. (2020)
Ambiental	Regeneração/R ecuperação da vegetação nativa	Ocorrência de incêndios (anos - entrevistas)	Silva, T. et al. (2023)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Produção de carcaça (t/ha/ano)	Silva, R. et al. (2018)
Ambiental	Regeneração/R ecuperação da vegetação nativa	Proporção de areia no solo (g/kg)	Silva, T. et al. (2023)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Produção de carne (kg LW/ha ou kg/ha/ano ou kg/ha)	Gomes et al. (2022)
Ambiental	Regeneração/R ecuperação da vegetação nativa	Regeneração natural da vegetação nativa: cobertura (%/ha), densidade (indivíduos/ha), riqueza e composição de gramíneas nativas, ervas, e espécies lenhosas nas pastagens	Silva, T. et al. (2023)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Produção de carne (kg LW/ha ou kg/ha/ano ou kg/ha)	Monteiro et al. (2024)
Ambiental	Resiliência do sistema de pastagem	Rendimento produção de forragem (kg de matéria seca/ha)	Nunes et al. (2021)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Produção de carne (kg LW/ha ou kg/ha/ano ou kg/ha)	Silva, R. et al. (2021)
Ambiental	Restauração e Preservação de habitats	% de área com floresta nativa e plantada (Landsat)	Brasileir o- Assing et al. (2021)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Produção de leite (litros/animal/ha ou L/dia ou L/mês)	Brasileiro- Assing et al. (2021)
Ambiental	Restauração e Preservação de habitats	Adoção de práticas de proteção de áreas ripárias e declividade (entrevistas)	Brasileir o- Assing et al. (2021)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Produção de leite (litros/animal/ha ou L/dia ou L/mês)	Muchagat a & Brown (2003)
Ambiental	Restauração e Preservação de habitats	Área de APPs a ser restaurada (ha)	Garcia et al. (2017)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Produção de peso vivo por hectare (kg/ha)	Leal et al. (2024)
Ambiental	Sequestro de carbono	Densidade do solo (Mg m <sup>-3</sup> )	Oliveira et al. (2023)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Produção de produto animal por cabeça de gado (kg/cabeça)	Martha Jr et al. (2024)
Ambiental	Sequestro de carbono	Mudança no estoque de carbono do solo em áreas com CSA (Mg C/ha)	Oliveira et al. (2023)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Produção de proteína digestiva humana (kg/ha)	Nunes et al. (2021)
Ambiental	Sequestro de carbono	Perda de estoque de C por pastagens degradadas - modelo EAGGLE	Silva, R. et al. (2015b)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Produção total de proteína humana digerível e energia (kg HDP/ha e Mcal/ha)	Gil et al. (2018)
Ambiental	Sequestro de carbono	Potencial de sequestro de carbono em pastagens restauradas (t CO <sub>2</sub> e/ha) - Modelo CENTURY	Silva, R. et al. (2015a)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Produtividade (@/ha/ano)	Garcia et al. (2017)
Ambiental	Sequestro de carbono	Sequestro de carbono em áreas restauradas (t CO <sub>2</sub> eq)	Garcia et al. (2017)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Produtividade da carne bovina (kg CWE/ha/Ano)	Silva, R. et al. (2017)
Ambiental	Sequestro de carbono	Sequestro de carbono em eucalipto (Mg CO <sub>2</sub> eq/ha)	Monteir o et al. (2024)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Quantidade de proteína produzida (Mton)	Sparovek et al. (2018)
Ambiental	Sequestro de carbono	Sequestro de carbono no solo (kg C/ha/ano)	Dick et al. (2014)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Taxa de abate anual (% ou em cenários de Intensificação/meses)	Fernandes et al. (2022)
Ambiental	Sequestro de carbono	Sequestro de carbono no solo (Mg CO <sub>2</sub> eq/ha)	Monteir o et al. (2024)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Taxa de abate anual (% ou em cenários de Intensificação/meses)	Garcia et al. (2017)
Ambiental	Sequestro de carbono	Taxa de mudança de carbono no solo (Mg CO <sub>2</sub> eq/ha/ano)	Oliveira et al. (2024)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Taxa de crescimento do rebanho (Fertilidade/Mortalidade)	Muchagat a & Brown (2003)
Ambiental	Sequestro de carbono	Teor de argila no solo (g kg)	Oliveira et al. (2023)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Taxa de lotação (UA/ha)	Monteiro et al. (2024)
Ambiental	Sequestro de carbono	Varição de estoques de carbono no solo por manejo de pastagens (Mg C/ha)	Mazzett o et al. (2015)	Produtividade	Produtividade Zootécnica	Tempo de vida útil de uma vaca no sistema (anos)	Mazzetto et al. (2015)
Econômico	Custos e Benefícios	Análise Custo-Benefício do uso de fertilizantes nitrogenados (US\$)	Euclides et al. (2022)	Produtividade	Qualidade Nutricional das Pastagens	Composição bioquímica da massa seca/biomassa (% ou g/kg MS ou NDF)	Carvalho et al. (2019)

Econômico	Custos e Benefícios	Custo da Produção Total (US\$)	Muchagata & Brown (2003)	Produtividade	Qualidade Nutricional das Pastagens	Composição bioquímica da massa seca/biomassa (% ou g/kg MS ou NDF)	Euclides et al. (2022)
Econômico	Custos e Benefícios	Custo da transição para a intensificação sustentável (US\$/ha)	Garcia et al. (2017)	Produtividade	Qualidade Nutricional das Pastagens	Composição bioquímica da massa seca/biomassa (% ou g/kg MS ou NDF)	Gomes et al. (2022)
Econômico	Custos e Benefícios	Custo para a restauração de pastagens	Silva, R. et al. (2015a)	Produtividade	Qualidade Nutricional das Pastagens	Composição bioquímica da massa seca/biomassa (% ou g/kg MS ou NDF)	Leal et al. (2024)
Econômico	Custos e Benefícios	Custo para a restauração de pastagens	Silva, R. et al. (2018)	Produtividade	Qualidade Nutricional das Pastagens	Composição bioquímica da massa seca/biomassa (% ou g/kg MS ou NDF)	Meinerz et al. (2011)
Econômico	Custos e Benefícios	Custos agrícolas do tamanho da propriedade, acesso, preço da terra e produtividade da soja	Gil et al. (2016)	Produtividade	Qualidade Nutricional das Pastagens	Composição bioquímica da massa seca/biomassa (% ou g/kg MS ou NDF)	Monteiro et al. (2024)
Econômico	Custos e Benefícios	Custos de suplementação com concentrado e proteína (US\$/Kg)	Silva, R. et al. (2015a)	Produtividade	Qualidade Nutricional das Pastagens	Composição bioquímica da massa seca/biomassa (% ou g/kg MS ou NDF)	Oliveira et al. (2006)
Econômico	Desempenho Econômico	Crédito agrícola (R\$/ha pastagem/município)	Skidmore et al. (2022)	Produtividade	Qualidade Nutricional das Pastagens	Composição bioquímica da massa seca/biomassa (% ou g/kg MS ou NDF)	Silva, F. et al. (2020)
Econômico	Desempenho Econômico	Lucro por litro de leite (R\$/mês)	Brasilero-Assing et al. (2021)	Produtividade	Qualidade Nutricional das Pastagens	Composição bioquímica da massa seca/biomassa (% ou g/kg MS ou NDF)	Souza Filho et al. (2019)
Econômico	Desempenho Econômico	Retorno econômico da restauração de pastagens (R\$)	Silva, R. et al. (2017)	Produtividade	Qualidade Nutricional das Pastagens	Digestibilidade da forragem pelos animais (%)	Meinerz et al. (2011)
Econômico	Desempenho Econômico	Valor Agregado Bruto (US\$/ha)	Szymczak et al. (2020)	Produtividade	Qualidade Nutricional das Pastagens	Produção de energia bruta e metabolizável (EJ)	Sparovek et al. (2018)
Econômico	Desempenho Econômico	Valor da produção agrícola (culturas e gado)(US\$ bi)	Sparovek et al. (2018)	Social	Acesso a Informação Técnico-Científica	Índice de acesso à Assistência Técnica	Gil et al. (2016)
Econômico	Desempenho Econômico	Volume de carne exportada (Ton. carcaça)	Silva, R. et al. (2021)	Social	Acesso a Informação Técnico-Científica	Índice de acesso à informação do setor	Gil et al. (2016)
Econômico	Diversificação de Atividades Produtivas	Nº de produtores com atividades diversificadas além da Pecuária	Alves-Pinto et al. (2017)	Social	Acesso a Informação Técnico-Científica	Métrica de fazendas com experimentos da Embrapa	Gil et al. (2016)
Econômico	Eficiência do uso da terra	Área de pastagens disponível para outros usos (ha)	Alves-Pinto et al. (2017)	Social	Acesso a Informação Técnico-Científica	Necessidade de treinamento de produtores em manejo intensivo e sustentável (publicações)	Latawiec et al. (2014)
Econômico	Eficiência Econômica	Lucro entre sistemas integrados e pastagem (USD/ha)	Nunes et al. (2021)	Social	Demografia rural	Nº de membros familiares (faixa etária)	Brasilero-Assing et al. (2021)
Econômico	Eficiência Econômica	Lucro Líquido da produção de peso vivo e custo com fertilizantes (USD/ha)	Euclides et al. (2022)	Social	Disponibilidade de Capital	Disponibilidade de capital dos agricultores (entrevistas)	Gil et al. (2016)
Econômico	Eficiência Econômica	Lucro Líquido em sistemas intensivos (US\$)	Muchagata & Brown (2003)	Social	Educação Formal	Nível de escolaridade de agricultores	Gil et al. (2016)
Econômico	Eficiência Econômica	Lucro sobre investimento em ativos leiteiros (Retorno sobre Ativos) (R\$/custo)	Brasilero-Assing et al. (2021)	Social	Empregabilidade	Nº de trabalhadores/contratados na propriedade	Garcia et al. (2017)
Econômico	Eficiência Econômica	Maximização da Margem Bruta na Pecuária (Modelo EAGGLE)	Silva, R. et al. (2018)	Social	Empregabilidade	Nº de trabalhadores/contratados na propriedade	Gil et al. (2016)
Econômico	Eficiência Econômica	Redução de GEE na produção de carne bovina (R\$ Ton/CO <sub>2</sub> )	Silva, R. et al. (2015b)	Social	Empregabilidade	Publicações sobre o impacto da IS no Emprego	Latawiec et al. (2014)
Econômico	Eficiência Econômica	Rentabilidade relativa dos cultivos e da pecuária por unidade de área (US\$/ha)	Sparovek et al. (2018)	Social	Engajamento Comunitário	% de agricultores que participam de associações/cooperativas	Cortner et al. (2019)
Econômico	Eficiência Econômica	Retorno econômico (R\$/ha/Ano)	Moraes et al. (2013)	Social	Engajamento Comunitário	Nº de agricultores com familiares envolvidos na gestão da propriedade	Cortner et al. (2019)

Econômico	Eficiência Econômica	Retorno econômico anual (USD/ha) em diferentes sistemas agrícolas	Gil et al. (2018)	Social	Engajamento Comunitário	Percepção dos serviços ecossistêmicos e disposição para adotar práticas mais sustentáveis (entrevistas)	Alves-Pinto et al. (2017)
Econômico	Eficiência Econômica	Retorno Econômico Líquido estimado (LCU/ha/ano)	Peterson et al. (2020)	Social	Impacto social	Nº de membros da família na atividade leiteira	Brasileiro-Assing et al. (2021)
Econômico	Eficiência Econômica	Retorno Financeiro sobre investimento em Sistemas MIG e não MIG (Benefício Custo) (R\$/custo)	Brasileiro-Assing et al. (2021)	Social	Qualidade de vida	% de agricultores com melhora na qualidade de vida	Brasileiro-Assing et al. (2021)
Econômico	Eficiência Econômica	Taxa Interna de Retorno em projetos de IS de pastagens (%)	Garcia et al. (2017)				
Econômico	Eficiência Econômica	Valor Presente Líquido em IS de Pastagens (US\$/ha)	Garcia et al. (2017)				
Econômico	Infraestrutura da Cadeia Produtiva	Infraestrutura e Capacidade da Cadeia Produtiva (entrevistas)	Gil et al. (2016)				
Econômico	Receita Agrícola	Preço do Leite (US\$/litro)	Muchagata & Brown (2003)				
Econômico	Receita Agrícola	Receita Bruta de Produção pecuária (US\$)	Muchagata & Brown (2003)				
Econômico	Receita Agrícola	Receita Bruta por Peso Vivo com uso de fertilizantes (USD/ha)	Euclides et al. (2022)				
Econômico	Resiliência Econômica	Resiliência Econômica do sistema às variações climáticas e de preços (%)	Szymczak et al. (2020)				
Econômico	Sustentabilidade e Econômica	Balanço Econômico entre Custos de Produção e Receitas Agrícolas e Pecuárias	Carvalho et al. (2018)				
Econômico	Sustentabilidade e Econômica	Custos evitados pelo uso de resíduos de culturas em substituição a fertilizantes sintéticos (Mg CO <sub>2</sub> eq /ha)	Monteiro et al. (2024)				
Econômico	Sustentabilidade e Econômica	Impacto da demanda e preços da carne com a IS	Latawiec et al. (2014)				
Econômico	Sustentabilidade e Econômica	Necessidade de Políticas e Incentivos para promover a IS (publicações)	Latawiec et al. (2014)				

## Capítulo 2

Capítulo adaptado para o modelo de artigo para a revista *Revista de Economia e Sociologia Rural (RESR)*

### **Efeito da intensificação da pecuária sobre a qualidade das pastagens** **The effect of livestock intensification on pasture quality**

*Franciele Fath<sup>1</sup>, Fausto Miziara<sup>2</sup>, Gabriel Caymmi Vilela Ferreira<sup>3</sup>*

#### **RESUMO**

A pecuária bovina brasileira é predominantemente baseada em um sistema extensivo que busca agregar tecnologia e técnicas de manejos mais sustentáveis, porém, ainda enfrenta desafios para integrar o aumento da eficiência com a redução do custo ambiental. Neste contexto, o estudo investiga os efeitos da intensificação da pecuária na qualidade das pastagens em Goiás, Brasil, com foco nos sistemas de gado leiteiro e de corte. O estudo revela que, enquanto a intensificação na pecuária de corte está associada à melhoria da qualidade das pastagens, a intensificação na pecuária leiteira leva a uma maior degradação das pastagens. A análise utiliza índices de intensificação correlacionados com classes de qualidade das pastagens e emprega regressão logística multinomial para avaliar essas relações. As descobertas destacam a necessidade de práticas sustentáveis na pecuária leiteira para manter a qualidade das pastagens, apesar dos avanços tecnológicos.

**Palavras-chave:** pecuária extensiva, gado de corte, produção leiteira, degradação das pastagens

#### **ABSTRACT**

Brazilian cattle farming is predominantly based on an extensive system that seeks to incorporate technology and more sustainable management practices. However, it still faces challenges in integrating efficiency improvements with environmental cost reduction. In this context, the study investigates the effects of livestock intensification on pasture quality in Goiás, Brazil, focusing on dairy and beef cattle systems. The study reveals that while intensification in beef cattle farming is associated with improved pasture quality, intensification in dairy farming leads to greater pasture degradation. The analysis uses intensification indices correlated with pasture quality classes and employs multinomial logistic regression to evaluate these relationships. The findings highlight the need for sustainable practices in dairy farming to maintain pasture quality despite technological advancements.

**Keywords:** extensive livestock farming, beef cattle, milk production, pasture degradation

### **1. Introdução**

A pecuária bovina brasileira ocupa um papel central no cenário nacional e global, com um sistema tradicionalmente extensivo e de baixa tecnologia (Dias-Filho, 2014; Latawiec et al., 2014; Soares-Filho et al., 2014). Nas últimas décadas, essa atividade tem exigido a expansão das áreas de pastagem para acompanhar o crescimento do setor, tornando-se uma das principais formas de uso do solo no Brasil (Bustamante et al., 2012; Parente et al., 2019). Entre 1991 e 2021, o rebanho nacional aumentou de 152 milhões para 224 milhões de cabeças (IBGE, 2021), consolidando o Brasil como um dos maiores exportadores de carne bovina (ABIEC, 2021). No mercado interno, a pecuária representou 10% do PIB em 2021 (ABIEC, 2021), e

---

<sup>1</sup> Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia (GO), Brasil.

<sup>2</sup> Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia (GO), Brasil.

<sup>3</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, campus cidade de Goiás, Goiás, Brasil.

projeta-se que, na próxima década, a produção de carne bovina cresça 14,9%, enquanto a de leite aumente 1,8% (MAPA, 2021).

Apesar dos números expressivos, o setor ainda opera de forma rudimentar, sustentado principalmente pela expansão territorial, frequentemente associada a desmatamento (Batista et al., 2019; Soares-Filho et al., 2014). Embora existam avanços tecnológicos, ainda há grande potencial para aumentar a eficiência produtiva, especialmente em relação à mitigação dos impactos ambientais, como as emissões de gases de efeito estufa (Alves-Pinto et al., 2017; Batista et al., 2019). Em particular, a dependência do modelo extensivo de produção reforça a necessidade urgente de estratégias mais sustentáveis.

A eficiência do setor também é comprometida pela baixa taxa de lotação das pastagens no Brasil, com uma média aproximada de 0,97 unidades animais por hectare (AU ha-1) (Arantes et al., 2018), enquanto 58,9% da área total de pastagens está degradada (Santos et al., 2022). Esses dados revelam a urgência de alternativas que aumentem a produtividade sem gerar maiores danos ambientais. Nesse contexto, a intensificação da pecuária surge como uma estratégia promissora para melhorar a eficiência produtiva, reduzir a necessidade de novas áreas de pastagem e mitigar os impactos ambientais (Cardoso et al., 2020; Santos et al., 2024). No entanto, ainda existem questionamentos sobre a real eficácia da intensificação em melhorar a produtividade e reduzir os impactos ambientais (Ilea, 2009; Kleijn et al., 2019; Sakamoto et al., 2020; Tipan-Torres, 2024).

Os estudos sobre a intensificação da pecuária bovina no Brasil geralmente focam em apenas um setor, predominantemente na pecuária de corte (Cardoso et al., 2020; Pedrosa et al., 2021; Silveira et al., 2022), sem analisar comparativamente a pecuária leiteira. Como consequência, há poucas pesquisas sobre as diferenças entre esses sistemas, especialmente na gestão das pastagens. Apesar de receberem recomendações semelhantes, ainda se sabe pouco sobre se essas práticas geram os mesmos efeitos na qualidade das pastagens em cada setor. Compreender essas diferenças pode aprimorar políticas e práticas sustentáveis.

Neste contexto, Goiás foi escolhido como caso de estudo devido à sua relevância na produção nacional de carne e leite (IBGE, 2021b) e sua localização no bioma Cerrado, que abriga uma biodiversidade única (Myers et al. 2000). No entanto, pouco se sabe sobre como a intensificação afeta a qualidade das pastagens nesse estado, especialmente ao comparar os impactos da pecuária leiteira e de corte.

Este estudo tem como objetivo investigar como a intensificação da pecuária bovina reflete na qualidade das pastagens e analisar se existem diferenças nos efeitos da intensificação

entre a pecuária leiteira e a pecuária de corte sobre a qualidade das pastagens. Para isso, foram utilizados índices de intensificação correlacionados com as classes de qualidade das pastagens, analisando a relação entre esses índices e as condições atuais das pastagens. Com essa abordagem, espera-se contribuir para a literatura e fornecer informações que ajudem na formulação de políticas públicas e práticas de manejo mais sustentáveis, buscando equilibrar produtividade e conservação ambiental na pecuária brasileira.

## 2. Metodologia

### 2.1 Área de estudo

A área de estudo compreende os limites territoriais do estado de Goiás, na região Centro-Oeste do Brasil, que está abrangido pelo bioma Cerrado (IBGE 2021b). Goiás possui 246 municípios e uma área total de 33.470,58 km<sup>2</sup>, sendo responsável por 17% da área total do Cerrado e ocupando um papel importante na produção nacional de carne bovina e leite (IBGE, 2021a).

A pecuária ocupa 12.168,53 km<sup>2</sup> do estado de Goiás, o que representa 37,67% da área total (IBGE, 2021a) (Figura 4). Essa área é significativa devido à sua relevância para a pecuária no Brasil, refletindo tanto a extensão da produção quanto as áreas de pastagens plantadas no bioma Cerrado.

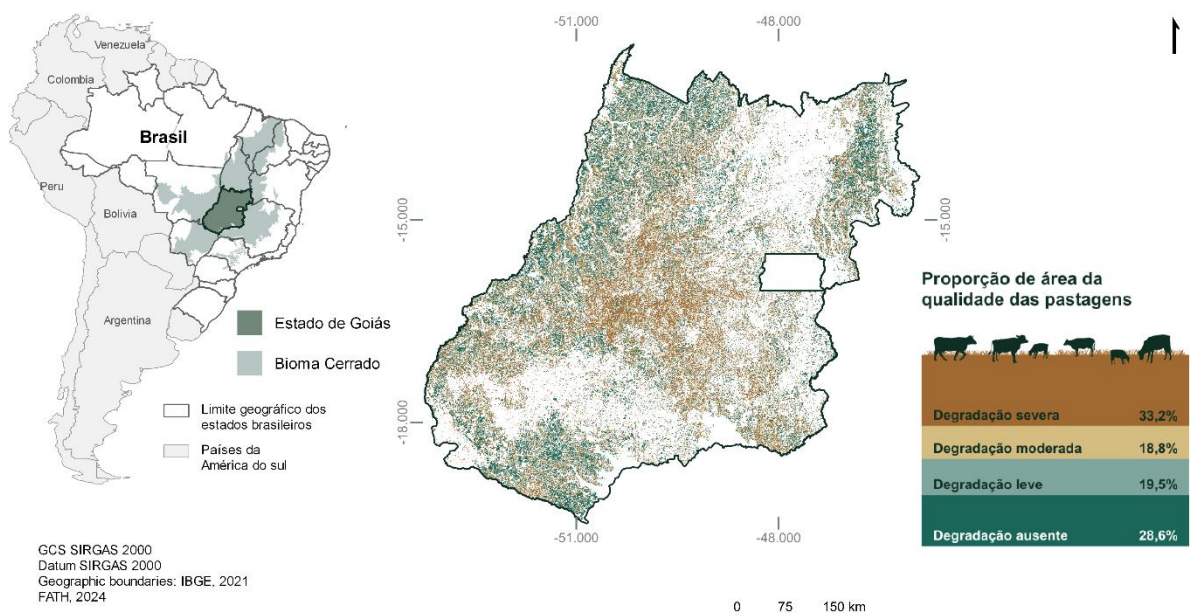


Figura 4: Qualidade das pastagens em Goiás: Mapa da distribuição das classes de qualidade das pastagens no bioma Cerrado, destacando áreas com diferentes níveis de degradação.

## 2.2 Coleta de dados e análise

Nesta pesquisa, a intensificação da pecuária é definida como o uso de insumos externos, práticas de manejo e estratégias que aumentam a produtividade e os retornos financeiros (G. C. V. Ferreira et al., 2022). Para avaliar a relação entre a intensificação da pecuária e a qualidade das pastagens, foram adotados os índices de intensificação propostos por Ferreira et al. (2022) para o estado de Goiás: o Índice de Intensificação da Pecuária Leiteira (IIPL) e o Índice de Intensificação da Pecuária de Corte (IIPC). A metodologia utilizada é descrita a seguir, e o fluxograma correspondente pode ser visualizado na Figura 5.

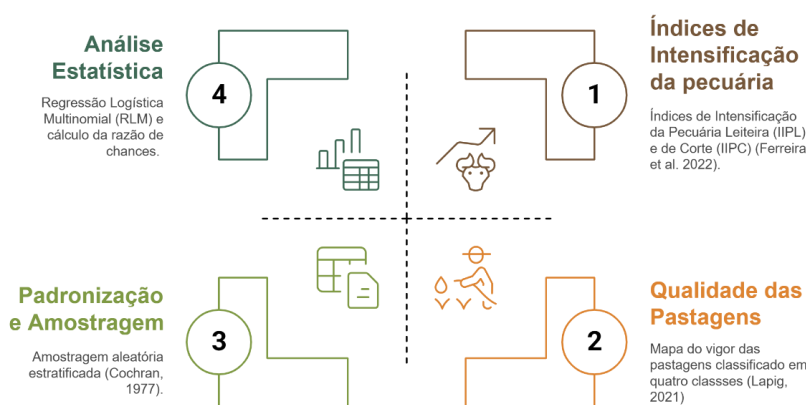


Figura 5. Fluxograma das etapas metodológicas utilizadas para avaliar a relação entre a intensificação da pecuária e a qualidade das pastagens.

Os índices de intensificação foram elaborados a partir de dados dos Censos Agropecuários, das áreas de pastagem do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG. Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento, 2023), e dos dados sobre o rebanho bovino da Agência Goiana de Defesa Agropecuária (Agrodefesa) (Tabela 7). A formulação dos índices foi realizada por meio de Análise Fatorial, onde a maior proporção de explicação dos dados foi multiplicada pela média ponderada dos fatores em relação à variância total. Os índices foram calculados para o ano de 2017 e apresentados ao nível municipal (para mais detalhes sobre a construção dos índices, consulte Ferreira et al., 2022).

Tabela 7. Descrição das variáveis utilizadas para elaborar os índices de intensificação da pecuária por município. Obtido e adaptado de Ferreira et al (2022).

Variáveis	Unidade	Fonte
Estabelecimentos pecuários que fizeram irrigação	%	IBGE, 2019
Estabelecimentos pecuários com unidades armazenadoras	%	IBGE, 2019
Suplementação animal com grãos e subprodutos da indústria	%	IBGE, 2019
Controle de parasitas e doenças	%	IBGE, 2019

Valor bruto de produção em relação ao total do rebanho	R\$/cabeça	IBGE, 2019
Financiamento (crédito rural)	%	IBGE, 2019
Proporção de estabelecimentos pecuários	%	IBGE, 2019
Área de pastagem	%	LAPIG, 2020
Rebanho bovino	%	IBGE, 2019
Bovinos abatidos	cabeças/ha	IBGE, 2019, LAPIG, n.d.
Unidade Animal (hectare)	UA/ha	IBGE, 2019, LAPIG, n.d.
Estabelecimentos produtores de leite	%	IBGE, 2019
Vacas ordenhadas	%	IBGE, 2019
Volume de leite por município	%	IBGE, 2019
Volume de leite por vaca ordenhada	L/vaca	IBGE, 2019
Volume de leite por pastagem (hectare)	L/ha	IBGE, 2019

Os dados das áreas de pastagens e seus níveis de vigor, denominados neste estudo como qualidade, foram obtidos do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG, 2021). Este produto é um mapeamento pronto, gerado a partir da classificação de imagens do sensor MSI (*MultiSpectral Instrument* – MSI) da missão Sentinel-2 (Agência Espacial Europeia - ESA), focado na extensão do bioma Cerrado no estado de Goiás, Brasil. O mapeamento, referente ao ano de 2021, possui uma resolução espacial de aproximadamente 5 m. As pastagens foram classificadas em quatro níveis de qualidade, com as seguintes porcentagens de área ocupada: (i) ausência de degradação (28,09%), (ii) degradação leve (19,55%), (iii) degradação moderada (18,64%) e (iv) degradação severa (33,72%).

Devido ao fato de os índices de intensificação serem calculados no nível municipal, apresentando um único valor por município, e o mapa de qualidade das pastagens ser um arquivo matricial/raster, com diferentes classes representadas por múltiplos pixels, foi necessário realizar uma padronização para relacioná-los. Para isso, utilizou-se uma amostragem aleatória estratificada (Cochran et al., 1977) para representar os dados de pastagens, considerando dois critérios: (i) a proporção da área de cada município em relação à área total do estado e (ii) a proporção de pixels de cada classe de qualidade dentro de cada município. A amostra inicial foi composta por 100.000 pontos, com margem de erro de 5%, sendo ajustada para 99.562 pontos devido à área reduzida do município de Água Limpa no bioma Cerrado.

Para avaliar a relação entre os índices de intensificação e as classes de qualidade das pastagens, foi aplicada uma regressão logística multinomial (RLM), com a classe ausência de degradação definida como referência. O ajuste do modelo foi avaliado por meio do teste da razão de verossimilhança (Fagerland et al., 2008; Goeman et al., 2006). A significância dos coeficientes foi testada utilizando a estatística de Wald, que determina a influência das variáveis preditoras sobre a variável dependente (Hosmer et al., 2002).

A exponenciação dos coeficientes estimados foi utilizada para calcular a razão de chances (odds ratio, OR), que indica como a probabilidade da categoria dependente varia em resposta a uma mudança na variável preditora. A interpretação dos valores de OR é a seguinte: valores maiores que 1 indicam uma relação positiva, enquanto valores menores que 1 indicam uma relação negativa. Quando a OR é igual a 1, não há efeito significativo da variável preditora sobre a variável dependente (Peng et al., 2002). A análise da RLM permitiu analisar a influência dos índices de intensificação sobre as classes de qualidade das pastagens.

### 3. Resultados e Discussão

Os resultados da RLM indicam que a intensificação da pecuária de leite (I IPL) e da pecuária de corte (I IPLC) influenciam significativamente a qualidade das pastagens, porém de maneiras distintas. A Tabela 8 apresenta as Razões de Chances (OR), Coeficientes, Intervalos de Confiança e valores de *p* obtidos, considerando como categoria de referência a pastagem sem sinais de degradação.

Tabela 8. Resultados do Modelo de Regressão Logística Multinomial.

Qualidade da pastagem	Variável	OR	Coef.	CI Inferior	CI Superior	p-value
Leve	I IPL	1.1992	0.1816	1.0699	1.3441	0.0020
	I IPC	0.9063	-0.0984	0.8001	1.0266	0.1220
Moderado	I IPL	1.7944	0.5847	1.6003	2.0120	0.0000
	I IPC	0.8263	-0.1908	0.7279	0.9381	0.0030
Severo	I IPL	2.5179	0.9234	2.2823	2.7779	0.0000
	I IPC	0.7885	-0.2376	0.7071	0.8793	0.0000

A intensificação da pecuária leiteira apresentou valores de OR significativamente superior a 1 em todos os níveis de degradação. Com base nesses resultados, verifica-se que cada incremento unitário no I IPL eleva a probabilidade de ocorrência de degradação leve, moderada e severa das pastagens em, respectivamente, 19,92%, 79,44% e 151,79%. Esses valores, calculados a partir da fórmula  $(OR - 1) * 100$ , corroboram a hipótese de que sistemas leiteiros mais intensivos estão fortemente correlacionados à degradação das pastagens.

Em contrapartida, a intensificação da pecuária de corte demonstrou uma relação inversa, os valores de OR foram inferiores a 1 nas três categorias de degradação, com

significância estatística para os níveis moderado e severo. Esse padrão sugere que práticas intensivas na pecuária de corte estão associadas à redução na probabilidade de degradação, refletindo a adoção de manejos mais eficientes ou menos impactantes sobre as pastagens.

Embora a literatura sobre a comparação entre esses setores seja escassa, a diferença entre os sistemas pode ser atribuída às particularidades de suas práticas de intensificação, uma vez que ambos os sistemas são dependentes das pastagens. A pecuária leiteira, por exemplo, costuma utilizar maior suplementação alimentar para garantir a lactação contínua, o que reduz a pressão direta sobre a pastagem. Contudo, essa menor dependência pode levar à negligência no manejo adequado do solo e vegetação, favorecendo processos de degradação (Stelwagen et al., 2024).

Outros estudos reforçam esses achados. Em contextos diversos como no Uruguai e Nova Zelândia, apontam impactos negativos semelhantes em decorrência da intensificação leiteira, como acidificação e compactação do solo, que afetam diretamente a produtividade das pastagens (Darré et al., 2021; Hu et al., 2021). Na Letônia, práticas semelhantes resultaram na substituição gradual do pastejo por sistemas confinados, o que contribuiu para a degradação do solo (Brizga et al., 2021). Esses dados indicam que os impactos da intensificação leiteira sobre a qualidade das pastagens ocorrem mesmo em contextos produtivos e climáticos distintos.

A intensificação da pecuária de corte parece estar associada a menores níveis de degradação das pastagens, possivelmente em função da maior flexibilidade nos ciclos produtivos. Sistemas de produção de carne bovina frequentemente permitem períodos de descanso e rotação das áreas de pastagem, além de poderem ser organizados em fases distintas (como recria e engorda), o que facilita o manejo mais racional das pastagens (Ferreira et al., 2020). Em contraste, na pecuária leiteira, a pressão sobre as pastagens tende a ser mais constante ao longo do ano, especialmente em sistemas de média e baixa tecnologia (Darré et al., 2021; Toro-Mujica et al., 2020), o que aumenta a vulnerabilidade à degradação. Como resultado, o manejo dessas áreas costuma ser negligenciado, favorecendo a degradação. Durante a estação seca no Cerrado, a escassez de forragem natural agrava esse cenário. A ausência de práticas como irrigação, adubação ou rotação intensifica o estresse ambiental sobre as pastagens (Freitas et al., 2022; Teague et al., 2020).

O manejo adequado de sistemas baseados em pastagens pode mitigar impactos ambientais ao promover o sequestro de carbono no solo e reduzir as emissões de gases de efeito estufa (Silva et al., 2023). A utilização de forragens de alto valor nutritivo favorece a eficiência na digestão animal, diminuindo a produção de metano entérico e a liberação de óxido nitroso

(Franzluebbers, 2020). Estratégias como pastejo rotacionado, uso de forrageiras adaptadas e taxas de lotação compatíveis contribuem para a recuperação da fertilidade do solo e o aumento da biomassa vegetal (Beukes et al., 2020; Clark et al., 2016). Além disso, a ciclagem eficiente de nutrientes melhora a retenção de carbono e reduz a dependência de insumos externos (Galloway et al., 2018).

Apesar dos benefícios potenciais de práticas sustentáveis, a pecuária leiteira enfrenta desafios estruturais que comprometem o uso adequado das pastagens. A alta demanda nutricional das vacas em lactação, aliada à variação sazonal da produção de forragem no Cerrado, exige suplementação intensiva, o que pode relegar o manejo das pastagens a um papel secundário (Darré et al., 2021; Toro-Mujica et al., 2020). Durante a estação seca, a forragem é escassa, e a ausência de práticas como irrigação, adubação ou rotação intensifica a degradação do solo (Freitas et al., 2022). Assim, mesmo com suplementação, o estresse ambiental sobre as áreas de pastagem persiste.

Outro fator importante é o perfil produtivo predominante em cada tipo de pecuária. A produção leiteira em Goiás é majoritariamente conduzida por pequenas propriedades rurais e agricultores familiares, responsáveis por cerca de 52% da produção (SEAPA, 2021; Albuquerque et al., 2023). Esse perfil enfrenta sérias limitações de acesso a crédito e assistência técnica, apenas 13,9% das propriedades tinham acesso a crédito em 2017 e menos de 20% recebiam assistência técnica regular (Bassotto et al., 2022; FAEG, 2019). Essa limitação afeta diretamente a adoção de práticas sustentáveis de manejo.

Por outro lado, a pecuária de corte, com predominância de grandes propriedades, possui maior acesso a crédito rural, tecnologias e apoio técnico (Eusébio et al., 2020). A filiação a cooperativas e a profissionalização contábil favorecem o financiamento e a intensificação sustentável da produção (Eusébio et al., 2020). Esse suporte financeiro possibilita a implementação de tecnologias e práticas de manejo mais eficientes, promovendo a intensificação sustentável da produção.

A maior representatividade da pecuária de corte no rebanho brasileiro, responsável por cerca de 93% do total, atrai mais atenção de políticas públicas e pesquisas voltadas para tecnologias sustentáveis, como a recuperação de pastagens e o Plano ABC+ (ABIEC, 2021). Essa priorização fortalece a adoção de práticas eficientes e pressiona o setor a manter níveis produtivos com menor impacto ambiental, algo ainda incipiente no segmento leiteiro.

Para mitigar os impactos da intensificação da pecuária leiteira, existem alternativas sustentáveis, como os sistemas integrados (integração lavoura-pecuária e silvipastoris), o uso

de leguminosas forrageiras, redução da dependência de insumos externos, melhorar o manejo das pastagens, dos recursos naturais e dos animais aliado ao investimento no suporte técnico, financeiro e de infraestrutura (Quintão, 2001; Ferreira et al., 2020; Silveira et al., 2022). Essas estratégias têm o potencial de aumentar a resiliência produtiva e ambiental, reduzir a pressão sobre as pastagens em períodos críticos. No entanto, a adoção dessas práticas na pecuária leiteira é limitada por obstáculos estruturais, como o baixo acesso a crédito, assistência técnica e tecnologias por parte dos pequenos produtores, que representam a maioria desse segmento. Assim, apesar da existência de soluções técnicas viáveis, sua implementação em larga escala ainda depende de políticas públicas mais inclusivas e apoio institucional contínuo.

Além disso, embora os resultados indiquem que a intensificação da pecuária de corte esteja associada a menor risco estatístico de degradação, esse setor ocupa a maior parte das áreas de pastagem no Brasil. Consequentemente, sua contribuição absoluta para a degradação, em termos de extensão territorial, não pode ser ignorada. A adoção de práticas sustentáveis e eficientes nesse setor também é fundamental para frear a degradação e alcançar metas ambientais em escala nacional.

Uma limitação deste estudo foi a ausência de análise direta da proporção de áreas degradadas por tipo de pecuária. Embora a pecuária leiteira mostre maior associação estatística com a degradação, a predominância da pecuária de corte no uso do solo sugere que seu impacto absoluto pode ser maior.

Além disso, os resultados refletem a realidade do estado de Goiás, onde a sazonalidade acentuada afeta a disponibilidade de forragem. Em outras regiões, como o Sul do Brasil (com regime pluviométrico mais equilibrado) ou o Nordeste (com seca prolongada), a dinâmica de degradação pode ser diferente. Portanto, é essencial considerar as especificidades regionais em análises futuras.

#### **4. Conclusões**

Este estudo evidenciou que a intensificação da pecuária no estado de Goiás impacta de maneira distinta a qualidade das pastagens, com diferenças entre os sistemas de pecuária de leite e de corte. Enquanto a intensificação da pecuária de corte mostrou uma associação positiva com a manutenção da qualidade das pastagens, a intensificação da pecuária leiteira foi associada a uma maior degradação. Esses resultados destacam a complexidade do processo de intensificação, indicando que, embora as práticas intensivas possam ser benéficas para a produtividade, elas devem ser adequadas ao tipo de atividade e às condições locais para

evitar impactos ambientais, especialmente em relação ao manejo das pastagens.

A pecuária de leite, com sua dependência de suplementação alimentar e de insumos externos, requer um modelo de intensificação que seja mais sustentável e que considere a regeneração e conservação das pastagens, sem comprometer a produtividade. Por outro lado, a pecuária de corte, por sua maior dependência das pastagens para alimentação do rebanho, parece seguir um caminho mais equilibrado ao integrar práticas de manejo sustentável, como a recuperação de pastagens e o pastejo rotacionado.

Este estudo também ressaltou a importância de políticas públicas que incentivem práticas mais sustentáveis, como o Plano ABC+ (Agricultura de Baixo Carbono), e que proporcionem suporte técnico e financeiro para a implementação de tecnologias que favoreçam a recuperação das pastagens degradadas e a preservação do meio ambiente. No entanto, é necessária mais pesquisa sobre como as variáveis regionais e as condições locais, como o clima e o acesso a recursos, influenciam a intensificação e a qualidade das pastagens, para um entendimento mais completo e eficaz das práticas de manejo.

Em suma, as políticas e práticas de intensificação devem ser adaptadas a cada tipo de sistema produtivo, com a integração de estratégias que garantam a eficiência produtiva sem comprometer a sustentabilidade das pastagens, assegurando, assim, a continuidade da produção sem aumento do custo ambiental.

### **Agradecimentos**

Agradecemos ao Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento pelo fornecimento do mapeamento das classes de qualidade das pastagens, ao Professor Luís Rodrigo Fernandes Baumann pela discussão em relação a metodologia aplicada para a análise estatística e amostragem, e à Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado da autora.

### **Referências**

- ABIEC - Associação Brasileira Das Indústrias Exportadoras De Carnes. (2021). *BEEF Report: Perfil da Pecuária no Brasil*. Brasil.
- Albuquerque, E. de M., Campos, K. C., & Tabosa, F. J. S. (2023). *Perfil da pecuária no Centro-Oeste*.
- Alves-Pinto, H. N., Latawiec, A. E., Strassburg, B. B. N., Barros, F. S. M., Sansevero, J. B. B., Iribarrem, A., Crouzeilles, R., Lemgruber, L., C. Rangel, M., & Silva, A. C. P. (2017). Reconciling rural development and ecological restoration: Strategies and policy recommendations for the Brazilian Atlantic Forest. *Land Use Policy*, 60, 419–426. doi: 10.1016/j.landusepol.2016.08.004

- Arantes, A. E., Couto, V. R. D. M., Sano, E. E., & Ferreira, L. G. (2018). Livestock intensification potential in Brazil based on agricultural census and satellite data analysis. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 53(9), 1053–1060. doi: 10.1590/s0100-204x2018000900009
- Bassotto, L. C., Lopes, M. A., Brito, M. J. D., & Benedicto, G. C. D. (2022). Eficiência produtiva e riscos para propriedades leiteiras: uma revisão integrativa. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 60(4), e245277. doi: 10.1590/1806-9479.2021.245277
- Batista, E., Soares-Filho, B., Barbosa, F., Merry, F., Davis, J., Van Der Hoff, R., & Rajão, R. G. (2019). Large-scale pasture restoration may not be the best option to reduce greenhouse gas emissions in Brazil. *Environmental Research Letters*, 14(12), 125009. doi: 10.1088/1748-9326/ab5139
- Beukes, P. C., Gregorini, P., Cameron, K., & Attwood, G. T. (2020). Farm-scale carbon and nitrogen fluxes in pastoral dairy production systems using different nitrogen fertilizer regimes. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 117(1), 1–12. doi: 10.1007/s10705-020-10052-2
- Brizga, J., Kurppa, S., & Heusala, H. (2021). Environmental Impacts of Milking Cows in Latvia. *Sustainability*, 13(2), 784. doi: 10.3390/su13020784
- Bustamante, M. M. C., Nobre, C. A., Smeraldi, R., Aguiar, A. P. D., Barioni, L. G., Ferreira, L. G., Longo, K., May, P., Pinto, A. S., & Ometto, J. P. H. B. (2012). Estimating greenhouse gas emissions from cattle raising in Brazil. *Climatic Change*, 115(3–4), 559–577. doi: 10.1007/s10584-012-0443-3
- Cardoso, A. D. S., Barbero, R. P., Romanzini, E. P., Teobaldo, R. W., Ongaratto, F., Fernandes, M. H. M. D. R., Ruggieri, A. C., & Reis, R. A. (2020). Intensification: A Key Strategy to Achieve Great Animal and Environmental Beef Cattle Production Sustainability in Brachiaria Grasslands. *Sustainability*, 12(16), 6656. doi: 10.3390/su12166656
- Clark, C. E. F., Farina, S. R., Garcia, S. C., Islam, M. R., Kerrisk, K. L., & Fulkerson, W. J. (2016). A comparison of conventional and automatic milking system pasture utilization and pre- and post-grazing pasture mass. *Grass and Forage Science*, 71(1), 153–159. doi: 10.1111/gfs.12171
- Cochran, W. G., & Cochran, W. G. (1977). *Sampling techniques* (3. ed). New York, NY: Wiley.
- Quintão, Cynara Magalhães Pinto Godói. (2001). *EFEITOS DA DEGRADAÇÃO DE PASTAGENS SOBRE A PRODUÇÃO DE LEITE NO ESTADO DE GOIÁS* [Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Economia Aplicada, para obtenção do título de “Magister Scientiae,” Universidade Federal de Viçosa]. Retrieved from <https://locus.ufv.br/server/api/core/bitstreams/1a893055-78ff-4eff-8c71-6b0497864d3d/content>
- Darré, E., Llanos, E., Astigarraga, L., Cadenazzi, M., & Picasso, V. (2021). Do pasture-based mixed dairy systems with higher milk production have lower environmental impacts?

- A Uruguayan case study. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 64(3), 444–462. doi: 10.1080/00288233.2020.1750433
- Dias-Filho, M. B. (2014). *Diagnóstico das pastagens no Brasil*. doi: 10.13140/RG.2.1.4476.0169
- Eusébio, G. D. S., Maia, A. G., & Silveira, R. L. F. D. (2020). CRÉDITO RURAL E IMPACTO SOBRE O VALOR DA PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA: uma análise para agricultores não familiares. *Gestão & Regionalidade*, 36(108). doi: 10.13037/gr.vol36n108.5622
- FAEG. Federação da Agricultura e Pecuária de Goiás. Sistema FAEG/SENAR/IFAG/SINDICATOS RURAIS. Diagnóstico da Cadeia Láctea do Estado de Goiás 2019: Relatório de Pesquisa. Goiânia, GO, Brasil, 2019.
- Fagerland, M. W., Hosmer, D. W., & Bofin, A. M. (2008). Multinomial goodness-of-fit tests for logistic regression models. *Statistics in Medicine*, 27(21), 4238–4253. doi: 10.1002/sim.3202
- Ferreira, G. C. V., Miziara, F., & Vazquez-González, I. (2022). Intensificação da pecuária em Goiás. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 60(4), e242960. doi: 10.1590/1806-9479.2021.242960
- Ferreira, L. A., Claudino, L. S. D., Carvalho, S. A. D., Maneschy, R. Q., & Pocard-Chapuis, R. (2020). Caracterização da pecuária leiteira de base familiar no Estado do Pará: reflexões sobre práticas agroecológicas. *Agricultura Familiar: Pesquisa, Formação e Desenvolvimento*, 14(1), 126. doi: 10.18542/raf.v14i1.8879
- Franzluebbers, A. J. (2020). Chapter 2 - Cattle grazing effects on the environment: Greenhouse gas emissions and carbon footprint. In M. Rouquette & G. E. Aiken (Eds.), *Management Strategies for Sustainable Cattle Production in Southern Pastures* (pp. 11–34). Academic Press. doi: 10.1016/B978-0-12-814474-9.00002-5
- Freitas, G. D. S., Prudencio, M. F., & Soares Filho, C. V. (2022). O uso de tecnologias para reduzir impactos ambientais na intensificação da pecuária de corte. *Research, Society and Development*, 11(8), e17611830416. doi: 10.33448/rsd-v11i8.30416
- Galloway, C., Conradie, B., Prozesky, H., & Esler, K. (2018). Are private and social goals aligned in pasture-based dairy production? *Journal of Cleaner Production*, 175, 402–408. doi: 10.1016/j.jclepro.2017.12.036
- Goeman, J. J., & le Cessie, S. (2006). A Goodness-of-Fit Test for Multinomial Logistic Regression. *Biometrics*, 62(4), 980–985. Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/4124518>
- Hosmer, D. W., & Hjort, N. L. (2002). Goodness-of-fit processes for logistic regression: simulation results. *Statistics in Medicine*, 21(18), 2723–2738. doi: 10.1002/sim.1200
- Hu, W., Drewry, J., Beare, M., Eger, A., & Müller, K. (2021). Compaction induced soil structural degradation affects productivity and environmental outcomes: A review and New Zealand case study. *Geoderma*, 395, 115035. doi:

10.1016/j.geoderma.2021.115035

IBGE – Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. (2021a). *Malhas territoriais* [Data set]. <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais.html>. Retrieved from <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais.html>

IBGE – Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. (2021b). *Pesquisa Pecuária Municipal* [Data set]. <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/quadros/brasil/2021>. Retrieved from <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/quadros/brasil/2021>

Ilea, R. C. (2009). Intensive Livestock Farming: Global Trends, Increased Environmental Concerns, and Ethical Solutions. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 22(2), 153–167. doi: 10.1007/s10806-008-9136-3

Kleijn, D., Bommarco, R., Fijen, T. P. M., Garibaldi, L. A., Potts, S. G., & Van Der Putten, W. H. (2019). Ecological Intensification: Bridging the Gap between Science and Practice. *Trends in Ecology & Evolution*, 34(2), 154–166. doi: 10.1016/j.tree.2018.11.002

LAPIG. Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento. (2023). *Atlas das Pastagens Brasileiras* [Data set]. <https://pastagem.org/atlas/map>. Retrieved from <https://pastagem.org/atlas/map>

Latawiec, A. E., Strassburg, B. B. N., Valentim, J. F., Ramos, F., & Alves-Pinto, H. N. (2014). Intensification of cattle ranching production systems: socioeconomic and environmental synergies and risks in Brazil. *Animal*, 8(8), 1255–1263. doi: 10.1017/S1751731114001566

MAPA - Ministério Da Agricultura, Pecuária E Abastecimento. (2021). *Projeções do Agronegócio: Brasil 2020/21 a 2030/31*. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Assessoria de Gestão Estratégica.

Parente, L., Mesquita, V., Miziara, F., Baumann, L., & Ferreira, L. (2019). Assessing the pasturelands and livestock dynamics in Brazil, from 1985 to 2017: A novel approach based on high spatial resolution imagery and Google Earth Engine cloud computing. *Remote Sensing of Environment*, 232, 111301. doi: 10.1016/j.rse.2019.111301

Pedrosa, L. M., Hoshide, A. K., Abreu, D. C. D., Molossi, L., & Couto, E. G. (2021). Financial transition and costs of sustainable agricultural intensification practices on a beef cattle and crop farm in Brazil's Amazon. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 36(1), 26–37. doi: 10.1017/S1742170519000413

Peng, C. J., So, T. H., Stage, F. K., & St. John, E. P. (2002). THE USE AND INTERPRETATION OF LOGISTIC REGRESSION IN HIGHER EDUCATION JOURNALS: 1988–1999. *Research in Higher Education*, 43(3), 259–293. doi: 10.1023/A:1014858517172

Sakamoto, L. S., Berndt, A., Pedroso, A. D. F., Lemes, A. P., Azenha, M. V., Alves, T. C., Rodrigues, P. H. M., Corte, R. R., Leme, P. R., & Oliveira, P. P. A. (2020). Pasture intensification in beef cattle production can affect methane emission intensity.

- Santos, C. O. D., Mesquita, V. V., Parente, L. L., Pinto, A. D. S., & Ferreira, L. G. (2022). Assessing the Wall-to-Wall Spatial and Qualitative Dynamics of the Brazilian Pasturelands 2010–2018, Based on the Analysis of the Landsat Data Archive. *Remote Sensing*, 14(4), 1024. doi: 10.3390/rs14041024
- Santos, C. O. D., Pinto, A. D. S., Santos, M. P. D., Alves, B. J. R., Neto, M. B. R., & Ferreira, L. G. (2024). Livestock intensification and environmental sustainability: An analysis based on pasture management scenarios in the Brazilian savanna. *Journal of Environmental Management*, 355, 120473. doi: 10.1016/j.jenvman.2024.120473
- SEAPA - Secretaria De Estado Da Agricultura, Pecuária E Abastecimento (2021). Dados sobre a produção de leite em Goiás. Mai.2024. Disponível em: <https://www.emater.go.gov.br/wp/governo-de-goias-doa-250-toneladas-de-milho-a-produtores-de-leite-em-vulnerabilidade/#:~:text=%E2%80%9CAproximadamente%2052%25%20de%20todo%20o,da%20pasta%2C%20Pedro%20Leonardo%20Rezende>.
- Silva, L. D. L., Ribon, A. A., & Backes, C. (2023). Carbono e matéria orgânica do solo em sistema de manejo de produção de pastagem: uma revisão sistemática com meta-análise. *Agrarian*, 16(56), e17176. doi: 10.30612/agrarian.v16i56.17176
- Silveira, J. G. D., Oliveira Neto, S. N. D., Canto, A. C. B. D., Leite, F. F. G. D., Cordeiro, F. R., Assad, L. T., Silva, G. C. C., Marques, R. D. O., Dalarme, M. S. L., Ferreira, I. G. M., Conceição, M. C. G. D., & Rodrigues, R. D. A. R. (2022). Land Use, Land Cover Change and Sustainable Intensification of Agriculture and Livestock in the Amazon and the Atlantic Forest in Brazil. *Sustainability*, 14(5), 2563. doi: 10.3390/su14052563
- Soares-Filho, B., Rajão, R., Macedo, M., Carneiro, A., Costa, W., Coe, M., Rodrigues, H., & Alencar, A. (2014). Cracking Brazil's Forest Code. *Science*, 344(6182), 363–364. doi: 10.1126/science.1246663
- Stelwagen, K., Pinxterhuis, I. (J. B. ), Lacy-Hulbert, S. J., & Phyn, C. V. C. (2024). A review of extended lactation in dairy cows managed in high-input and pasture-based farming systems. *Animal Production Science*, 64(16). doi: 10.1071/AN24167
- Teague, R., & Kreuter, U. (2020). Managing Grazing to Restore Soil Health, Ecosystem Function, and Ecosystem Services. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 534187. doi: 10.3389/fsufs.2020.534187
- Tipan-Torres, C. (2024). Evaluación del impacto ambiental de los sistemas intensivos de producción animal según la literatura reciente. *Multidisciplinary Collaborative Journal*, 2(4), 40–54. doi: 10.70881/mcj/v2/n4/5
- Toro-Mujica, P., Vera, R., Pinedo, P., Bas, F., Enríquez-Hidalgo, D., & Vargas-Bello-Pérez, E. (2020). Adaptation strategies based on the historical evolution for dairy production systems in temperate areas: A case study approach. *Agricultural Systems*, 182, 102841. doi: 10.1016/j.agsy.2020.102841

## Capítulo 3

### *Tipologia Territorial da Pecuária em Goiás: Análise dos Padrões de Intensificação e seus Impactos Ambientais*

Franciele Fath<sup>4</sup>

Fausto Miziara<sup>5</sup>

Gabriel Caymmi Vilela Ferreira<sup>6</sup>

#### **Resumo**

A intensificação da pecuária vem sendo adotada como estratégia para aumentar a produtividade e reduzir a pressão sobre os recursos naturais no Cerrado. No entanto, seus efeitos sobre a qualidade das pastagens e a ocorrência de queimadas permanecem pouco compreendidos, sobretudo em escala territorial. Este estudo analisou os perfis da pecuária nos 246 municípios de Goiás com base em três dimensões: a tendência temporal da qualidade das pastagens e da frequência de queimadas, no período de 2011 a 2021, e o grau de intensificação da pecuária, estimado para o ano de 2017. Foram utilizados dados espaciais anuais de pastagens e queimadas, os quais foram transformados em indicadores de tendência ao longo do tempo, além de um índice de intensificação calculado para cada município. A partir da técnica de agrupamento K-means, foram identificados cinco grupos com combinações distintas dessas variáveis. Os resultados mostram que 93% dos municípios apresentaram tendência de degradação das pastagens e que, na maioria dos casos, a intensificação coexistiu com sinais de pressão ambiental, como alta frequência de queimadas ou perda de vigor da vegetação. Apenas em alguns territórios foi possível associar a intensificação a padrões produtivos mais sustentáveis. A tipologia territorial proposta revela a heterogeneidade dos sistemas pecuários goianos e oferece subsídios para políticas públicas mais direcionadas, com foco na recuperação ambiental, fortalecimento produtivo e mitigação de impactos. O estudo destaca a importância de integrar múltiplas dimensões territoriais para compreender os desafios da intensificação sustentável da pecuária no Cerrado.

**Palavras-chave:** degradação de pastagens; regimes de fogo; sistemas pecuários sustentáveis; análise territorial; indicadores ambientais.

#### **Abstract**

Livestock intensification has been adopted as a strategy to increase productivity and reduce pressure on natural resources in the Cerrado biome. However, its effects on pasture quality and fire occurrence remain poorly understood, especially at the territorial scale. This study analyzed livestock profiles across the 246 municipalities of Goiás based on three dimensions: the temporal trend of pasture quality and fire frequency from 2011 to 2021, and the degree of livestock intensification estimated for the year 2017. Annual spatial data on pastures and fires

---

<sup>4</sup> Bióloga e tecnóloga em Geoprocessamento, Mestre em Ecologia e Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia (GO), Brasil. E-mail: frafath@gmail.com

<sup>5</sup> Doutor em Sociologia pela Universidade de Brasília e Professor titular da Universidade Federal de Goiás, Goiânia (GO). E-mail: fausto@ufg.br

<sup>6</sup> Doutor em Ciências Ambientais pela Universidade Federal de Goiás (UFG), Professor titular do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, câmpus cidade de Goiás, Goiás (GO). E-mail: gabriel.ferreira@ifg.edu.br

were used and transformed into trend indicators over time, along with an intensification index calculated for each municipality. Using the K-means clustering technique, five groups were identified, each with distinct combinations of these variables. The results show that 93% of the municipalities exhibited a trend of pasture degradation, and in most cases, intensification coexisted with signs of environmental pressure, such as high fire frequency or declining vegetation vigor. Only in a few territories was it possible to associate intensification with more sustainable production patterns. The proposed territorial typology reveals the heterogeneity of livestock systems in Goiás and provides a basis for more targeted public policies focused on environmental recovery, productive strengthening, and impact mitigation. The study highlights the importance of integrating multiple territorial dimensions to better understand the challenges of sustainable livestock intensification in the Cerrado.

**Keywords:** pasture degradation; fire regimes; sustainable livestock systems; territorial analysis; environmental indicators.

## 1 Introdução

O estado de Goiás, localizado no bioma Cerrado, destaca-se pela forte presença da atividade agropecuária, especialmente da pecuária de corte, ocupando extensas áreas com pastagens cultivadas (ABIEC, 2023; IBGE, 2022; Spera, 2017). Nesse contexto, o manejo sustentável das pastagens torna-se fundamental para garantir a produtividade a longo prazo e mitigar impactos ambientais, como a degradação do solo, a perda de biodiversidade e a intensificação do uso do fogo (De Azevedo et al., 2018; Batista et al., 2019; Pendrill et al., 2022; Klink & Machado, 2005; Oliveira-Santos et al., 2021)

A degradação das pastagens e a ocorrência recorrente de queimadas são processos amplamente documentados no Cerrado, ambos frequentemente associados à baixa produtividade e ao uso extensivo da terra (Andrade et al., 2017; Parente et al., 2019; Oliveira et al., 2020). No caso específico das queimadas, seu uso é historicamente associado a diferentes finalidades no meio rural. Em áreas de pecuária extensiva, o fogo ainda é empregado como prática de manejo de baixo custo para a renovação das pastagens e controle de plantas invasoras, apesar das evidências de que essa técnica compromete a fertilidade do solo e a biodiversidade. Por outro lado, há também registros de queimadas ilegais e criminosas, especialmente durante os períodos de estiagem, que contribuem para a degradação de áreas nativas e para a intensificação dos impactos ambientais e climáticos (Bustamante et al., 2012; Silva et al., 2025). Nos últimos anos, a frequência e intensidade desses eventos têm aumentado em várias regiões do Cerrado, acentuando os riscos ecológicos e a pressão sobre os sistemas produtivos. No entanto, a forma como essas dinâmicas se articula no tempo e no espaço ainda

é pouco compreendida. (Andrade et al., 2017; Parente et al., 2019; Oliveira et al., 2020).

Além disso, a intensificação da pecuária, entendida como o aumento da produtividade por hectare, geralmente por meio de melhorias tecnológicas, tem sido promovida como solução para reduzir a pressão sobre novos desmatamentos. Contudo, sua eficácia em conter a degradação ou reduzir as queimadas permanece incerta, especialmente quando adotada de forma não planejada ou desarticulada do contexto ambiental e institucional.

Embora estudos anteriores tenham investigado separadamente os efeitos da degradação, do fogo e da intensificação, poucos abordam essas dimensões de forma integrada, considerando suas interações e possíveis sinergias ou contradições no território. Ainda falta na literatura estudos que identifiquem padrões territoriais combinando essas variáveis, o que dificulta, por exemplo, o direcionamento de políticas públicas para manejo, crédito e assistência técnica mais efetivos.

Neste cenário, a presente pesquisa tem como objetivo analisar os perfis territoriais dos municípios de Goiás com base na dinâmica da qualidade das pastagens (entre 2011 e 2021), na frequência de queimadas e no grau de intensificação da pecuária (avaliado para o ano de 2017). Ao categorizar os municípios segundo essas três dimensões, busca-se compreender os diferentes padrões espaciais que se formam e explorar como essas variáveis se articulam nos territórios. Parte-se da premissa de que essas três dimensões se manifestam de forma heterogênea entre os municípios, conformando grupos com características distintas quanto à degradação da pastagem, à ocorrência de queimadas e à intensificação. Assume-se ainda que a intensificação observada em 2017 pode não ter sido suficiente para reverter os processos de degradação ou mitigar o uso do fogo nos anos subsequentes, refletindo limitações na forma como foi implementada.

Ao abordar conjuntamente essas variáveis, este estudo contribui para o entendimento da complexidade dos sistemas pecuários no Cerrado, evidenciando possíveis assimetrias espaciais e temporais e oferecendo subsídios para a formulação de políticas públicas sensíveis às especificidades locais, com foco na recuperação ambiental, no aumento sustentável da produtividade e na mitigação dos impactos negativos da atividade pecuária.

## **2 Material e Métodos**

### **2.1 Área de estudo**

O estudo foi conduzido no estado de Goiás, localizado na região Centro-Oeste do Brasil, abrangendo seus 246 municípios. Com área de 340.242,86 km<sup>2</sup> (IBGE, 2022), o estado

é dominado pelo bioma Cerrado, que cobre cerca de 98% do território, com uma pequena faixa de Mata Atlântica ao sudeste (IBGE, 2019).

A agropecuária, em especial a pecuária de corte, é a principal atividade responsável pela transformação da paisagem goiana. Em 2021, mais de 13,7 mil km<sup>2</sup> estavam ocupados por pastagens (LAPIG, 2023), dos quais 69% apresentavam algum grau de degradação. O uso do fogo é frequente em áreas de pastagem, seja como prática de manejo, em conflitos fundiários ou ações ilegais.

## **2.2 Base de dados**

A identificação dos perfis territoriais, baseou-se em três variáveis principais: a tendência temporal do vigor das pastagens, a ocorrência de queimadas e um índice de intensificação da pecuária. O vigor das pastagens foi utilizado como proxy da qualidade das pastagens e, foi utilizado os dados anuais do Atlas das Pastagens (LAPIG, 2023), que classifica imagens Landsat (30 m de resolução) em três categorias: baixo, médio e alto vigor. Para as queimadas, utilizaram-se cicatrizes anuais da Coleção 2 do MapBiomas Fogo (2024), também derivadas de imagens Landsat. Ambos os conjuntos de dados abrangem o período de 2011 a 2021.

A intensificação da pecuária foi representada pelo Índice de Intensificação da Pecuária de Corte, calculado por Ferreira e colaboradores (2022) com base no Censo Agropecuário de 2017 e dados da Agência Goiana de Defesa Agropecuária. O índice, municipal e variando de 0 a 1, refere-se apenas a 2017.

## **2.3 Processamento dos dados**

O processamento consistiu na conversão dos arquivos raster das variáveis de vigor das pastagens e das cicatrizes de queimadas, para o formato tabular. Para isso, foram contabilizados os pixels correspondentes às classes de vigor da pastagem (qualidade da pastagem) e às cicatrizes de queimadas, utilizando como unidade mínima a resolução de 30 metros. As áreas foram então calculadas e convertidas para hectares, com base na projeção SIRGAS 2000 / UTM Zone 22S, e organizadas por município e por ano.

A seguir, os dados temporais de qualidade da pastagem e queimadas foram transformados em medidas de tendência por meio do cálculo do coeficiente angular (slope) de uma regressão linear simples (Montgomery; Peck; Vining, 2012). Esse coeficiente indica a taxa média de mudança ao longo do tempo, permitindo identificar se o fenômeno apresenta tendência de crescimento (valores positivos), redução (valores negativos) ou estabilidade

(valores próximos de zero). Como resultado, cada município passou a ter um valor único representando a tendência de mudança dessas duas variáveis ao longo da década analisada. O índice de intensificação foi mantido como uma variável estática, atribuída diretamente ao município com base no valor de 2017.

## 2.4 Análise estatística e agrupamento dos Perfis Territoriais

Com o objetivo de identificar padrões territoriais entre os municípios de Goiás, foi aplicada a técnica de agrupamento K-means com base em três variáveis: tendência do vigor das pastagens (slope), tendência de frequência de queimadas e índice de intensificação. Como essas variáveis possuem escalas distintas, os dados foram padronizados por meio da normalização Z (escore-z), conforme recomendado em análises de agrupamento multivariadas (Kaufman; Rousseeuw, 2005).

O número ótimo de clusters foi definido com base no método do cotovelo (elbow method), que avalia a soma dos quadrados intragrupos (inércia total) para diferentes valores de k. O ponto de inflexão do gráfico indicou k = 5 como número ideal de agrupamentos (Figura 1), representando um equilíbrio entre complexidade do modelo e explicação da variabilidade dos dados (Ketchen Jr.; Shook, 1996). Com o modelo treinado, os rótulos de cluster foram atribuídos às observações, e as médias de cada grupo foram calculadas com base nos valores originais das variáveis, facilitando a interpretação dos perfis resultantes.

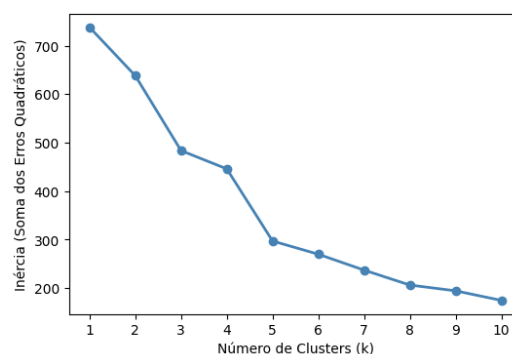


Figura 6– Gráfico do método do cotovelo. Representação da inércia total em função do número de clusters (k). O ponto de inflexão indica k = 5 como o número ótimo de agrupamentos.

Como etapa complementar, foi aplicada uma Análise de Componentes Principais (PCA) com o objetivo de visualizar, em um plano bidimensional, a separação entre os grupos formados pelo K-means. A PCA permite verificar se os agrupamentos capturam variações relevantes nas variáveis originais (slope das pastagens, slope das queimadas e Índice de intensificação), reforçando a validade das tipologias resultantes.

Para descrever qualitativamente os grupos, as médias das variáveis em cada cluster foram classificadas com base em tercis amostrais. No caso do slope da pastagem, a interpretação foi invertida, uma vez que valores negativos indicam perda de vigor e não ganho. Assim, os clusters passaram a representar combinações de intensificação, frequência de queimadas e mudança na qualidade das pastagens (vigor).

## 2.5 Ferramentas utilizadas

Todas as análises foram realizadas no ambiente Python 3.11 do Google Colab e QGIS 3.22.8. Para processamento de dados, utilizou-se Pandas e NumPy. As regressões lineares foram implementadas com Statsmodels, com validações em Scikit-learn. A análise espacial empregou GeoPandas para operações vetoriais, Shapely para geometrias, RasterIO para dados raster e Fiona para arquivos vetoriais, utilizando a malha municipal do IBGE (2023) como referência espacial. A visualização combinou Matplotlib e Seaborn para gráficos, e QGIS para produção cartográfica, integrando análises estatísticas e espaciais.

## 3 Resultados

A Tabela 1 sumariza os coeficientes angulares (slopes) das regressões lineares para o vigor das pastagens e ocorrência de queimadas (2011–2021), além do Índice de Intensificação da Pecuária (2017).

Tabela 9 - Estatísticas descritivas dos *slopes* e do IIPC nos municípios de Goiás.

Variável	Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão
Pastagem	-0.017	0.049	-0.056	0.012
Queimadas	1.884	146.246	-259.967	31.933
Intensificação	0.283	1.000	0.000	0.170

A média negativa do slope das pastagens ( $-0,017$ ) confirma a tendência predominante de degradação, com variação moderada entre municípios (DP = 0,012). Já a amplitude elevada do slope de queimadas (mín. =  $-259,967$ ; máx. = 146,246) indica cenários contrastantes, desde reduções drásticas até aumentos expressivos. A intensificação média foi baixa (0,283 em escala 0–1), com municípios em extremos.

De acordo com a classificação das tendências, a maior parte dos municípios apresentou tendência de redução no vigor das pastagens (93%), enquanto as queimadas se mantiveram estáveis (59%) ou aumentaram (24%) (Tabela 2). Esses padrões indicam uma trajetória predominante de degradação das pastagens ao longo da década, com variações territoriais mais

sutis na dinâmica do fogo.

Tabela 10 - Distribuição das tendências de pastagens e queimadas (2011–2021).

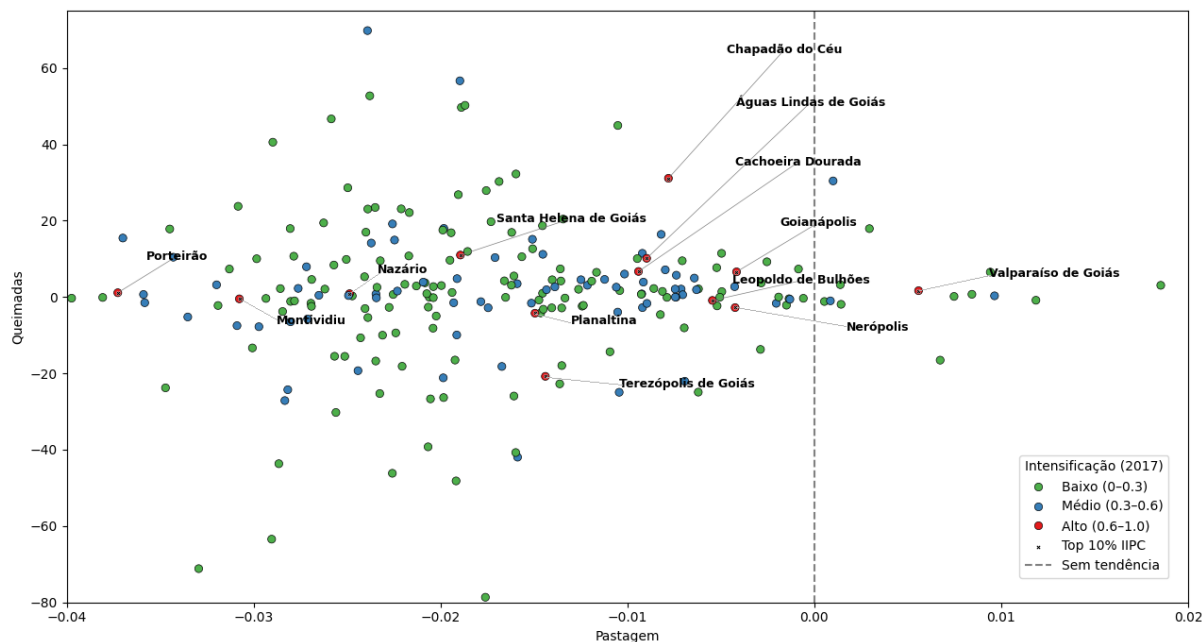
Variável	Tendência	% Municípios	Nº Municípios
Queimadas	Aumentou	24%	59
	Estável	59%	146
	Reduziu	17%	41
Pastagens	Aumentou	5%	13
	Estável	2%	4
	Reduziu	93%	229

A análise da relação entre as tendências de pastagens e queimadas (Figura 2) revela que não há uma associação linear evidente entre essas variáveis. A degradação do pasto ocorre tanto em contextos de aumento quanto de redução nas queimadas, sugerindo que os processos de perda de vigor da pastagem são condicionados por múltiplos fatores, além da incidência de fogo, tais como sobrepastoreio práticas inadequadas de fertilização e conservação do solo (Zanine; Santos; De Jesus, 2005).

O comportamento dos municípios mais intensificados também é heterogêneo. Em Chapadão do Céu e Montividiu, a intensificação esteve associada à redução nas queimadas, enquanto em Águas Lindas de Goiás e Cachoeira Dourada houve aumento. Isso reforça que a intensificação não é, por si só, indicadora de melhorias ambientais, podendo seus efeitos variarem conforme o manejo, as políticas locais e o contexto agroambiental.

Figura 2 - Relação entre a tendência de mudança na qualidade/vigor da pastagem e a tendência de ocorrência de queimadas nos municípios de Goiás, com base nos coeficientes angulares (slope) das regressões lineares anuais entre 2011 e 2021. Os pontos em destaque (símbolo preto) indicam os 10% dos municípios com os maiores valores do Índice de Intensificação da Pecuária (IIPC) em 2017. As cores representam as classes de intensificação da pecuária, categorizadas em baixo (0–0.3), médio (0.3–0.6) e alto (0.6–1.0). A linha tracejada indica ausência de tendência na qualidade da pastagem ao longo do período.

Figura 7 - Relação entre a tendência de mudança na qualidade/vigor da pastagem e a tendência de ocorrência de queimadas nos municípios de Goiás, com base nos coeficientes angulares (slope) das regressões lineares anuais entre 2011 e 2021. Os pontos em destaque (símbolo preto) indicam os 10% dos municípios com os maiores valores do Índice de Intensificação da Pecuária (IIPC) em 2017. As cores representam as classes de intensificação da pecuária, categorizadas em baixo (0–0.3), médio (0.3–0.6) e alto (0.6–1.0). A linha tracejada indica ausência de tendência na qualidade da pastagem ao longo do período.



Para explorar os padrões territoriais de forma integrada, foi aplicado o método de agrupamento K-means com base nas variáveis: tendência das pastagens, tendência das queimadas e índice de intensificação. A escolha de cinco clusters foi definida com base no método do cotovelo, buscando o melhor equilíbrio entre parcimônia e explicação da variância. A Figura 3 apresenta o mapa com a distribuição dos clusters nos municípios de Goiás, revelando padrões espaciais distintos.

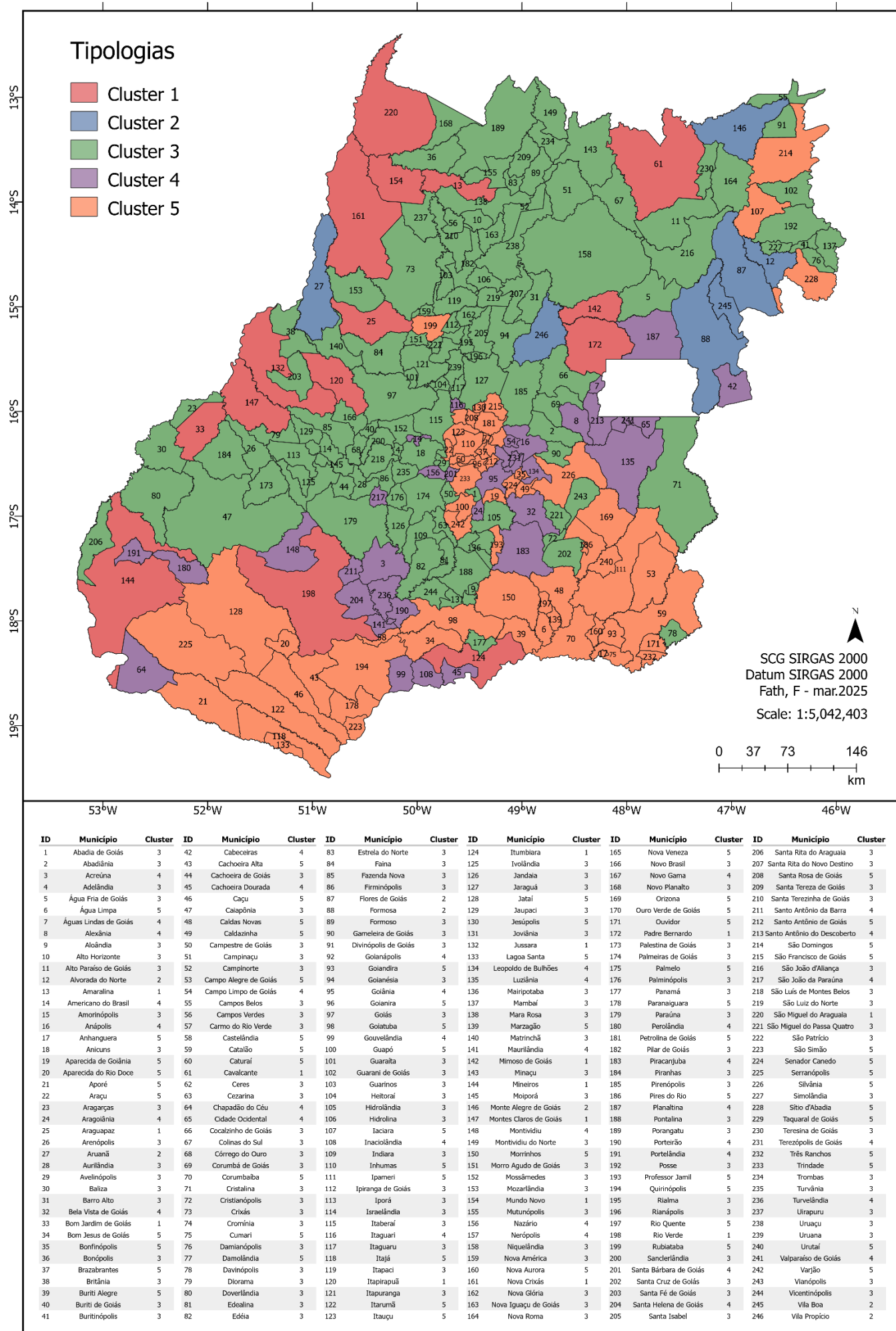


Figura 8 – Mapa dos clusters definidos por K-means com base na intensificação, tendência da pastagem e tendência das queimadas (n = 5). Os nomes dos municípios em **negrito** correspondem aos mais intensificados e os em texto normal, os com menor intensificação.

A PCA revelou que os dois primeiros componentes explicam, juntos, 71,35% da variância total dos dados. O primeiro componente respondeu por 39,45% da variância, enquanto o segundo explicou 31,91%, indicando que a maior parte da variabilidade entre os municípios pode ser representada adequadamente no espaço bidimensional (Dorabiala; Aravkin; Kutz, 2023). A separação entre os clusters é visível, sugerindo que as variáveis (Figura 4).

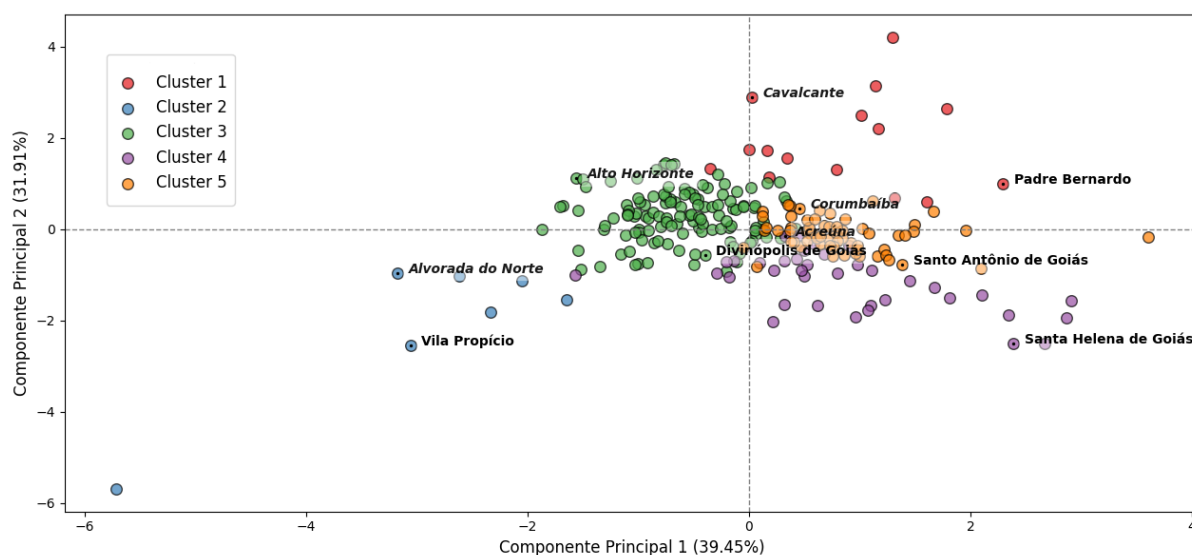


Figura 9 – Análise de componentes principais (PCA) com os cinco clusters atribuídos pelo método K-means.

A descrição qualitativa dos perfis territoriais gerados pela análise de agrupamento é apresentada na Tabela 3 com os valores médios para as três variáveis consideradas (tendência do vigor das pastagens, frequência de queimadas e índice de intensificação da pecuária) para cada grupo.

Tabela 11 - Valores médios das variáveis por cluster e classificação qualitativa dos perfis territoriais.

Cluster	Pastagem	Queimadas	Intensificação	Classificação tipológica qualitativa
1	-0.0204	75.05	0.243	Degradação da pastagem moderada / Queimada alta / Intensificação moderada
2	-0.0308	-108.17	0.156	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
3	-0.0223	-0.47	0.197	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
4	-0.0191	1.37	0.585	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta
5	-0.0034	1.62	0.297	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta

Observações: Pastagem corresponde ao coeficiente angular da regressão dos dados de vigor das pastagens (2011–2021); Queimadas corresponde ao coeficiente angular da regressão da frequência de cicatrizes de queimadas (2011–2021) e Intensificação, o Índice de Intensificação da Pecuária (2017).

A análise dos valores médios das variáveis nos cinco clusters, apresentada na Tabela 3 e espacializada na Figura 3, permitiu identificar perfis territoriais distintos resultantes da relação entre tendência de degradação das pastagens, frequência de queimadas e grau de intensificação da pecuária. A classificação qualitativa dos grupos foi baseada em tercís amostrais dessas variáveis, oferecendo uma tipologia que sintetiza os diferentes contextos territoriais observados. A seguir, descrevem-se os perfis territoriais com base nas médias observadas, destacando suas principais características e localizações predominantes:

O Cluster 1, formado por 15 municípios, apresenta um cenário de intensificação moderada da pecuária, indicando contextos em que práticas produtivas coexistem com pressões ambientais devido à alta frequência de queimadas e a degradação persistente das pastagens (Tabela 3). Os municípios desse grupo concentram-se principalmente no noroeste e extremo oeste do estado. (Figura 3).

O Cluster 2 reúne apenas 7 municípios concentrados no norte e centro-leste do estado. Esse perfil combina intensificação baixa e registra a maior degradação das pastagens entre todos os clusters, acompanhada de uma forte redução na frequência de queimadas.

O Cluster 3 é composto por 124 municípios distribuídos de forma ampla e difusa pelo território goiano, o qual compartilha tipologia semelhante ao Cluster 2, apresentando também degradação acentuada das pastagens e baixa frequência de queimadas, embora com uma leve tendência de estabilidade. A intensificação segue baixa, indicando persistência de práticas extensivas e baixo grau de modernização produtiva.

No Cluster 4, engloba 46 municípios, com predominância no centro-sul do estado. Esse grupo apresenta a mais alta média de intensificação pecuária (Tabela 3), baixa degradação das pastagens e estabilidade na ocorrência de queimadas. A combinação sugere territórios onde a intensificação tem sido efetiva na contenção de processos degradantes, embora seus efeitos sobre o ambiente ainda possam estar em fase inicial ou com impactos localizados.

Por fim, o Cluster 5, formado por 77 municípios localizados principalmente no sudoeste e sul de Goiás, esse perfil representa o contexto de conservação mais equilibrado entre os grupos. Registra baixa degradação das pastagens, alta frequência de queimadas e nível intermediário de intensificação. Embora as queimadas ainda sejam expressivas, a estabilidade no vigor da vegetação e a intensificação sugerem uma coexistência mais estruturada entre produção e conservação.

Os agrupamentos evidenciam que os efeitos da intensificação variam conforme o contexto territorial, o manejo adotado e as trajetórias locais. Em certos casos (como os Clusters

1 e 5), a intensificação ocorre junto a condições ambientais desfavoráveis, enquanto em outros (Cluster 4), observa-se um cenário mais positivo, em que a intensificação está associada a menor degradação e maior estabilidade ambiental.

#### **4 Discussão:**

A prevalência da degradação das pastagens em 93% dos municípios aponta que esse é um problema recorrente e amplamente distribuído no estado de Goiás, resultado do uso contínuo das áreas sem renovação adequada de técnicas e práticas de manejo. Mesmo em municípios com níveis mais altos de intensificação, como Chapadão do Céu, os sinais de degradação persistem, o que confirma que a intensificação por si só não leva necessariamente à recuperação das pastagens, especialmente quando não envolve práticas integradas e sustentáveis (Oliveira et al., 2020). Estudos anteriores também mostram que, em áreas de pastagens severamente degradadas, os ganhos produtivos com a intensificação não são suficientes para compensar os danos ambientais associados (Santos et al., 2024).

Telles et al. (2024) mostram que essa dinâmica não é exclusiva de Goiás, mesmo com avanços tecnológicos e com a redução da área de pastagens em escala nacional entre 1970 e 2017, mais de 50% das pastagens brasileiras ainda apresentavam desempenho insatisfatório, evidenciando que o padrão identificado neste estudo reflete uma tendência histórica e persistente em nível nacional.

Essa dissociação entre intensificação e qualidade das pastagens também pode ser explicada por fatores estruturais, como a falta de acesso ao crédito rural, à assistência técnica especializada e à presença de políticas públicas adaptadas às realidades locais (De Oliveira Silva et al., 2017; Feltran-Barbieri; Féres, 2021). Essas limitações ainda são comuns em muitos municípios goianos, o que dificulta a adoção de práticas sustentáveis em larga escala. Estudos apontam que, sem esse suporte institucional e técnico, a intensificação pode não apenas falhar em gerar benefícios ambientais, mas também aprofundar desigualdades e aumentar a pressão sobre os recursos (Garrett et al., 2017; Marques, 2017; Oliveira et al., 2020; Spera, 2017).

A dinâmica das queimadas apresentou variação entre os municípios, com tendências de aumento e redução distribuídas de forma territorialmente difusa sugerindo que as queimadas têm causas diversas, que vão além da presença do fogo em si, como o sobrepastoreio, a baixa renovação das pastagens e o uso intensivo do solo sem práticas de conservação (Silva et al., 2023) e essas características parecem ser especificidades regionais.

No Cerrado, o uso do fogo é historicamente incorporado ao manejo das pastagens,

especialmente com gramíneas exóticas que se regeneram rapidamente após as queimadas. Esse processo favorece ciclos recorrentes de fogo, dificultando a regeneração da vegetação nativa e promovendo a degradação dos sistemas produtivos, com empobrecimento do solo e perda de biodiversidade (Damasceno et al., 2018; Gomes et al., 2020; Hoffmann et al., 2004; Silvério et al., 2013). Por outro lado, quando associado a práticas tradicionais de manejo, o fogo prescrito pode reduzir o risco de incêndios descontrolados ao criar mosaicos de áreas queimadas e não queimadas, diminuindo o material combustível acumulado (Eloy et al., 2019).

Nos municípios goianos, embora pode-se associar a alta incidência de queimadas ao uso do fogo como prática informal de manejo, comum em contextos com baixa infraestrutura produtiva (Mistry, 1998), os resultados sugerem outra interpretação. As queimadas são mais frequentes justamente em municípios com níveis moderados a altos de intensificação da pecuária e com predominância de grandes propriedades rurais (Silva, 2025). Isso aponta para a hipótese de que, nessas regiões, os focos de fogo não resultam necessariamente de práticas intencionais, mas possivelmente de manejos ineficazes, que favorecem a propagação acidental dos incêndios.

A análise dos clusters confirma a hipótese de que os municípios goianos apresentam trajetórias diferenciadas em relação à intensificação da pecuária, à degradação das pastagens e à frequência de queimadas. A tipologia territorial resultante demonstra que essas variáveis se combinam de forma heterogênea e, ao integrar essas dimensões, a análise revela que a intensificação, quando existente, nem sempre resultou em melhorias ambientais ou na mitigação da frequência de queimadas, como previsto na hipótese 2.

Os Clusters 2 e 3 concentram a maior parte dos municípios e representam territórios marcados por alta degradação das pastagens, baixa intensificação produtiva e baixa frequência de queimadas. Essa combinação pode refletir contextos de abandono parcial ou colapso de sistemas produtivos extensivos, com perda da capacidade de renovação forrageira e ausência de práticas conservacionistas. A queda nas queimadas nesses territórios, portanto, não implica em conservação, mas pode estar ligada à diminuição da atividade agropecuária ou à ausência de manejo. Estudos prévios sugerem que esse padrão está alinhado a processos de esvaziamento rural e intensificação regressiva (De Oliveira Silva; Barioni; Moran, 2021; Parente et al., 2019). Esses grupos requerem ações estruturantes, como reestruturação produtiva, assistência técnica intensiva e crédito facilitado. O caso de Caiapônia e Porangatu, grandes produtores de gado incluídos no Cluster 2, mostra que a produtividade bruta não impede a degradação se o manejo for inadequado.

O Cluster 4 agrupa municípios com alta intensificação pecuária, baixa degradação das pastagens e estabilidade nas queimadas, constituindo o perfil mais promissor. Esse arranjo sugere a presença de práticas técnicas mais eficientes, como integração lavoura-pecuária, manejo rotacionado e controle da carga animal. Além disso, esses municípios tendem a apresentar maior infraestrutura rural e inserção em políticas públicas (Klink & Machado, 2005). A tendência ainda negativa e embora leve na qualidade das pastagens indica que, mesmo nesse grupo, a intensificação pode ter ocorrido tardiamente ou em áreas já comprometidas. Esses territórios devem ser priorizados em políticas de consolidação de boas práticas, com monitoramento ambiental contínuo e ampliação de tecnologias sustentáveis.

Os Clusters 1 e 5 demonstram que a intensificação pode ocorrer sem conter a degradação nem eliminar o uso do fogo. No Cluster 1, há intensificação moderada com alta degradação e frequência de queimadas, um cenário de intensificação tecnicamente limitada, possivelmente associada a práticas ineficientes de manejo e escasso suporte institucional. Já o Cluster 5, embora apresente menor degradação das pastagens, mantém frequência elevada de queimadas, sugerindo uso tradicional do fogo mesmo em contextos de tecnificação. O Cluster 1 demanda reorientação técnica e capacitação em manejo sustentável. O Cluster 5 requer estratégias de transição para práticas menos dependentes do fogo, integrando técnicas modernas com conservação ambiental.

O comportamento das queimadas ao longo do território não segue padrão linear, em alguns grupos, sua redução coincide com alta degradação (Clusters 2 e 3); em outros, como o Cluster 5, persistem apesar de intensificação. Isso reforça que a ocorrência de queimadas está condicionada a fatores locais, como tipo de manejo, cobertura vegetal e histórico de uso. A ausência de queimadas não é, portanto, sinônimo de conservação, e sua permanência não significa necessariamente degradação, mas sim a persistência de práticas tradicionais ou manejos inadequados.

A ausência de vínculos consistentes entre intensificação e melhora das pastagens evidencia que o processo foi, em parte, insustentável. Em municípios onde a degradação persistiu mesmo com altos níveis de intensificação, é possível que os investimentos não tenham sido acompanhados das práticas adequadas de manejo ou que tenham sido implementados em áreas já severamente comprometidas. Esses resultados indicam a necessidade de aprofundar a compreensão sobre como a intensificação vem sendo operacionalizada no território goiano, especialmente em relação aos seus efeitos esperados.

A tipologia proposta neste estudo oferece subsídios importantes para a formulação de

políticas públicas mais sensíveis ao território, permitindo o enfrentamento simultâneo da degradação ambiental e da baixa produtividade em áreas críticas. Os resultados demonstram que os municípios goianos enfrentam realidades contrastantes, e que a intensificação da pecuária apresenta impactos heterogêneos, muitas vezes distantes dos resultados esperados.

A literatura tem apontado a recuperação de pastagens degradadas como uma das estratégias-chave para a expansão sustentável da agropecuária no Brasil (Spera, 2020; Strassburg et al., 2014), mas seu sucesso depende de políticas articuladas, investimentos em assistência técnica e acesso a crédito. Como mostra Freitas et al. (2022), a transição de pastagens degradadas para sistemas agrícolas integrados pode ser altamente benéfica para a produtividade e a qualidade do solo, mas só é viável se houver suporte institucional contínuo.

A metodologia adotada permitiu uma análise dos perfis territoriais, mas há caminhos possíveis para seu aprimoramento. A incorporação de séries temporais mais longas para o índice de intensificação, hoje limitado ao Censo Agropecuário de 2017, permitiria acompanhar melhor a evolução das dinâmicas produtivas e os efeitos de políticas públicas ao longo do tempo.

Quando se discute intensificação com foco em sustentabilidade, é recomendável integrar também indicadores socioeconômicos e ambientais, ampliando a capacidade explicativa dos padrões observados e favorecendo uma abordagem mais sistêmica dos sistemas produtivos. A intensificação sustentável inclui o compartilhamento de terras, ou seja, práticas agrícolas que integram a conservação da biodiversidade e outros serviços ecossistêmicos para a produção sustentada de alimentos e energia (Garnett et al. 2013).

Adicionalmente, o uso de metodologias mistas, combinando análises espaciais com estudos de caso em municípios representativos, pode aprofundar a compreensão sobre os efeitos da intensificação.

## **5 Conclusão**

Este estudo analisou os perfis territoriais dos municípios goianos com base na dinâmica da degradação das pastagens (2011–2021), na frequência de queimadas e no grau de intensificação da pecuária (2017), visando compreender como essas dimensões interagem e se expressam espacialmente. A análise confirmou que essas variáveis se articulam de forma heterogênea no território, resultando em cinco clusters com padrões distintos de uso do solo, manejo e impacto ambiental.

A Hipótese 1, que previa a conformação de grupos territorialmente diferenciados, foi

confirmada pela tipologia gerada. A Hipótese 2, que sugeria que a intensificação observada poderia não ser suficiente para conter a degradação das pastagens ou a frequência de queimadas, também se mostrou válida: em diversos grupos, a intensificação coexistiu com sinais de esgotamento ambiental ou ausência de práticas sustentáveis. Isso indica que a intensificação, quando não acompanhada de políticas públicas, assistência técnica e manejo adequado, pode falhar em reverter padrões históricos de degradação.

Os resultados demonstram que não existe uma trajetória única de desenvolvimento produtivo no Cerrado. A intensificação apresenta efeitos ambíguos e, em muitos casos, não reduziu os impactos sobre a vegetação nativa ou os ciclos de queimada. Apenas em contextos específicos, como os observados no Cluster 4, foi possível associar intensificação a padrões mais sustentáveis, sugerindo a importância de condições territoriais favoráveis e suporte institucional.

A tipologia proposta representa uma contribuição relevante para a formulação de políticas públicas mais contextualizadas, que reconheçam os diferentes estágios e necessidades dos territórios. Em vez de soluções homogêneas, os dados indicam a urgência de estratégias segmentadas: restauração produtiva em territórios degradados, consolidação de boas práticas onde já existem e mitigação de riscos ambientais em regiões de intensificação parcial ou desorganizada.

Finalmente, a pesquisa reforça que a intensificação pecuária no Cerrado não pode ser tratada como uma única solução, e que os efeitos positivos esperados só se concretizam quando integrados a estratégias amplas de conservação e tecnológica.

## **Referências**

AGÊNCIA GOIANA DE DEFESA AGROPECUÁRIA – AGRODEFESA. Censo Agropecuário, 2017.

ANDRADE, H. S. F. de. Manejo de gado bovino para a restauração do cerrado. 2021. 67 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE – ABIEC. Beef Report 2023. Disponível em: <https://www.abiec.com.br/publicacoes/beefreport-2023-capitulo-02/>. Acesso em: abr. 2023.

BATISTA, E. et al. Large-scale pasture restoration may not be the best option to reduce greenhouse gas emissions in Brazil. *Environmental Research Letters*, v. 14, n. 12, p. 125009, dez. 2019.

- BUSTAMANTE, M. M. et al. Estimating greenhouse gas emissions from cattle raising in Brazil. *Climatic Change*, v. 115, n. 3, p. 559–577, dez. 2012.
- DAMASCENO, G. et al. Impact of invasive grasses on Cerrado under natural regeneration. *Biological Invasions*, v. 20, n. 12, p. 3621–3629, dez. 2018.
- AZEVEDO, E. B. de et al. Feed intake, methane yield, and efficiency of utilization of energy and nitrogen by sheep fed tropical grasses. *Tropical Animal Health and Production*, v. 53, n. 5, p. 452, maio 2021.
- DE OLIVEIRA SILVA, R. et al. Sustainable intensification of Brazilian livestock production through optimized pasture restoration. *Agricultural Systems*, v. 153, p. 201–211, maio 2017.
- DE OLIVEIRA SILVA, R.; BARIONI, L. G.; MORAN, D. Fire, deforestation, and livestock: when the smoke clears. *Land Use Policy*, v. 100, p. 104949, jan. 2021.
- DORABIALA, O.; ARAVKIN, A.; KUTZ, J. N. Ensemble Principal Component Analysis. *arXiv*, 3 nov. 2023. Disponível em: <http://arxiv.org/abs/2311.01826>. Acesso em: 22 abr. 2025.
- ELOY, L. et al. Seasonal fire management by traditional cattle ranchers prevents the spread of wildfire in the Brazilian Cerrado. *Ambio*, v. 48, n. 8, p. 890–899, ago. 2019.
- FELTRAN-BARBIERI, R.; FÉRES, J. G. Degraded pastures in Brazil: improving livestock production and forest restoration. *Royal Society Open Science*, v. 8, n. 7, p. 201854, jul. 2021.
- FERREIRA, G. C. V.; MIZIARA, F.; VAZQUÉZ-GONZÁLEZ, I. Intensificação da pecuária em Goiás. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 60, 2022.
- FREITAS, G. D. S.; PRUDENCIO, M. F.; SOARES FILHO, C. V. O uso de tecnologias para reduzir impactos ambientais na intensificação da pecuária de corte. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 8, e17611830416, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i8.30416.
- GARRETT, R. D. et al. Explaining the persistence of low income and environmentally degrading land uses in the Brazilian Amazon. *Ecology and Society*, v. 22, n. 3, p. art27, 2017.
- GARNETT, T. et al. Sustainable intensification in agriculture: premises and policies. *Science*, v. 341, n. 6141, p. 33–34, jul. 2013.
- GOMES, F. J. et al. Parameterization of the APSIM model for simulating palisadegrass growth under continuous stocking in monoculture and in a silvopastoral system. *Agricultural Systems*, v. 184, p. 102876, set. 2020.
- HOFFMANN, W. A. et al. Impact of the invasive alien grass *Melinis minutiflora* at the savanna-forest ecotone in the Brazilian Cerrado. *Diversity and Distributions*, v. 10, n. 2, p. 99–103, 2004.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Brasileiro de 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/>. Acesso

em: abr. 2024.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Malha municipal. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/>. Acesso em: abr. 2024.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Pecuária Municipal. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/quadros/brasil/2021>. Acesso em: abr. 2024.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produto Interno Bruto – PIB 2019. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

KAUFMAN, L.; ROUSSEEUW, P. J. Finding groups in data: an introduction to cluster analysis. Hoboken, NJ: Wiley, 2005.

KETCHEN JR., D. J.; SHOOK, C. L. The application of cluster analysis in strategic management research: an analysis and critique. *Strategic Management Journal*, v. 17, n. 6, p. 441–458, jun. 1996.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian cerrado. *Conservation Biology*, v. 19, n. 3, p. 707–713, 2005.

LAPIG – LABORATÓRIO DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS E GEOPROCESSAMENTO. Atlas das Pastagens Brasileiras. Disponível em: <https://pastagem.org/atlas/map>. Acesso em: mar. 2023.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomas – Coleção 2 da série anual de Cicatrizes de fogo do Brasil. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em: abr. 2024.

MARQUES, R. C. B. Assistência técnica e extensão rural do estado de Goiás: da aplicabilidade da legislação e de políticas efetivas. 2017. Dissertação (Mestrado em Direito Agrário) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

MISTRY, J. Fire in the cerrado (savannas) of Brazil: an ecological review. *Progress in Physical Geography*, v. 22, n. 4, p. 425–448, dez. 1998.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. G. Introduction to linear regression analysis. 5. ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2012.

OLIVEIRA, E. R. de et al. Tecnologia e degradação de pastagens na pecuária no Cerrado brasileiro. *Sociedade & Natureza*, v. 32, p. 626–638, set. 2020.

OLIVEIRA-SANTOS, C. et al. Assessing the wall-to-wall spatial and qualitative dynamics of the Brazilian pasturelands, between 2010 and 2018, based on the analysis of the Landsat Data Archive. *Remote Sensing*, v. 13, n. 1, p. 1–20, jan. 2021.

PARENTE, L. et al. Assessing the pasturelands and livestock dynamics in Brazil, from 1985 to 2017: a novel approach based on high spatial resolution imagery and Google Earth Engine cloud computing. *Remote Sensing of Environment*, v. 232, p. 111301, out. 2019.

- PENDRILL, F. et al. Disentangling the numbers behind agriculture-driven tropical deforestation. *Science*, v. 377, n. 6611, eabm9267, jul. 2022.
- SANTOS, C. O. dos et al. Livestock intensification and environmental sustainability: an analysis based on pasture management scenarios in the Brazilian savanna. *Journal of Environmental Management*, v. 355, p. 120473, mar. 2024.
- SILVA, E. B. da. A pecuária no Brasil e em Goiás: retratos do Censo Agropecuário 2017. *Revista Campo-Território*, v. 19, n. 56, p. 241–265, jan. 2025.
- SILVA, T. R. et al. Factors affecting savanna and forest regeneration in pastures across the Cerrado. *Journal of Environmental Management*, v. 330, p. 117185, mar. 2023.
- SILVÉRIO, D. V. et al. Testing the Amazon savannization hypothesis: fire effects on invasion of a neotropical forest by native Cerrado and exotic pasture grasses. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 368, n. 1619, p. 20120427, jun. 2013.
- SPERA, S. Agricultural intensification can preserve the Brazilian Cerrado: applying lessons from Mato Grosso and Goiás to Brazil's last agricultural frontier. *Tropical Conservation Science*, v. 10, p. 1940082917720662, jan. 2017.
- TELLES, T. S. et al. Livestock changes in Brazil and sustainable intensification challenges. *Agronomy*, v. 14, n. 10, p. 2429, out. 2024.
- ZANINE, A. M.; SANTOS, E. M.; JESUS, D. de. Possíveis causas da degradação de pastagens. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria*, v. 6, n. 11, p. 1–23, nov. 2005.

## Material Suplementar.

A tabela apresenta os dados utilizados para a classificação dos municípios de Goiás em diferentes tipologias territoriais, com base na dinâmica da qualidade das pastagens, na frequência de queimadas e no grau de intensificação da pecuária. As colunas estão descritas a seguir:

**Município:** nome do município.

**S<sub>past</sub>:** coeficiente angular (slope) da tendência temporal da qualidade das pastagens entre 2011 e 2021. Valores negativos indicam degradação.

**p<sub>past</sub>:** valor-p associado à tendência de pastagem (S<sub>past</sub>), indicando o nível de significância estatística da tendência observada.

**S<sub>queim</sub>:** coeficiente angular (slope) da tendência temporal da frequência de queimadas. Valores positivos indicam aumento da frequência.

**p<sub>queim</sub>:** valor-p associado à tendência de queimadas (S<sub>queim</sub>), indicando o nível de significância estatística da tendência observada.

**IIPC:** valor do Índice de Intensificação da Pecuária para o ano de 2017 (Ferreira et al. 2022), que sintetiza indicadores produtivos por município.

**CI:** número do cluster territorial identificado a partir da análise multivariada.

**Descrição do tipo territorial:** interpretação do perfil do município com base na combinação das três variáveis, destacando os níveis de degradação da pastagem, frequência de queimadas e intensificação da pecuária (baixa, moderada ou alta).

Município	S <sub>past</sub>	p <sub>past</sub>	S <sub>queim</sub>	p <sub>Queim</sub>	IIPC	CI	Descrição do tipo territorial
Abadia de Goiás	-0.0204	0.0016	2.7241	0.1938	0.28	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Abadiânia	-0.0165	0.0000	-0.0970	0.9944	0.30	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Acreúna	-0.0225	0.0000	14.9210	0.2575	0.41	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta
Adelândia	-0.0194	0.0001	1.1845	0.0140	0.12	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Alexânia	-0.0276	0.0000	2.2538	0.6936	0.49	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta
Aloândia	-0.0206	0.0007	-0.0381	0.7262	0.12	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Alto Horizonte	-0.0286	0.0001	2.1984	0.8811	0.00	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Alto Paraíso de Goiás	-0.0283	0.0002	-27.1308	0.2402	0.31	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Alvorada do Norte	-0.0433	0.0001	-69.4212	0.2746	0.11	1	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Amaralina	-0.0239	0.0001	146.2460	0.2551	0.09	0	Degradação da pastagem moderada / Queimada alta / Intensificação moderada
Americano do Brasil	-0.0235	0.0000	0.7805	0.7898	0.55	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta
Amorinópolis	-0.0280	0.0000	-1.1560	0.8940	0.20	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Anhanguera	-0.0079	0.0018	-0.0927	0.2590	0.25	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Anicuns	-0.0136	0.0000	4.1906	0.4814	0.25	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Anápolis	-0.0159	0.0000	-41.9499	0.0425	0.54	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta
Aparecida de Goiânia	-0.0092	0.0020	-2.7836	0.5111	0.40	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta

Aparecida do Rio Doce	-0.0092	0.0044	0.8167	0.7830	0.35	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Aporé	-0.0025	0.7221	9.2208	0.1961	0.22	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Aragarças	-0.0208	0.0000	3.7166	0.7524	0.12	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Aragoiânia	-0.0178	0.0022	-1.2242	0.5329	0.47	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta
Araguapaz	-0.0290	0.0000	40.5397	0.4480	0.19	0	Degradação da pastagem moderada / Queimada alta / Intensificação moderada
Araçu	-0.0050	0.0677	11.4356	0.1318	0.22	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Arenópolis	-0.0250	0.0000	9.8420	0.1704	0.15	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Aruanã	-0.0212	0.0000	-98.7780	0.2921	0.13	1	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Aurilândia	-0.0235	0.0000	23.4528	0.0711	0.05	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Avelinópolis	-0.0117	0.0124	6.4647	0.3088	0.18	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Baliza	-0.0217	0.0000	22.1128	0.5370	0.03	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Barro Alto	-0.0221	0.0000	-18.1475	0.2599	0.16	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Bela Vista de Goiás	-0.0237	0.0003	14.1336	0.2158	0.49	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta
Bom Jardim de Goiás	-0.0189	0.0006	49.6569	0.0862	0.13	0	Degradação da pastagem moderada / Queimada alta / Intensificação moderada
Bom Jesus de Goiás	-0.0091	0.0350	3.8987	0.4182	0.44	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Bonfinópolis	-0.0020	0.3776	-1.6565	0.3663	0.32	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Bonópolis	-0.0213	0.0000	2.8900	0.9473	0.16	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Brazabrantes	-0.0071	0.0013	2.0770	0.3071	0.33	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Britânia	-0.0134	0.0005	20.4117	0.3755	0.23	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Buriti Alegre	-0.0062	0.0332	2.1276	0.4288	0.26	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Buriti de Goiás	-0.0202	0.0000	-4.9869	0.6254	0.23	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Buritinópolis	-0.0269	0.0146	-1.6382	0.5595	0.13	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Cabeceiras	-0.0309	0.0001	-7.5049	0.3304	0.51	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta
Cachoeira Alta	0.0029	0.4534	17.9075	0.2731	0.20	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Cachoeira Dourada	-0.0094	0.0410	6.6890	0.1331	0.64	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta
Cachoeira de Goiás	-0.0186	0.0000	11.9247	0.0735	0.00	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Caiapônia	-0.0262	0.0000	2.0708	0.8030	0.15	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Caldas Novas	-0.0052	0.2060	-2.3256	0.1088	0.28	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Caldazinha	-0.0104	0.0016	1.6848	0.6059	0.28	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Campestre de Goiás	-0.0140	0.0002	-2.8372	0.4566	0.17	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Campinaçu	-0.0232	0.0001	-25.2905	0.6313	0.12	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Campinorte	-0.0425	0.0000	4.9835	0.9045	0.19	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Campo Alegre de Goiás	-0.0074	0.0649	5.7076	0.1857	0.45	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Campo Limpo de Goiás	-0.0070	0.0010	0.5908	0.8462	0.56	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta

Campos Belos	-0.0247	0.0001	0.2784	0.9603	0.29	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Campos Verdes	-0.0251	0.0015	-15.5456	0.0114	0.20	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Carmo do Rio Verde	-0.0224	0.0000	-9.4090	0.1364	0.15	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Castelândia	-0.0074	0.2315	2.0788	0.1589	0.41	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Catalão	-0.0105	0.0004	-3.9625	0.6796	0.34	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Caturai	-0.0015	0.4640	-2.1464	0.3817	0.29	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Cavalcante	-0.0236	0.0002	80.3633	0.1742	0.02	0	Degradação da pastagem moderada / Queimada alta / Intensificação moderada
Caçu	0.0067	0.2551	-16.5423	0.3111	0.26	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Ceres	-0.0207	0.0000	-2.6526	0.5128	0.21	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Cezarina	-0.0225	0.0002	0.6634	0.6491	0.28	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Chapadão do Céu	-0.0078	0.3826	31.0986	0.0531	0.87	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta
Cidade Ocidental	-0.0209	0.0102	3.8877	0.2009	0.47	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta
Cocalzinho de Goiás	-0.0207	0.0001	-39.2455	0.2183	0.23	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Colinas do Sul	-0.0240	0.0000	16.9745	0.8162	0.15	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Corumbáiba	0.0014	0.7105	-1.9135	0.3844	0.12	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Corumbá de Goiás	-0.0256	0.0000	-30.2458	0.0956	0.23	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Cristalina	-0.0167	0.0024	-18.1955	0.6311	0.34	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Cristianópolis	-0.0159	0.0002	3.4755	0.1843	0.34	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Crixás	-0.0250	0.0000	28.6110	0.8436	0.08	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Cromínia	-0.0200	0.0000	2.9966	0.1025	0.09	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Cumari	-0.0008	0.7199	7.3272	0.2263	0.24	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Córrego do Ouro	-0.0126	0.0000	2.0242	0.5873	0.16	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Damianópolis	-0.0240	0.0084	-3.0275	0.4553	0.16	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Damolândia	-0.0019	0.0002	-0.0075	0.9951	0.27	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Davinópolis	-0.0146	0.0002	-4.1714	0.1782	0.22	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Diorama	-0.0239	0.0000	23.0382	0.0205	0.18	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Divinópolis de Goiás	-0.0280	0.0003	-6.4986	0.5227	0.39	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Doverlândia	-0.0176	0.0002	27.8750	0.1278	0.26	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Edealina	-0.0397	0.0000	-0.3095	0.7589	0.16	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Edéia	-0.0313	0.0000	7.3276	0.1065	0.04	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Estrela do Norte	-0.0319	0.0000	-2.2307	0.5335	0.28	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Faina	-0.0227	0.0000	-2.7175	0.9233	0.10	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Fazenda Nova	-0.0195	0.0000	9.6284	0.6456	0.13	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Firminópolis	-0.0269	0.0005	4.5893	0.5973	0.13	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa

Flores de Goiás	-0.0367	0.0004	-259.9675	0.3860	0.15	1	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Formosa	-0.0176	0.0129	-78.6507	0.5528	0.18	1	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Formoso	-0.0166	0.0000	4.2275	0.6946	0.30	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Gameleira de Goiás	-0.0135	0.0003	-2.8773	0.3078	0.12	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Goiandira	-0.0014	0.5926	-0.4608	0.6339	0.23	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Goianira	-0.0063	0.0171	1.9060	0.8697	0.34	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Goianópolis	-0.0042	0.0120	6.5956	0.1990	0.68	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta
Goianésia	-0.0235	0.0000	-16.7720	0.3978	0.29	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Goiatuba	-0.0145	0.0041	11.1869	0.1059	0.35	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Goiás	-0.0169	0.0000	30.2485	0.6538	0.19	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Goiânia	-0.0069	0.0338	-22.0616	0.1796	0.56	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta
Gouvelândia	-0.0121	0.0682	3.0716	0.5449	0.49	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta
Guapó	-0.0092	0.0372	11.4445	0.5301	0.32	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Guarani de Goiás	-0.0109	0.0233	-14.3488	0.0212	0.09	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Guaraíta	-0.0145	0.0000	0.9738	0.6054	0.10	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Guarinos	-0.0124	0.0001	-2.4018	0.8094	0.12	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Heitoraí	-0.0162	0.0000	3.0996	0.3006	0.28	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Hidrolina	-0.0301	0.0000	-13.3400	0.1582	0.18	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Hidrolândia	-0.0191	0.0009	4.8078	0.6634	0.35	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Iaciara	-0.0104	0.0734	-24.9588	0.1040	0.32	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Inaciolândia	-0.0125	0.0005	4.5206	0.3661	0.53	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta
Indiara	-0.0370	0.0000	15.4456	0.1196	0.31	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Inhumas	0.0014	0.1931	3.2269	0.4933	0.27	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Ipameri	-0.0081	0.0028	1.4631	0.8329	0.30	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Ipiranga de Goiás	-0.0269	0.0000	-2.4466	0.6630	0.29	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Iporá	-0.0151	0.0000	12.6269	0.1638	0.21	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Israelândia	-0.0219	0.0000	3.3175	0.3386	0.14	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Itaberaí	-0.0198	0.0000	17.9721	0.1986	0.38	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Itaguari	-0.0335	0.0000	-5.2346	0.1828	0.51	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta
Itaguaru	-0.0278	0.0000	-1.0175	0.6384	0.03	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Itajá	0.0185	0.0443	3.0618	0.9008	0.26	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Itapaci	-0.0244	0.0000	-19.3030	0.2260	0.36	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Itapirapuã	-0.0187	0.0000	50.1987	0.2709	0.18	0	Degradação da pastagem moderada / Queimada alta / Intensificação moderada
Itapuranga	-0.0161	0.0000	-25.9435	0.0231	0.25	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa

Itarumã	0.0094	0.1399	6.5244	0.8390	0.26	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Itaçu	-0.0028	0.0140	3.6723	0.4369	0.14	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Itumbiara	-0.0190	0.0002	56.6255	0.0240	0.45	0	Degradação da pastagem moderada / Queimada alta / Intensificação moderada
Ivolândia	-0.0145	0.0000	18.6750	0.0631	0.07	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Jandaia	-0.0381	0.0000	-0.1147	0.9595	0.18	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Jaraguá	-0.0231	0.0000	-10.0026	0.6118	0.20	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Jataí	-0.0082	0.0173	16.4075	0.5387	0.39	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Jaupaci	-0.0263	0.0000	19.4110	0.5044	0.19	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Jesópolis	-0.0049	0.0176	1.4126	0.3652	0.19	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Joviânia	-0.0234	0.0004	-0.2225	0.6878	0.35	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Jussara	-0.0105	0.0060	44.9302	0.2145	0.20	0	Degradação da pastagem moderada / Queimada alta / Intensificação moderada
Lagoa Santa	0.0075	0.3029	0.1512	0.8662	0.28	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Leopoldo de Bulhões	-0.0055	0.0027	-0.8934	0.7758	0.65	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta
Luziânia	-0.0151	0.0185	15.1195	0.3843	0.46	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta
Mairipotaba	-0.0204	0.0000	-8.1746	0.1275	0.19	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Mambaí	-0.0204	0.0521	-0.1733	0.8662	0.27	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Mara Rosa	-0.0221	0.0009	23.0796	0.5418	0.05	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Marzagão	0.0096	0.0591	0.3077	0.6131	0.47	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Matrinchã	-0.0156	0.0002	10.5493	0.5232	0.20	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Maurilândia	-0.0320	0.0000	3.1885	0.5694	0.49	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta
Mimoso de Goiás	-0.0135	0.0465	107.7016	0.3411	0.25	0	Degradação da pastagem moderada / Queimada alta / Intensificação moderada
Minaçu	-0.0160	0.0031	-40.7412	0.3113	0.14	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Mineiros	-0.0258	0.0081	46.6526	0.1227	0.27	0	Degradação da pastagem moderada / Queimada alta / Intensificação moderada
Moiporá	-0.0192	0.0000	-16.5167	0.6836	0.09	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Monte Alegre de Goiás	-0.0329	0.0014	-71.1566	0.6048	0.11	1	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Montes Claros de Goiás	-0.0238	0.0001	52.6900	0.0490	0.15	0	Degradação da pastagem moderada / Queimada alta / Intensificação moderada
Montividiu	-0.0308	0.0000	-0.4835	0.8368	0.72	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta
Montividiu do Norte	-0.0135	0.0004	-17.9608	0.5220	0.09	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Morrinhos	0.0010	0.7204	30.4045	0.1734	0.34	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Morro Agudo de Goiás	-0.0124	0.0000	-2.1905	0.7145	0.07	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Mossâmedes	-0.0160	0.0000	32.2235	0.2743	0.20	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Mozarlândia	-0.0280	0.0000	17.9263	0.5264	0.25	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Mundo Novo	-0.0190	0.0000	91.0531	0.0386	0.19	0	Degradação da pastagem moderada / Queimada alta / Intensificação moderada
Mutunópolis	-0.0161	0.0003	5.5045	0.7372	0.16	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa

Nazário	-0.0249	0.0001	0.8777	0.5835	0.75	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta
Nerópolis	-0.0042	0.0138	-2.7776	0.4747	0.90	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta
Niquelândia	-0.0205	0.0005	-26.6908	0.8566	0.14	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Nova América	-0.0147	0.0000	-0.7980	0.6117	0.27	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Nova Aurora	0.0005	0.8557	-1.1777	0.1411	0.25	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Nova Crixás	-0.0232	0.0000	115.9380	0.1533	0.18	0	Degradação da pastagem moderada / Queimada alta / Intensificação moderada
Nova Glória	-0.0282	0.0001	-24.2879	0.1445	0.32	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Nova Iguaçu de Goiás	-0.0198	0.0007	-26.3396	0.0939	0.17	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Nova Roma	-0.0192	0.0306	-48.1749	0.1567	0.09	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Nova Veneza	0.0009	0.3248	-1.0155	0.0108	0.36	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Novo Brasil	-0.0207	0.0000	0.8665	0.7685	0.19	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Novo Gama	-0.0271	0.0005	-5.7545	0.1657	0.43	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta
Novo Planalto	-0.0136	0.0001	-22.7598	0.5389	0.03	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Orizona	-0.0090	0.0001	-1.6855	0.4014	0.32	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Ouro Verde de Goiás	-0.0013	0.0045	-0.6010	0.8583	0.40	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Ouvidor	-0.0051	0.1033	-0.0580	0.9729	0.25	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Padre Bernardo	-0.0168	0.0249	87.7780	0.3831	0.56	0	Degradação da pastagem moderada / Queimada alta / Intensificação moderada
Palestina de Goiás	-0.0194	0.0000	16.8260	0.0390	0.12	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Palmeiras de Goiás	-0.0343	0.0001	10.4208	0.0950	0.31	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Palmelo	-0.0064	0.2475	4.9565	0.1301	0.47	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Palminópolis	-0.0358	0.0000	-1.5014	0.6346	0.36	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Panamá	-0.0140	0.0068	4.5150	0.5085	0.18	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Paranaiguara	0.0119	0.0003	-0.8495	0.8970	0.25	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Paraúna	-0.0298	0.0000	10.0226	0.3474	0.27	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Perolândia	-0.0272	0.0000	7.9145	0.1555	0.57	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta
Petrolina de Goiás	-0.0052	0.0138	7.6788	0.3593	0.29	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Pilar de Goiás	-0.0119	0.0008	4.1519	0.8978	0.13	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Piracanjuba	-0.0226	0.0002	19.1482	0.0134	0.43	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta
Piranhas	-0.0241	0.0000	5.3108	0.6609	0.12	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Pirenópolis	-0.0136	0.0000	7.3609	0.6765	0.18	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Pires do Rio	-0.0074	0.0082	-0.0331	0.9962	0.31	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Planaltina	-0.0149	0.0725	-4.2465	0.9820	0.65	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta
Pontalina	-0.0234	0.0000	2.5447	0.2375	0.26	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Porangatu	-0.0190	0.0000	26.8093	0.7776	0.20	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa

Porteirão	-0.0373	0.0000	1.1217	0.6893	0.73	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta
Portelândia	-0.0151	0.0016	-1.6099	0.3903	0.51	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta
Posse	-0.0226	0.0007	-46.1755	0.1028	0.20	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Professor Jamil	-0.0086	0.0201	2.2180	0.2446	0.17	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Quirinópolis	-0.0070	0.0502	-8.0874	0.4578	0.28	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Rialma	-0.0257	0.0000	-15.5277	0.0413	0.20	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Rianópolis	-0.0297	0.0000	-7.7800	0.1875	0.32	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Rio Quente	0.0084	0.0195	0.7061	0.2496	0.28	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Rio Verde	-0.0239	0.0000	69.7777	0.0453	0.56	0	Degradação da pastagem moderada / Queimada alta / Intensificação moderada
Rubiataba	-0.0133	0.0000	-0.2798	0.9688	0.27	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Sanclerlândia	-0.0232	0.0000	9.4908	0.3814	0.04	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Santa Bárbara de Goiás	-0.0265	0.0003	0.4435	0.6448	0.52	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta
Santa Cruz de Goiás	-0.0175	0.0001	-2.8177	0.6190	0.32	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Santa Fé de Goiás	-0.0173	0.0008	19.7129	0.3072	0.13	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Santa Helena de Goiás	-0.0189	0.0005	10.9899	0.0896	1.00	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta
Santa Isabel	-0.0239	0.0000	-5.3922	0.7971	0.22	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Santa Rita do Araguaia	-0.0293	0.0001	-0.3774	0.9084	0.17	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Santa Rita do Novo Destino	-0.0345	0.0000	17.8117	0.3634	0.12	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Santa Rosa de Goiás	-0.0080	0.1598	7.1185	0.1385	0.40	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Santa Tereza de Goiás	-0.0257	0.0001	8.3694	0.4752	0.26	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Santa Terezinha de Goiás	-0.0162	0.0004	16.9169	0.2394	0.16	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Santo Antônio da Barra	-0.0171	0.0000	10.3221	0.1916	0.42	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta
Santo Antônio de Goiás	-0.0043	0.0297	2.7057	0.1940	0.48	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Santo Antônio do Descoberto	-0.0139	0.0026	2.6515	0.6348	0.43	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta
Senador Canedo	-0.0102	0.0014	6.0108	0.4677	0.34	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Serranópolis	-0.0095	0.0190	10.0592	0.2755	0.27	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Silvânia	-0.0106	0.0000	2.5844	0.2933	0.43	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Simolândia	-0.0347	0.0011	-23.7941	0.2828	0.14	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
São Domingos	-0.0062	0.3493	-24.9227	0.7742	0.21	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
São Francisco de Goiás	-0.0093	0.0000	0.7097	0.9252	0.19	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
São João d'Aliança	-0.0191	0.0014	-9.9466	0.7996	0.35	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
São João da Paraúna	-0.0559	0.0000	-8.2782	0.1621	0.52	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta
São Luiz do Norte	-0.0286	0.0003	-43.6668	0.0436	0.24	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
São Luís de Montes Belos	-0.0199	0.0000	17.5308	0.0244	0.18	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa

São Miguel do Araguaia	-0.0170	0.0000	85.5330	0.2584	0.23	0	Degradação da pastagem moderada / Queimada alta / Intensificação moderada
São Miguel do Passa Quatro	-0.0249	0.0000	0.3831	0.7853	0.38	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
São Patrício	-0.0145	0.0000	-3.2095	0.2926	0.20	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
São Simão	-0.0074	0.0509	-0.0285	0.9618	0.36	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Sítio d'Abadia	-0.0029	0.6941	-13.7324	0.3121	0.16	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Taquaral de Goiás	-0.0112	0.0001	4.6091	0.1656	0.39	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Teresina de Goiás	-0.0284	0.0002	-3.7987	0.7064	0.17	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Terezópolis de Goiás	-0.0144	0.0000	-20.7847	0.1109	0.64	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta
Trindade	-0.0082	0.0486	-4.6060	0.7089	0.24	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Trombas	-0.0243	0.0000	-10.6899	0.2555	0.13	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Três Ranchos	-0.0006	0.7902	-0.3392	0.7821	0.19	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Turvelândia	-0.0223	0.0001	1.5550	0.3905	0.47	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta
Turvânia	-0.0404	0.0000	8.0096	0.0040	0.28	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Uirapuru	-0.0217	0.0000	10.7580	0.3066	0.14	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Uruana	-0.0278	0.0000	10.6827	0.0335	0.29	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Uruaçu	-0.0308	0.0000	23.7523	0.7196	0.19	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Urutaí	-0.0071	0.0043	9.4905	0.2466	0.18	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Valparaíso de Goiás	0.0056	0.3418	1.6582	0.3173	0.77	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta
Varjão	-0.0143	0.0005	1.9085	0.4688	0.35	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Vianópolis	-0.0193	0.0000	-1.5111	0.1486	0.34	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Vicentinópolis	-0.0359	0.0000	0.6648	0.7503	0.36	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Vila Boa	-0.0290	0.0000	-63.4290	0.3889	0.18	1	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Vila Propício	-0.0350	0.0000	-115.7776	0.1550	0.23	1	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Água Fria de Goiás	-0.0199	0.0194	-21.1685	0.5054	0.38	2	Degradação da pastagem alta / Queimada baixa / Intensificação baixa
Água Limpa	0.0493	0.0014	0.0000	1.0000	0.25	4	Degradação da pastagem baixa / Queimada alta / Intensificação alta
Águas Lindas de Goiás	-0.0090	0.0120	10.1332	0.2296	0.82	3	Degradação da pastagem baixa / Queimada moderada / Intensificação alta

## Considerações Finais

Esta tese teve como objetivo analisar os limites e as implicações da Intensificação Sustentável na pecuária bovina baseada em pastagens no bioma Cerrado. O foco esteve na forma como os sistemas produtivos adotam (ou não) técnicas, tecnologias e manejos intensivos, e em como essas práticas impactam a qualidade das pastagens. Esses impactos, por sua vez, dialogam com os discursos político-institucionais que legitimam essa estratégia, especialmente no âmbito das políticas públicas e das instituições científicas.

O ponto de partida da pesquisa foi a identificação de uma lacuna entre o conceito de intensificação sustentável e os resultados efetivamente observados na prática. Ao longo da pesquisa, essa hipótese foi confirmada por evidências empíricas, por meio de análises qualitativas e quantitativas, que revelaram contradições entre os objetivos declarados de sustentabilidade e os efeitos concretos das práticas intensivas.

A tese foi estruturada em três capítulos, conceitual (Capítulo 1), empírico (Capítulo 2) e territorial (Capítulo 3), e permitiu identificar três constatações centrais. A primeira refere-se à forma como a intensificação, tal como promovida pela literatura científica, prioriza os aspectos produtivos e ambientais, enquanto a dimensão social da sustentabilidade permanece negligenciada. Indicadores sociais seguem ausentes na avaliação e pesquisa sobre o que é concebido como Intensificação Sustentável, o que pode contribuir para a reprodução de desigualdades estruturais. Ainda que se assuma que a Intensificação Sustentável deva também contemplar questões sociais, essa dimensão segue marginalizada. Observa-se também que a literatura científica raramente incorpora indicadores relacionados ao bem-estar animal ou à inclusão social, o que reforça argumentos críticos segundo os quais o termo *intensificação sustentável* pode ser apropriado como um rótulo que encobre a continuidade de práticas insustentáveis sob uma retórica de sustentabilidade.

Segunda constatação demonstrou que os efeitos da intensificação sobre a qualidade das pastagens são ambíguos. Em sistemas leiteiros, os dados analisados indicam que a intensificação pode agravar processos de degradação, contrariando expectativas de recuperação ambiental, em especial das pastagens em processo de degradação. Tal cenário expõe a fragilidade de uma abordagem homogênea na formulação e aplicação de estratégias de intensificação, desconsiderando as diferenças estruturais entre os segmentos da pecuária (leiteira e de corte). Aspectos como o acesso desigual a recursos, assistência técnica e financiamento, embora não tenham sido objeto direto de análise nesta tese, mostram-se relevantes para compreender por que sistemas menos capitalizados, como a pecuária leiteira em

determinadas regiões, estão mais associados à degradação das pastagens. Esses resultados apontam para a necessidade de pesquisas que explorem essas variáveis, a fim de compreender como a intensificação pode reproduzir vulnerabilidades sociais e ecológicas, quando não adaptada às realidades locais.

A terceira constatação envolve a persistência de práticas rudimentares, como o uso do fogo, mesmo em territórios onde, a princípio, se esperaria sua substituição por práticas mais tecnificadas associadas à intensificação. Essa expectativa não se confirmou empiricamente. Ao contrário, a análise espacial revelou que áreas classificadas como de alta intensificação continuam a apresentar elevada frequência de queimadas. Os resultados encontrados expõem o distanciamento entre um modelo tecnológico esperado e a realidade socioecológica local, onde fatores como ausência de assistência técnica, custos de transição e desajustes entre políticas públicas e práticas produtivas concretas podem estar limitando a efetividade das estratégias de intensificação sustentável. Em outras palavras, a intensificação promovida atualmente pode ocorrer de forma híbrida, coexistindo com técnicas tradicionais em sistemas produtivos que não tiveram acesso efetivo às condições materiais e institucionais necessárias à transição.

Esse cenário sugere que a intensificação pode ser mais declarada do que consolidada, o que exige uma revisão crítica sobre os critérios utilizados pelas políticas públicas para avaliar sua adoção. Além disso, os dados comumente usados para definir o que é intensificação frequentemente não capturam a qualidade nem a efetividade das práticas implementadas. Pouco se investiga o processo de transição produtiva em si, e menos ainda se considera como os produtores operam com estratégias mistas, muitas vezes por necessidade, não por convicção. Isso reforça a importância de abordagens interdisciplinares, capazes de compreender a intensificação não apenas como adoção de insumos e tecnologias, mas como um processo complexo, mediado por fatores sociais, econômicos, culturais e institucionais.

Espera-se que os resultados desta tese contribuam para o campo da ciência ambiental, das políticas públicas e da pesquisa em desenvolvimento rural. Eles reforçam a importância de abordagens territorializadas e sensíveis ao contexto local, tanto no planejamento quanto na avaliação de políticas voltadas à sustentabilidade agropecuária. Também se busca evidenciar os riscos de adotar modelos técnicos padronizados, desvinculados das condições socioeconômicas e institucionais específicas dos territórios. A intensificação sustentável deve ser compreendida não apenas como um conjunto de técnicas produtivas, mas como uma construção político-social, cujos efeitos precisam ser avaliados à luz da justiça ambiental, social e territorial.

Essa reflexão crítica não nega os avanços tecnológicos ou o potencial transformador de sistemas mais eficientes. Pelo contrário, aponta para a necessidade de ampliar o escopo analítico

da intensificação, incorporando critérios mais abrangentes de equidade e justiça social. Também convida à reflexão sobre o que se entende por intensificação sustentável e se o modelo atualmente promovido é, de fato, acessível a todos os setores produtivos da pecuária bovina.

Ao concluir este trabalho, reafirma-se que a intensificação sustentável, para ser de fato sustentável, precisa ser reconfigurada a partir de uma escuta mais atenta aos territórios, de políticas públicas inclusivas e de agendas de pesquisa comprometidas com a transformação social. A presente tese, portanto, contribui para questionar narrativas consolidadas, propor novos questionamentos e abrir caminhos para investigações futuras que articulem produção, conservação ambiental e justiça social de forma mais integrada.