

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA
DIVERSIDADE E MANEJO DE VIDA SILVESTRE

DAVID SANTOS DE FREITAS

DESAFIOS DA PECUÁRIA DE CORTE FRENTE À CONSERVAÇÃO DOS ECOSISTEMAS
CAMPESTRES: DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO BIOMA PAMPA

Tese de Doutorado

São Leopoldo, RS

2018

DAVID SANTOS DE FREITAS

DESAFIOS DA PECUÁRIA DE CORTE FRENTE À CONSERVAÇÃO DOS ECOSISTEMAS
CAMPESTRES: DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO BIOMA PAMPA

Tese de Doutorado, apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Biologia da Universidade do Vale do
Rio do Sinos como requisito parcial
para a obtenção do título de Doutor
em Biologia

São Leopoldo, RS

2018

E866d Freitas, David Santos de.
Desafios da pecuária de corte frente à conservação dos ecossistemas campestres: desenvolvimento sustentável no Bioma Pampa / David Santos de Freitas. – 2018.
105 f. : il., mapas ; 30 cm.

Tese (doutorado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Biologia, 2018.
“Orientador: Prof. Dr. Juliano Morales de Oliveira.”

1. Biologia. 2. Campos naturais. 3. Ecologia de paisagem. 4. Ecossistemas seminaturais. 5. Indicadores ecológicos. 6. NDVI. 7. Sustentabilidade. 8. Políticas de desenvolvimento. I. Título.

CDD 57

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Bibliotecário: Flávio Nunes – CRB 10/1298)

DAVID SANTOS DE FREITAS

DESAFIOS DA PECUÁRIA DE CORTE FRENTE À CONSERVAÇÃO DOS ECOSISTEMAS
CAMPESTRES: DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO BIOMA PAMPA

Tese de Doutorado, apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Biologia da Universidade do Vale do
Rio do Sinos como requisito parcial
para a obtenção do título de Doutor
em Biologia

Tese aprovada em 18 de janeiro de 2018

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Juliano Morales de Oliveira
Orientador

Prof. Dr. Gerhard Overbeck
Professor Convidado

Prof. Dr. Gabriel Ribas Pereira
Professor Convidado

Prof. Dr. Luiz Ernesto Costa-Schmidt
Professor Convidado

Prof. Dr. Miguelangelo Gianezini
Professor Convidado

São Leopoldo, RS
2018

Hey... HEY... it's me... your thesis... let me out!!!
- *Unknown author*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço minha esposa, Tamara Esteves de Oliveira, pelo apoio incondicional, pela compreensão em todos os momentos passados durante o período de doutoramento e pelas confabulações emblemáticas que resultaram nas ideias iniciais de cada artigo desta tese. *Love you more than sharks love blood.*

Agradeço também ao meu pai Jorge David Castro de Freitas e minha irmã Marília Santos de Freitas pela crença e incentivo desde o início da graduação em Biologia e que hoje se concretiza neste documento, que marca o final da caminhada acadêmica dissente.

Os animais também possuem papéis importantes nessa jornada e por isso meu agradecimento especial para a Shub (*Cannis familiaris*), a Penny (*Felis catus*) e ao finado Joey (*Felis catus*), que esteve junto até os últimos três meses do processo.

Ao meu orientador, Juliano Morales de Oliveira, por aceitar o desafio de orientação na metade do processo. Muito obrigado pela parceria, conversas e direcionamento. Tuas contribuições foram fundamentais para o desenvolvimento da tese. Espero poder continuar essa parceria em outros momentos ao longo da nossa carreira, regados a churrascos e análises de caminhos. Também a todos integrantes do Laboratório de Ecologia Vegetal (LEV) pela tão calorosa acolhida em tempos de solidão e inquietude.

Ao Grupo de Estudos em Padrões Macroecológicos, Econômicos, Sociais e Ambientais (GEPMESA), composto atualmente pelos pesquisadores David Santos de Freitas, Gabriela Reis-Ávila, Matheus S. Rocha e Tamara Esteves de Oliveira, o meu sincero agradecimento pelas discussões proveitosas e pelo suporte científico durante a montagem da tese e votos de que este grupo, apesar de ainda não registrado, venha ser um grupo de pesquisadores que busquem entender melhor as relações da natureza com uma visão crítica multidisciplinar integrada.

Aos meus irmãos por escolha, Caio Nogueira Perez e Carolina Barcellos Neves, a acolhida de vocês torna tudo mais especiais. Muito obrigado pelo carinho e atenção em todos os momentos (mas especialmente nos difíceis), é incrível ter vocês por perto.

À banda Colitas, composta além de mim, pelos integrantes Jerônimo Silvello Ceratti, Rafael Linck Moehlecke e Tamara Esteves de Oliveira, muito obrigado por embalar a escrita da

tese com as mais brilhantes canções do rock, blues e jazz dos anos 50, 60 e 70. Os shows, ensaios e companhia de vocês permitiram a sanidade mental de todo o processo.

À equipe Dice Dragons, pois as ocasiões de descontração, no momento mais pesado da tese, passaram por vocês. Muito obrigado Caio Nogueira Perez, Geison Erdmann, Isaías Weber, Leo Schuch de Azevedo e Souza e o mais recente integrante Bruno Accioli Barbosa, por ouvir os desabafos, esbravejos e choros em meio a missões de GTA V.

Um agradecimento especial aos meus amigos que foram viver em outros pagos, Kim Ribeiro Barão, colega de faculdade e atualmente professor na Universidade Federal de Alagoas, Vitor Dapper, companheiro de banda e que hoje está em Londres tocando a vida e Bem Hur Marins Mussolini que foi viver como pesquisador na Polônia, só as memórias de vocês já são suficientes para me manter firme. Um abraço especial também para Thiago Soares Corrêa Gomes, meu irmão de curso de graduação, obrigado pelas parcerias, desabafos e jogos de sinuca.

Por fim agradeço a todo o corpo docente do PPG Biologia da UNISINOS por propiciar momentos de aprendizagem significativas e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida para a realização do curso.

Aprender é a única coisa da qual a mente nunca se cansa,
nunca tem medo e nunca se arrepende.
- *Leonardo da Vinci*

DESAFIOS DA PECUÁRIA DE CORTE FRENTE A CONSERVAÇÃO DOS ECOSISTEMAS CAMPESTRES: IMPLICAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO BIOMA PAMPA

Autor: David Santos de Freitas

Orientador: Juliano Morales de Oliveira

RESUMO:

O Bioma Pampa é uma região onde a pecuária pode ser utilizada para a conservação de pastagens naturais, permitindo a integração da produção de alimentos com a conservação da biodiversidade. A paisagem é mantida pelo pastoreio de ruminantes que tradicionalmente ocupam a área. A conversão de pastagens naturais e as conseqüentes alterações das paisagens destacam a necessidade de melhores estratégias de manejo para pecuária e pastagens naturais. Portanto, é importante identificar quais municípios enfrentam dificuldades frente aos conceitos de sustentabilidade que são aplicáveis à pecuária e que critérios precisam de mais atenção para um cenário melhor. O uso de indicadores que apontem as condições desses sistemas é uma estratégia válida e que pode resultar em políticas de apoio para a conservação do Pampa. Assim, essa pesquisa visa identificar as áreas de tensão em relação ao conceito do desenvolvimento sustentável e aos preceitos da produção de bovinos de corte, analisando as implicações desta atividade para a conservação das pastagens nativas do Bioma Pampa brasileiro e avaliar o impacto do pastejo na produtividade dos campos subtropicais da América do Sul. No primeiro artigo, os municípios foram caracterizados de acordo com fatores que requerem ações específicas para o desenvolvimento sustentável com base em um Índice de Tensão Sustentável (STI). O STI é um índice composto por variáveis descritas para as realidades econômicas, sociais e ambientais em bancos de dados governamentais. Apesar da análise revelar a maioria dos municípios de Pampa com intermediários STI, também foi possível analisar os locais que se destacam de forma positiva e negativa de acordo com as STI. Apenas três municípios apresentaram resultados de baixa tensão nas três dimensões, indicando que, embora os valores estejam em um alcance moderado, poucos municípios são apresentados nas dimensões analisadas. No segundo artigo, foram utilizados indicadores de produtividade primária das plantas (calculados a partir do Índice de Vegetação Normalizada – NDVI) para avaliar a relação com a pressão de pastejo de bovinos em áreas do Bioma Pampa Brasileiro. Assim, foi observado uma relação quadrática inversa entre o efetivo bovino e os valores de NDVI, indicando que rebanhos mais adensados afetam negativamente a produtividade primária. Da mesma forma, a pluviosidade também apresentou relação quadrática inversa com a produtividade primária. O preço do boi gordo demonstrou relação quadrática positiva com o efetivo, indicando que as variações econômicas afetam indiretamente a produtividade primária através do efetivo. Os resultados apontam que as variações na produtividade são explicadas tanto por fatores climáticos, quanto econômicos, sendo fundamental a análise da carga de animais no campo, bem como as flutuações do preço do boi gordo, indicando que são necessários olhares multidisciplinares para criar estratégias de conservação para os campos subtropicais. Dessa forma, conclui-se que os interesses econômicos e sociais podem se sobressair sobre os fatores ambientais, sendo fundamental a consideração destes para a elaboração de ferramentas de gestão voltadas para a conservação de biomas de bases campestres.

PALAVRAS-CHAVES: Campos naturais, ecologia de paisagem, ecossistemas seminaturais, indicadores ecológicos, NDVI, sustentabilidade, políticas de desenvolvimento.

BEEF CATTLE CHALLENGES AGAINST THE CONSERVATION OF NATURAL GRASSLANDS ECOSYSTEMS: IMPLICATIONS FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT IN THE PAMPA BIOME

Author: David Santos de Freitas

Adviser: Juliano Morales de Oliveira

ABSTRACT:

Pampa Biome, a region where cattle farming is indicated for conserving natural grasslands, is a biome that allows the integration of food production with biodiversity conservation. The landscape is maintained by the grazing of ruminants that traditionally occupy the area. The conversion of natural grasslands and consequent alterations of the landscapes highlights the need for better management strategies for cattle farming and natural grasslands. Therefore, it is important to identify which municipalities encounter difficulties while working on concepts of sustainability that are applicable to cattle farming and which criteria need more attention for a better scenario. The use of indicators for this scenario is a valid strategy and can support public policies for the conservation of the Pampa. Thus, this research aims to identify areas of tension in relation to the concept of sustainable development and the precepts of beef cattle production, analyzing the implications of this activity for the conservation of the natural grasslands of the Brazilian Pampa Biome and evaluate the impact of grazing on productivity of subtropical grasslands. In the first article, municipalities were characterized according to factors that require specific actions for sustainable development based on a Sustainable Stress Index (STI). The STI is an index composed of descriptors variables for the economic, social and environmental realities in governmental databases. Despite the analysis revealed most of Pampa's municipalities with intermediaries STI it was also possible to analyze the locations that stand out positively and negatively according to the STI. Only three municipalities had low tension results in the three dimensions, indicating that, although the values are in a moderate range, few municipalities are fully featured in the dimensions analyzed. In the second paper, indicators of the aboveground net primary (calculate with Normalized Difference Vegetation Index – NDVI) production were used to evaluate the impact of livestock in subtropical grasslands. An inverse quadratic relation between the cattle herd and the NDVI values was observed, indicating that more cattle affect negatively the primary productivity. In the same way, rainfall presents an inverse quadratic relation with a primary productivity. The cattle price showed a positive quadratic relation with the cattle herd, indicating that the economic variations indirectly affect the primary productivity through the size of cattle herds. The results indicate that the variations in productivity are based on climatic and economic factors, being fundamental the analysis of the number of animals in the fields, as well as of cattle price fluctuations, indicating that they are indispensable for the multidisciplinary strategies for conservation strategies in the subtropical grasslands. Hence, the economic and social interests are fundamental for the elaboration of management strategies towards the conservation of grasslands ecosystems.

KEYWORDS: natural grasslands, landscape ecology, seminatural ecosystems, NDVI, ecological indicators

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

- Figura 1.** Em A, biomas brasileiros e os limites dos Campos Sulinos nos outros países. Em B, limitação política do Bioma Pampa no Rio Grande do Sul e os limites dos municípios que possuem áreas campestres em suas delimitações. 25
- Figura 2.** Perguntas de auxílio na escolha de indicadores. Fonte: Adaptado de Deponti et al. (2002). 30
- Figura 3.** Modelo de causalidade a ser testado levando em consideração a gama de fatores que afetam a produtividade. 34

CAPÍTULO II

- Figure 1.** Characterization of the research area: (a) Brazilian biomes with a highlight for the Rio Grande do Sul state; (b) Rio Grande do Sul state, its mesoregions, and municipalities. Mesoregions of Rio Grande do Sul state: (1) South West; (2) South East; (3) Metropolitan of Porto Alegre; (4) Eastern Central; (5) Western Center; (6) Northwest; and (7) Northeast. For sampling, the municipality of Pântano Grande (the only one in region 4) was incorporated in region 3. 40
- Figure 2.** Description of indices and municipalities with higher and lower values of Sustainable Tension Index (STI). STI (Sustainable Tension Index), EcTI (Economic Tension Index), SocTI (Social Tension Index) and Enti (Environmental Tension Index). 47
- Figure 3.** (a) Spatialization of the Sustainable Tension Index (STI) in the analyzed municipalities and mesoregions of Rio Grande do Sul; (b) Spatialization of the Economic Tension Index (EcTI); (c) Spatialization of the Social Tension Index (SocTI); and (d) Spatialization of the Environmental Tension Index (EnTI). Mesoregions of Rio Grande do Sul state: (1) South West; (2) South East; (3) Metropolitan of Porto Alegre; (4) Eastern Central; (5) Western Center; (6) Northwest; and (7) Northeast. 49
- Figure 4.** Comparison of the Sustainable Tension Index (STI) regarding mesoregions (SQ = 0.15288, $p = 0.001$). The letters indicate the significant differences between the mesoregions after the contrast tests. EC X MP ($p = 0.0301$); EC X SE ($p = 0.2364$); EC X SW ($p = 0.0002$); MP X SE ($p = 0.0002$); MP X SW ($p = 0.0001$); SE X SW ($p = 0.047$). 49
- Figure 5.** In (a), indices associated to the three dimensions of sustainability. The black lines indicate the reference threshold for low tension. The blue lines indicate the municipalities with lower Sustainable Tension Index, and the red lines indicate the municipalities with the highest tension. In (b), the projection of economic and social indicators that highlighted the fair scenario. In (c), the projection of the environmental and economic indices showing the municipalities in the viable scenario. In (d), the projection of the environmental and social indices showing municipalities in the bearable scenario. Dotted lines indicate the reference threshold for low tension. 50

CAPÍTULO III

- Figura 1.** Hipóteses de pesquisa. Em (a) cenário onde o pastejo influencia a produtividade. Em (b) modelo propondo a influência da produtividade no pastejo. Em (c) modelo onde o efeito do pastejo e da produtividade são simultâneos. 62
- Figura 2.** Mapa da região de estudo ressaltando a vegetação e municípios analisados. 64
- Figura 3.** Modelos testados na análise de caminhos e suas relações temporais. Onde: P = preço do boi gordo, Ch = Efetivo bovino, T = Temperatura, R = Pluviosidade. 66
- Figura 4.** Variações anuais dos parâmetros coletados. A tabela indica as respostas de variação ao longo dos anos analisados. 67
- Figura 5.** Modelo 1 – Relação causal onde o efetivo bovino influencia a produtividade. A caixa superior indica a hipótese testada. As linhas pontilhadas indicam as variáveis que foram bloqueadas no modelo de análise de caminhos. A tabela aponta as relações obtidas na análise de modelos lineares. As setas em negrito demonstram as relações significativas. 68
- Figura 6.** Apresentação das relações significativas da Figura 4. As equações representam a explicação das variáveis em modelos quadráticos em (a) e (b) e linear em (c). 69

Figura 7. Modelo 2 - Relação causal onde a produtividade influencia o efetivo bovino. A caixa superior indica a hipótese testada. As linhas pontilhadas indicam as variáveis que foram bloqueadas no modelo de análise de caminhos. A tabela aponta as relações obtidas na análise de modelos lineares. As setas em negrito demonstram as relações significativas. 70

Figura 8. Modelo 3 - Relação causal onde a produtividade e efetivo bovino possuem mútua influência. A caixa superior indica a hipótese testada. As linhas pontilhadas indicam as variáveis que foram bloqueadas no modelo de análise de caminhos. A tabela aponta as relações obtidas na análise de modelos lineares. As setas em negrito demonstram as relações significativas. 70

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

Table 1. Variables for the content of the Sustainable Tension Index according to the dimensions and mode of contribution of each variable without index.	41
Table 2. Factor loadings and weight of the variables.	44

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO I

Quadro 1. Conceitos e definições de indicadores em diversos âmbitos.	29
--	----

LISTA DE ABREVIações

Ch – Efetivo Bovino

EcTI - Tensão Econômica (EcTI)

EnTI - Índice de Tensão Ambiental

FEERS - Fundação de Estatística do Estado do Rio Grande do Sul

GEE – Gases de Efeito Estufa

INPP – Índice de Potencial Poluidor

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada

MAPA - Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento

NDVI - Índice de Vegetação da Diferença Normalizada

NESPro - Núcleo de Estudos em Sistemas Produtivos de Bovinos de Corte e Cadeia Produtiva

OECD – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

P – Preço do Boi Gordo

PCA – Análise de Componentes Principais

PIB – Produto Interno Bruto

PPL - Produtividade primária líquida

R - Precipitação

RS – Estado do Rio Grande do Sul

SocTI - Índice de Tensão Social

STI - Índice de Tensão Sustentável

T – Temperatura

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	17
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	18
2. OBJETIVOS	20
2.1 Objetivos Gerais	20
2.2 Objetivos específicos.....	20
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
3.1. Marcos conceituais e contextualização	21
3.2. Bioma Pampa	24
3.3. Métodos utilizados para gestão sustentável.....	28
4. HIPÓTESES	34
CAPÍTULO II	36
5. SUSTAINABILITY IN THE BRAZILIAN PAMPA BIOME: A COMPOSITE INDEX TO INTEGRATE BEEF PRODUCTION, SOCIAL EQUITY, AND ECOSYSTEM CONSERVATION.....	37
CAPÍTULO III	58
6. COMO A PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA DOS CAMPOS SUBTROPICAIS SUL-AMERICANOS ESTÁ RELACIONADA À PRESSÃO DE PASTEJO?	59
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	77
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
ANEXO 1	87
ANEXO 2	97

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO GERAL

Um novo paradigma emerge da necessidade de alimentar dez bilhões de habitantes no planeta (Godfray, 2015; Brundtland, 1987). Para atender essa demanda a produção de alimento nos próximos 40 anos, deverá aumentar em quantidade e eficiência sem que isso comprometa os recursos para as próximas gerações (Foley et al., 2011). Esse aumento da população, principalmente em países asiáticos, acompanha a urbanização e o aumento da distribuição de renda nesses locais, o que interfere em seus hábitos alimentares e aproximando-os dos costumes ocidentais (Godfray et al., 2010), desafiando a produção de alimentos a responder de forma ética e dinâmica.

Frente a esse cenário, o Brasil tem papel importante por ser uma das últimas fronteiras agrícolas capazes de suprir tal demanda de maneira sustentável. O país ainda possui território e recursos naturais, humanos e tecnológicos que podem ser explorados para atender as expectativas da sustentabilidade (Pereira et al., 2010; Bettencourt, 2011; Garnett et al., 2013). Esse contexto torna-se relevante no estado do Rio Grande do Sul (RS) onde encontra-se parte do Bioma Pampa, um bioma de base campestre que abriga uma biodiversidade única (Ewert et al., 2005). Ali, uma das práticas mais tradicionais é a bovinocultura, que vem sendo indicada como forma de conservação da paisagem natural dos Campos Sulinos (Overbeck, et al., 2013). Essa atividade pode impedir a sucessão dos campos por plantas lenhosas e manter as características fisionômicas da região, ainda podendo mitigar as emissões de gases estufa (Carvalho e Batello, 2009; Overbeck et al., 2009).

Além disso, a substituição dos ecossistemas campestres por culturas anuais no Pampa, vem preocupando pesquisadores e instituições, demandando pesquisas, políticas públicas e ações privadas, não apenas para a manutenção do bioma, mas também para o desenvolvimento da região (De Oliveira e Freitas, 2017). Nesse contexto torna-se fundamental o incentivo a pesquisa básica, gerando conhecimento e tecnologias que contribuirão para o sucesso dessas iniciativas. Porém, as ações voltadas a mitigação dessa problemática ainda encontram dificuldades em relacionar todos os aspectos da produção e do desenvolvimento sustentável.

O impacto da bovinocultura sobre a conservação dos campos, apesar de bastante discutido, ainda não apresenta dúvida entre pesquisadores e as respostas encontradas variam

conforme as localidades analisadas (Alkemade et al., 2013; Koerner e Collins, 2014; Guo et al., 2017). Um exemplo é a relação entre a produção de bovinos de corte e a produtividade das pastagens. Analisado em diferentes regiões, o pastejo exerce um efeito de poda nas plantas, podendo reduzir a quantidade de energia luminosa absorvida pelas plantas e diminuindo a produtividade primária (Koerner e Collins, 2014). Entretanto, o efeito de poda pode afetar a dinâmica de competição entre as gramíneas, excluindo espécies que possuem maior abundância devido a sua competitividade, permitindo que a riqueza de espécies aumente e uma maior quantidade de nichos seja ocupada, o que tenderia a aumentar a produtividade (Lezama et al., 2014).

Assim, nos deparamos com a pecuária, uma atividade tradicionalmente gaúcha (Overbeck et al., 2009), que contribui com parte significativa da economia regional (Linhares e Silva, 2000), mas que apresenta problemas quanto à gestão das propriedades e difusão de tecnologias para o uso mais eficiente e sustentável dos recursos naturais (Borges et al., 2017). Dessa forma, a pesquisa dedicada ao entendimento da relação entre a produção de bovinos de corte e a conservação das pastagens naturais é fundamental e deve ser considerada na gestão da região (Dobrovolski et al., 2011).

Cabe ressaltar também que, apesar da relevância e das implicações desse cenário para o sul do Brasil, os ecossistemas campestres estão presentes em outros países (Uruguai, Argentina e Paraguai), o que torna os estudos na realidade gaúcha um passo importante para o entendimento do padrão ecológico dos campos subtropicais da América do Sul. Além disso, as produções de alimentos desses países também carecem de direcionamentos para uma produção mais eficiente e sustentável (Ghersa et al., 2002; Peri et al., 2016), de forma que estudos focados nesta temática podem ser aplicados em diferentes realidades, oferecendo estratégias econômicas e rentáveis para a proteção destes ambientes naturais. Considerando o contexto exposto, algumas perguntas emergem: (a) quais os desafios para a sustentabilidade da produção de bovinos de corte nos municípios do Bioma Pampa brasileiro? (b) de que forma a quantidade de bovinos nos campos pode impactar a qualidade dos campos?

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos Gerais

Identificar as áreas de tensão em relação ao conceito do desenvolvimento sustentável e aos preceitos da produção de bovinos de corte, analisando as implicações desta atividade para a conservação das pastagens nativas do Bioma Pampa brasileiro e avaliar o impacto do pastejo na produtividade dos campos subtropicais da América do Sul.

2.2 Objetivos específicos

a) Selecionar variáveis para mensurar um índice de tensão que identifique as fraquezas associadas aos pilares do desenvolvimento sustentável e da produção de bovinos nos municípios do Bioma Pampa brasileiro;

b) Avaliar a relação entre as variáveis utilizadas, visando identificar suas contribuições para o índice de tensão e as peculiaridades de cada município analisado;

c) Identificar os municípios que apresentam os maiores índices de tensão sustentável, avaliando padrões regionais de acordo com as mesorregiões analisadas;

d) Avaliar as relações entre efetivo bovino e produtividade primária das pastagens dos campos subtropicais da América do Sul.

e) Avaliar o efeito das variáveis abióticas (e.g., Temperatura, Precipitação), econômicas e da paisagem regionais sobre a produtividade primária dos campos, em relação ao efetivo bovino por hectare.

f)

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Marcos conceituais e contextualização

3.1.1. Desenvolvimento sustentável

Um dos primeiros manifestos impressos que descreveu os impactos das ações humanas no ambiente foi em 1964, quando Rachel Carson publicou o livro *Primavera Silenciosa* (Carson, 1964), que abordava o uso de agrotóxicos nos alimentos. Após alguns anos ocorreu o primeiro evento internacional para discutir os impactos ambientais do modelo de produção. Em 1972, na Conferência de Estocolmo, a Declaração sobre o Ambiente Humano foi ratificada, levantando problemas como a chuva ácida e a poluição do ar. Após cinco anos, a Conferência de Tbilisi (1977) incluía políticas de educação ambiental nas diretrizes básicas e para intensificar os trabalhos de reflexão, pesquisa e inovação, estimulando a discussão racional sobre sustentabilidade.

O documento intitulado *Our common future* foi o primeiro a assumir a inviabilidade do modelo vigente e moldar o primeiro conceito de desenvolvimento sustentável (Brundtland, 1987), que é utilizado como referência até os dias atuais. Esse Relatório estabeleceu que o crescimento e desenvolvimento atual precisa suprir as necessidades da geração presente, sem comprometer as futuras gerações. O documento afirma ainda a necessidade da preservação do ambiente em longo prazo, suprir as necessidades humanas básicas e promover a equidade entre as gerações (Holden e Linnerud, 2014). Após esse relatório, a sustentabilidade começou a crescer como ciência multidisciplinar. Até então, as áreas relacionadas às Ciências Biológicas e Sociais foram as que mais contribuíram para a geração de conhecimento científico nesse campo. O Brasil se destaca nestas pesquisas, apresentando altos número de publicações e citações, perdendo apenas para grandes potências na América do Norte e Europa (Bettencourte and Kaur, 2011).

Como resposta a essa crescente discussão, três conferências ocorreram na cidade do Rio de Janeiro em 1992, 2002 e 2012. A primeira delas, Rio-92, estabeleceu um plano de metas a ser cumprido em 20 anos, que foram retomadas dez e vinte anos depois nas Rio+10 e Rio+20. Durante a Rio+10, o conceito dos três pilares do desenvolvimento sustentável foi apresentado, determinando que para alcançar a sustentabilidade é preciso contemplar as

necessidades econômicas do processo, ser ambientalmente correto e socialmente justo (Dirzo e Raven, 2003).

Segundo Holden e Linnerud (2014), ainda hoje discute-se sobre os termos desenvolvimento sustentável e sustentabilidade. A sustentabilidade, portanto, é um cenário a ser conquistado por uma empresa ou cadeia produtiva, enquanto o desenvolvimento sustentável é o processo para alcançar essa meta. Entretanto, os mesmos autores salientam que apesar da importância do desenvolvimento sustentável nos mais variados agentes e modelos de produção, as instituições governamentais em todo o mundo ainda encontram dificuldades na definição de um conceito conciso, o que dificulta a aplicação desta teoria na gestão de políticas públicas. Entretanto, é necessário que uma visão da sustentabilidade seja orientada para a otimização e intensificação dos processos, investindo na verticalização da produção (Godfray, 2015)

Neste projeto utilizaremos sustentabilidade e desenvolvimento sustentável como sinônimos de um cenário ou modelo a ser alcançado para aprimorar os processos produtivos. Assim, aplicaremos as discussões do Relatório de Brundtland (Brundtland, 1987) e da conferência Rio+10 (Dirzo e Raven, 2003) como conceitos, sendo importante que o desenvolvimento atual se preocupe com as gerações futuras, e vise a viabilidade econômica, a equidade social e a conservação do ambiente.

3.1.2. Percepções de risco e tomada de decisão

Vivemos em um tempo de crise ambiental, em que a população mundial cresce em escala logarítmica, o que aumenta a aquisição de bens, alimentos e infraestrutura, impulsionando os sistemas de produção, que utilizam de forma cada vez mais intensiva os recursos naturais (Pereira et al., 2010). Nesse cenário, ao mantermos um padrão baseado em modelos de consumo ocidentais, precisaríamos de pelo menos mais três planetas do tamanho da Terra para atender a essa demanda e absorver os resíduos que seriam produzidos.

Apesar dessa situação limítrofe, a sociedade encontra dificuldade em considerar essas questões como uma ameaça, pois os problemas ambientais e climáticas não são facilmente percebidos e relacionados a problemas cotidianos da população (Weber, 2006). Segundo essa autora, os humanos identificam situações de risco por dois caminhos: o primeiro ocorre

após exposições repetidas a situações adversas ou extremas, ocasionando reações viscerais, normalmente associadas ao medo. No segundo, uma situação hipotética é observada e são criadas simulações baseadas em modelos ou dados estatísticos, o que permite idealizar um cenário de risco (Weber, 2006). Aparentemente, nenhuma dessas situações ocorre quando consideramos a questão de preservação do ambiente e a diminuição dos impactos causados pela existência humana. Weber (2006) sugere ainda que os indivíduos são capazes de conceber apenas um fator de risco por vez, sendo que as necessidades básicas devem ser atendidas primeiro ou que a relação entre os problemas ambientais e os cotidianos seja melhor estudada, principalmente no seu vínculo de causa-efeito.

Em 2004, Hansen e colaboradores observaram que a preocupação com as mudanças climáticas aumentava à medida que a situação política e os preços dos alimentos se estabilizavam. Da mesma forma, Weber (2006) observou que a preocupação com as questões ambientais nos Estados Unidos decaiu após o ataque de 11 de setembro ao *World Trade Center*, sugerindo que fatores econômicos (e.g., renda) e sociais (e.g., fome e desemprego) acabam se sobressaindo sobre as questões ambientais. Esse comportamento já foi corroborado por Yao e colaboradores (2012), que identificaram que os produtores do Pampa argentino priorizam fatores socioeconômicos em detrimento aos ambientais. Sendo assim, um município que estiver passando por uma crise financeira ou de desemprego, dificilmente apresentará resoluções para os problemas ambientais, uma vez que os pensamentos dos gestores estariam voltados às necessidades básicas, consideradas mais preocupantes.

A questão moral também é uma limitação para essa tomada de decisão. De acordo com Ziliak et al. (2003), a busca por benefícios individuais acaba prejudicando os objetivos coletivos. Segundo o autor, grande parte dos problemas sociais não possui solução técnica e sua resolução depende de uma ação que pode não estar associada a vantagens pessoais. Esse pensamento associa-se a ideia desenvolvida por Hardin (1968) em seu manuscrito intitulado *The Tragedy of the Commons*. Dessa forma torna-se fundamental que haja uma mudança de paradigma na produção de alimentos e que os empresários rurais produzam de modo a manter os serviços ecossistêmicos regionais (Sachs et al., 2010) ao invés de focar apenas no lucro.

Ademais, a busca por lucratividade pode ser determinante para a conservação dos ecossistemas, uma vez que a escolha por culturas mais lucrativas ou por modelos intensivos, acabam causando a degradação ou a substituição da paisagem local. É o caso do Bioma Pampa brasileiro, que vem apresentando mudanças bruscas na sua área original devido a escolha dos produtores por culturas de maior rentabilidade (De Oliveira et al., 2017).

3.2. Bioma Pampa

3.2.1 Características e impactos socioeconômicos do bioma.

O Bioma Pampa possuiu área estabelecida em quatro países (Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai), no Brasil, concentra-se na metade sul do RS e ocupa 176.496 km², 2,07% do território brasileiro. Essa área abrange 63% do estado (Suertegaray e Silva, 2009) (Figura 1).

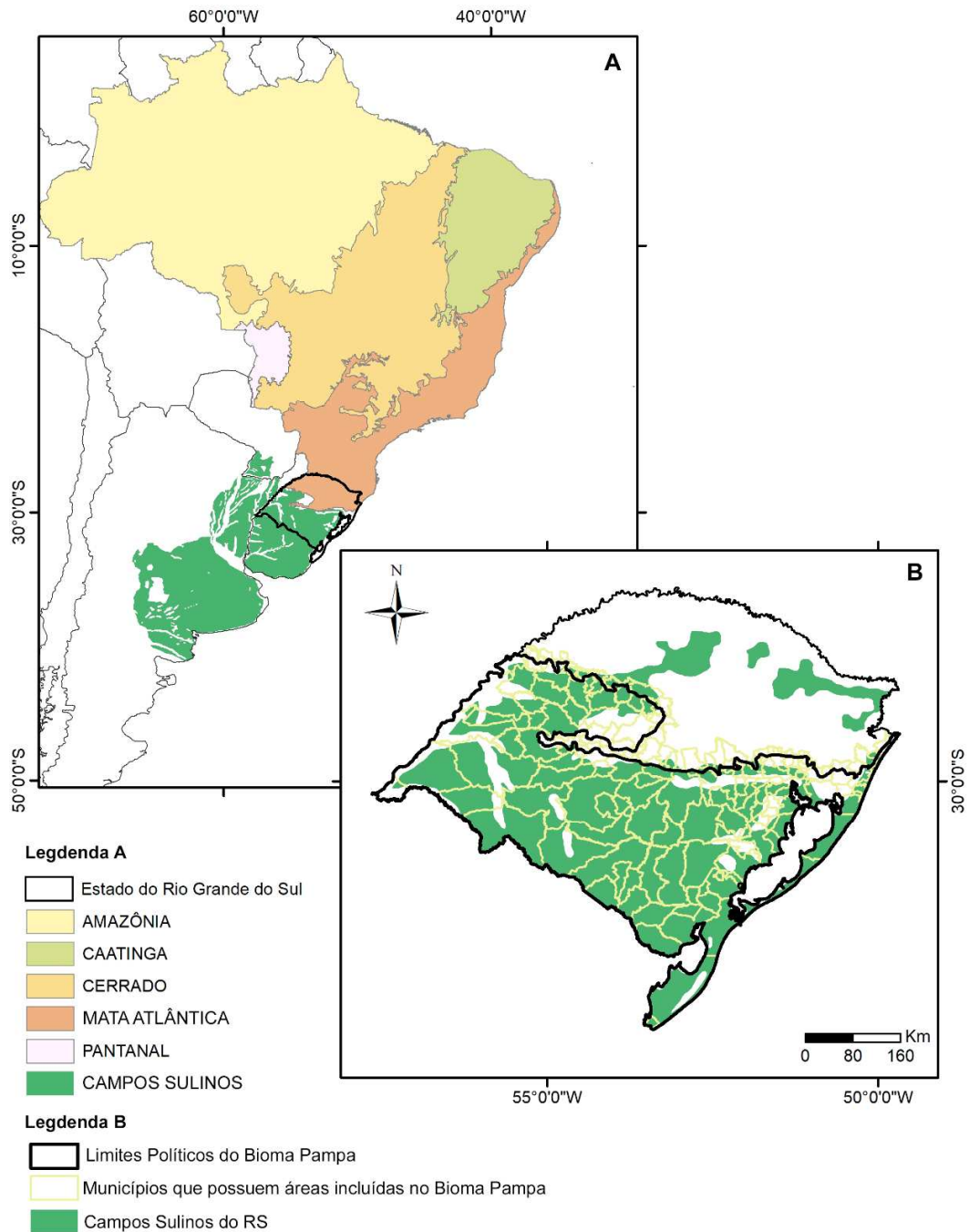


Figura 1 Em (A), biomas brasileiros e os limites dos Campos Sulinos nos outros países. Em (B), limitação política do Bioma Pampa no RS e os limites dos municípios que possuem áreas campestres em suas delimitações.

As formações campestres do Pampa brasileiro, são semelhantes às do Uruguai e Argentina, sendo conhecidas também por campos subtropicais (Ewert et al., 2005), estepes (IBGE, 2004) ou Campos Sulinos do Cone Sul da América do Sul (Marchand, 2014). Segundo registros paleontológicos, essas formações são naturais, remanescentes de períodos glaciais, mantidas por grandes mamíferos que vivam na região, tarefa que atualmente está associada ao pastejo de bovinos (Ewert et al., 2005).

A produção de bovinos de corte é tradicional desse bioma (Lambin, 1997), e contribui significativamente para a economia do RS (Linhares e Silva, 2000), sendo amplamente utilizada no estado, muitas vezes sem técnicas de manejo de pastagens adequadas. As baixas temperaturas, principalmente no inverno, limitam a produção de biomassa, e forçam os empresários rurais a aumentar a pressão de pastejo, diminuindo a cobertura vegetal e causando impactos no solo (Rees, 1996). Exemplos dessas realidades são observados principalmente na região sudoeste do RS, que há mais de dez anos sofre com processos de erosão e arenização provenientes do uso excessivo do solo (Trindade, 2003; Suertegaray, 2012).

Nas últimas décadas, o Pampa tem sofrido fortes influências de atividades humanas, que comprometem sua paisagem campestre. A silvicultura e soja tem sido as monoculturas que mais contribuem para a alteração de paisagem dos campos (De Oliveira et al., 2017) e, conseqüentemente, para a diminuição da sua biodiversidade.

3.2.2. Importância da conservação do Bioma Pampa

O Bioma Pampa abriga uma diversidade única, mas em função de sua pequena extensão, especialmente no Brasil, corre os riscos de perder suas características, principalmente devido as atividades antrópicas. Ademais, nesse bioma, existe uma tendência de espécies de gramíneas sofrerem substituição de espécies, principalmente por arbustivas, devido ao estágio natural de sucessão, o que aumenta a probabilidade de perda de área de campos (Ewert et al., 2005).

Este bioma, possui uma dominância de espécies vegetais de pequeno porte, rasteiras e perenes, podendo estar associadas a espécies arbustivas ou pequenas ervas. Ocorrem principalmente as famílias Asteraceae, Cactaceae, Poaceae, Fabaceae e Cyperaceae. Nos campos da região sul, são conhecidas mais de 2.600 espécies de angiospermas e gimnospermas, destas 2.150 espécies ocorrem no Bioma Pampa. Dentre essas famílias, observamos espécies que possuem uso medicinal, ornamental ou valor forrageiro, que são utilizadas como pastagem para a pecuária (Boldrini, 2009).

A fauna do Pampa é expressiva, possui mais de 350 espécies de aves e pelo menos 90 de mamíferos (Rees, 1996). Espécies como o Tuco-tuco (*Ctenomys flamarioni*), o beija-flor-de-

barba-azul (*Heliomaster furcifer*) e o sapinho-de-barriga-vermelha (*Melanophryniscus atroluteus*) são endêmicas dessa região (BRASIL, 2005). Outras como o veado campeiro (*Ozotoceros bezoarticus*), o cervo-do-pantanal (*Blastocerus dichotomus*), o caboclinho-de-chapéu-cinzento (*Sporophila cinnamomea*) e o picapauzinho-chorão (*Veniliornis mixtus*) são consideradas ameaçadas de extinção (FZB, 2014).

Considerando a importância dos campos para o RS, é alarmante que apenas 453 km² estejam protegidos como Unidades de Conservação, menos de 1% da área total desta formação. A maior parte dessas unidades concentram-se na região norte do estado o que prejudica ainda mais a conservação do Pampa (Brasil, 2015). Historicamente, as regiões campestres são desconsideradas na conservação, assim como outras formações não-florestais no Brasil (Lambin, 1997). Apesar disso, em 2002, o Bioma Pampa foi incluído como Área de Atenção Especial no mapa de desertificação do Brasil, com área afetada de 37 km² (Suertegaray et al., 2001), devido a erosão do solo.

A discussão sobre a conservação do Pampa ainda perpassa o fato de mais de 90% da área do bioma estar concentrada em propriedades privadas, o que significa que as estratégias de conservação devem envolver os empresários rurais, dependendo de ações individuais desses indivíduos que visem não apenas o lucro financeiro, mas também a manutenção de características como a equidade social e conservação dos ecossistemas.

3.2.3. Agropecuária no RS e no Bioma Pampa

A pecuária de corte é uma das atividades de maior importância no RS e disputa espaço com outras culturas que também contribuem para a economia do estado. Graças ao relevo plano, o RS é ideal para o plantio de arroz, o qual supre aproximadamente 60% do mercado brasileiro (IBGE, 2013), mas causa impactos devido suas emissões GEE, uso excessivo de água (Del Prette e Kruger, 2007) e modificações nas composições das comunidades (Cunha et al., 2015). Além do arroz, a soja também se destaca no estado, que só perde para a região Centro-Oeste em quantidade produzida (Safford, 2007), mas está associada a perda da biodiversidade (Da Silva et al., 2015). Além dessas atividades, a silvicultura surgiu como grande competidora para a pecuária, oferecendo maior remuneração e rendimento a longo-prazo (Gautreau, 2014). No RS, a principal espécie utilizada é o *Pinnus* sp. que é exótica e

invasora, fragmentando a vegetação campestre e comprometendo a biodiversidade (Vélez-Martin et al., 2015).

Apesar de a produção de bovinos de corte ser indicada para a manutenção dos ecossistemas campestres (Overbeck et al., 2009), a atividade enfrenta dificuldades econômicas e ambientais, apresentando baixa produtividade e deixando a desejar em práticas de manejo que tentem solucionar esse problema (Telles e Telles, 2009). De acordo com Steinfeld et al. (2006), a pecuária é uma das principais responsáveis pela emissão de GEE, especialmente metano, oriundo da ineficiência digestiva dos ruminantes. Contudo, com práticas corretas de manejo e gestão, podem ser mitigadoras desses impactos (Neely et al., 2009).

A bovinocultura ainda enfrenta outros problemas estruturais, como alta pegada hídrica (Mendonça et al., 2013), demandando alta quantidade de água não só para os animais, mas também para a manutenção da vegetação forrageira (Martinez e Zinck, 2004) e para o processamento da carne. Além disso, a lotação inadequada de animais pode causar compactação do solo, redução da biomassa (Pillar e Quadros, 1997; Mathieu et al., 2005; Carvalho e Batello, 2009) além de áreas de arenização (Suertegaray et al., 2001). Ademais, a expansão horizontal da produção tem aumentado a fragmentação dos ambientes campestres, uma das principais causas da perda de habitats e extinção de espécies (Carvalho e Batello, 2009), destacando a necessidade do aumento de eficiência ao invés de expansão territorial.

Nesse ambiente de incertezas econômicas e ambientais, torna-se relevante a avaliação das práticas que são realizadas e quais são os aspectos que necessitam de uma melhor gestão de forma a contribuir para a sustentabilidade do sistema.

3.3. Métodos utilizados para gestão sustentável

3.3.1. Uso de indicadores para a sustentabilidade

Desde a conferência Rio-92, discutem-se formas de mensurar aspectos relacionados a sustentabilidade de regiões e processos, desafio de governantes e gestores, pela complexidade em relacionar fatores ambientais, sociais e econômicos (Siche et al., 2007). Em uma visão abrangente, indicadores podem ser considerados como sinais que apontam determinada condição (Gallopín, 1996), para comunicar informações e auxiliar nas tomadas de decisões. Graças a esse tipo de método, é possível avaliar o progresso de uma região ou o

caminho percorrido para alcançar um objetivo, permitindo o reconhecimento de problemas e a elaboração de políticas que visem resolver situações conflitantes (Guimarães e Feichas, 2007). Existem pelo menos oito conceitos de indicadores voltados a sustentabilidade (Costa, 2010), sendo que três deles são norteadores (Quadro 1).

Quadro 1. Conceitos e definições de indicadores em diversos âmbitos.

DEFINIÇÃO	REFERÊNCIA
Indicadores são atributos das várias dimensões que medem ou refletem uma condição de alteração.	FAO, 1993
Os indicadores descrevem o estado de um sistema, detectam alterações e mostram relações de causa e efeito.	Farrell e Hart, 1998
Os indicadores descrevem aspectos do sistema ou elementos da política prevalecente e condições de gestão indicativas do estado do sistema de maneira quantificável.	Van Cauwenbergh <i>et al.</i> , 2007

Apesar das divergências, Heink e Kowarik (2010) propuseram uma união de conceitos e definiram indicadores ecológicos como sendo uma medida ou componente relevante para descrever fenômenos ou avaliar condições ambientais. Ainda segundo os autores, os indicadores permitem a interface entre o conhecimento científico e as políticas públicas. Assim, a análise de indicadores permite a caracterização de um momento ou a observação de uma condição ou sistema. Ademais, indicadores são construídos em cima de descritores, que são as características significativas para a manutenção e funcionamento do objeto estudado, ponderados por parâmetros balizadores (Holden et al., 2014). De acordo com Deponti et al. (2002), existem seis perguntas chaves que devem ser feitas e que podem auxiliar na escolha correta de indicadores (Figura 2).

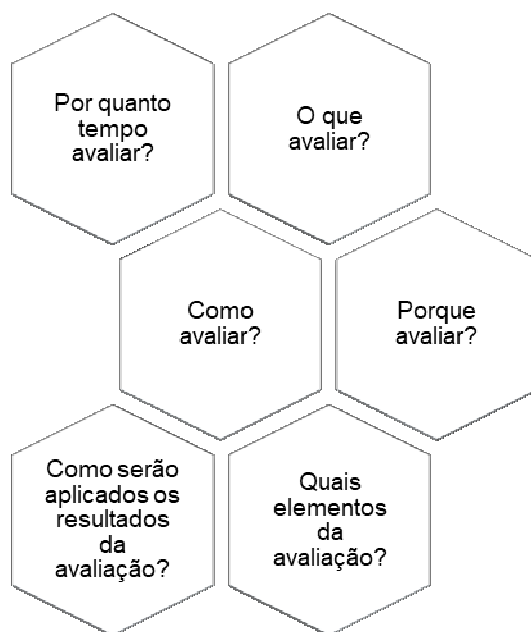


Figura 2. Perguntas de auxílio na escolha de indicadores. **Fonte:** Adaptado de Deponti et al. (2002).

Essas perguntas facilitam, não só a análise e interpretação de dados, mas também a utilização adequada por gestores e empresários. Ademais, a clareza dessas perguntas permite identificar o tipo de indicador recomendado para o monitoramento da situação em questão. Sendo assim, poderíamos entender a importância de um indicador quando este se propõe a resumir uma informação de caráter técnico-científico de forma sintética, preservando os dados essenciais e utilizando apenas variáveis objetivas (Costa, 2010).

Uma problemática que se observa ao trabalhar com métodos como esse é o dilema de se utilizar indicadores padronizados ou desenvolver indicadores voltados as realidades locais. No primeiro caso, a vantagem principal é a possibilidade de comparação de resultados de uma pesquisa com dados governamentais. No entanto, as diferenças das pressões globais e locais fazem com que, em muitos casos, sejam necessários indicadores específicos, que retratem as peculiaridades regionais (Pires et al., 2014). Da mesma forma, Godfray et al. (2010) defendem que, quanto mais específica for a escala de estudo ambiental, melhor as conclusões que poderão ser tomadas.

O uso de indicadores como forma de mensuração ou avaliação de cenários requer um método rigoroso. A Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD) em 2008 lançou um livro chamado *Handbook on Constructing Composite Indicators* que propõe formas criar e pesar indicadores para o uso na gestão. Uma das formas discutidas na

publicação é o uso de um grupo de variáveis, combinadas em uma Análise de Componentes Principais (PCA) para a formação de um índice composto.

Um exemplo de estudo recente com indicadores foi a metodologia proposta por Salvati & Carlucci (2014), que, utilizando dados de bases governamentais, realizaram um estudo com 99 variáveis para retratar o desenvolvimento sustentável na Itália. Utilizando uma PCA conforme indicado pela OECD (2008), os autores demonstraram quais dos municípios italianos carecem de atenção governamental para promover desenvolvimento sustentável. Ainda, sugerem a necessidade de que as características locais sejam consideradas para o balizamento do índice e destacam a importância de modelos para a tomada de decisão municipal.

Entretanto, os indicadores nem sempre se baseiam em variáveis socioeconômicas ou mensuram apenas processos humanos. Algumas variáveis ecológicas também medem com sucesso o desempenho de populações ou retratam a qualidade ou integridade dos ecossistemas. A produtividade primária líquida em plantas é um exemplo disso, sendo que um número de alto de transformação de energia solar em biomassa pode indicar qualidade de um ecossistema e, entender as variações nesses indicadores pode apontar causas e consequências de efeitos antropológicos.

3.3.2. Produtividade primária líquida em ecossistemas campestres

Produtividade primária líquida (PPL) é definida como a taxa com que a biomassa é produzida por unidade de área pelos vegetais através da fotossíntese (Begon et al., 2007; Deng et al., 2017). Esse índice é visto como fator chave para o entendimento da conservação dos campos, uma vez que pode refletir o estado das comunidades de plantas e a quantidade de alimento disponível para organismos herbívoros (Adams et al., 2009), sendo chave para o entendimento do ciclo de carbono desses ecossistemas (Deng et al., 2017), tanto para ambientes naturais, quanto para ambientes degradados/antropizados (Santos et al., 2014).

Os regimes de chuvas e alterações sazonais de temperatura e umidade podem afetar a dinâmica da PPL (Isbell et al., 2013), bem como o impacto antrópico devido a degradações dos campos por alterações de uso da terra (Pereira et al., 2010). Outros fatores que podem alterar a dinâmica da PPL são a radiação solar, a umidade do solo (Deng et al., 2017) e a concentração de CO₂ (Roxburgh et al., 2005), visto que as plantas dependem exclusivamente

desses recursos para obtenção de seus alimentos. Dessa forma, para entender as variações de PPL nos ambientes é necessário avaliar também as variações climáticas, atmosféricas, na ecologia de comunidades e impactos antrópicos (Roy et al., 2001).

Apesar de ser um parâmetro de difícil estimação, a PPL pode ser mensurada em campo (Isbell et al., 2013; Taelman et al., 2016; Ruviaro et al., 2016). Mais ainda, é possível estimar a produtividade dos ecossistemas através de análises remotas com base em imagens de satélites (Wang et al., 2016). Para tanto, utiliza-se o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI). Esse parâmetro, representa a refletância da banda vermelha e da banda infravermelha do espectro eletromagnético da luz, permitindo avaliar a atividade fotossintética das plantas de determinada região (Lezama et al., 2014; Zhang et al., 2016). A relação entre NDVI e PPL já foi comprovada por variados autores, apresentando um padrão linear e direto (Bork et al., 1999; Jobbágy et al., 2002; Booth e Tueller, 2003), permitindo que seja utilizada para mensuração da PPL em larga escala (Wang et al., 2016).

Outro fator que varia em relação a PPL é a diversidade de espécies. Historicamente, entendia-se que, levando-se da teoria de ocupação de nichos, ambientes com maiores riquezas de espécies deveriam responder com maior PPL (Jobbágy et al., 2002; Begon et al., 2007). No entanto, estudos mais recentes, demonstram que essa relação pode não ser tão simples de prever, variando drasticamente conforme as condições dos ecossistemas (Adler et al., 2011). Apesar dessas discussões, Fraser e colaboradores (2015) demonstraram que o processo de obtenção de dados para estimar produtividade necessita de uma amplitude grande de valores de produtividade para demonstração de uma relação e comprovaram que existe um padrão unimodal na variação da produtividade em função da riqueza de espécies.

No contexto dos campos sulinos, a substituição das pastagens por culturas agropecuárias e o efeito da pastagem de ruminantes também afetam a PPL. A retirada de espécies vegetais pelo pastejo pode influenciar a riqueza das comunidades de maneira positiva, em habitats com alta produtividade, e negativa, em habitats com baixa produtividade, podendo afetar a composição de espécies (Lezama et al., 2014). Ademais, apesar da coevolução observada entre a vegetação e os grandes herbívoros durante o último máximo glacial (Behling et al., 2009; Alkemade et al., 2013), a elevada carga de ruminantes pode

interferir no sistema de raízes da vegetação e na compactação e depósito de matéria orgânica no solo (Reid et al., 2013; Qasim et al., 2017), fatores determinantes para a PPL.

Mais ainda, a redução de biomassa pode impactar diretamente na produtividade dos campos, uma vez que a remoção da vegetação pelo pastejo afeta a área foliar da vegetação, resultando em uma menor absorção de radiação solar e, conseqüentemente, menor PPL (Koerner e Collins, 2014; Wang et al., 2016). Porém, a relação entre produtividade e pastejo pode não depender exclusivamente da remoção de biomassa. Isso porque, a supressão de espécies com maior potencial competitivo pelo pastejo pode agir como um distúrbio intermediário, aumentando a riqueza de espécies, permitindo que mais nichos sejam ocupados, gerando maior PPL (Hillebrand et al., 2007; Lezama et al., 2014).

A ação do fogo e de períodos de secas prolongados também influencia a variação da PPL e esses fatores podem interagir com o pastejo e potencializar a queda da produtividade (Koerner e Collins, 2014). Esse cenário é particularmente relevante na realidade dos campos sulinos, uma vez que a utilização de fogo para a renovação das pastagens muitas vezes é utilizada como alternativa para a renovação da vegetação (Behling et al., 2009). Outro fator que pode dificultar o entendimento da relação pastejo e PPL é o tipo de solo (Lin et al., 2013) o que, normalmente atrelado a fatores locais, pode explicar diferentes variações da PPL.

4. HIPÓTESES

a) a porcentagem de municípios que apresentarão baixo índice de tensão sustentável será pequena, levando em consideração que o RS é tradicionalmente agropecuário (Behling et al., 2009; IBGE, 2010) e, portanto, apresentará áreas impactadas pela produção intensiva.

b) partindo do pressuposto que indivíduos consideram como mais preocupantes riscos socioeconômicos (Weber, 2006) e que os municípios são geridos por seres humanos, municípios que apresentarem o índice de tensão ambiental adequado também apresentarão os índices sociais e econômicos adequados e serão municípios indicados para o desenvolvimento de práticas sustentáveis de produção de carne bovina.

c) o Bioma Pampa apresentará alta variação no índice de tensão considerando as diferentes realidades presentes e os diferentes métodos de produção adotados.

d) uma vez que a PPL pode ser influenciada por um conjunto de fatores climáticos e pelo pastejo (Alkemade et al., 2013; Koerner e Collins, 2014; Deng et al., 2017) o modelo de relações causais entre essas variáveis deve incluir a relação direta entre o número de animais no campo e PPL, mas deve considerar também os fatores indiretos do clima e bem como fatores econômicos que possam alterar o número de animais no campo (Figura 3).

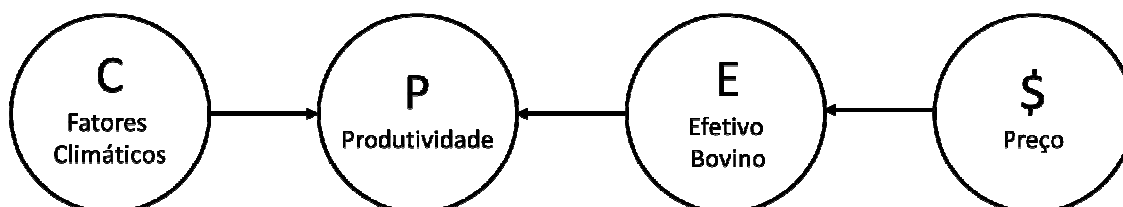


Figura 3. Modelo de causalidade a ser testado levando em consideração a gama de fatores que afetam a produtividade.

e) considerando o efeito de remoção da área foliar pelo pastejo dos ruminantes, uma vez que grande parte das áreas de campo sulinos estão sob ação desses animais, é esperado que exista uma relação inversamente proporcional entre pastejo e PPL (Koerner e Collins, 2014).

CAPÍTULO II¹

¹ Artigo Submetido ao periódico Ecological Indicators, Qualis A2 na área Biodiversidade, fator de impacto 3,898

5. SUSTAINABILITY IN THE BRAZILIAN PAMPA BIOME: A COMPOSITE INDEX TO INTEGRATE BEEF PRODUCTION, SOCIAL EQUITY, AND ECOSYSTEM CONSERVATION

David Santos de Freitas¹, Tamara Esteves de Oliveira², Juliano Morales de Oliveira³

ABSTRACT

Pampa Biome, a region where cattle farming is indicated for conserving natural grasslands, is a biome that allows the integration of food production with biodiversity conservation. The landscape is maintained by the grazing of ruminants that traditionally occupy the area. The conversion of natural grasslands and consequent alterations of the landscapes highlights the need for better management strategies for cattle farming and natural grasslands. Therefore, it is important to identify which municipalities encounter difficulties while working on concepts of sustainability that are applicable to cattle farming and which criteria need more attention for a better scenario. Thus, this research identified areas of tension based on concepts of sustainability and efficient beef cattle farming and analyzed the implications for conserving natural grasslands in the Brazilian Pampa Biome. Therefore, the research characterized the municipalities according to factors that require specific actions for sustainable development based on a Sustainable Tension Index (STI). The STI is an index composed of descriptors variables for the economic, social and environmental realities in governmental databases. Despite the analysis revealed most of Pampa's municipalities with intermediaries STI it was also possible to analyze the locations that stand out positively and negatively according to the STI. Only three municipalities had low tension results in the three dimensions, indicating that, although the values are in a moderate range, few municipalities are fully featured in the dimensions analyzed. We concluded that STI allowed an analysis of the situation in municipalities and presented an optimistic reality regarding the sustainability of Brazilian Pampa Biome, which if well managed, has a great potential for sustainable beef cattle farming.

Keywords: biodiversity, grazing ecosystems, livestock production, principal component analysis, sustainable tension index

¹ Post-Graduation Program of Biology, Laboratory of Plant Ecology, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). Scholarship holder by the institutions CAPES/PROSUP. Campus São Leopoldo/RS. Av. Unisinos, 950. Bairro Cristo Rei CEP: 93.022-750. Tel 55.51. 3591 1122 Corresponding author: dsf.doct@gmail.com (D.S. Freitas)

² Center for Studies and Research in Agribusiness (CEPAN/UFRGS). Financial support CAPES

³ Post-Graduation Program of Biology, Laboratory of Plant Ecology, Universidade do Vale do Rio do Sinos (UNISINOS).

1. INTRODUCTION

The concern regarding sustainable⁴ food production is recent (Gianezini et al., 2014) and little considered in governmental policies (Maiello et al., 2015). Despite the relevance of Brazil as major food producer and holder of areas with a high biodiversity (Bettencourt and Kaur, 2011), sustainable agricultural practices in this country are remains a problem because of the inability to attain a balance among the economy, society, and environment (UN, 2002; Holden et al., 2014). An example is cattle farming that was much criticized for its environmental impact, particularly regarding deforestation and the emission of greenhouse gases (GHGs) (Steinfeld et al., 2006).

Nonetheless, one of the places that allows food production to be an allied in the process of biodiversity conservation is the Pampa Biome (PB), a region where cattle farming is indicated for conserving natural grasslands (NG) (Carvalho e Batello, 2009; Overbeck et al., 2009; De Oliveira et al., 2017). In this biome, NG are the original physiognomy, harboring a unique biodiversity and a close historical association with livestock production (Overbeck et al., 2013). In the natural grasslands of BP, the grazing of ruminant delays ecological succession and maintains physiognomic characteristics of the region (Behling, 2002). Ruminant grazing can also mitigate GHG emissions when combined with appropriate management practices (Neely et al., 2009).

In this context, fundamental research is important to understand how sustainability can be measured and classified in countries and regions in relation to their productive processes (Pires et al., 2014; Salvati e Carlucci, 2014; Maiello et al., 2015). For this purpose, the use of combined variables in complex indicators has proved to be an efficient tool (Salvati e Carlucci, 2014), allowing a detailed characterization because it combines economic, social, and environmental variables (Moldan et al., 2012). Such analyses guide the management of regions and enable the elaboration of appropriate public policies and strategic actions (Yang et al., 2014; Maiello et al., 2015).

This perspective is of great importance in PB, not only because it allows ecological food production, but also because it is an option for the conservation of grasslands, particularly

⁴ Sustainability is understood as a scenario or model to be achieved to improve productive processes, ensuring profit, the well-being of the population involved and maintenance of ecosystems (Hoffmann, 2011; Moldan *et al.*, 2012; Holden *et al.*, 2014; 2016).

because only 453 km² of rural areas in Rio Grande do Sul state (RS) are protected as Conservation Units, less than 1% of the state is in protected areas, and 90% is on private property (Marchand, 2014). Most of these protected area is in the Atlantic forest biome (north of RS) (Brasil, 2015). In addition, Beef cattle farming is a tradition in this biome, significantly contributing to the economy and culture of RS (Boldrini et al., 2015). In this scenario, public and private participation must move in the same direction for conservation actions to be carried out successfully. However, sustainability is rarely observed as a priority because individuals tend to prioritize issues of immediate risk to them (e.g., hunger) (Weber, 2006).

Moreover, since the Pampa Biome has presented a drastic drop in areas of NG, being replaced by more profitable crops (De Oliveira et al., 2017), the understanding of how cattle farming can become more lucrative while conserving local biodiversity is of extreme relevance; however, we need to identify constraints and create management measures specific to each locality (Godfray et al., 2010). Thus, this research identifies areas of tension based on the concept of sustainability and production of beef cattle and analyze the implications for the conservation of natural grasslands of the Brazilian Pampa Biome. The study also characterized municipalities according to factors that require specific actions for sustainable development.

2. Material and Methods

2.1. Research area

The Pampa Biome is located in Argentina, Brazil, Paraguay, and Uruguay. In Brazil, occupies 176.496 km², 2,07% of the Brazilian territory in the southern half of Rio Grande do Sul state (RS), where it covers 63% of the territory, being 168 municipalities, 94 of which are completely inside the Pampa Biome (Figure 1).

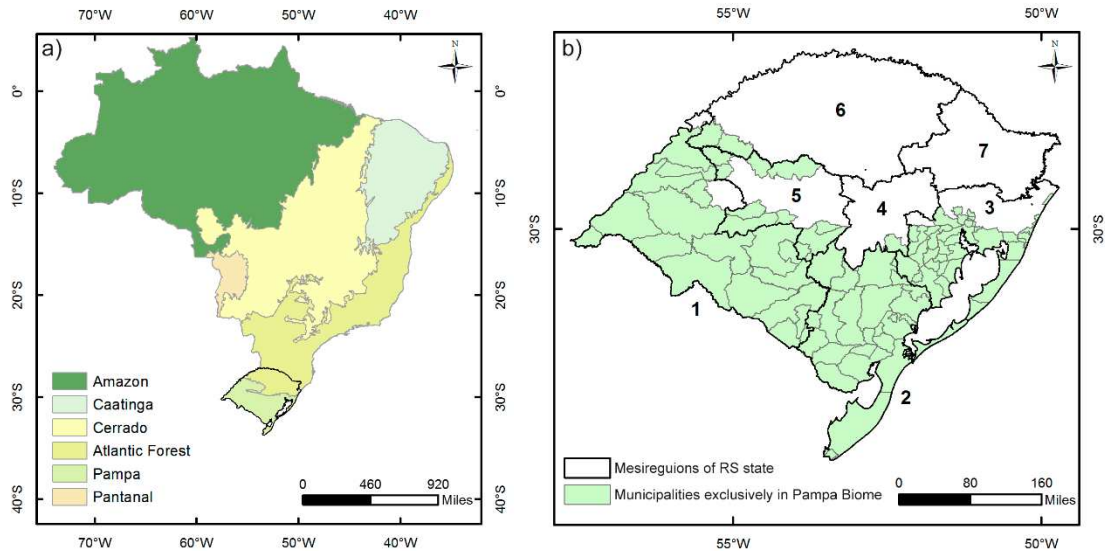


Figure 1. Characterization of the research area: (a) Brazilian biomes with a highlight for the Rio Grande do Sul state; (b) Rio Grande do Sul state, its mesoregions, and municipalities. Mesoregions of Rio Grande do Sul state: (1) South West; (2) South East; (3) Metropolitan of Porto Alegre; (4) Eastern Central; (5) Western Center; (6) Northwest; and (7) Northeast. For sampling, the municipality of Pantão Grande (the only one in region 4) was incorporated in region 3.

This Pampa biome is characterized by an herbaceous vegetation called subtropical or steppe fields (IBGE, 2004). Paleolithic records demonstrate that these formations are natural remnants of the cold and dry glacial periods of the Pleistocene (Behling et al., 2009). In warmer and humid climatic conditions along the Holocene, the maintenance of this vegetation was probably associated with grazing by large prehistoric mammals, a function exerted by domestic herds of cattle/horses, which was introduced in the south of the continent in the 18th century (Boldrini et al., 2015).

2.2. Data collection

Data were obtained from government databases and Brazilian research institutions. The main source was the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), specially the 2006 Agricultural Census (IBGE, 2006) and the 2010 Demographic Census (IBGE, 2010). The Statistical Foundation of the State of Rio Grande do Sul (FEE) provided some additional data. Municipality was the sampling unit adopted because it is the lowest level of territorial coverage that has databases for many variables of interest (Godfray et al., 2010) and makes it possible to portray the local characteristics and to extrapolate standards for the mesoregions. This analysis

considered 94 municipalities whose territories are completely inside the political delimitations of the Pampa Biome (IBGE, 2004).

The variables of interest were grouped into three dimensions, considering the criteria for sustainable development (Brundtland and Khalid, 1987; Holden et al., 2014). Variables were selected based on a literature review, and were adapted to Pampa Biome. The variables that described the efficiency of cattle farming, trade relations, and economic growth (17 variables) were included in the economic dimension. The quality of life, social justice, education level, basic sanitation, and social inequality of the residents (22 variables) were the variables included in the social dimension. The conditions of the natural landscape of PB, regarding natural grasslands and natural forests, as well as degraded areas (24 variables), were the variable included in the environmental dimension. Within each dimension, the variables directly related to beef production were also considered (Table 1).

Table 1. Variables for the content of the Sustainable Tension Index according to the dimensions and mode of contribution of each variable without index.

Dimensions and variables	Sign	Source
<i>Economic Dimension (16 variables)</i>		
General indicators		
GDP per capita	+	IBGE
Income per capita	+	IBGE
Theil index	-	IBGE
Total exportation	+	FEE
Economically inactive population	-	IBGE
Total expenses	-	FEE
Taxes collected	+	IBGE
Specific indicators		
% of livestock and breeding stock farms using technical guidance	+	IBGE
Livestock GDP	+	IBGE
% aggregated value of the municipality	+	IBGE
% contribution of cattle farming in the state GDP	+	IBGE
% of farms that control diseases and/or parasites in cattle	+	IBGE
% of the amounts invested in 2006 in farms	+	IBGE
% of farms with debts	-	IBGE
Number of agricultural farms with production in the year (%)	+	IBGE
Offtake	+	IBGE
<i>Social Dimension (21 variables)</i>		
General Indicators		
% population without basic sanitation	-	IBGE
Illiteracy rate	-	IBGE
Child mortality rate	-	IBGE
Life expectancy	+	IBGE
% of unemployed persons	-	IBGE
Rate of Relationships connections by employers	+	FEE
GINI index	-	IBGE
Total of crimes	-	FEE
Demographic density	-	IBGE
Rate of Rural population and urban population	+	IBGE
% Illiterate voters	-	FEE
% population with water supply	+	IBGE
% collected garbage	+	IBGE
Specific indicators		

Dimensions and variables	Sign	Source
% of managers who cannot read and write	-	IBGE
% of farms in which the farmer is associated	+	IBGE
% of farms in which the farmer owns the land	+	IBGE
% of farms in which the farmers live in the farm	+	IBGE
Proportion of women's who manages the farm	+	IBGE
% of managers with higher education	+	IBGE
% of area allocated to family farming	+	IBGE
Number of farms	+	IBGE
Environmental dimension (23 variables)		
General indicators		
Altitude	-	IBGE
Temporary crops	-	IBGE
Crops - area planted with forage for cutting	-	IBGE
Natural grasslands	+	IBGE
Planted grasslands–degraded	-	IBGE
Planted grasslands–in good condition	-	IBGE
Natural forests – for preservation or legal reserve	+	IBGE
Other natural forest	+	IBGE
Planted forest	-	IBGE
Agroforestry systems - area planted with forest species also used for crops and grazing by animals	+	IBGE
Degraded lands (eroded, desertified, salinized, etc.)	-	IBGE
Unsuitable land for agriculture or livestock (sand, quarries, etc.)	-	IBGE
Municipal pollution potential index	-	FEE
Vehicle Rate by Residents	-	FEE
Specific indicators		
% of agricultural farms that rotate pastures (units)	+	IBGE
% of farms that use soil preparation	+	IBGE
% of farms that perform crop rotation	+	IBGE
% of farms that carry out burnings	-	IBGE
% of farms that perform protection and/or conservation of slopes	+	IBGE
% of farms that use fertilization and do not need to	-	IBGE
% of farms engaged in organic agriculture	+	IBGE
% of farms that use pesticides and do not have to use	-	IBGE
% of farms with more than 50 cattle with confined animals	-	IBGE
Area of the municipality	+	IBGE

2.3. Construction of the tension indexes

2.3.1. Standardization and normalization of variables

To allow the comparison of variables of different magnitudes, the variables were standardized to construct the tension index (OECD, 2008). Negative or positive contribution to the index was determined according to previous researches (Salvati e Carlucci, 2014) and reference studies in the Pampa Biome (Carvalho e Batello, 2009; Pillar, 2009; Gautreau, 2014; De Oliveira *et al.*, 2017) (Table 1). Equation 1 was used for the variables that positively contributed to the index, and Equation 2 was used for those that negatively contributed.

$$Eq. 1. \quad z(x_{i,j}) = \frac{(x'_{maxj} - x_{i,j})}{(x'_{maxj} - x'_{minj})}$$

$$Eq.2. \quad z(x_{i,j}) = 1 - \frac{(x'_{max,j} - x'_{i,j})}{(x'_{max,j} - x'_{min,j})}$$

In the equations:

$z(x_{i,j})$ = observed value of the variable i standardized in the sample unit j

$x'_{i,j}$ = value of the variable i for the sample unit (municipality) j

$x'_{max,j}$ = maximum value of the distribution of the variable for municipalities

$x'_{min,j}$ = minimum value of the distribution of the variable for municipalities

Calculating the weight of the variables

The weight of each variable was calculated according to Equation 3 that is based on a principal components analysis (PCA) according to the Pearson correlation matrix between the standard variables:

$$Eq. 3. \quad \omega_i = \frac{\sum_{k=1}^m |\alpha_{i,m} \times \beta_m|}{\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^m |\alpha_{i,m} \times \beta_m|}$$

In which:

ω_i = weight of the variable i

α = correlation of the variable i with the axis m

β = variation explained by the axis m

The axes selected had an eigenvalue greater than two and a total explanation of the variables above 40% (OECD, 2008). The use of this formula allowed the observation of the contribution of each variable to the index and exclusion of problems associated with collinearity, avoiding an overestimation of the index.

2.3.2. Index construction

Each standardized variable was multiplied by the value of its weight, and the results added for each municipality, which allowed to obtain the Sustainable Tension Index (STI), according to Equation 4:

$$Eq. 4. \quad STI_j = \sum_{k=1}^m (x'_{i,j} \times \omega_i)$$

In which:

STI_j = Sustainable Tension Index for the municipality j

x'_i = value of the variable i in the municipality j

w'_i = weight of the variable i

Similarly, the sums of the variables for each dimension were added to assess the following three pillars of sustainability: Economic Tension (EcTI), Social Tension (SocTI), and Environmental Tension (EnTI) indices.

2.3.3. Categorization of STI and the municipalities

The index was classified into the following five intervals by dividing the amplitude of the values by five: very low tension, low tension, intermediate tension, high tension, and very high tension. After this categorization, the STI values were added to a shapefile of municipalities and plotted on a thematic map using the ArcGis 20.0 software (ESRI, 2015). Likewise, the values of EcTI, SocTI, and EnTI were classified by the same criteria and plotted on the maps.

Municipalities that presented low or very low STI rates were contemplated in the proposed dimensions. Those that demonstrated the three dimensions contemplated were considered closer to sustainable development.

To evaluate the differences among mesoregions, the PERMANOVA test was used with vegan package on the R software (R Core Team, 2017). In all the analyses, a < 0.05 level of significance was considered.

3. Results

3.1. Component analysis and weight of the variables

The component analysis (PCA), performed with 61 variables for the 94 municipalities belonging to the Pampa Biome, resulted in six axes of variation with Eigenvalues > 2 , and a total explanation of about 50% (Table 2).

Table 2. Factor loadings and weight of the variables.

Variables	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4	Axis 5	Axis 6
GDP per capita	0.12	-0.26	0.04	-0.14	-0.18	-0.03
Income per capita	0.60	-0.54	-0.23	-0.03	0.14	-0.17
Theil index	0.17	0.04	-0.33	0.04	0.47	-0.48
Total exportation	0.35	-0.47	-0.33	0.04	-0.01	0.04
Economically inactive population	0.53	-0.53	-0.56	0.11	0.06	0.06

Variables	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4	Axis 5	Axis 6
Total expenses	0.51	-0.55	-0.56	0.10	0.07	0.03
Taxes collected	0.48	-0.53	-0.56	0.09	0.10	0.00
% of livestock and breeding stock farms using technical guidance	0.55	0.33	0.06	-0.10	-0.12	-0.30
Livestock GDP	0.15	0.39	-0.44	-0.42	0.03	0.47
% aggregated value of the municipality	-0.60	0.41	-0.20	-0.13	0.19	-0.01
% contribution of cattle farming in the state GDP	0.15	0.39	-0.44	-0.42	0.03	0.47
% of farms that control diseases and/or parasites in cattle	-0.16	0.56	-0.38	0.13	-0.45	-0.06
% of the amounts invested in 2006 in farms	0.26	0.31	-0.26	0.42	-0.32	0.06
% of farms with debts	0.24	0.49	-0.27	0.28	-0.39	-0.30
Number of agricultural farms with production in the year (%)	0.49	0.60	-0.09	0.19	-0.21	-0.25
Offtake	-0.25	-0.40	-0.05	-0.11	0.30	-0.23
% Population without basic sanitation	-0.52	-0.08	-0.27	0.00	0.14	0.01
Illiteracy rate	-0.65	0.34	-0.08	0.28	0.21	0.01
Child mortality rate	-0.02	0.20	-0.17	0.28	-0.02	0.22
Life expectancy	0.32	-0.31	0.07	-0.01	-0.12	0.18
% of unemployed persons	0.51	0.34	0.21	0.16	0.11	-0.08
Relationships connections X employers	0.21	-0.44	0.06	-0.07	-0.40	-0.16
GINI index	0.19	0.07	-0.35	0.00	0.46	-0.45
Total of crimes	0.48	-0.52	-0.56	0.13	0.09	-0.01
Demographic density	0.46	-0.56	-0.06	0.24	-0.05	0.11
Rural population X urban population	-0.66	-0.22	-0.12	-0.08	0.12	-0.02
% Illiterate voters	-0.60	0.32	-0.09	0.22	0.17	0.10
% population with water supply	0.75	0.17	0.07	0.05	-0.16	0.23
% collected garbage	0.74	-0.18	0.31	-0.06	-0.04	0.12
% of managers who cannot read and write	-0.32	0.30	-0.21	0.60	-0.03	0.01
% of farms in which the farmer is associated	-0.43	0.22	-0.50	-0.09	-0.06	-0.07
% of farms in which the farmer owns the land	0.01	-0.01	0.09	0.18	-0.41	0.26
% of farms in which the farmers live in the farm	-0.29	-0.39	0.14	0.06	-0.42	0.21
Proportion women X men who manages the farm	0.11	-0.12	0.05	0.18	-0.18	-0.10
% of managers with higher education	0.42	0.46	-0.09	-0.40	0.12	0.02
% of area allocated to family farming	-0.70	-0.44	-0.20	0.07	0.00	-0.02
Number of farms	0.52	0.41	0.20	-0.32	0.11	0.16
Altitude	-0.40	0.27	-0.37	0.26	-0.05	-0.06
Temporary crops	-0.30	-0.29	-0.01	-0.67	0.05	0.19
Crops-area planted with forage for cutting	0.12	0.05	-0.06	-0.45	-0.29	-0.23
Natural grasslands	0.28	0.68	-0.27	0.41	0.08	0.04
Planted grasslands – degraded	-0.06	0.08	-0.22	-0.24	-0.32	-0.12
Planted grasslands – in good condition	0.24	0.20	-0.03	-0.27	-0.32	-0.28
Natural forests – for preservation or legal reserve	-0.09	-0.47	-0.04	0.28	-0.21	0.03
Other natural forest	-0.35	-0.22	-0.18	0.44	-0.29	-0.03
Planted forest	-0.12	-0.36	0.36	0.23	-0.20	-0.05
Agroforestry systems - area planted with forest species also used for crops and grazing by animals	-0.20	0.06	0.00	-0.09	0.14	-0.31
Degraded lands (eroded, desertified, salinized, etc.)	-0.16	0.04	-0.09	-0.27	-0.06	-0.16
Unsuitable land for agriculture or livestock (sand, quarries, etc.)	-0.17	-0.32	-0.11	0.09	-0.10	0.08
Municipal pollution potential index	-0.02	0.12	-0.05	-0.27	-0.09	-0.07
Vehicles X households	0.01	-0.42	-0.27	-0.13	-0.18	0.36
% of agricultural farms that rotate pastures (units)	-0.03	0.34	-0.30	-0.35	-0.38	-0.38
% of farms that use soil preparation	-0.63	-0.38	-0.23	-0.17	-0.20	0.03
% of farms that perform crop rotation	-0.39	-0.16	-0.21	-0.44	-0.30	-0.10

Variables	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4	Axis 5	Axis 6
% of farms that carry out burnings	-0.24	0.02	-0.24	0.17	-0.06	0.10
% of farms that perform protection and/or conservation of slopes	-0.43	-0.16	-0.15	-0.21	-0.38	-0.07
% of farms that use fertilization and do not need to	0.03	0.10	0.08	0.02	-0.16	-0.44
% of farms engaged in organic agriculture	0.15	-0.10	-0.13	-0.11	-0.20	-0.48
% of farms that use pesticides and do not have to use	0.04	-0.13	0.31	0.03	-0.14	-0.14
% of farms with more than 50 cattle with confined animals	-0.09	-0.37	-0.08	-0.12	0.19	-0.36
Area of the municipality	0.23	0.55	-0.44	-0.16	-0.01	0.37
Eigenvalues:	8.798	7.598	4.2	3.75	2.973	2.903
Percentage:	14.42	12.46	6.886	6.148	4.874	4.759

Component 1 explained 14.4% of data variation and was mainly positively related to economic factors such as population income, expenses, and taxes collected and was negatively related to the contribution of cattle farm to the state's GDP. Social factors were negatively associated with the illiterate population and basic sanitation. The municipalities showed a gradient where the highest association to the axis was in the metropolitan region, passing to the ones that presented significant cattle farming, and getting to those that presented precarious sanitation and financial conditions.

In the three dimensions evaluated, cattle farming and farm's financials were the main theme captured by component 2 (12.4%). In this axis, there was a positive association among cattle farming, natural grasslands, and municipalities' area, as well as an inverse association between variables regarding family farming and soil preparation. In this component, municipalities with the largest grassland areas and more productive farms had a greater association with the axis, were mainly located in the southwest region, and had smaller associations in the metropolitan region.

Component 3 explained 6.8% of data variation, and the highest correlations were observed in the economic dimension (municipal expenses and crime rate). The highest correlations in component 4 (6.1%) were observed in land use, particularly in areas with temporary and forage crops, which had an inverse association with natural and planted forests. Component 5 (4.8%) mainly captured the social relationships of farmers, whereas component 6 (4.7%) showed the associations between land use and environmental characteristics of the farms.

By calculating the weight of the variables, analysis of the contribution of each variable and each dimension, excluding collinearity factors, was possible. In general, the environmental

variables constituted the greatest weight of the index, followed by economic and social variables. The EnTI contributed the most to the weight of the variables (39%), followed by EcTI (31%) and EnTI (29%).

Among the 20 variables with the highest weight, nine represented the economic dimension (cattle farming GDP, contribution of cattle farming to the state's GDP, municipalities with debt, THEIL Index, investments made, disease control, economically inactive population, total municipal expenses, and taxes collected), three were social (crime rate, GINI index, and number of illiterate managers), and eight were environmental (% of farms that conduct rotation of pastures, % of farms that perform crop rotation, area of municipality, % of area with natural forests, % of area with natural grasslands, % of area with temporary crops, and number of farms).

3.2. Sustainable Tension Index (STI)

The descriptive analysis of STI revealed an average of 0.474, a range of 0.145, a standard deviation of 0.031 (Figure 2), and presented 32 municipalities with a high tension.

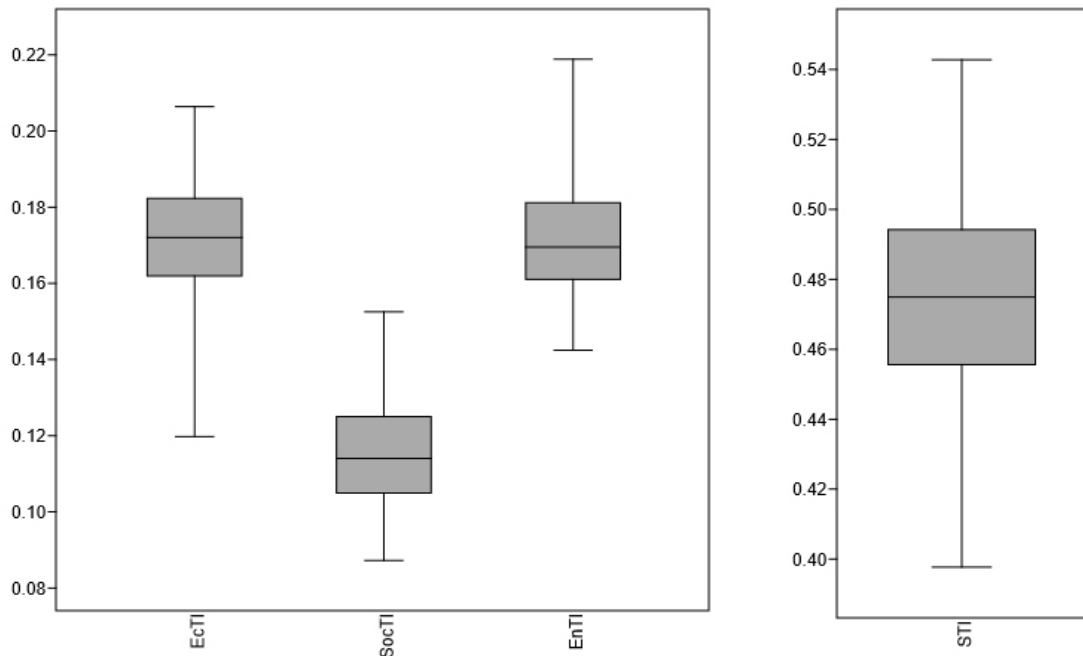


Figure 2. Description of indices and municipalities with higher and lower values of Sustainable Tension Index (STI). STI (Sustainable Tension Index), EcTI (Economic Tension Index), SocTI (Social Tension Index) and EnTI (Environmental Tension Index).

Of the total number of municipalities, 38 presented intermediate values of STIs and 23 presented low tension. Of the ten municipalities with the highest tension, eight were located in the metropolitan mesoregion of Porto Alegre, while the municipalities with the lowest tension were found in the southeast and southwest mesoregions of the state (Figure 3), which on an average, also presented the lowest STI values.

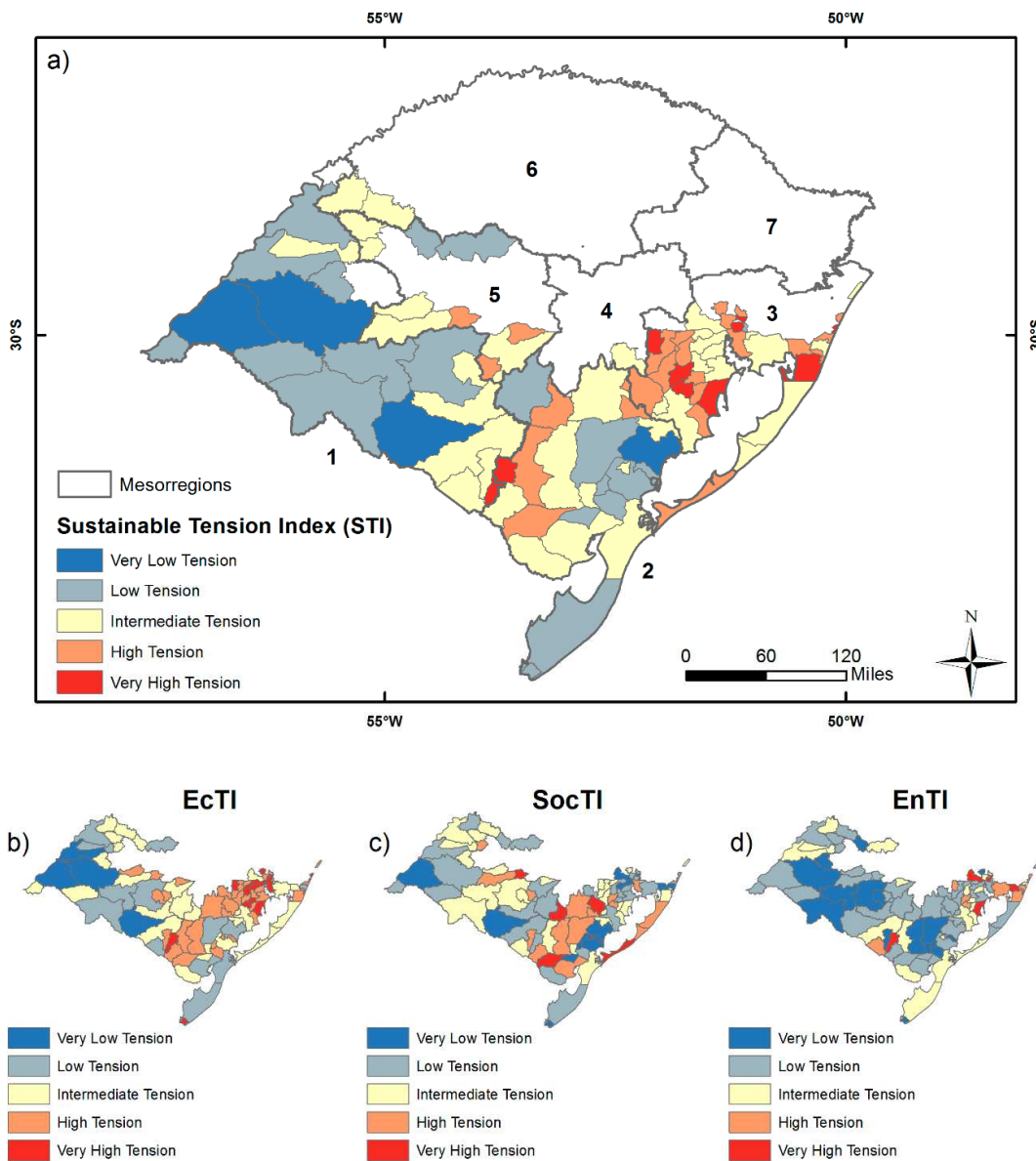


Figure 3. (a) Spatialization of the Sustainable Tension Index (STI) in the analyzed municipalities and mesoregions of Rio Grande do Sul; (b) Spatialization of the Economic Tension Index (EcTI); (c) Spatialization of the Social Tension Index (SocTI); and (d) Spatialization of the Environmental Tension Index (EnTI). Mesoregions of Rio Grande do Sul state: (1) South West; (2) South East; (3) Metropolitan of Porto Alegre; (4) Eastern Central; (5) Western Center; (6) Northwest; and (7) Northeast.

The average STI was different according to the state's mesoregions. Metropolitan mesoregion had the highest STI, whereas southwest and southeast had the lowest STI, revealing the longitudinal gradient of the index (Figure 4).

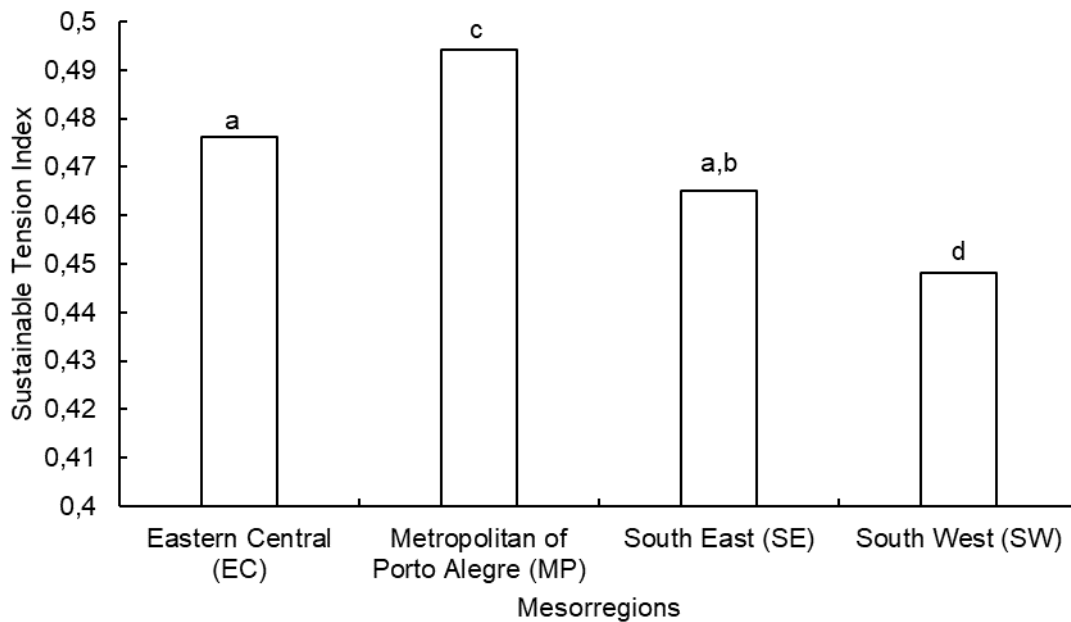


Figure 4. Comparison of the Sustainable Tension Index (STI) regarding mesoregions (SQ = 0.15288, $p = 0.001$). The letters indicate the significant differences between the mesoregions after the contrast tests. EC X MP ($p = 0.0301$); EC X SE ($p = 0.2364$); EC X SW ($p = 0.0002$); MP X SE ($p = 0.0002$); MP X SW ($p = 0.0001$); SE X SW ($p = 0.047$).

Eighteen municipalities presented low or very low EcTI, 44 had SocTI below the intermediate level, and 54 municipalities stood out because they had low EnTI, indicating that the most serious problem in the analyzed scenario was associated with the economic dimension. Only three municipalities presented all indices with low or very low tension, and these were the municipalities with the lowest STI (Figure 5).

Of the other 50 municipalities that had low or very low EnTI, 10 had low EcTI and 21 had below intermediate SocTI, indicating that these factors are not dependent because there was no association between these dimensions. While the sustainability scenario was not expressive in the analysis, the association between SocTI and EnTI dimensions was the most frequent in the

analyzed municipalities. EnTI and EcTI were represented by only 9 municipalities and EcTI and SocTI by 10 municipalities (Figure 5).

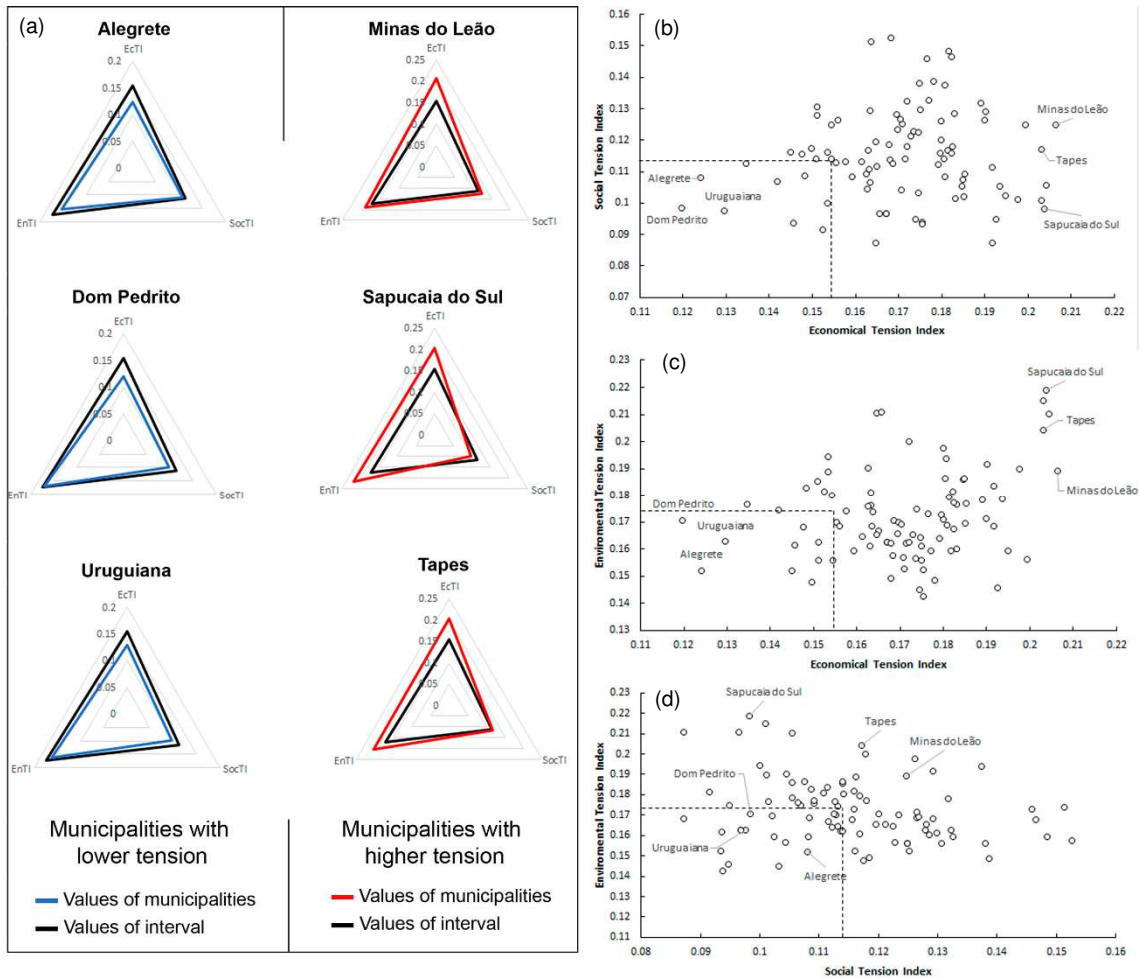


Figure 5. In (a), indices associated to the three dimensions of sustainability. The black lines indicate the reference threshold for low tension. The blue lines indicate the municipalities with lower Sustainable Tension Index, and the red lines indicate the municipalities with the highest tension. In (b), the projection of economic and social indicators that highlighted the fair scenario. In (c), the projection of the environmental and economic indices showing the municipalities in the viable scenario. In (d), the projection of the environmental and social indices showing municipalities in the bearable scenario. Dotted lines indicate the reference threshold for low tension.

4. Discussion

Sustainability in the Pampa Biome is important has direct implications on the conservation of its natural grasslands ecosystems. In the last decades, the Pampa has been strongly influenced by human activities such as forestry, which have contributed to fragmentation of grasslands and reduction of biodiversity (Carvalho and Batello, 2009; Gautreau, 2014). According to the current food production requirements, maintaining natural

landscapes in the Pampa is a scenario that can be achieved through extensive beef farming because cattle, through grazing, prevents ecological succession (Behling *et al.*, 2009).

Despite its relevance, the Pampa has been a neglected biome (Overbeck, 2007), making it difficult to propose actions for its conservation. Nevertheless, organizations are currently investing time and resources in maintaining beef farming in natural grasslands as conservation strategies. This is the case of the *Alianza del Pastizal* organization that supports rural farms and certifies those that produce cattle according to the conservation principles for Pampa's biodiversity (Marchand, 2014). However, most of these actions are local, making it difficult to understand the situation of Pampa's municipalities. The Sustainable Tension Index, proposed in this research, enabled the visualization of patterns in the analyzed regions and observation of the specific local realities.

The application of the proposed index identified dimensions that require intervention and revealed regional patterns of cattle farming and their association to sustainability, besides the specific demands of each municipality. Moreover, depending on data availability, other researches may apply this method to evaluate other regions. However, it is important that each variable is re-evaluated, regarding its effects on each location (Godfray, 2015) because their contributions may differ according to the ecosystem or biome being evaluated.

The component analysis demonstrated a disturbing scenario because of the inverse association between economic and social variables, indicating in the first axis an inverse effect between economic growth and social equity. In the second axis, factors related to cattle and farm financials were directly associated with grassland areas and inversely related to variables that described the economic condition of the municipality. These results reinforced the importance of natural grasslands in the analyzed scenario and highlighted the disparity between social quality of life and economic development of local populations.

The overall average of STI was intermediary, indicating that Pampa's municipalities present a neutral scenario regarding sustainability. This probably occurs because of the high potential for sustainable beef cattle production (e.g., areas with natural grassland) but is not efficiently used (Barcellos, 2011) owing to low investments in cattle farming and the profile of rural farmers in the region who tend not to use technologies in their farms (Borges, 2016), as well as having a high level of illiteracy and low education.

Even so, identifying the differences among municipalities and observing locations with higher sustainable tension is difficult. In general, a tension gradient that grows from west to east was observed, in which larger municipalities with more available pastures had less tension. Regions with the lowest tension were traditionally food producers. Particularly in the southwest region, high production cattle are associated with the traditions of the population of this state (De Oliveira and Freitas, 2017), thus favoring the social aspect of sustainability. Despite lower STI, these municipalities still have room for improvement, and this STI method can clarify possibilities for public managers.

In this scenario, the importance of variables associated with financial resources obtained by the municipality stood out, particularly from cattle farming, because the municipal GDP and the municipal value added from cattle farming were variables that were associated with sustainable tension. Thus, economic well-being is fundamental for the municipality to be able to invest in actions for the benefit of the environment and society (Weber, 2006). Likewise, specific credit lines for cattle farming with sustainable precepts can positively impact the sustainability of traditional beef cattle municipalities⁵.

Inequality, both economic and social, is also an important factor because equality of resource distribution is a pro-sustainability factor. In addition, criminality and illiteracy of rural managers also increase sustainability tension. Moreover, the lack of perspective for the rural young population contributes to rural exodus, which in turn causes the lack of human resources in rural firms, one of the biggest problems for food production worldwide (Godfray, 2015).

Regarding the environment, the importance of rotation, both of crops and pastures, is clear, emphasizing the need for soil maintenance for grassland conservation (Nabinger, 2009). Associated with this, farmers should consider strategies for better pasture management, such as adjusting cattle stocking rates because low temperatures, particularly in the winter, limit biomass production and force rural managers to increase grazing pressure, reducing plant cover, and compacting soil. Examples of these realities are mainly observed in the southwestern region of RS, which for more than ten years suffers from erosion and arenization because of the overuse of soil (Suertegaray, 2012).

⁵ See ABC Plan that support Low Carbon Agriculture practices <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/plano-abc/plano-abc-agricultura-de-baixa-emissao-de-carbono>>.

Appropriate soil management facilitates the efficiency of farms, enables sustainable intensification, helps avoid agricultural expansion (Godfray, 2015), and reduces the tension on other areas. This efficiency allows the productive process to be profitable and at the same time to respect the Brazilian legislation [e.g., Forest Code (Brasil, 2012)].

This research also revealed that land use variables are key factors for sustainability, particularly the areas of forests, natural grasslands, and temporary crops. Land use changes are a problem for RS because it was only recently that natural grasslands were considered a conservation strategy (De Oliveira *et al.*, 2017). Furthermore, RS has been investing in forestry because of the requirement of the Forest Code that demands 20% of natural forest in each rural establishment, a mistaken interpretation of the law, because *Eucalyptus and Pinus* are not the natural vegetation. Hence, altering the natural landscape and the perception that natural grasslands has no value may amplify the loss of biodiversity owing to invasion by exotic species and the de-characterization of natural habitats (Gautreau, 2014).

Only four municipalities presented with low tension for the three dimensions, indicating that the associations between the dimensions are weak. The discussion about municipalities with low tensions was made because it was necessary to draw a threshold for what represented sustainability. One of the parameters that can be used as an indicator of this concept is the balance among the three dimensions (Holden *et al.*, 2016). Therefore, the three municipalities mentioned in Figure 5 would be the only ones able to achieve sustainability. At the same time, the bearable scenario⁶ was the most presented, indicating that the environmental and social characteristics are more contemplated and responsible for the high tension in the economic scenario.

5. Conclusion

The method proposed in this research allowed the identification of the tension areas based on the concept of sustainability and the precepts of efficient beef cattle farming. Moreover, STI is an important tool for analyzing the key factors to be considered in sustainable beef farming. Thus, most of the analyzed municipalities have the capacity to improve their processes and achieve sustainable beef production. Although few municipalities already have

⁶ Scenario that relates Social and Environmental variables.

the three dimensions contemplated, STI revealed a general intermediate scenario. The pattern observed demonstrated that the southwest and southeast mesoregions stand out regarding issues associated with sustainable farming, whereas the metropolitan mesoregion still lacks more investment and public policies to support sustainable development.

STI not only allows the visualization of a regional standard but also serves as a management tool because since through the metadata worksheet, evaluating the situation of each municipality for all variables analyzed is possible. However, municipalities should invest in the collection and availability of data because this kind of studies are exclusively based on public domain sources. In addition, it should be emphasized that this analysis is static and outlines a panorama based on the latest data available in Brazil. Hence, when new data becomes available, evaluating the path traced by the municipalities toward sustainability is possible.

6. Acknowledgements

This work was supported by Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES). The authors are thankful to Luis Fernando da Costa Medina for support during this research.

7. References

- Barcellos, J.O.J., Queiroz Filho, L.A., Ceolin, C.A., Gianezini, M., McManus, C., Malafaia, G.C., Oaigen, R.P., 2011. Technological innovation and entrepreneurship in animal production. **Revista Brasileira de Zootecnia**, 40 (n. Special Supplement), 189–200, Available at: <<http://www.sbz.org.br/revista/artigos/66274.pdf>> (Accessed in November, 2017)
- BEHLING, H. South and southeast Brazilian grasslands during Late Quaternary times: a synthesis. **Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology**, v. 177, n. 1-2, p. 19-27, Jan v. 5 2002. ISSN 0031-0182. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031018201003492>> (Accessed in November, 2017)
- BETTENCOURT, L. M.; KAUR, J. Evolution and structure of sustainability science. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 49, p. 19540-19545, 2011. ISSN 0027-8424. Available at: <<http://www.pnas.org/content/108/49/19540.full>> (Accessed in November, 2017)
- BOLDRINI, I. I.; OVERBECK, G. E.; TREVISAN, R. Biodiversidade de Plantas. In: PILLAR, V. P. e LANGE, O. (Ed.). **Os Campos do Sul**. Porto Alegre: Rede Campos Sulinos - UFRGS, 2015. cap. 5, p. 51-60. Available at: <http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br/Camposdosul/Campos_do_Sul_TELA.pdf> (Accessed in November, 2017)
- Borges, J.A.R., Tauer, L.W., Oude Lansink, A.G.J.M. Using the theory of planned behavior to identify key beliefs underlying Brazilian cattle farmers' intention to use improved natural

grassland: a MIMIC modelling approach. 2016. **Land Use Policy** ,55, 193–203. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837716303155>> (Accessed in November, 2017)

BRASIL - Código Florestal. Código Florestal Brasileiro. Brasília, Brazil, Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal, Ministério da Agricultura, Brasília, Brazil, v. 4771, 2012. Available at: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm> (Accessed in November, 2017)

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. **Cadastro de Unidades de Conservação**. 2015. Available at: <<http://www.mma.gov.br/areas-protetidas/cadastro-nacional-de-ucs>> (Accessed in November, 2017)

BRUNDTLAND, G. H.; KHALID, M. **Our common future**. New York, 1987. Available at: <<http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>> (Accessed in November, 2017)>

CARVALHO, P. C. D.; BATELLO, C. Access to land, livestock production and ecosystem conservation in the Brazilian Campos biome: The natural grasslands dilemma. **Livestock Science**, v. 120, n. 1-2, p. 158-162, Jan 2009. ISSN 1871-1413. Available at: <http://www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/Reports/carvalho/brazilian_%20campos_%20biome.pdf> (Accessed in November, 2017)

DE OLIVEIRA, T. E. et al. Agricultural land use change in the Brazilian Pampa Biome: The reduction of natural grasslands. **Land Use Policy**, v. 63, p. 394-400, 2017. ISSN 0264-8377. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837716309978>> (Accessed in November, 2017)

DE OLIVEIRA, T. E.; FREITAS, D. S. Local beef production: what Rio Grande do Sul is waiting for? **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 10, n. 2, p. 312-341, 2017. ISSN 2176-9168. Available at: <<http://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/3727>> (Accessed in November, 2017)

ESRI, 2015. Software ArcGIS 10.2. Redlands, CA, 2015. Available at: <<http://www.esri.com/>> (Accessed in November, 2017)

GAUTREAU, P. **Forestación, territorio y ambiente. 25 años de silvicultura transnacional en Uruguay, Brasil y Argentina**. ed. TRILCE, Montevideo, 2014. Available at: <<https://hal-ephe.archives-ouvertes.fr/halshs-00991867/>> (Accessed in November, 2017)

GIANEZINI, M. et al. Sustainability and market orientation in the Brazilian Beef Chain. **Journal of Agriculture Science and Technology B4** (USA), v. 4, p. 249-260, 2014. Available at: <<http://www.davidpublisher.org/Public/uploads/Contribute/552f2ffee2883.pdf>> (Accessed in November, 2017)

GODFRAY, H. C. J. et al. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. **Science**, v. 327, n. 5967, p. 812-818, 2010. Available at: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20110467>> (Accessed in November, 2017)

GODFRAY, H. C. J. The debate over sustainable intensification. **Food Security**, v. 2, n. 7, p. 199-208, 2015. ISSN 1876-4517. Available at: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s12571-015-0424-2>> (Accessed in November, 2017)

HOLDEN, E.; LINNERUD, K.; BANISTER, D. Sustainable development: our common future revisited. **Global environmental change**, v. 26, p. 130-139, 2014. ISSN 0959-3780. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378014000727>> (Accessed in November, 2017)

HOLDEN, E.; LINNERUD, K.; BANISTER, D. The imperatives of sustainable development. **Sustainable Development**, 2016. ISSN 1099-1719.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário de 2006**. Rio de Janeiro, p. 775. 2006. Available at:

<<https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/>>. (Accessed in November, 2017)

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapas de biomas e vegetação**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Rio de Janeiro. 2004. Available at:

<<https://ww2.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtml>> (Accessed in November, 2017)

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2010**. v. 13, Rio de Janeiro, 2015. Available at:

<<https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtml>> (Accessed in November, 2017)

MAIELLO, A. et al. (Un) used and (un) usable? The role of indicators in local decision-making. A Brazilian case study. **Futures**, v. 74, p. 80-92, 2015. ISSN 0016-3287. Available at:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016328714001876>> (Accessed in November, 2017)

MARCHAND, N. **Iniciativa de Conservación de los Pastizales Naturales del Cono Sur de Sudamérica**. 2014. Available at: < <http://www.alianzadelpastizal.org/> >. Access in June 13th.

(Accessed in November, 2017)

MOLDAN, B.; JANOUSHKOVÁ, S.; HÁK, T. How to understand and measure environmental sustainability: Indicators and targets. **Ecological Indicators**, v. 17, p. 4-13, 2012. ISSN 1470-160X. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X11001282>>

(Accessed in November, 2017)

Nabinger, C., Ferreira, E.T., Freitas, A.K., Carvalho, P.C.F., Sant'Anna, Menezes, D., et al., 2009. Produção Animal com base no campo nativo: aplicação de resultados de pesquisa. In: Pillar, V.P. (Ed.), Campos Sulinos—conservação e uso sustentável da biodiversidade. Ministério do Meio Ambiente, Brasil, pp. 175–198, Available at:

<<http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br/arquivos/Livros/CamposSulinos.pdf>> (Accessed in November, 2017)

NEELY, C.; BUNNING, S.; WILKES, A. **Review of evidence on drylands pastoral systems and climate change**: Implications and opportunities for mitigation and adaptation. Rome. 2009 Available at: <<http://www.fao.org/3/a-i1135e.pdf>> (Accessed in November, 2017)

OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development. **Handbook on constructing composite indicators**. 2008 Available at: <

<http://www.oecd.org/els/soc/handbookonconstructingcompositeindicatorsmethodologyanduserguide.htm>>. (Accessed in November, 2017)

OVERBECK, G. E. et al. Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos. **Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics**, v. 9, n. 2, p. 101-116, 2007 2007. ISSN 1433-8319. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1433831907000303>>

(Accessed in November, 2017)

OVERBECK, G. E. et al. Os Campos Sulinos: um bioma negligenciado. In: FORNECK (Ed.). **CAMPOS SULINOS - conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2009. cap. 2, p. 26-41. Available at: <

<http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br/arquivos/Livros/CamposSulinos.pdf>> (Accessed in November, 2017)

OVERBECK, G. E. et al. Restoration ecology in Brazil - Time to step out of the forest. **Natureza & Conservação**, v. 11, n. 1, p. 92-95, 2013. Available at:

<<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/97465/1/Trindade-NC.pdf>> (Accessed in November, 2017)

Pillar, V.P.; Müller, S.C.; Castilhos, Z.M.S.; Jacques, A.V.A. (eds.). **Campos Sulinos - Conservação e uso sustentável da biodiversidade**. 2009. Ministério do Meio Ambiente, Brasília. ISBN 857738117X. Available at: <<http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br/arquivos/Livros/CamposSulinos.pdf>> (Accessed in November, 2017)

PIRES, S. M.; FIDÉLIS, T.; RAMOS, T. B. Measuring and comparing local sustainable development through common indicators: Constraints and achievements in practice. **Cities**, v. 39, p. 1-9, 2014. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264275114000195>> (Accessed in November, 2017)

R Core Team (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available at: <<https://www.R-project.org/>> (Accessed in November, 2017)

SALVATI, L.; CARLUCCI, M. A composite index of sustainable development at the local scale: Italy as a case study. **Ecological Indicators**, v. 43, p. 162-171, 2014. ISSN 1470-160X. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X1400079X>> (Accessed in November, 2017)

STEINFELD, H. et al. **Livestock's long shadow: environmental issues and options**. 2006. 390 ISBN 92-5-105571-8. Available at: <<http://www.fao.org/docrep/010/a0701e/a0701e00.HTM>>

SUERTEGARAY, D. M. A. Erosão nos campos sulinos: arenização no sudoeste do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, 2012. ISSN 2236-5664. Available at: <http://www.agb.org.br/files/TL_N24.pdf> (Accessed in November, 2017)

UN - United Nations. (2013). **World population prospects, the 2012 revision**. New York: United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2013. Available at: <https://africacheck.org/wp-content/uploads/2014/10/World-Population-Prospect-2012-revision_upload-to-AC.pdf> (Accessed in November, 2017)

UN - United Nations. Final outcome of the international conference on financing for development. Monterrey, Mexico: **Paper presented at the UN Conference on Financing for Development**, 2002. Available at: <http://www.un.org/esa/ffd/wp-content/uploads/2015/08/AAAA_Outcome.pdf> (Accessed in November, 2017).

WEBER, E. U. Experience-based and description-based perceptions of long-term risk: Why global warming does not scare us (yet). **Climatic change**, v. 77, n. 1, p. 103-120, 2006. ISSN 0165-0009. Available at: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-006-9060-3>> (Accessed in November, 2017)

YANG, Q. et al. Assessing regional sustainability using a model of coordinated development index: A case study of mainland China. **Sustainability**, v. 6, n. 12, p. 9282-9304, 2014. Available at: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029614001601>> (Accessed in November, 2017)

CAPÍTULO III¹

¹ Artigo formatado conforme as normas do periódico *Applied Vegetation Science*, Qualis A2 para a área de Biodiversidade e fator de impacto 2,474.

6. COMO A PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA DOS CAMPOS SUBTROPICAIS SUL-AMERICANOS ESTÁ RELACIONADA À PRESSÃO DE PASTEJO?

David Santos de Freitas¹, Gabriela Reis-Ávila², Tamara Esteves de Oliveira³, Valério DePatta Pillar⁴, Juliano Morales Oliveira⁵

RESUMO

Questões: Como a produtividade primária líquida dos campos subtropicais está associada com a pressão de pastejo pecuária? Como os fatores climáticos, quando analisados anualmente, afetam a produtividade dos campos? Como os fatores econômicos podem afetar variáveis ecológicas, como a produtividade primária líquida?

Locais de estudo: região norte do bioma Pampa.

Métodos: A validade de três hipóteses concorrentes sobre as relações entre produtividade primária líquida de campos (índice de vegetação normalizado) e pressão de pastejo (efetivo bovino), controlando efeitos de clima (temperatura média e precipitação total) e economia (preço do boi gordo), foram testadas através de Análise de Caminhos, baseada em séries históricas (25 anos) desses descritores para 10 municípios do Sul do Brasil inseridos no bioma Pampa.

Resultados: Foi observado uma relação quadrática inversa entre o efetivo bovino e os valores de NDVI, indicando que rebanhos mais adensados afetam negativamente a produtividade primária. Da mesma forma, a pluviosidade também apresentou relação quadrática inversa com o a produtividade primária. O preço do boi gordo demonstrou relação quadrática positiva com o efetivo, indicando que as variações econômicas afetam indiretamente a produtividade primária através do efetivo.

Conclusões: Os resultados apontam que as variações na produtividade são explicadas tanto por fatores climáticos, quanto econômicos, sendo fundamental a análise da carga de animais no campo, bem como as flutuações do preço do boi gordo, indicando que são necessários olhares multidisciplinares para criar estratégias de conservação para os campos subtropicais.

Palavras chaves: conservação; pecuária de corte; índice de vegetação normalizada; Rio Grande do Sul; preço; qualidade dos campos; temperatura; pluviosidade.

¹ Programa de Pós-Graduação em Biologia – Laboratório de Ecologia Vegetal – Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). Bolsista CAPES/PROSUP. Autor correspondente: dsf.doct@gmail.com

² Laboratório de Ecologia Vegetal, Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)

³ Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios (CEPAN/UFRGS). [Apoio financeiro CAPES.](#)

⁴ Professor Titular do Instituto de Biociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Laboratório de Ecologia Quantitativa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

⁵ Laboratório de Ecologia Vegetal – Universidade do Vale do Rio do Sinos (UNISINOS)

INTRODUÇÃO

Os campos subtropicais sul-americanos (SG) são utilizados tradicionalmente como suporte primário para produção de carne bovina (De Oliveira e Freitas, 2017), pois esta atividade é favorecida pelo potencial forrageiro das espécies vegetais (Carvalho *et al.*, 2006). Apesar da coevolução dessa vegetação com grandes herbívoros pastadores, extintos após o último período glacial (Behling *et al.*, 2009; Alkemade *et al.*, 2013), atualmente a elevada densidade de bovinos pode interferir negativamente no funcionamento do ecossistema campestre, através de alterações no sistema de raízes, da compactação dos solos, redução da disponibilidade de água e na remoção de biomassa (Reid *et al.*, 2013). Além disso, o pastejo elevado também afeta a diversidade das comunidades de espécies das regiões e a cobertura vegetal do solo (Koerner e Collins, 2014; Lezama *et al.*, 2014).

Mais ainda, a redução de biomassa pode impactar diretamente na produtividade dos campos, uma vez que a remoção da vegetação pelo pastoreio reduz a área foliar da vegetação, resultando em uma menor absorção de radiação solar e consequentemente uma menor produtividade primária líquida (PPL) (Koerner e Collins, 2014; Wang *et al.*, 2016). Porém, a relação entre produtividade e pastejo pode não depender exclusivamente da remoção de biomassa. Isso porque, a supressão de espécies com maior potencial competitivo pelo pastejo pode agir como um distúrbio intermediário, aumentando a riqueza de espécies e permitindo que mais nichos sejam ocupados, gerando uma maior PPL (Hillebrand *et al.*, 2007; Lezama *et al.*, 2014). Ao mesmo tempo a baixa pressão de pastejo ou exclusão total de gado pode resultar em dominância de gramíneas altas de baixo valor nutritivo ou de arbustos (Nabinger *et al.*, 2009).

Essas variações podem ser sensíveis a outros fatores como a precipitação, temperatura (Oesterheld *et al.*, 1999; Blanco *et al.*, 2008; Piñeiro *et al.*, 2010) ou mesmo entre características mais locais como a umidade do solo (Qasim *et al.*, 2017), podendo variar também conforme a sazonalidade e efeitos antrópicos decorrentes de queimadas (ver Nabinger, 2000). O efeito das chuvas, por exemplo, pode aumentar de 30% a 75% a PPL (Xu e Wang, 2016; Li *et al.*, 2017) afetando a disponibilidade de recurso disponível para os ruminantes. Apesar dessas relações estarem consolidadas, os efeitos indiretos que podem afetar o número de animais no campo ainda não são estudados. Um exemplo disso é o preço

do boi gordo que pode determinar a decisão do produtor de manter um maior ou menor número de cabeças em sua propriedade (Christensen e Hewitson, 2007; Sachs e Pinatti, 2015) visando uma maior lucratividade.

Fatores econômicos também costumam ser determinantes nas alterações das paisagens naturais. Os remanescentes campestres vêm sendo reduzidos pela conversão do hábitat natural em monoculturas agrícolas (especialmente a soja) e silvícolas que apresentam maior retorno financeiro de curto e médio prazo (De Oliveira *et al.*, 2017), comprometendo a biodiversidade desses ecossistemas. Assim, ponderando a dinâmica complexa da produtividade campestre, a importância econômica da pecuária e as ameaças ao sistema, torna-se relevante investigar padrões de produtividade em resposta aos fatores físicos e antrópicos, afim de gerar subsídios para estratégias de conservação que englobem não apenas aspectos ecológicos, mas econômicos da região.

O objetivo deste trabalho é determinar qual a relação entre a pressão de pastejo e a PPL nos campos subtropicais do Pampa brasileiro. Desta forma, controlando os fatores climáticos como precipitação e temperatura na PPL, e das variações no preço do boi gordo sobre a pressão de pastejo, espera-se que haja uma relação unimodal entre pastejo e PPL, decorrente de algum(ns) dos três mecanismos que seguem: (a) considerando os campos como fonte de recurso para os ruminantes e que esses exercem um efeito de poda nas plantas (Koerner e Collins, 2014), espera-se que exista um efeito direto do pastejo na produtividade (Figura 1a); (b) a produtividade primária dos campos determina a oferta de forragem (Monterroso Rivas *et al.*, 2011; Lezama *et al.*, 2014) e, assim, a decisão dos pecuaristas quanto a lotação de bovinos nas propriedades (Figura 1b); (c) dado os ciclos de criação da pecuária e as constantes interações entre os efeitos do pastejo e da pecuária podem ocorrer simultaneamente (Deng *et al.*, 2017), há uma influência mútua entre produtividade primária e efetivo bovino (Figura 1c).

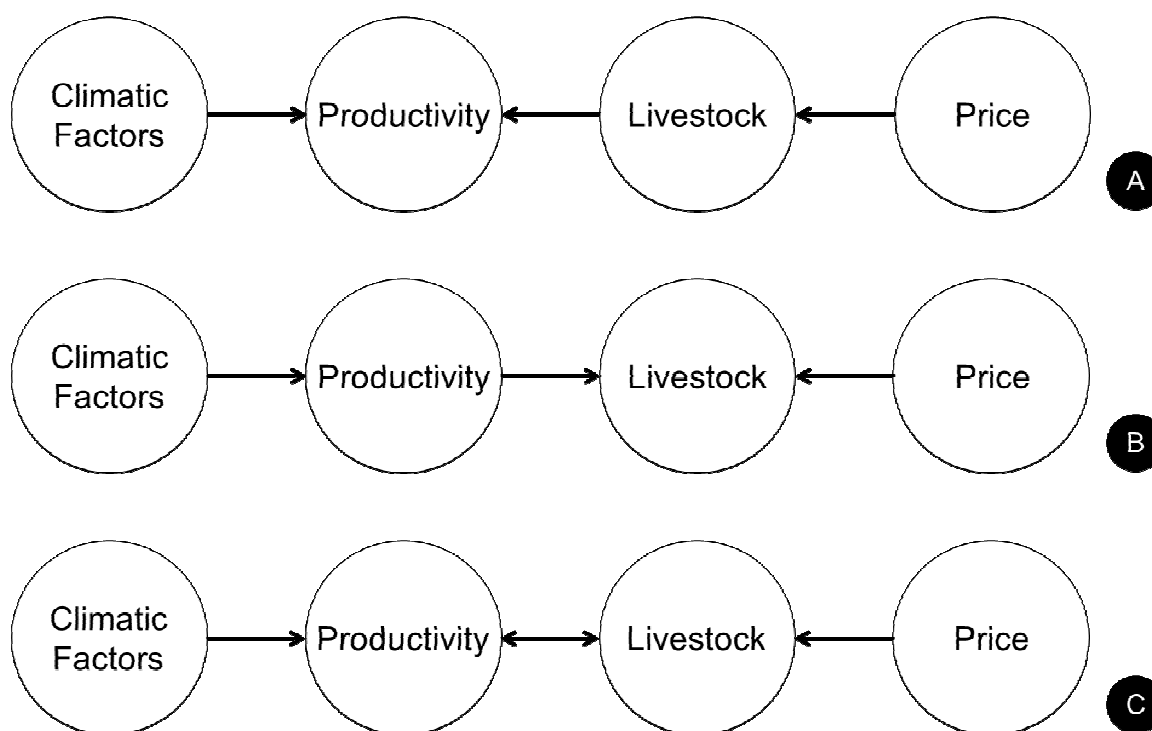


Figura 1. Hipóteses de pesquisa. Em (A) cenário onde o pastejo influencia a produtividade. Em (B) modelo propondo a influência da produtividade no pastejo. Em (C) modelo onde o efeito do pastejo e da produtividade são simultâneos.

MATERIAL E MÉTODOS

Região de estudo

Os campos subtropicais sul-americanos localizam-se geograficamente no sudeste da América do Sul, estendendo-se ao sul do Paraguai, leste da Argentina, Uruguai e sul do Brasil, entre 25° e 38° de latitude sul (Figura 2). Por essa posição geográfica, apresentam verões quentes, invernos frios e chuvas bem distribuídas durante o ano, com ausência de estação seca. Além disso, variações topográficas, heterogeneidade dos solos, condições microclimáticas e regimes de pastejo e fogo contribuem para determinar diferentes fitofisionomias campestres (*e.g.*, Boldrini, 2009), fazendo também com que os campos subtropicais sul-americanos estejam entre os ambientes campestres com maior riqueza em espécies do mundo (Overbeck *et al.*, 2007).

Os campos subtropicais sul-americanos estão incluídos em dois domínios fitogeográficos da região Neotropical: Amazônico (província Paranaense) e Chaquenho (principalmente a província Pampeana, mas também as províncias Chaquenha e do Espinal) (Cabrera & Willink, 1973). Os campos do domínio Amazônico correspondem aos campos de altitude do sul do

Brasil (até 1800 m), frequentemente tratados como parte do bioma Mata Atlântica. Os campos da província Pampeana estendem-se do sul do Brasil (sul do paralelo 30°) ao Uruguai e Argentina (Cabrera & Willink, 1973) e são frequentemente tratados na literatura como *Rio de la Plata grasslands*, *Pampa* ou *Campos*. A oeste da província Pampeana e à noroeste estendem-se as províncias do Espinal e Chaquenha, respectivamente (Cabrera & Willink, 1973). Os campos dessas províncias, tratadas na literatura como região do Chaco, são tipicamente menos úmidos e mais quentes do que os campos anteriores.

Este estudo enfocou a porção norte dos campos do *Rio de la Plata*, na região que ocupa a metade sul do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, cobrindo uma área de 176496 km² (IBGE, 2004) (Fig. 2). Nessa região de estudo, o clima é subtropical úmido com temperatura média entre 13° e 17° C e precipitação anual variando entre 1200 e 1600 mm (Nimer, 1990), diminuindo ao sul e à oeste, com ausência de estação seca, embora estresse hídrico possa ocasionalmente ocorrer nos meses de verão (dezembro a março). São caracterizados pela mistura de plantas C3 e C4 principalmente, gramíneas (Poaceae) e ciperáceas (Cyperaceae), além de outras herbáceas das famílias Asteraceae e Apiaceae.

Desenho amostral e obtenção dos dados

Para avaliar quais as causas dos atuais padrões de produtividade dos *campos do Rio de la Plata* situados no estado do Rio Grande do Sul, foram obtidos dados históricos (25 anos: 1985-2010) sobre a produtividade da vegetação campestre, condições climáticas, intensidade de pastejo e situação econômica da pecuária, disponíveis em diferentes bases de dados. Dez municípios para os quais toda a informação estava disponível foram selecionados preferencialmente para representar a região de estudo: Aceguá, Barra do Quaraí, Capela de Santana, Itaqui, Pinheiro Machado, Quaraí, Rio Pardo, São Gabriel, São Lourenço do Sul e São Luiz Gonzaga (Figura 2).



Figura 2. Mapa da região de estudo ressaltando a vegetação e municípios analisados.

A produtividade líquida da vegetação campestre (PPL) de cada município foi estimada a partir do *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Esse índice visa estimar o quanto de radiação é absorvida pelos cloroplastos das plantas (Qasim et al., 2017). Para tal, foram coletadas todas as imagens mensais de 1985 a 2010 do satélite *Landsat 5*, disponíveis no catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE; disponível em <http://www.dgi.inpe.br>). Foram excluídas aquelas imagens em que a cobertura de nuvens ultrapassasse os 10%. Cada imagem tem resolução de 30 m e abrange 34,2 mil km², abrangendo a área inteira de um município. Com as bandas 3 (vermelho) e 4 (infravermelho)

próximo) de cada imagem, foi gerada uma imagem NDVI, a partir do cálculo da Equação 1. De cada imagem de NDVI foram extraídas as áreas de remanescentes campestres com base na classificação de Hasenack e Weber (2010) e o valor médio de NDVI por mês para toda a vegetação campestre foi obtido para cada município. Estas análises foram executadas com auxílio do software ArcGis 10.2 (Esri, 2014).

$$\text{Eq. 1. } NDVI = \frac{BAND\ 4 - BAND\ 3}{BAND\ 4 + BAND\ 3}$$

Séries históricas anuais (1985-2010) de precipitação total (P) e temperatura média (T) para cada município foram obtidas da base de dados da Unidade de Pesquisa Climática (*Climatic Research Unit*, CRU) da Universidade de East Anglia (New *et al.*, 2000). A T foi obtida através da média dos dados mensais, obtidos com base nas modelagens geoestatísticas, enquanto a P foi obtida somando os valores mensais da base de dados.

A série histórica (1985-2010) do efetivo bovino (Ch) de cada município, foi extraída da base do Instituto Brasileiro de Biogeografia e Estatística (IBGE) de acordo com a Pesquisa Pecuária Municipal que avalia os efetivos municipais anualmente (<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/quadros/brasil/2016>) e ponderados pela área do município em questão. Além disso, para inclusão de dados econômicos da pecuária mundial, foi obtido o valor monetário da arroba do boi gordo (P) para cada ano em reais (R\$), extraído da base Investing (Disponível em: <https://br.investing.com/>), corrigidos e deflacionados conforme o Índice Geral de Preços (IGP-I).

Para avaliar as relações entre a PPL anual e o efetivo de ruminantes foram construídos 3 modelos de causalidade (Figura 3), conforme as hipóteses previamente estabelecidas e analisados utilizando o índice de D-separation (Shiple, 2000) em uma Análise de Caminhos no software MULTIV 3.55 (Pillar, 2001). Os modelos foram montados no aplicativo DAGitty 3.0 (Textor *et al.*, 2011), para de avaliar as relações de independências entre as variáveis. Uma vez que as relações entre o clima e a PPL, bem como a pecuária e a PPL, não são sempre lineares (Lezama *et al.*, 2014; Deng *et al.*, 2017), os valores das variáveis predictoras foram elevados ao quadrado e inseridos na modelagem.

O efeito das setas de causalidade foi medido pela função “lm” do software R (R Core Team, 2017) criando modelos conforme relações propostas nas análises de caminhos. Antes de analisados, os dados foram centralizados, normalizados e logaritimizados para cumprir os requisitos de normalidade. Os melhores modelos foram selecionados escolhendo os menores escores de AIC. Os scripts utilizados para os testes dos modelos encontram-se no material suplementar deste manuscrito. Nos testes foi considerando um limiar de significância $\alpha = 5\%$.

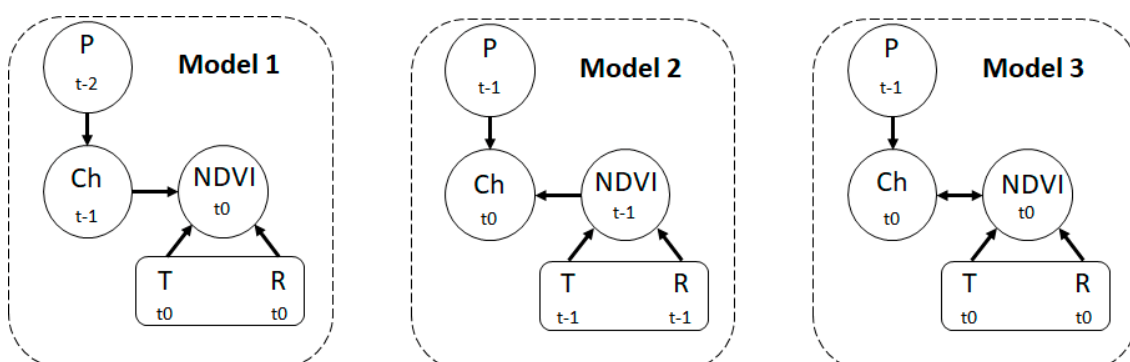


Figura 3. Modelos testados na análise de caminhos e suas relações temporais. Onde: P = preço do boi gordo, Ch = Efetivo bovino, T = Temperatura, R = Pluviosidade.

RESULTADOS

As médias anuais dos valores de NDVI apresentaram um mínimo de 0,351 e um máximo de 0,46, os valores de efetivo bovino variaram entre 0,602 e 0,8 cabeças ha⁻¹, os valores de temperatura entre 19,1°C e 20,3 °C, os valores de precipitação entre 1221 mm a 2181 mm e os valores de preço entre R\$ 58,41 a R\$ 95,89. Apesar das variações na série temporal, apenas o efetivo bovino e o preço do boi gordo demonstraram tendências significativas (Figura 4).

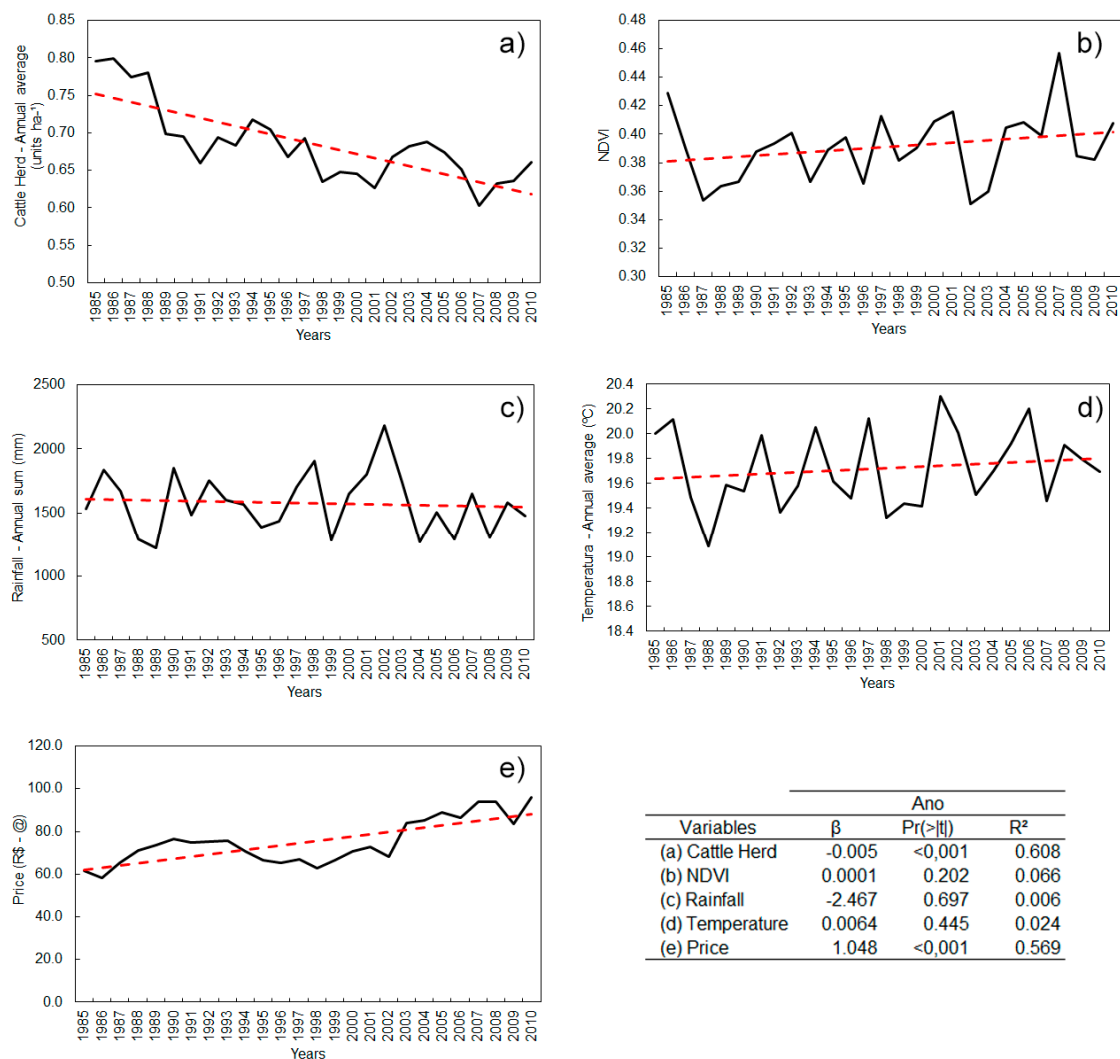
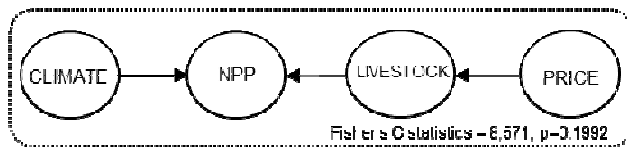


Figura 4. Variações anuais dos parâmetros coletados. A tabela indica as respostas de variação ao longo dos anos analisados.

O modelo observado na figura 5. A análise revelou que a variação de NDVI é parcialmente explicada pela variação quadrática da pluviosidade e do efetivo bovino. Além disso, foi possível também observar a influência do preço sobre o efetivo bovino, revelando uma relação indireta com o NDVI.



Effects	Arrow	β	Pr(> t)	%
Price	1	-0.464	0.022	22.5
	2	-0.113	0.058	
Cattle Herd	3	-0.18	0.389	54.4
	4	-1.84	0.023	
Temperature	5	-0.013	0.938	54.4
	6	1.551	0.126	
Rainfall	7	-0.161	0.379	54.4
	8	-1.776	0.019	

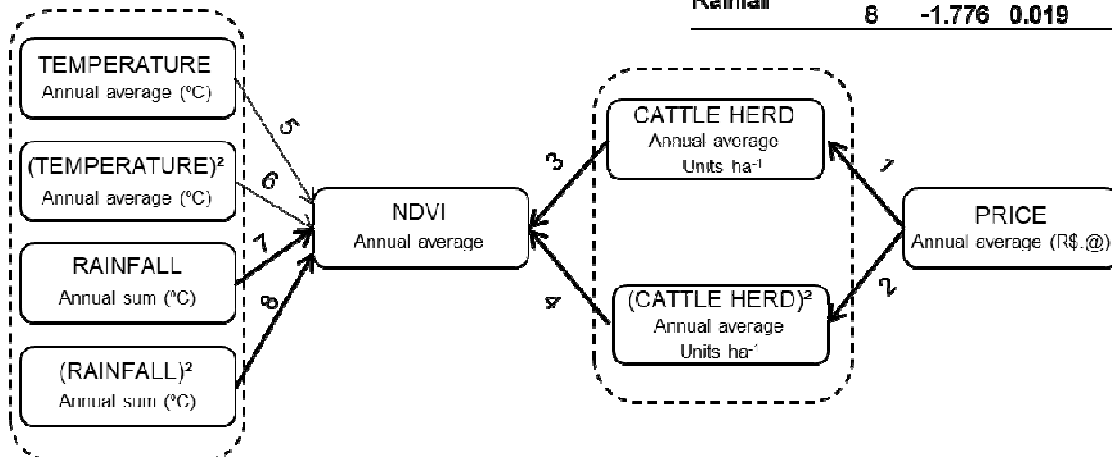


Figura 5. Modelo 1 – Relação causal onde o efetivo bovino influencia a produtividade. A caixa superior indica a hipótese testada. As linhas pontilhadas indicam as variáveis que foram blocadas no modelo de análise de caminhos. A tabela aponta as relações obtidas na análise de modelos lineares. As setas em negrito demonstram as relações significativas.

Tanto a pluviosidade quanto o efetivo apresentaram uma relação quadrática inversa com o NDVI (Figura 6ab), ou seja, valores extremamente altos ou baixos de efetivo bovino e de chuva causam impacto negativo na produtividade. A relação do efetivo com o preço também apresenta relação quadrática, apesar de ser positiva (Figura 6c), mostrando que, tanto o preço alto quanto o preço baixo podem causar diminuição no número de animais nas propriedades.

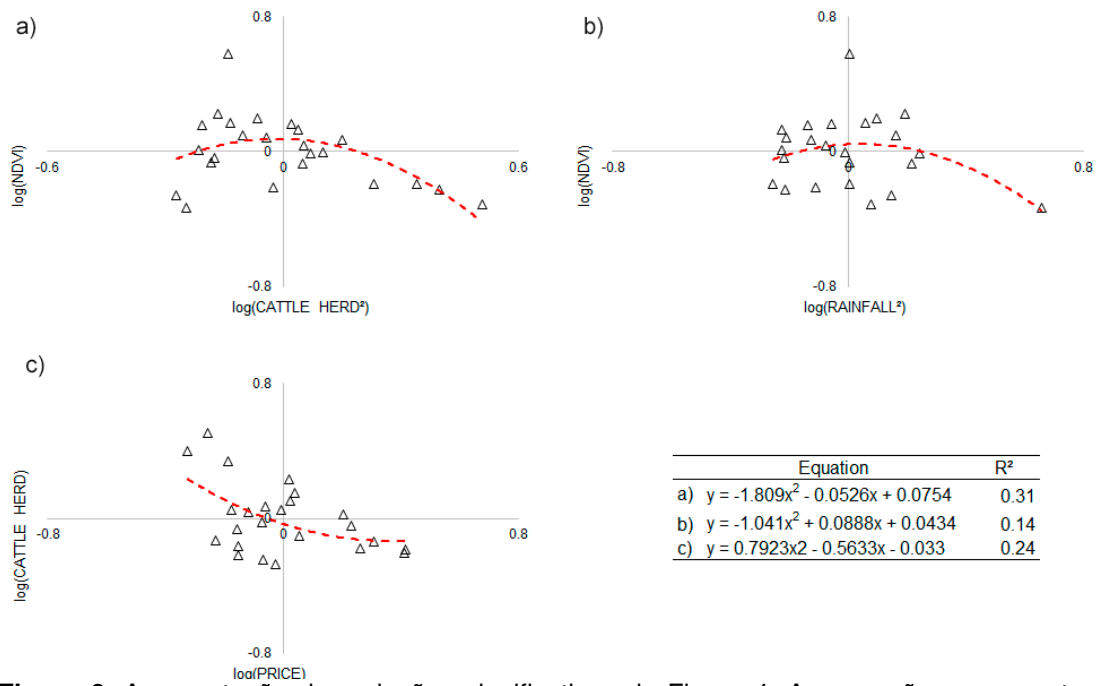
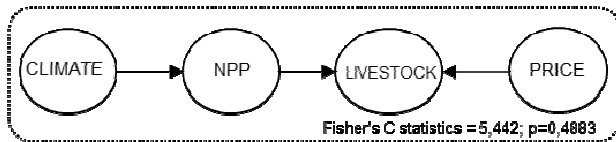


Figura 6. Apresentação das relações significativas da Figura 4. As equações representam a explicação das variáveis em modelos quadráticos em (a) e (b) e linear em (c).

A hipótese de que a produtividade poderia ser reguladora da quantidade de animais no campo foi refutada, uma vez que, apesar de apresentar um modelo causal válido, as relações entre NDVI e Ch não foram significativas (Figura 7). Da mesma forma, a possibilidade de retroalimentação entre essas variáveis, testadas pelo modelo com setas duplas, não foi validada pelos modelos lineares (Figura 8).



Variable	Arrow	β	Pr(> t)	%
Price	1	-0.3888	0.057	16.8
NDVI	2	0.044	0.818	
Price	3	-0.1249	0.009	27.5
NDVI	4	0.0055	0.898	
Temperature	5	0.267	0.17	
	6	1.924	0.147	31.9
Rainfall	7	-0.1101	0.591	
	8	-2.2968	0.009	

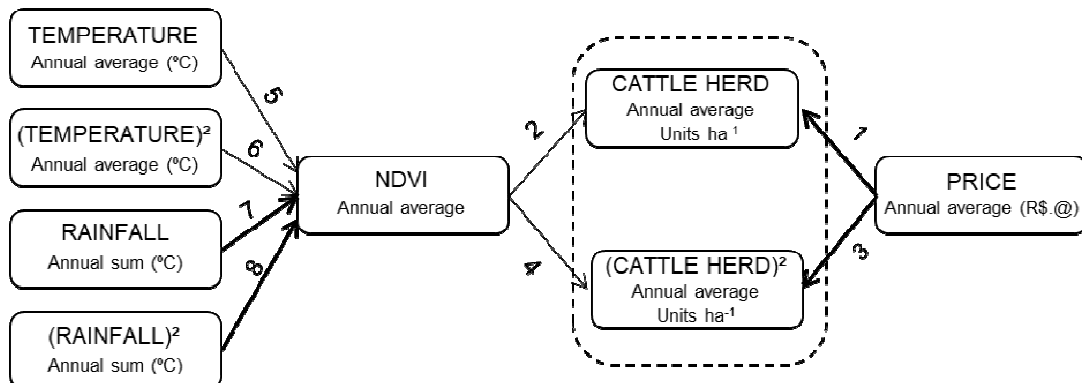
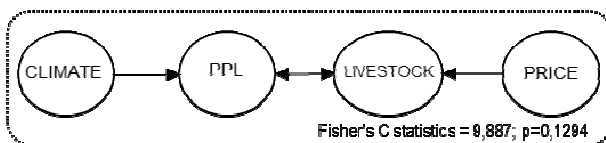


Figura 7. Modelo 2 - Relação causal onde a produtividade influencia o efetivo bovino. A caixa superior indica a hipótese testada. As linhas pontilhadas indicam as variáveis que foram bloqueadas no modelo de análise de caminhos. A tabela aponta as relações obtidas na análise de modelos lineares. As setas em negrito demonstram as relações significativas.



Effects	Arrow	β	Pr(> t)	%
Price	1	0.45	0.024	22.6
	2	-0.117	0.044	
NDVI / Cattle	3	-0.2557	0.353	
Herd	4	-0.5312	0.61	
Temperature	5	0.1754	0.376	39.8
	6	1.8119	0.204	
Rainfall	7	-0.0663	0.756	
	8	-2.4245	0.008	

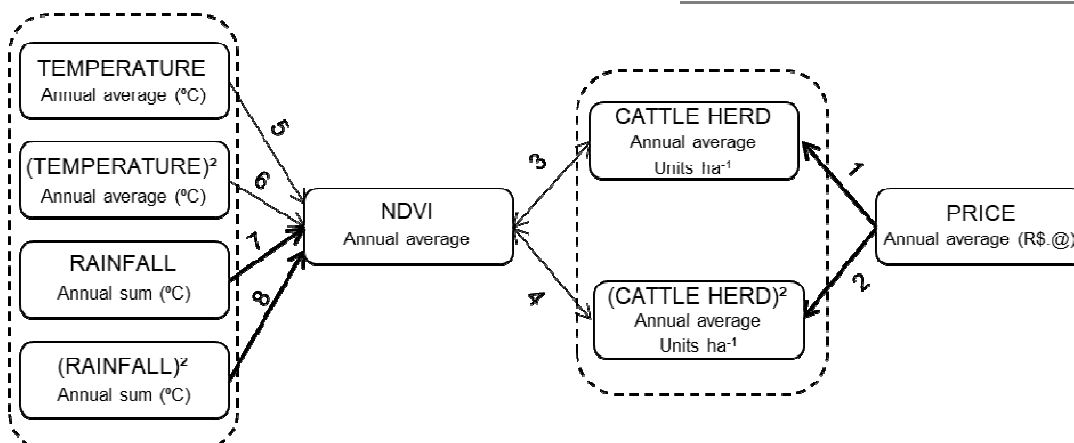


Figura 8. Modelo 3 - Relação causal onde a produtividade e efetivo bovino possuem mútua influência. A caixa superior indica a hipótese testada. As linhas pontilhadas indicam as variáveis que foram bloqueadas no modelo de análise de caminhos. A tabela aponta as relações obtidas na análise de modelos lineares. As setas em negrito demonstram as relações significativas.

DISCUSSÃO

O cenário da pecuária nos campos do bioma Pampa, especialmente no Brasil, apresenta grandes desafios, que perpassam desde a atualização dos métodos de produção até a competição com outras culturas mais rentáveis. A substituição da paisagem observada por De Oliveira e colaboradores (2017), retrata a perda de área de pastagens naturais no bioma Pampa brasileiro, apesar de não demonstrar mudanças significativas na quantidade de animais nos campos.

No entanto, apesar do padrão observado pelos autores, os municípios analisados neste estudo apresentaram uma queda no número de animais (Figura 5a). Isso pode ter acontecido como consequências do aumento da área de outras culturas como a silvicultura e a soja (Goutreau, 2014), como verificado no município de Aceguá, que demonstrou um crescimento de 66% entre 2013 e 2016 na área plantada de soja (IBGE, 2017). As variações desses municípios indicam que o padrão observado é local e difere da média estadual, sendo possível, através dessas oscilações, avaliar a influência do número de animais sobre a produtividade dos campos. Da mesma forma, os ciclos de aumento e da temperatura, pluviosidade e NDVI, que ocorrem a cada três ou quatro anos, possibilitam avaliar a relação entre essas variáveis.

Apesar da temperatura já ter sido comprovado por outros estudos como fator relevante para a produtividade (Isbell *et al.*, 2013; Wang *et al.*, 2016), essa influência não foi observada nesta pesquisa, provavelmente pois as variações sazonais da temperatura ficaram diluídas na série temporal. A pluviosidade, no entanto, apresentou um padrão quadrático negativo, indicando que extremos de chuva impactam negativamente a produtividade. Esse padrão também já foi comprovado por outros pesquisadores, que adicionam também a importância de outros fatores como a umidade do solo (Piñeiro *et al.*, 2010; Qasim *et al.*, 2017).

Entender como essas variáveis se relacionam é fundamental para que se pense em estratégias de conservação dos campos sulinos. Nesse sentido, a confirmação do efeito quadrático do efetivo sobre a produtividade, apresenta pressupostos para o uso da pecuária como mantenedora da paisagem campestre no estado do RS (Overbeck *et al.*, 2009), desde que mantida uma carga apropriada para a região. Esse efeito pode ser um reflexo da retirada de espécies de gramíneas dominantes dos campos pelo pastejo, proporcionando a reprodução de espécies suprimidas, que passam a ocupar mais nichos e a gerar maior produtividade

(Lezama *et al.*, 2014). Dessa forma, número elevado de animais no campo retiram grande parte da área foliar das espécies e reduzem a produtividade (Koerner e Collins, 2014), enquanto o número reduzido de animais proporciona a substituição de espécies pela sucessão ecológica, também reduzindo a produtividade (Hillebrand *et al.*, 2007; Fraser *et al.*, 2015; Deng *et al.*, 2017)

Assim, cargas intermediárias de lotação do campo podem ser uma estratégia para os produtores, pois possibilitam campos mais produtivos favorecendo a produção secundária. Um campo mais produtivo também poderia gerar maior renda, uma vez que acelera o processo de engorda, ao mesmo tempo que contribui para a manutenção da diversidade dos campos. No entanto, essa relação não foi observada neste estudo, uma vez que o modelo 2 não foi confirmado. Porém, esse efeito pode não aparecer, pois o produtor rural, muitas vezes, não observa a qualidade do campo para alocar os animais, sinal de que o RS é um cenário imerso em tomadas de decisões baseadas em critérios empíricos e práticas que carecem de estratégias de manejo específicas às pastagens naturais (Borges *et al.*, 2016). Ademais, o efeito atrasado do efetivo sobre a produtividade é um indicativo de que estas estratégias devem ser pensadas a médio e longo prazo.

Visto que a premissa de aumento de biomassa ser relacionada com o aumento da produção secundária do sistema ser tradicionalmente estudada (Begon *et al.*, 2006), o fato desta relação não ter sido observada neste trabalho, leva ao entendimento que o fator preponderante para a alocação de animais no campo é a lucratividade. Dessa forma, um indicativo é de que os produtores rurais não visualizam as situações que necessitam de tomadas de decisões com base em condições ecológicas do sistema. Comportamento semelhante foi observado por Weber (2006) que explica o funcionamento das escolhas humanas com base em prioridades básicas, no caso aqui, financeiras. Por isso, é fundamental a avaliação do preço como influenciador de efetivo e conseqüentemente das flutuações de produtividade.

Assim parte da relação quadrática positiva entre o preço e o efetivo é explicada uma vez que, os produtores mantêm os animais no campo buscando melhores oportunidades de venda (Sachs e Pinatti, 2015). No entanto, é esperado também que em épocas de mercado aquecido, o produtor queira colocar mais animais no campo, visando obter maior lucratividade,

aumentando o efetivo bovino, especialmente quando avaliamos essa relação anualmente. Mesmo assim, em momentos de alta do preço do boi gordo, outro fator que pode influenciar essas relações é a venda das matrizes (fêmeas com potencial reprodutivo), o que pode explicar a ausência de uma relação mais forte entre preço e efetivo.

Tão relevante quanto, é entender que as variações no preço podem influenciar indiretamente a produtividade, visto que as alterações do preço alteram a pressão de pastejo nos campos. O aumento do efetivo em preços extremos pode refletir alterações de curto e médio prazo no efetivo. Dessa forma, a análise dos fatores econômicos envolvidos na dinâmica do efetivo bovino, podem ser determinantes para o entendimento da ecologia dos campos. De acordo com o modelo 1, as alterações no preço do boi gordo de um ano podem causar impacto na produtividade dos campos de até dois anos depois, em função do efetivo bovino.

CONCLUSÕES

A análise dos dados permite concluir que existe uma relação quadrática negativa entre efetivo bovino e produtividade dos campos, indicando que a pecuária pode influenciar a conservação dos campos subtropicais. Além disso, foi possível observar que, no cenário avaliado, a temperatura anual não apresentou influência na produtividade, no entanto a pluviosidade é um fator que altera, também de maneira quadrática, a produtividade.

O efetivo bovino demonstrou relação com o preço do boi gordo, essa relação revela a necessidade de se observar as flutuações de mercado a fim de gerar estratégias de manejo apropriadas para os campos subtropicais.

Sendo assim, espera-se que esse artigo sirva como subsídio para que se pense de maneira diferente em relação a conservação dos campos subtropicais. Variados estudos já demonstram a importância da pecuária na manutenção dos campos naturais, especialmente no RS, e este estudo mostra, não somente como o efetivo bovino pode afetar a produtividade campestre, mas também ressalta a importância de se avaliar critérios econômicos para tomada de decisões, tanto dentro das propriedades rurais, como por órgãos públicos que visem criar políticas de conservação.

Mais ainda, deve se ponderar que devido às formas de obtenção dos dados, as interações causais observadas nessa pesquisa são anuais. Pesquisas futuras serão realizadas

com dados mensais para observar as variações mais discretas e possíveis variações sazonais que esses dados possam apresentar.

REFERÊNCIAS

ALKEMADE, R. et al. Assessing the impacts of livestock production on biodiversity in rangeland ecosystems. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 52, p. 20900-20905, 2013. ISSN 0027-8424.

BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. **Ecologia: de indivíduos a ecossistemas**. Artmed Editora, 2009. ISBN 8536309547.

BEHLING, H. et al. Dinâmica dos campos no sul do Brasil durante o Quaternário Tardio. In: PILLAR, V. D. P.; MÜLLER, S. C., et al (Ed.). **Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009. p.403.

BLANCO, L. et al. Grazing effect on NDVI across an aridity gradient in Argentina. **Journal of Arid Environments**, v. 72, n. 5, p. 764-776, 2008. ISSN 0140-1963.

BOLDRINI, I. I. A flora dos campos do Rio Grande do Sul. **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, v. 4, p. 63-77, 2009.

BORGES, J. A. R.; TAUER, L. W.; LANSINK, A. G. O. Using the theory of planned behavior to identify key beliefs underlying Brazilian cattle farmers' intention to use improved natural grassland: A MIMIC modelling approach. **Land Use Policy**, v. 55, p. 193-203, 2016. ISSN 0264-8377.

CABRERA, A. L.; WILLINK, A. Biogeografia de América latina. 1973.

CARVALHO, P. D. F. et al. Produção animal no bioma campos sulinos. **Brazilian Journal of Animal Science**, v. 35, p. 156-202, 2006.

CHRISTENSEN, J. H.; HEWITSON, B. Regional Climate Projections. In: SOLOMON, S.; QIN, D., et al (Ed.). **Climate Change 2007: the Physical Science Basis**. New York: Cambridge Univ Press, 2007. p.847-940. ISBN 978-0-521-70596-7.

DE OLIVEIRA, T. E. et al. Agricultural land use change in the Brazilian Pampa Biome: The reduction of natural grasslands. **Land Use Policy**, v. 63, p. 394-400, 2017. ISSN 0264-8377.

DE OLIVEIRA, T. E.; FREITAS, D. S. LOCAL BEEF PRODUCTION: WHAT RIO GRANDE DO SUL IS WAITING FOR? **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 10, n. 2, p. 312-341, 2017. ISSN 2176-9168.

DENG, X.; GIBSON, J.; WANG, P. Quantitative measurements of the interaction between net primary productivity and livestock production in Qinghai Province based on data fusion technique. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 758-766, 2017. ISSN 0959-6526.

ESRI, E.S.R.I. **ArcGIS Desktop Help 10.2 Geostatistical Analyst**. <http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.2/index.html> 2014.

FRASER, L. H. et al. Worldwide evidence of a unimodal relationship between productivity and plant species richness. **Science**, v. 349, n. 6245, p. 302-305, 2015. ISSN 0036-8075.

GAUTREAU, P. Forestación, territorio y ambiente. **25 años de silvicultura transnacional en Uruguay, Brasil y Argentina**. ed. TRILCE, Montevideo, 2014.

HASENACK, H.; WEBER, E. Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul-escala 1: 50.000. **Porto Alegre: UFRGS-IB-Centro de Ecologia**, v. 1, 2010.

HILLEBRAND, H. et al. Consumer versus resource control of producer diversity depends on ecosystem type and producer community structure. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, n. 26, p. 10904-10909, 2007. ISSN 0027-8424.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística **Produção Pecuária Municipal 2017**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro. 2017

ISBELL, F. et al. Nutrient enrichment, biodiversity loss, and consequent declines in ecosystem productivity. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 29, p. 11911-11916, 2013. ISSN 0027-8424.

KOERNER, S. E.; COLLINS, S. L. Interactive effects of grazing, drought, and fire on grassland plant communities in North America and South Africa. **Ecology**, v. 95, n. 1, p. 98-109, 2014. ISSN 1939-9170.

LEZAMA, F. et al. Variation of grazing-induced vegetation changes across a large-scale productivity gradient. **Journal of Vegetation Science**, v. 25, n. 1, p. 8-21, 2014. ISSN 1654-1103.

LI, G. et al. Effects of warming and increased precipitation on net ecosystem productivity: A long-term manipulative experiment in a semiarid grassland. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 232, p. 359-366, 2017. ISSN 0168-1923.

MONTERROSO RIVAS, A. et al. Simulated dynamics of net primary productivity (NPP) for outdoor livestock feeding coefficients driven by climate change scenarios in México. **Atmósfera**, v. 24, n. 1, p. 69-88, 2011. ISSN 0187-6236.

NABINGER, C.; CARVALHO, P. D. F. Grassland ecophysiology and grazing ecology. **Wallingford (UK): CAB international**, 2000.

NABINGER, C. et al. Produção animal com base no campo nativo: aplicações de resultados de pesquisa. **Campos Sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, p. 175-197, 2009.

NEW, M.; HULME, M.; JONES, P. Representing twentieth-century space-time climate variability. Part II: Development of 1901–96 monthly grids of terrestrial surface climate. **Journal of climate**, v. 13, n. 13, p. 2217-2238, 2000. ISSN 1520-0442.

NIMER, E. Clime. In: IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Geografia do Brasil: Região Sul. Vol. 2. IBGE, Rio de Janeiro. pp. 151-187

OESTERHELD, M. et al. Grazing, fire, and climate effects on primary productivity of grasslands and savannas. **Ecosystems of the world**, p. 287-306, 1999. ISSN 0167-4579.

OVERBECK, G. E. et al. Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos. **Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics**, v. 9, n. 2, p. 101-116, 2007. ISSN 1433-8319. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000251685100004 >.

_____. Os Campos Sulinos: um bioma negligenciado. **Campos Sulinos, conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009.

PILLAR, V. MULTIV: aplicativo para análise multivariada e teste de hipóteses. **Porto Alegre: Departamento de Ecologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, 2001.

PIÑEIRO, G. et al. Pathways of grazing effects on soil organic carbon and nitrogen. **Rangeland Ecology & Management**, v. 63, n. 1, p. 109-119, 2010.

R Core Team (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available at: <<https://www.R-project.org/>> (Accessed in November, 2017)

QASIM, S. et al. Influence of grazing exclosure on vegetation biomass and soil quality. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 5, n. 1, p. 62-68, 2017. ISSN 2095-6339.

REID, R. S. et al. Global livestock impacts on biodiversity. **Livestock in a changing landscape**, v. 1, p. 111-138, 2013.

SACHS, R. C. C.; PINATTI, E. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DOS PREÇOS DO BOI GORDO E DO BOI MAGRO NA PECUÁRIA DE CORTE PAULISTA, NO PERÍODO DE 1995 A 2006. **Revista de Economia e Agronegócio-REA**, v. 5, n. 3, 2015. ISSN 1679-1614.

SHIPLEY, B. **Cause and Correlation in Biology**. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

TEXTOR, J.; HARDT, J.; KNÜPPEL, S. DAGitty: a graphical tool for analyzing causal diagrams. **Epidemiology**, v. 22, n. 5, p. 745, 2011. ISSN 1044-3983.

WANG, R. et al. Integrated analysis of productivity and biodiversity in a southern Alberta prairie. **Remote Sensing**, v. 8, n. 3, p. 214, 2016.

XU, H.-J.; WANG, X.-P. Effects of altered precipitation regimes on plant productivity in the arid region of northern China. **Ecological Informatics**, v. 31, p. 137-146, 2016. ISSN 1574-9541.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta tese teve como objetivo aproximar as discussões ecológicas sobre conservação de ecossistemas a outros fatores, especialmente aqueles associados as tomadas de decisões e quem envolvem conflitos e atitudes pessoais dos atuantes no Bioma Pampa. Nesse sentido, o entendimento de que interesses econômicos e sociais podem se sobressair sobre os fatores ambientais é fundamental para a elaboração de ferramentas de gestão voltadas para a conservação de biomas de base campestres. Dessa forma, este documento traz evidências empíricas sobre formas de avaliação e mensuração de características que levem em considerações esses aspectos.

Nesse sentido, o primeiro artigo desta tese destaca os municípios e regiões do Bioma Pampa que carecem de mais atenção das instituições, para que a produção de carne bovina, seja orientada de maneira mais sustentável. Foi possível observar que os municípios do RS ainda necessitam de alterações nas políticas públicas, bem como uma visão mais ampla por parte dos empresários rurais, para aprimorar a produção nesse bioma, mesmo que alguns já possuam muitos dos requisitos necessários para tanto. Além disso, o método proposto demonstrou potencialidade para aplicação como ferramenta de gestão, passível de aplicação em outros biomas e estados.

O segundo artigo, traz evidências da influência unimodal do rebanho bovino sobre a produtividade dos campos subtropicais, relacionando aspectos climáticos e econômicos. Foi observado que além do número animais influenciar a produtividades dos campos, essas flutuações indiretamente podem depender da quantidade de chuvas anuais, e do preço do boi gordo. Dessa forma, fica claro, que em ecossistemas onde paisagem é associada a fatores como o pastejo, os fatores econômicos podem influenciar a dinâmica dos campos, especialmente quando apresentam valores extremos.

Sendo assim, espera-se que os resultados obtidos nesta pesquisa possam ser publicados e utilizados em outros meios de divulgação, que não apenas o acadêmico para instigar a discussão de todos os envolvidos nestes processos de gestão de ecossistemas seminaturais. Ademais, baseado nestes achados, fica documentada a vontade e determinação de desenvolver um grupo de estudos voltado para a resolução de problemas associados conciliação entre a produção de alimentos e a conservação de ambientes naturais, como é o

caso dos campos subtropicais e a pecuária de corte, buscando a construção de uma sociedade mais sustentável.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, B. W. et al. **Rangeland Health Assessment for Grassland, Forest and Tame Pasture** Alberta: Alberta Sustainable Resource Development: 120 p. 2009.

ADLER, P. B. et al. Productivity is a poor predictor of plant species richness. **science**, v. 333, n. 6050, p. 1750-1753, 2011. ISSN 0036-8075.

ALKEMADE, R. et al. Assessing the impacts of livestock production on biodiversity in rangeland ecosystems. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 52, p. 20900-20905, 2013. ISSN 0027-8424.

ARAUJO, J. R.; SALVATO, M. A.; SOUZA, P. Decomposição do índice de Theil-T em disparidades regionais, entre gêneros, raciais e educacionais: uma análise da desigualdade de renda na região sul. **Anais do XI Encontro de Economia da Região Sul**, 2008.

AVILA, R. I.; MACHADO, A. M. Oportunidades na educação e desafios no mercado de trabalho face à transição demográfica brasileira. **Indicadores Econômicos FEE**, v. 43, n. 3, p. 111-124, 2016. ISSN 1806-8987.

BEGON, M.; TOWNSEND, C. R.; HARPER, J. L. **Ecologia de Indivíduos a Ecossistemas**. 4. Porto Alegre: Artmed, 2007. 752.

BEHLING, H. et al. Dinâmica dos campos no sul do Brasil durante o Quaternário Tardio. In: PILLAR, V. D. P.; MÜLLER, S. C., et al (Ed.). **Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009. p.403.

BENCKE, G. A. Diversidade e conservação da fauna dos Campos do Sul do Brasil. In: PILLAR, V. D. P.; MÜLLER, S. C. C., et al (Ed.). **CAMPOS SULINOS - conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2009. cap. 7, p.101-121.

BETTENCOURT, L. M.; KAUR, J. Evolution and structure of sustainability science. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 49, p. 19540-19545, 2011. ISSN 0027-8424.

BETTENCOURT, L. M. A.; J., K. Evolution and structure of sustainability science. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 49, p. 19540–19545, 2011.

BETTENCOURT, L. M. A.; KAUR, J. Evolution and structure of sustainability science. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 49, p. 19540–19545, 2011.

BOLDRINI, I. I. A flora dos campos do Rio Grande do Sul. In: PILLAR, V. P.; MULLER, S. C., et al (Ed.). **Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília, Brasil.: Ministério do Meio Ambiente, v.1, 2009. cap. 403,

BOOTH, D. T.; TUELLER, P. T. Rangeland monitoring using remote sensing. **Arid Land Research and Management**, v. 17, n. 4, p. 455-467, 2003. ISSN 1532-4982.

BORGES, J. A. R.; TAUER, L. W.; LANSINK, A. G. O. Using the theory of planned behavior to identify key beliefs underlying Brazilian cattle farmers' intention to use improved natural grassland: A MIMIC modelling approach. **Land Use Policy**, v. 55, p. 193-203, 2016. ISSN 0264-8377.

BORK, E. W. et al. Rangeland cover component quantification using broad (TM) and narrow-band (1.4 NM) spectrometry. **Journal of range management**, p. 249-257, 1999. ISSN 0022-409X.

_____. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2015.

BRASIL, M. D. M. A. Cadastro de Unidades de Conservação. 2015. Disponível em: < http://www.mma.gov.br/cadastro_uc >. Acesso em: 23/07/2015.

BRUNDTLAND, G. H. Our common future: the world commission on environment and development. Oxford: Oxford University Press, 1987.

CAMPOLINA, A. G. et al. The health transition and changes in healthy life expectancy in the elderly population: possible impacts of chronic disease prevention. **Cadernos de saúde pública**, v. 29, n. 6, p. 1217-1229, 2013. ISSN 0102-311X.

CARNEIRO, D. M.; BAGOLIN, I. P.; TAI, S. H. T. Poverty determinants in Brazilian Metropolitan Areas from 1995 to 2009. **Nova Economia**, v. 26, n. 1, p. 69-96, 2016. ISSN 0103-6351.

CARSON, R. **Primavera Silenciosa**. São Paulo: 1964. 305.

CARVALHO, P. C. D.; BATELLO, C. Access to land, livestock production and ecosystem conservation in the Brazilian Campos biome: The natural grasslands dilemma. **Livestock Science**, v. 120, n. 1-2, p. 158-162, Jan 2009. ISSN 1871-1413. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:000263020000018 >.

COMMISSION, O. A. E. Handbook on Constructing Composite Indicators. **Methodology and user guide**, 2008.

COSTA, A. A. V. M. R. Agricultura Sustentável III: Indicadores. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 33, n. 2, p. 90-105, 2010.

DA SILVA, T. W.; DOTTA, G.; FONTANA, C. S. Structure of avian assemblages in grasslands associated with cattle ranching and soybean agriculture in the Uruguayan savanna ecoregion of Brazil and Uruguay. **Condor**, v. 117, n. 1, p. 53-63, Feb 2015. ISSN 0010-5422. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:000351479200006 >.

DE CARVALHO, R. C.; TAQUES, F. H. A DESIGUALDADE DE RENDA E A EDUCAÇÃO PODEM EXPLICAR A CRIMINALIDADE? uma análise para os estados brasileiros. **Revista de Políticas Públicas**, v. 18, n. 2, p. 343-357, 2015. ISSN 2178-2865.

DE OLIVEIRA, T. E. et al. Agricultural land use change in the Brazilian Pampa Biome: The reduction of natural grasslands. **Land Use Policy**, v. 63, p. 394-400, 2017. ISSN 0264-8377.

DE OLIVEIRA, T. E.; FREITAS, D. S. LOCAL BEEF PRODUCTION: WHAT RIO GRANDE DO SUL IS WAITING FOR? **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 10, n. 2, p. 312-341, 2017. ISSN 2176-9168.

DEL PRETTE, M.; KRUGER, H. **Referências metodológicas de um ZEE participativo**. Manaus: Agência de Cooperação Técnica Alenmã: 77 p. 2007.

DEMPSEY, N.; BROWN, C.; BRAMLEY, G. The key to sustainable urban development in UK cities? The influence of density on social sustainability. **Progress in Planning**, v. 77, n. 3, p. 89-141, 2012. ISSN 0305-9006.

DENG, X.; GIBSON, J.; WANG, P. Quantitative measurements of the interaction between net primary productivity and livestock production in Qinghai Province based on data fusion technique. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 758-766, 2017. ISSN 0959-6526.

DEPONTI, C. M.; ECKERT, C.; AZAMBUJA, J. L. B. Estratégia para Construção de Indicadores para Avaliação da Sustentabilidade e Monitoramento de Sistemas. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, v. 3, n. 4, p. 44-52, 2002.

DIRZO, R.; RAVEN, P. H. Global state of biodiversity and loss. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 28, p. 137-167, 2003.

DOBROVOLSKI, R. et al. Agricultural Expansion Can Menace Brazilian Protected Areas During the 21st Century. **Natureza & Conservação**, v. 9, n. 2, p. 5, 2011.

EWERT, F. et al. Future scenarios of European agricultural land use I. Estimating changes in crop productivity. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 107, n. 2-3, p. 101-116, May 2005. ISSN 0167-8809.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. FESLM: An international framework for evaluating sustainable land management. FAO. Roma, p.85. 1993

FARREL, A.; HART, M. Ability Really Mean? The Search for Useful Indicators. *Environment*, v. 40, n. 9, p. 5-31, 1998.

FEIJÓ, C. A.; VALENTE, E.; CARVALHO, P. G. M. D. Além do PIB: uma visão crítica sobre os avanços metodológicos na mensuração do desenvolvimento sócio econômico e o debate no Brasil contemporâneo. **Estatística E sociEdadE**, v. 2, p. 42-56, 2012.

FELEMA, J.; RAIHER, A. P.; FERREIRA, C. R. Agropecuária Brasileira: desempenho regional e determinantes de produtividade. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 51, n. 3, p. 555-573, 2013. ISSN 0103-2003.

FOLEY, J. A. et al. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v. 478, n. 7369, p. 337-342, Oct 2011. ISSN 0028-0836. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000296021100036 >.

FRASER, L. H. et al. Worldwide evidence of a unimodal relationship between productivity and plant species richness. **Science**, v. 349, n. 6245, p. 302-305, 2015. ISSN 0036-8075.

FZB, F. Z. D. R. G. D. S. Avaliação do Estado de Conservação de Espécies de Fauna. 2014. Disponível em: <<http://www.liv.fzb.rs.gov.br/livlof/?id_modulo=1&id_uf=23&ano=2012> >. Acesso em: 23/07/2015.

GALLOPÍN, G. Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators. A systems approach. **Environmental modeling and assessment**, v. 1, n. 3, p. 101-117, 1996.

GARNETT, T. et al. Sustainable intensification in agriculture: premises and policies. **Science**, v. 341, p. 33-34, 2013.

GAUTREAU, P. Forestación, territorio y ambiente. **25 años de silvicultura transnacional en Uruguay, Brasil y Argentina**. ed. TRILCE, Montevideo, 2014.

GERARD, F.; GONZAGA, G. M. Informal labor and the cost of social programs: Evidence from 15 years of unemployment insurance in Brazil. 2013.

GHERSA, C. et al. Farm and landscape level variables as indicators of sustainable land-use in the Argentine Inland-Pampa. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 93, n. 1, p. 279-293, 2002. ISSN 0167-8809.

GODFRAY, H. C. J. The debate over sustainable intensification. *Food Security*, v. 2, n. 7, p. 199-208, 2015. ISSN 1876-4517.

GODFRAY, H. C. J. et al. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. **Science**, v. 327, n. 5967, p. 812-818, Feb 2010. ISSN 0036-8075. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000274408300045 >.

GUIMARÃES, E.; MALHEIROS, T.; MARQUES, R. Inclusive governance: New concept of water supply and sanitation services in social vulnerability areas. **Utilities Policy**, v. 43, p. 124-129, 2016. ISSN 0957-1787.

GUIMARÃES, R. P.; FEICHAS, S. A. Q. Desafios na construção de indicadores de sustentabilidade. **Ambiente & Sociedade**, v. XII, n. 2, p. 307-323, 2007.

GUO, L. et al. Critical climate periods for grassland productivity on China's Loess Plateau. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 233, p. 101-109, 2017. ISSN 0168-1923.

HANSEN, J.; MARX, S.; WEBER, E. U. The Role of Climate Perceptions, Expectations, and Forecasts in Farmer Decision Making: The Argentine Pampas and South Florida. Palisades, NY: International Research Institute for Climate Prediction (IRI): 55 p. 2004.

HARDIN, G. The Tragedy of the Commons. *Science*, v. 162, n. 3859, p. 5, 1968.

HART, A. K. et al. Multi-functional landscapes from the grassroots? The role of rural producer movements. **Agriculture and human values**, v. 33, n. 2, p. 305, 2016. ISSN 0889-048X.

HEINK, U.; KOWARIK, I. What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. *Ecological Indicators*, v. 10, n. 3, p. 584-593, 2010. ISSN 1470-160X.

HILLEBRAND, H. et al. Consumer versus resource control of producer diversity depends on ecosystem type and producer community structure. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, n. 26, p. 10904-10909, 2007. ISSN 0027-8424.

HOLDEN, E.; LINNERTUD, K.; BANISTER, D. Sustainable development: our common future revisited. **Global environmental change**, v. 26, p. 130-139, 2014. ISSN 0959-3780.

IBGE. **Censo Agropecuário**. Rio de Janeiro, p.775. 2006

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Uso da Terra no Estado do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro, p.151. 2010

_____. **Produção Agrícola Municipal 2012**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro. 2013

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.-. **Mapa de Biomas do Brasil: Primeira aproximação**. IBGE. Rio de Janeiro. 2004

ISBELL, F. et al. Nutrient enrichment, biodiversity loss, and consequent declines in ecosystem productivity. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 29, p. 11911-11916, 2013. ISSN 0027-8424.

JOBÁGY, E. G.; SALA, O. E.; PARUELO, J. M. Patterns and controls of primary production in the Patagonian steppe: a remote sensing approach. **Ecology**, v. 83, n. 2, p. 307-319, 2002. ISSN 1939-9170.

KASCHUK, G.; ALBERTON, O.; HUNGRIA, M. Quantifying effects of different agricultural land uses on soil microbial biomass and activity in Brazilian biomes: inferences to improve soil quality. **Plant Soil**, v. 338, p. 14, 2011.

KOERNER, S. E.; COLLINS, S. L. Interactive effects of grazing, drought, and fire on grassland plant communities in North America and South Africa. **Ecology**, v. 95, n. 1, p. 98-109, 2014. ISSN 1939-9170.

LAMBIN, E. F. Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. **Progress in Physical Geography**, v. 21, n. 3, p. 375-393, Sep 1997. ISSN 0309-1333.

- LEZAMA, F. et al. Variation of grazing-induced vegetation changes across a large-scale productivity gradient. **Journal of Vegetation Science**, v. 25, n. 1, p. 8-21, 2014. ISSN 1654-1103.
- LIN, H. et al. Modelling global-scale potential grassland changes in spatio-temporal patterns to global climate change. **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, v. 20, n. 1, p. 83-96, 2013. ISSN 1350-4509.
- LINHARES, M. Y. L.; SILVA, F. C. T. Food that made Brazil. In: EMBRAPA, E. B. D. P. E. A. (Ed.). **Land and Food - 500 years of agriculture in Brazil**. Brasília, DF: Ministério de Agricultura, Pecuária e abastecimento, 2000. cap. 1, p.196.
- MAGALHÃES, J. C. R.; MIRANDA, R. B. Dinâmica da renda per capita, longevidade e educação nos municípios brasileiros. **Estudos Econômicos (São Paulo)**, v. 39, n. 3, p. 539-569, 2009. ISSN 0101-4161.
- MAIELLO, A. et al. (Un) used and (un) usable? The role of indicators in local decision-making. A Brazilian case study. **Futures**, v. 74, p. 80-92, 2015. ISSN 0016-3287.
- MANCINELLI, R. et al. Impact of land ownership and altitude on biodiversity evaluated by indicators at the landscape level in Central Italy. *Land Use Policy*, v. 45, p. 43-51, 2015. ISSN 0264-8377.
- MARCHAND, N. Iniciativa de Conservación de los Pastizales Naturales del Cono Sur de Sudamérica. 2014. Disponível em: < <http://www.alianzadelpastizal.org/> >. Acesso em: May 13th.
- MARQUES, M. I. M. O conceito de espaço rural em questão. **Terra livre**, v. 2, n. 19, 2015. ISSN 0102-8030.
- MARTINEZ, L.; ZINCK, J. Temporal variation of soil compaction and deterioration of soil quality in pasture areas of Colombian Amazonia. **Soil and Tillage Research**, v. 75, n. 1, p. 14, 2004.
- MARTINS, C. H. B. Indicadores do potencial poluidor das atividades industriais no Rio Grande do Sul: uma contribuição inicial. **Indicadores econômico-ambientais na perspectiva da sustentabilidade. Porto Alegre: FEE**, 2005.
- MATHIEU, J. et al. Spatial patterns of grasses influence soil macrofauna biodiversity in Amazonian pastures. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 41, n. 3, p. 7, 2009.
- MENDONÇA, C. B.; TADEU, N. D.; SINISGALLI, P. A. A. **PEGADA HÍDRICA DA BOVINOCULTURA DE CORTE NO BRASIL: UMA COMPARAÇÃO ENTRE A PRODUÇÃO EM PASTAGEM MANEJADA E NÃO MANEJADA XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Bento Gonçalves, RS: ABRH: 8 p. 2013.
- MEYER, C. K.; KUROVSKI, S.; CLAPHAM, S. E. Talking Trash: Ethics, Sustainability, And Organizational Trust. **Journal of Sustainability Management**, v. 2, n. 2, p. 43, 2014. ISSN 2330-6866.
- MOEHLER, D.; CONROY-KRUTZ, J. Eyes on the ballot: Priming effects and ethnic voting in the developing world. **Electoral Studies**, v. 42, p. 99-113, 2016. ISSN 0261-3794.
- MOLDAN, B.; JANOUŠKOVÁ, S.; HÁK, T. How to understand and measure environmental sustainability: Indicators and targets. **Ecological Indicators**, v. 17, p. 4-13, 2012. ISSN 1470-160X.
- MONTERROSO RIVAS, A. et al. Simulated dynamics of net primary productivity (NPP) for outdoor livestock feeding coefficients driven by climate change scenarios in México. **Atmósfera**, v. 24, n. 1, p. 69-88, 2011. ISSN 0187-6236.

NEELY, C.; BUNNING, S.; WILKES, A. **Review of evidence on drylands pastoral systems and climate change: Implications and opportunities for mitigation and adaptation.** Rome. 2009

OAIGEN, R. P. et al. Internal competitiveness in beef cattle activity in the State of Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v. 41, n. 6, p. 1102-1107, 2011. ISSN 0103-8478.

OVERBECK, G. E. et al. Restoration ecology in Brazil time to step out of the forest. **Natureza & Conservação**, v. 11, p. 92-95., 2013.

_____. Restoration ecology in Brazil—Time to step out of the forest. **Natureza & Conservação**, v. 11, n. 1, p. 92-95, 2013.

_____. Brazil's neglected biome: The South Brazilian Campos. **Perspectives in Plant Ecology Evolution and Systematics**, v. 9, n. 2, p. 101-116, 2007. ISSN 1433-8319. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000251685100004 >.

_____. Os Campos Sulinos: um bioma negligenciado. In: FORNECK (Ed.). **CAMPOS SULINOS - conservação e uso sustentável da biodiversidade.** Brasília: Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, 2009. cap. 2, p.26-41.

_____. Conservation in Brazil needs to include non-forest ecosystems. **Diversity and Distribution**, p. 1-6, 2015.

PEREIRA, H. et al. Scenarios for global biodiversity in the 21st century. **Science**, v. 330, n. 6010, p. 5, 2010.

PERI, P. L. et al. Biodiversity and ecological long-term plots in Southern Patagonia to support sustainable land management: the case of PEBANPA network. **Journal for Nature Conservation**, v. 34, p. 51-64, 2016. ISSN 1617-1381.

PILLAR, V. D.; QUADROS, F. L. F. Grassland-forest boundaries in southern Brazil. **Coenoses**, v. 12, p. 119-126, 1997.

PIRES, S. M.; FIDÉLIS, T.; RAMOS, T. B. Measuring and comparing local sustainable development through common indicators: Constraints and achievements in practice. **Cities**, v. 39, p. 1-9, 2014.

PIZZO, L. G. P. et al. Infant mortality in the perception of health managers and professionals: determinants of its decline and current challenges in a southern Brazilian town. **Saúde e Sociedade**, v. 23, n. 3, p. 908-918, 2014. ISSN 0104-1290.

QASIM, S. et al. Influence of grazing enclosure on vegetation biomass and soil quality. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 5, n. 1, p. 62-68, 2017. ISSN 2095-6339.

REES, W. E. Revisiting Carrying Capacity: Area-Based Indicators of Sustainability. **Population and Environment**, v. 17, n. 3, 1996.

REID, R. S. et al. Global livestock impacts on biodiversity. **Livestock in a changing landscape**, v. 1, p. 111-138, 2013.

ROXBURGH, S. et al. What is NPP? Inconsistent accounting of respiratory fluxes in the definition of net primary production. **Functional Ecology**, v. 19, n. 3, p. 378-382, 2005. ISSN 1365-2435.

ROY, J.; MOONEY, H. A.; SAUGIER, B. **Terrestrial global productivity.** Academic Press, 2001. ISBN 0080518729.

SACHS, J. et al. Monitoring the world's agriculture. **Nature**, v. 466, p. 2, 2010.

SAFFORD, H. D. Produção Agrícola Municipal 2013- **Culturas temporárias e permanentes**. Brazilian paramos IV. Phytogeography of the campos de altitude. **Journal of Biogeography**, v. 34, n. 10, p. 1701-1722, Oct 2007. ISSN 0305-0270.

SALVATI, L.; CARLUCCI, M. A composite index of sustainable development at the local scale: Italy as a case study. **Ecological Indicators**, v. 43, p. 162-171, 2014.

SANTOS, S. et al. Protocolo: Índice de Conservação e Produtividade das Pastagens (ICPP) para a Fazenda Pantaneira Sustentável (FPS). **Embrapa Pantanal-Documentos (INFOTECA-E)**, 2014.

SICHE, R. et al. Índices Versus Indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. **Ambiente & Sociedade**, v. X, n. 2, p. 137-178, 2007.

SORICE, M. G. et al. Changing landowners, changing ecosystem? Land-ownership motivations as drivers of land management practices. **Journal of environmental management**, v. 133, p. 144-152, 2014. ISSN 0301-4797.

STEINFELD, H. et al. **Livestock's long shadow: environmental issues and options**. 2006. 390 ISBN 92-5-105571-8.

SUERTEGARAY, D. M. A. Erosão nos campos sulinos: arenização no sudoeste do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, 2012. ISSN 2236-5664.

SUERTEGARAY, D. M. A.; GUASSELLI, L. A.; VERDUM, R. **Atlas de arenização: Sudoeste do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria de Coordenação e Planejamento, 2001.

SUERTEGARAY, D. M. A.; SILVA, L. A. P. D. Tchê Pampa: histórias da natureza gaúcha. In: PILLAR, V. D. P.; MÜLLER, S. C., et al (Ed.). **Campos Sulinos - conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009. cap. 3, p.403.

TAELMAN, S. E. et al. Accounting for land use in life cycle assessment: the value of NPP as a proxy indicator to assess land use impacts on ecosystems. **Science of the Total Environment**, v. 550, p. 143-156, 2016. ISSN 0048-9697.

TELLES, A. C. V. C.; TELLES, R. Agricultural and Livestock Plans and It's implications in the brazilian Beef Cattle. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, v. 11, n. 1, p. 121-138, 2009.

TRINDADE, J. P. P. **Processos de degradação e regeneração da vegetação campestre do entorno de areais do Sudoeste do Rio Grande do Sul**. 2003. 161 (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

VAN CAUWENBERGH, N. et al. SAFE – A hierarchical framework for assessing the sustainability of agricultural systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 120, p. 229-242, 2007.

VÉLEZ-MARTIN, E. et al. Conversão e Fragmentação. In: PILLAR, V. P. e LANGE, O. (Ed.). **Os Campos do Sul**. Porto Alegre, RS: Rede Campos Sulinos - UFRGS, 2015. cap. 12, p.123-132.

WANG, R. et al. Integrated analysis of productivity and biodiversity in a southern Alberta prairie. **Remote Sensing**, v. 8, n. 3, p. 214, 2016.

WAQUIL, P. D. et al. VANTAGENS COMPARATIVAS REVELADAS E ORIENTAÇÃO REGIONAL DAS EXPORTAÇÕES AGRÍCOLAS BRASILEIRAS PARA A UNIÃO EUROPÉIA. **Revista de Economia e Agronegócio-REA**, v. 2, n. 2, 2015. ISSN 1679-1614.

WEBER, E. U. Experience-based and description-based perceptions of long-term risk: Why global warming does not scare us (yet). **Climatic change**, v. 77, n. 1, p. 103-120, 2006. ISSN 0165-0009.

_____. Experience-based and description-based perceptions of long-term risk: why global warming does not scare us (yet). **Climate Change**, v. 77, p. 17, 2006.

YANG, Q. et al. Assessing regional sustainability using a model of coordinated development index: A case study of mainland China. **Sustainability**, v. 6, n. 12, p. 9282-9304, 2014.

YAO, Y.; AL, E. Active canopy sensor-based precision N management strategy for rice. . **Agronomy Sustainable Development**, v. 32, p. 925-933, 2012.

ZHANG, M. et al. Estimating net primary production of natural grassland and its spatio-temporal distribution in China. **Science of the Total Environment**, v. 553, p. 184-195, 2016. ISSN 0048-9697.

ZILIAK, J. P.; GUNDERSEN, C.; FIGLIO, D. N. Food stamp caseloads over the business cycle. **Southern Economic Journal**, v. 69, n. 4, p. 903-919, Apr 2003. ISSN 0038-4038.

ANEXO 1

1. Indicadores Econômicos

Essas variáveis indicam a situação do município em relação a sua estabilidade econômica e também em relação a situação econômica das propriedades rurais. Remetem a questões monetárias, podendo ser expressadas em Reais ou transformadas em algum índice que indique desigualdade ou contribuição em algum processo.

1.1. *PIB per capita*

Representa o valor monetário da soma de todos os bens e serviços produzidos em uma região, por residentes. Neste modelo, o indicador expressa o nível médio de renda da população por município. Os bens da população refletem a situação econômica local. Município com maiores PIBs retratam locais com maior estabilidade e desenvolvimento econômico (Feijó *et al.*, 2012; Brasil, 2015).

1.2. *Renda per capita*

Indivíduos com rendas maiores possuem maior poder aquisitivo. Considerando a teoria da Piscina de Preocupações (Weber, 2006), a renda maior contribui para o atendimento das necessidades básicas, possibilitando o investimento em outras questões (Magalhães e Miranda, 2009; Brasil, 2015).

1.3. *Índice de THEIL*

Representa a distribuição de renda de uma localidade. Relevante para identificar se a renda de um município está concentrada ou dividida, variando de 0 (perfeita distribuição) a 1 (desigualdade) (Araujo *et al.*, 2008; Brasil, 2015).

1.4. *Exportações totais do município*

Refletem a capacidade comercial do município, políticas voltadas para a comunicação com outros estados ou países, independência econômica e transferência tecnológica. Além disso, indica produtos em conformidade com exigências internacionais, que costumam ser mais rigorosas em relação a atributos intangíveis (Brasil, 2015; Waquil *et al.*, 2015).

1.5. *População economicamente inativa*

Parcela da população que não está exercendo remunerada, em que valores altos implicam em um desbalanço na economia do município. Demonstra indiretamente o nível de desemprego e a quantidade de pessoas que não está produzindo bens e gerando renda (Salvati e Carlucci, 2014).

1.6. Impostos arrecadados

Reflete a quantidade monetária de impostos arrecadados, relacionada com a sustentabilidade porque possibilita maiores investimentos.

1.7. Estabelecimentos com orientação técnica (%)

Estabelecimentos pecuários que utilizam algum tipo de orientação técnica em suas atividades. Importante pois estes proprietários tem mais chance de aprimorar seu processo produtivo e aplicar práticas sustentáveis, bem como apresentar maior produtividade (Felema et al., 2013).

1.8. PIB da pecuária

Valor monetário gerado pela produção de bovinos de corte no município. Associa-se com sustentabilidade no Pampa, pois é a atividade mais adequada para a conservação das pastagens nativo. Logo, municípios com maior PIB proveniente da pecuária demonstram uma pré-disposição para o desenvolvimento sustentável (Overbeck et al., 2007).

1.9. Valor agregado da pecuária no município (%)

Quanto da pecuária contribui para o PIB do município, em que valores altos demonstram a importância da pecuária para o município, indicando também localidades tradicionais para esta atividade e, portanto, municípios que possam desenvolver modelos sustentáveis dessa produção.

1.10. Contribuição da pecuária para o PIB estadual (%)

Quanto da pecuária municipal contribui para o PIB do estado. Demonstra municípios em que a pecuária é considerada importância, indicando localidades tradicionais da pecuária e, portanto, municípios que possam desenvolver modelos sustentáveis dessa produção.

1.11. Estabelecimentos com controle sanitário (%)

O controle de doenças reduz as perdas produtivas, oferecendo maior retorno financeiro ao produtor rural, contribuindo para a qualidade do produto e atendendo aos requisitos legais.

1.12. Valores investidos em 2006 (%)

Indica a preocupação dos proprietários em relação a suas propriedades. Assim, sugere que ele está investindo em melhorias e técnicas de manejo, bem como a manutenção da produção.

1.13. Estabelecimentos com dívida (%)

Reflete a situação econômica das propriedades rurais do município e relaciona-se inversamente com a sustentabilidade, uma vez que muitas dívidas indicam uma dificuldade de investimentos em gestão da propriedade e gestão para sustentabilidade.

1.14. Estabelecimentos agropecuários com produção no ano (%)

Estabelecimentos no município que foram produtivos no ano em questão, demonstrando propriedades improdutivas, prejudiciais para a sustentabilidade do município e da propriedade.

1.15. Taxa de desfrute

Capacidade do município de transformar o seu rebanho em produto, sendo obtida pela relação entre o número de animais vendidos no final do período e o número de animais existentes no início do período, multiplicado por 100 (Oaigen et al., 2011).

2. Indicadores Sociais

As variáveis dessa sessão caracterizam os municípios em relação a quesitos como saúde, desemprego, educação e saneamento básico. Demonstram também a situação das propriedades rurais, em questões como representatividade do sexo feminino, analfabetismo dos dirigentes e concentração de recursos humanos. São representadas geralmente por taxas que expressam como essas variáveis contribuem para o desenvolvimento sustentável.

2.1. População sem saneamento básico (%)

Essencial para a manutenção da qualidade de vida, pois minimiza a transmissão de doenças e garante bem-estar para a população (Brasil, 2015).

2.2. Taxa de analfabetismo

A alfabetização proporciona crianças com maior acesso ao mercado de trabalho e a informações. Além disso, mães alfabetizadas são propensas a ter menos filhos e oferecer a eles melhores condições de vida (Brasil, 2015; Avila e Machado, 2016).

2.3. Taxa de mortalidade infantil

Reflete a condição socioeconômica e a infraestrutura ambiental do município. Relacionada a qualidade dos recursos disponível para a saúde (Pizzo et al., 2014; Brasil, 2015).

2.4. Expectativa de vida

Reflete a qualidade de vida da população, importante porque a idade está diretamente

relacionada as questões de saúde e bem-estar. Valores altos dessa variável indicam políticas adequadas e apontam para um município em desenvolvimento (Campolina et al., 2013).

2.5. Pessoas desocupadas (%)

Reflete a incapacidade do sistema econômico em promover ocupação produtiva a população. Diretamente associada as necessidades básicas da população, uma vez que a ocupação no trabalho gera renda e determina os níveis de pobreza. Números altos dessa variável refletem uma relação inversa com o desenvolvimento sustentável (Gerard e Gonzaga, 2013).

2.6. Relação vínculos X empregadores

Mede a disponibilidade de empregos em relação ao número de empregadores. Esta variável relacionada ao desemprego torna-se importante, pois demonstra a capacidade das empresas em gerar mais empregos. Quanto mais vínculos empregatícios por empresa melhor para o desenvolvimento sustentável (Gerard e Gonzaga, 2013).

2.7. Índice de GINI

Retrata situações de igualdade social nos municípios, variando de 0 a 1, em que zero é perfeita igualdade e 1 é máxima desigualdade. Na relação com a sustentabilidade, quanto mais repartida a riqueza melhor a qualidade de vida e bem-estar da população do município, logo, quanto menor os valores de GINI melhor para o desenvolvimento sustentável (Brasil, 2015a; Carneiro et al., 2016).

2.8. Número total de crimes / População

A criminalidade ocasiona custos socioeconômicos, gerando consequências psicológicas para as pessoas envolvidas. Além disso, está associada a maiores condições de pobreza e falta de estratégias que valorizem a educação. Sendo assim, quanto maior a relação pior para a sustentabilidade (De Carvalho e Taques, 2015).

2.9. Densidade demográfica

Variável que aponta a relação entre o tamanho populacional e a área que esta população está inserida. Densidades altas apontam para um menor número de áreas verdes nas cidades e conseqüentemente maior poluição nos municípios. Além disso, municípios com baixas densidades demográficas são indicativos de locais com maior área rural e maior espaço para a produção de alimentos (Dempsey et al., 2012).

2.10. População rural X urbana

A relação da população rural com a população urbana indica o quanto de recursos humanos estão disponíveis para a produção de alimentos, concentrada em zonas rurais (Marques, 2015).

2.11. Eleitores analfabetos (%)

Reflete a condição da educação do município e da capacidade de escolha de seus líderes, que muitas vezes acaba acontecendo por um aspecto não relacionando as propostas do candidato e sim ao que ele oferece em troca do voto. Espera-se que eleitores alfabetizados consigam escolher melhor seus dirigentes e propiciar uma gestão mais adequada ao município (Brasil, 2015; Moehler e Conroy-Krutz, 2016).

2.12. População com abastecimento de água (%)

Indica parte da condição de saneamento das habitações no município. O acesso a água é direito básico de todo cidadão e reflete situações de vulnerabilidade social de municípios em que uma parcela de sua população não possuiu acesso a água. Além disso, indica também o modelo de gestão dos governantes de resolver problemas de abastecimento de água (Guimarães et al., 2016).

2.13. Lixo coletado (%)

Indica parte da condição de saneamento do município. O lixo não coletado ocasiona a proliferação de doenças indicando áreas de vulnerabilidade social e ambiental (Meyer et al., 2014).

2.14. Dirigentes que não sabe ler e escrever (%)

Variável associada aos dirigentes de propriedades rurais que indica o nível de analfabetismo. Indica a condição do dirigente, portanto valores reduzidos são positivos para a sustentabilidade da propriedade, uma vez que facilita o manejo e a gestão da propriedade.

2.15. Estabelecimentos em que o produtor é associado (%)

Variável que caracteriza a condição de associação do produtor. Estar associado garante direitos e facilidades no processo produtivo, como a organização financeira e logística de uma determinada região e a troca de informações relacionadas a plantios e mercado (Hart et al., 2016).

2.16. Estabelecimentos em que o produtor é proprietário da terra (%)

Indica a propensão a investimentos na terra, uma vez que o quando o produtor é proprietário tem uma maior chance de agregar valor à terra e investir em melhorias, visando eficiência e sustentabilidade dos processos produtivos (Sorice et al., 2014).

2.17. Estabelecimentos em que o produtor reside no estabelecimento (%)

A residência indica que o proprietário é o mesmo dirigente da propriedade em tempo integral, facilitando a tomada de decisões e o manejo do estabelecimento (Sorice et al., 2014).

2.18. Proporção Mulheres X Homens que dirigem propriedades

Indicador de igualdade social nas propriedades rurais, uma vez que o gerenciamento das propriedades é tradicionalmente conduzido por homens.

2.19. Dirigentes com ensino superior (%)

Indica o nível de instrução dos dirigentes das propriedades. Aponta a condição social educativa do dirigente e um indício de maior preocupação com a gestão da propriedade.

2.20. Área destinada para agricultura familiar (%)

Áreas destinadas a agricultura familiar indicam estabelecimentos pequenos e que produzem, normalmente, com auxílio de cooperativas. Áreas grandes com agricultura familiar são indícios um município com pequenos produtores e pequenos estabelecimentos. Esse tipo de produção facilita a aplicação de modelos de produção sustentável.

2.21. Número de estabelecimentos/área

O número de estabelecimentos por área indica a concentração de propriedades rurais na localidade em questão. Municípios com alto valor nessa relação demonstram uma distribuição mais equitativa da produção. Além disso, é indicativo de que as propriedades são menores, o que facilita o processo de gestão sustentável.

3. Indicadores Ambientais

As variáveis dessa sessão têm por objetivo descrever a paisagem do município, bem como características associadas a práticas que impactam os recursos naturais locais. Além disso, visa descrever como as atividades realizadas nas propriedades rurais podem afetar os recursos naturais e a biodiversidade.

3.1. Altitude

Indica a distância média do município em relação ao nível do mar. Municípios com menor altitude possuem características climáticas e fisionômicas mais propícias a produção de

bovinos de corte (Mancinelli et al., 2015).

3.2. Lavouras temporárias (%)

Área dedicada a lavouras temporárias no município. A porcentagem alta de lavouras temporárias descaracteriza a paisagem campestre do bioma e altera as características do solo e da biodiversidade.

3.3. Forrageiras para corte (%)

Área plantada com forrageiras para corte é uma variável descritora do uso da terra e da paisagem do bioma Pampa. A porcentagem alta de áreas com forrageiras descaracteriza a paisagem campestre do bioma e altera as características do solo e da biodiversidade. No entanto, cabe ressaltar a possível necessidade de se manter pequenas áreas com forrageiras para a alimentação de animais nos períodos de inverno, quando o campo perde biomassa.

3.4. Pastagens naturais (%)

As áreas de pastagens naturais são indicativas de um município com vegetação conservada e com áreas naturais do bioma Pampa. É uma variável importante para conservação, uma vez que são nessas áreas em que a produção sustentável é incentivada (Marchand, 2014).

3.5. Pastagens plantadas degradadas (%)

A porcentagem alta de áreas com pastagens degradadas descaracteriza a paisagem campestre do bioma e altera as características do solo e da biodiversidade. Indica áreas com alto impacto de atividades antrópicas, normalmente estando associadas a processos intensivos de produção.

3.6. Pastagens plantadas em boas condições (%)

A porcentagem alta de áreas com forrageiras descaracteriza a paisagem campestre alterando as características do solo e da biodiversidade. No entanto, cabe ressaltar a possível necessidade de se manter pequenas áreas com forrageiras de corte para os períodos de inverno, quando o campo perde biomassa e o gado necessita de alimentação.

3.7. Florestas naturais destinadas à preservação permanente ou reserva legal (%)

As áreas de matas ou florestas naturais destinadas a preservação permanente indicam estabelecimentos preocupados com a conservação do bioma e que estão em conformidade com o Código Florestal.

3.8. Florestas naturais (%)

Variável descritora do uso da terra e da paisagem do bioma Pampa. A presença de florestas naturais indica estabelecimentos com remanescentes da vegetação e biodiversidade nativa da região, sem levar em consideração as áreas de preservação permanente e as florestas em sistemas agroflorestais.

3.9. Florestas plantadas com essências florestais (%)

Variável descritora do uso da terra e da paisagem do bioma Pampa. Áreas de floresta plantada são destinadas a extração de madeira e, portanto, plantada com espécies exóticas. A presença dessas espécies descaracteriza a paisagem natural e impactam a biodiversidade do Bioma Pampa.

3.10. Sistemas agroflorestais (%)

Área cultivada com espécies florestais também usada para lavouras e/ou pastoreio por animais. Os sistemas agroflorestais são possibilidades de conexão da produção de madeira, produção de grãos e de bovinos de corte. A integração entre esses sistemas pode propiciar um menor impacto ambiental e uma maior produtividade.

3.11. Terras degradadas (%)

Área ocupada por terras degradadas (erodidas, desertificadas, salinizadas, etc.). Áreas degradadas indicam processos em que não existe uma preocupação com o uso do solo ou com a conservação da biodiversidade nativa.

3.12. Terras inaproveitáveis para agricultura ou pecuária (%)

Área ocupada por terras inaproveitáveis para agricultura ou pecuária (pântanos, areais, pedreiras, etc.). Variável descritora do uso da terra e da paisagem do bioma Pampa. Áreas ocupadas por terras inaproveitáveis dificultam a produção e tornam o processo produtivo menos eficiente.

3.13. INPP – Índice de Potencial Poluidor

Variável descritora da poluição dos municípios. Os valores elevados indicam municípios com alta liberação de GEE e, portanto, relacionados a alto número de indústrias fora das conformidades e elevado número de veículos que emitem esses gases (Martins, 2005).

3.14. Veículos X número de domicílios

O número de veículos por domicílios foi calculado dividindo o número total da frota veicular no ano em questão, pelo número de domicílios no mesmo ano. Valores baixos desse índice apontam para municípios que utilizam poucos carros, refletindo não apenas uma redução da poluição, mas também uma tendência a mudança nos meios de transporte.

3.15. Estabelecimentos agropecuários que fazem rotação de pastagens (%)

A rotação de pastagens é uma estratégia utilizada para manter diferentes pastos no campo. Conseqüentemente, reduz a possibilidade de compactação e erosão do solo.

3.16. Estabelecimentos que utilizam algum tipo de preparo de solo (%)

O preparo do solo aumenta a produtividade das culturas e é utilizado para aumentar a eficiência da produção. Variável indicadora de proprietários que se preocupam com a gestão e o manejo da propriedade.

3.17. Estabelecimentos que realiza rotação de culturas (%)

A rotação de culturas é uma estratégia para manter diferentes pastos no campo, sendo utilizados aos poucos, por uma quantidade controlada de animais. Conseqüentemente, reduz a possibilidade de compactação e erosão do solo.

3.18. Estabelecimentos que realizam queimadas (%)

As queimadas são técnicas rudimentares de “limpeza” do campo para novas plantações ou para eliminar as gramíneas mortas pelo ressecamento do inverno. Apesar do efeito mantenedor na paisagem campestre, o fogo causa impacto na biodiversidade pela morte de espécies.

3.19. Estabelecimentos que realizam proteção e/ou conservação de encostas (%)

Variável indicativa do nível de preocupação dos proprietários rurais com a legislação de proteção e conservação de encostas, apontando para propriedades que equilibram produção e conservação.

3.20. Estabelecimentos que usam adubação e não necessitam (%)

A adubação é um processo fundamental durante a produção. No entanto, em solos férteis, o excesso de nutrientes causa desbalanço no solo e pode prejudicar o crescimento das plantas. Além disso, pode ser drenado para o lençol freático, causando a poluição das águas locais.

3.21. Estabelecimentos que realizam agricultura orgânica (%)

A agricultura orgânica é um indicativo de uso responsável do solo, da água, do ar e dos demais recursos naturais, respeitando as relações sociais e culturais. Na agricultura orgânica não é permitido o uso de substâncias que coloquem em risco a saúde humana e o meio ambiente. Não são utilizados fertilizantes sintéticos solúveis, agrotóxicos e transgênicos. Portanto, pode ser considerado um indicativo de sustentabilidade nos estabelecimentos que realizam.

3.22. Estabelecimentos que utilizam agrotóxico e não precisam utilizar (%)

A utilização de agrotóxicos, apesar de prejudicial, pode ser necessária para o aumento da eficiência da produção. Entretanto, seu uso pode contaminar o ambiente e comprometer a saúde dos funcionários e da sociedade próxima a produção. Além disso, alguns estabelecimentos utilizam sem necessidade, uma vez que as culturas utilizadas não possuem pragas ou podem ser controladas de outras formas.

3.23. Estabelecimentos com mais de 50 animais que possuem confinamento (%)

O confinamento é uma estratégia utilizada para aumentar a produção em áreas onde a horizontalização é pouco encorajada. No entanto, pode prejudicar o bem-estar dos animais, demanda um sistema de produção de grãos para a alimentação dos animais e enfrenta dificuldades quanto ao descarte de resíduos. Além do mais, em áreas de campo nativo, como o Bioma Pampa, a produção extensiva é a mais recomendada por mesclar técnicas de manejo e conservação dos campos.

ANEXO 2

Roteiros e rotinas do programa R utilizados no Capítulo III

Modelo 1

Relações de Independências Testadas

Bloco 1 – Fatores Climáticos
Bloco 2 – Efetivo
Bloco 3 – Preço
Bloco 4 - NDVI

PATH ANALYSIS

Fri Nov 17 14:10:05 2017
MULTIV 3.55b
Elapsed time: 0.000203 seconds
Number of permutations: 1000
Random number generation initializer: 1510934964

Analysis status:
Data file name: efetivo_24x8.txt
Dimensions: 24 sampling units, 8 variables
Data type: (2) quantitative, different scales
Scalar transformation: (0)none
Vector transformation: (0)none
Session IS saved.

Permutation method: Permutation of all variables (or blocks of variables) at once.

Results for the specified (partial) Procrustes correlations:

Correlation r = 0.277951	P-value = 0.16	Variable block pair:	1	2
Correlation r = 0.190983	P-value = 0.424	Variable block pair:	1	3
Correlation r = 0.259129	P-value = 0.203	Variable block pair:	3	4

Covariable(s) block: 2
Fisher's C statistics (Shipley 2000): 8.57031 P-value chi-square distribution with 6 degrees of freedom = 0.199225

Modelos Lineares

```
> m1 <- lm(BVN ~ PRECO, data = Data)
> summary (m1)
```

Call:
lm(formula = BVN ~ PRECO, data = Data)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.28510	-0.09119	-0.00497	0.11514	0.38929

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	4.525e-07	3.853e-02	0.000	1.0000
PRECO	-4.649e-01	1.888e-01	-2.463	0.0221 *

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1888 on 22 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.2161, Adjusted R-squared: 0.1805

F-statistic: 6.066 on 1 and 22 DF, p-value: 0.02208

```
> m2 <- lm(I(BVN^2) ~ PRECO, data = Data)
> summary(m2)
```

```
Call:
lm(formula = I(BVN^2) ~ PRECO, data = Data)
```

```
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.05910 -0.04056 -0.01401  0.02104  0.18761
```

```
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  0.04167    0.01159   3.596  0.00161 **
PRECO       -0.11302    0.05677  -1.991  0.05906 .
---
```

```
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
Residual standard error: 0.05677 on 22 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.1527, Adjusted R-squared:  0.1141
F-statistic: 3.964 on 1 and 22 DF, p-value: 0.05906
```

```
> m3 <- lm(BVN + I(BVN^2) ~ PRECO, data = Data)
> anova(m8)
```

Analysis of Variance Table

```
Response: BVN + I(BVN^2)
          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
PRECO      1  0.3340  0.33400    6.676 0.01694 *
Residuals 22  1.1007  0.05003
---
```

```
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
> summary(m8)
```

```
Call:
lm(formula = BVN + I(BVN^2) ~ PRECO, data = Data)
```

```
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.29755 -0.12847  0.00417  0.08949  0.57689
```

```
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  0.04167    0.04566   0.913   0.3713
PRECO       -0.57793    0.22368  -2.584   0.0169 *
---
```

```
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

```
Residual standard error: 0.2237 on 22 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.2328, Adjusted R-squared:  0.1979
F-statistic: 6.676 on 1 and 22 DF, p-value: 0.01694
```

```
> round(r.squaredGLMM(m3)*100,2)
```

```
  R2m  R2c
22.5 22.5
```

```
> m4 <- lm(OVN ~ PRECO, data = Data)
> summary(m4)
```

```
> m6 <- lm(log(1+NDVI) ~ log(1+BVN) + I(log(1+(BVN^2))), data = Data)
> anova(m6)
```

Analysis of Variance Table

Response: log(1 + NDVI)

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
log(1 + BVN)	1	0.09794	0.097945	3.3283	0.082358 .
I(log(1 + (BVN^2)))	1	0.27867	0.278669	9.4696	0.005714 **
Residuals	21	0.61798	0.029428		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

> summary(m6)

Call:

```
lm(formula = log(1 + NDVI) ~ log(1 + BVN) + I(log(1 + (BVN^2))),  
    data = Data)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.33845	-0.06405	0.01445	0.08259	0.42975

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.071468	0.047569	1.502	0.14788
log(1 + BVN)	-0.002263	0.209194	-0.011	0.99147
I(log(1 + (BVN^2)))	-2.342201	0.761128	-3.077	0.00571 **

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1715 on 21 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.3787, Adjusted R-squared: 0.3195

F-statistic: 6.399 on 2 and 21 DF, p-value: 0.00676

> round(r.squaredGLMM(m6)*100,2)

R2m	R2c
35.75	35.75

```
> m7<- lm(log(1+NDVI) ~ log(1+TEMP) + I(log(1+TEMP^2)) + log(1+CHUV) +  
I(log(1+CHUV^2)), data = Data)
```

```
> anova(m7)
```

Analysis of Variance Table

Response: log(1 + NDVI)

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
log(1 + TEMP)	1	0.00526	0.005264	0.1407	0.7117
I(log(1 + TEMP^2))	1	0.00000	0.000000	0.0000	0.9976
log(1 + CHUV)	1	0.02103	0.021025	0.5621	0.4626
I(log(1 + CHUV^2))	1	0.25758	0.257581	6.8860	0.0167 *
Residuals	19	0.71072	0.037406		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

> summary(m7)

Call:

```
lm(formula = log(1 + NDVI) ~ log(1 + TEMP) + I(log(1 + TEMP^2)) +  
    log(1 + CHUV) + I(log(1 + CHUV^2)), data = Data)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.34595	-0.09277	-0.01391	0.10796	0.40104

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-0.0002382	0.0620482	-0.004	0.9970
log(1 + TEMP)	0.1782156	0.2017841	0.883	0.3882

```

I(log(1 + TEMP^2)) 1.6317742 1.2007542 1.359 0.1901
log(1 + CHUV) -0.0732348 0.2172684 -0.337 0.7398
I(log(1 + CHUV^2)) -2.1394268 0.8152927 -2.624 0.0167 *
---
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Residual standard error: 0.1934 on 19 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.2854, Adjusted R-squared: 0.135
F-statistic: 1.897 on 4 and 19 DF, p-value: 0.1524

```
> round(r.squaredGLMM(m7)*100,2)
```

```

R2m R2c
24.81 24.81

```

```

> m8 <- lm(log(1+NDVI) ~ log(1+TEMP) + I(log(1+(TEMP^2)))+ log(1+CHUV)
+ I(log(1+(CHUV^2)))) + log(1+BVN) + I(log(1+(BVN^2))), data = Data)
> anova(m8)

```

Analysis of Variance Table

Response: log(1 + NDVI)

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
log(1 + TEMP)	1	0.00526	0.005264	0.2190	0.645774
I(log(1 + (TEMP^2)))	1	0.00000	0.000000	0.0000	0.997021
log(1 + CHUV)	1	0.02103	0.021025	0.8745	0.362809
I(log(1 + (CHUV^2)))	1	0.25758	0.257581	10.7136	0.004482 **
log(1 + BVN)	1	0.15297	0.152975	6.3627	0.021917 *
I(log(1 + (BVN^2)))	1	0.14902	0.149024	6.1984	0.023439 *
Residuals	17	0.40872	0.024043		

```

---
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

```
> summary(m8)
```

Call:

```

lm(formula = log(1 + NDVI) ~ log(1 + TEMP) + I(log(1 + (TEMP^2))) +
log(1 + CHUV) + I(log(1 + (CHUV^2)))) + log(1 + BVN) + I(log(1 +
(BVN^2))), data = Data)

```

Residuals:

```

      Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.30827 -0.09052  0.02516  0.08219  0.30466

```

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.05201	0.05490	0.947	0.3567
log(1 + TEMP)	-0.01344	0.17070	-0.079	0.9382
I(log(1 + (TEMP^2)))	1.55033	0.96294	1.610	0.1258
log(1 + CHUV)	-0.16070	0.17784	-0.904	0.3788
I(log(1 + (CHUV^2)))	-1.77643	0.68627	-2.589	0.0191 *
log(1 + BVN)	-0.18026	0.20391	-0.884	0.3890
I(log(1 + (BVN^2)))	-1.84000	0.73906	-2.490	0.0234 *

```

---
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

Residual standard error: 0.1551 on 17 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.5891, Adjusted R-squared: 0.444
F-statistic: 4.061 on 6 and 17 DF, p-value: 0.01044

```
> round(r.squaredGLMM(m8)*100,2)
```

```

R2m R2c
51.44 51.44

```

```
> AIC(m6)
```

```
[1] -11.71545
```

```
> AIC(m7)
[1] -4.359619
> AIC(m8)
[1] -13.63748
> AIC(m9)
```

Modelo 2

Relações de Independências Testadas

Bloco 1 – Fatores Climáticos
 Bloco 2 – Efetivo
 Bloco 3 – Preço
 Bloco 4 - NDVI

PATH ANALYSIS

Fri Nov 17 18:15:32 2017
 MULTIV 3.55b
 Elapsed time: 0.00214 seconds
 Number of permutations: 10000
 Random number generation initializer: 1510949684

Analysis status:
 Data file name: ndvi_25x8.txt
 Dimensions: 25 sampling units, 8 variables
 Data type: (2) quantitative, different scales
 Scalar transformation: (0)none
 Vector transformation: (0)none
 Session IS saved.

Permutation method: Permutation of all variables (or blocks of variables) at once.

Results for the specified (partial) Procrustes correlations:

Correlation r = 0.0894958	P-value = 0.8742	Variable block pair: 1 2
Covariable(s) block: 4		
Correlation r = 0.209735	P-value = 0.3585	Variable block pair: 1 3
Correlation r = 0.254986	P-value = 0.2099	Variable block pair: 3 4
Fisher's C statistics (Shibley 2000): 5.44279	P-value chi-square distribution with 6 degrees of freedom = 0.488398	

Modelos Lineares

```
> m1 <- lm(log(1+NDVI) ~ log(1+TEMP) + I(log((1+TEMP^2))) +
log(1+CHUV) + I(log((1+CHUV^2))), data = Data)
> anova(m1)
```

Analysis of Variance Table

Response: log(1 + NDVI)

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
log(1 + TEMP)	1	0.01454	0.014538	0.4324	0.518334
I(log((1 + TEMP^2)))	1	0.00001	0.000012	0.0004	0.985136
log(1 + CHUV)	1	0.01570	0.015703	0.4670	0.502216
I(log((1 + CHUV^2)))	1	0.28613	0.286130	8.5092	0.008523 **
Residuals	20	0.67252	0.033626		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
> summary(m1)
```

Call:

```
lm(formula = log(1 + NDVI) ~ log(1 + TEMP) + I(log((1 + TEMP^2))) +
```

```

log(1 + CHUV) + I(log((1 + CHUV^2))), data = Data)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.33104 -0.08501 -0.01152  0.10832  0.38768

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)   -0.004307   0.059520  -0.072  0.94304
log(1 + TEMP)    0.267597   0.188118   1.422  0.17029
I(log((1 + TEMP^2))) 1.924224   1.276072   1.508  0.14721
log(1 + CHUV)   -0.110062   0.201319  -0.547  0.59063
I(log((1 + CHUV^2))) -2.296898   0.787405  -2.917  0.00852 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1834 on 20 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.3199, Adjusted R-squared:  0.1839
F-statistic: 2.352 on 4 and 20 DF, p-value: 0.08886

> m2 <- lm(I(log(1+BVN^2)) ~ log(1+NDVI) + log(1+PRECO), data = Data)
> anova(m2)
Analysis of Variance Table

Response: I(log(1 + BVN^2))
            Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
log(1 + NDVI)  1 0.000404 0.0004037  0.2276 0.637996
log(1 + PRECO)  1 0.014394 0.0143943  8.1171 0.009333 **
Residuals    22 0.039013 0.0017733
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> summary(m2)

Call:
lm(formula = I(log(1 + BVN^2)) ~ log(1 + NDVI) + log(1 + PRECO),
    data = Data)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.05680 -0.02878 -0.01143  0.02845  0.10638

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)   0.035792   0.008490   4.216 0.000356 ***
log(1 + NDVI)  0.005592   0.043304   0.129 0.898430
log(1 + PRECO) -0.124913   0.043844  -2.849 0.009333 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.04211 on 22 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.275, Adjusted R-squared:  0.2091
F-statistic: 4.172 on 2 and 22 DF, p-value: 0.02909

> m3 <- lm(log(1+BVN) ~ log(1+NDVI) + log(1+PRECO), data = Data)
> anova(m3)
Analysis of Variance Table

Response: log(1 + BVN)
            Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
log(1 + NDVI)  1 0.01545 0.015454  0.4439 0.51218
log(1 + PRECO)  1 0.13942 0.139421  4.0046 0.05786 .
Residuals    22 0.76593 0.034815

```

```

---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> summary(m3)

Call:
lm(formula = log(1 + BVN) ~ log(1 + NDVI) + log(1 + PRECO), data =
Data)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.35251 -0.14009  0.00153  0.11387  0.25403

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  -0.02735    0.03762  -0.727   0.4749
log(1 + NDVI) -0.04473    0.19187  -0.233   0.8178
log(1 + PRECO) -0.38876    0.19427  -2.001   0.0579 .
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1866 on 22 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.1682, Adjusted R-squared:  0.09258
F-statistic: 2.224 on 2 and 22 DF, p-value: 0.1319

```

Modelo 3

Relações de Independências Testadas

Bloco 1 – Fatores Climáticos
Bloco 2 – Efetivo
Bloco 3 – Preço
Bloco 4 - NDVI

PATH ANALYSIS

Fri Nov 17 19:21:49 2017
MULTIV 3.55b
Elapsed time: 0.002162 seconds
Number of permutations: 10000
Random number generation initializer: 1510953681

Analysis status:
Data file name: duplo_25x8.txt
Dimensions: 25 sampling units, 8 variables
Data type: (2) quantitative, different scales
Scalar transformation: (0)none
Vector transformation: (0)none
Session IS saved.

Permutation method: Permutation of all variables (or blocks of variables) at once.

Results for the specified (partial) Procrustes correlations:

Correlation r = 0.138014	P-value = 0.6521	Variable block pair:	1	2
Correlation r = 0.274271	P-value = 0.1679	Variable block pair:	1	3
Correlation r = 0.374882	P-value = 0.0651	Variable block pair:	3	4

Fisher's C statistics (Shiplely 2000): 9.88755 P-value chi-square distribution with 6 degrees of freedom = 0.129468

Modelos Lineares

```
> Data <- read.table("data_r_duplo.txt", header=T)
> m1 <- lm(log(1+NDVI) ~ log(1+TEMP) + I(log(1+(TEMP^2)))+ log(1+CHUV)
+ I(log(1+(CHUV^2))) + log(1+BVN) + I(log(1+(BVN^2))), data = Data)
> anova(m1)
```

Analysis of Variance Table

Response: log(1 + NDVI)

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
log(1 + TEMP)	1	0.00586	0.005856	0.1747	0.6809
I(log(1 + (TEMP^2)))	1	0.00000	0.000003	0.0001	0.9925
log(1 + CHUV)	1	0.02005	0.020052	0.5980	0.4494
I(log(1 + (CHUV^2)))	1	0.25881	0.258809	7.7188	0.0124 *
log(1 + BVN)	1	0.09835	0.098347	2.9331	0.1040
I(log(1 + (BVN^2)))	1	0.00902	0.009020	0.2690	0.6103
Residuals	18	0.60354	0.033530		

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```
> summary(m1)
```

Call:

```
lm(formula = log(1 + NDVI) ~ log(1 + TEMP) + I(log(1 + (TEMP^2))) +
log(1 + CHUV) + I(log(1 + (CHUV^2))) + log(1 + BVN) + I(log(1 +
(BVN^2))), data = Data)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.25637	-0.09346	-0.03794	0.10756	0.33210

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	0.01924	0.06164	0.312	0.75858
log(1 + TEMP)	0.17542	0.19308	0.909	0.37560
I(log(1 + (TEMP^2)))	1.81198	1.37453	1.318	0.20395
log(1 + CHUV)	-0.06634	0.21004	-0.316	0.75575
I(log(1 + (CHUV^2)))	-2.42457	0.81817	-2.963	0.00832 **
log(1 + BVN)	-0.25577	0.26799	-0.954	0.35252
I(log(1 + (BVN^2)))	-0.53121	1.02416	-0.519	0.61030

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1831 on 18 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.3938, Adjusted R-squared: 0.1917
F-statistic: 1.949 on 6 and 18 DF, p-value: 0.1274

```
> m4 <- lm(BVN ~ PRECO, data = Data)
```

```
> summary(m4)
```

Call:

```
lm(formula = BVN ~ PRECO, data = Data)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.28689	-0.08124	-0.00771	0.10939	0.39028

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	8.101e-07	3.723e-02	0.000	1.0000
PRECO	-4.506e-01	1.861e-01	-2.421	0.0238 *

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1861 on 23 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.203, Adjusted R-squared: 0.1684
F-statistic: 5.859 on 1 and 23 DF, p-value: 0.0238

```
>  
> m5 <- lm(I(BVN^2) ~ PRECO, data = Data)  
> summary(m5)
```

Call:
lm(formula = I(BVN^2) ~ PRECO, data = Data)

Residuals:
Min 1Q Median 3Q Max
-0.05889 -0.03892 -0.01382 0.02008 0.18644

Coefficients:
Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 0.04000 0.01108 3.611 0.00147 **
PRECO -0.11758 0.05539 -2.123 0.04475 *

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.05539 on 23 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.1638, Adjusted R-squared: 0.1275
F-statistic: 4.506 on 1 and 23 DF, p-value: 0.04475

```
> m6 <- lm(BVN + I(BVN^2) ~ PRECO, data = Data)  
> anova(m6)
```

Analysis of Variance Table

Response: BVN + I(BVN^2)
Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
PRECO 1 0.3228 0.32280 6.7153 0.01632 *
Residuals 23 1.1056 0.04807

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
> summary(m6)

Call:
lm(formula = BVN + I(BVN^2) ~ PRECO, data = Data)

Residuals:
Min 1Q Median 3Q Max
-0.29787 -0.10907 0.00639 0.09038 0.57672

Coefficients:
Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) 0.04000 0.04385 0.912 0.3711
PRECO -0.56816 0.21925 -2.591 0.0163 *

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.2192 on 23 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.226, Adjusted R-squared: 0.1923
F-statistic: 6.715 on 1 and 23 DF, p-value: 0.01632