

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**INFLUÊNCIA DE EVENTOS CLIMÁTICOS ADVERSOS NAS PASTAGENS
NATURAIS MANEJADAS SOB OFERTAS DE FORRAGEM**

Anelise Pereira Hundertmarck
Zootecnista (UFSM)
Mestre em Produção Animal (UFSM)

Tese apresentada como um dos
requisitos à obtenção do Grau de
Doutora em Zootecnia – Área de
concentração: Produção Animal.

Porto Alegre (RS), Brasil

Abril/2023

ANELISE PEREIRA HUNDERTMARCK

**INFLUÊNCIA DE EVENTOS CLIMÁTICOS ADVERSOS NAS PASTAGENS
NATURAIS MANEJADAS SOB OFERTAS DE FORRAGEM**

Tese apresentada como um dos requisitos à
obtenção do Grau de Doutora em Zootecnia –
Área de concentração: Produção Animal.
Faculdade de Agronomia, Universidade Federal
do Rio Grande do Sul.

Orientadora: Carolina Bremm

**Porto Alegre (RS), Brasil
Abril, 2023**

CIP - Catalogação na Publicação

Pereira Hundertmarck, Anelise
INFLUÊNCIA DE EVENTOS CLIMÁTICOS ADVERSOS NAS
PASTAGENS NATURAIS MANEJADAS SOB OFERTAS DE FORRAGEM /
Anelise Pereira Hundertmarck. -- 2023.
82 f.
Orientadora: Carolina Bremm.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia, Porto Alegre, BR-RS, 2023.

1. Bioma Pampa. 2. Eventos ENOS. 3. resiliência
ambiental. 4. Produção Primária . 5. Produção
secundária. I. Bremm, Carolina, orient. II. Título.

Anelise Pereira Hundertmarck
Mestre em Zootecnia

TESE

Submetida como parte dos requisitos
para obtenção do Grau de

DOUTORA EM ZOOTECNIA

Programa de Pós-Graduação em Zootecnia
Faculdade de Agronomia
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Porto Alegre (RS), Brasil

Aprovada em: 13.04.2023
Pela Banca Examinadora

Homologado em: 07/06/2023
Por

DocuSigned by:

CAROLINA BREMM
PPG Zootecnia/UFRGS
Orientadora

Sergio Luiz Vieira
Assinado de forma digital por
Sergio Luiz Vieira
Dados: 2023.06.14 12:35:40 -0300

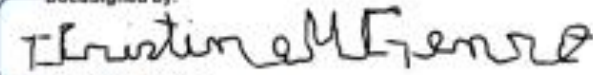
SERGIO LUIZ VIEIRA
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Zootecnia

DocuSigned by:

Jean Victor Savian
INIA (Treinta y Tres)

DocuSigned by:

Martin Alejandro Jaurena Barrios
INIA - Uruguay

DocuSigned by:

Teresa Cristina Moraes Genro
EMBRAPA - Pecuária Sul

Documento assinado digitalmente
 CARLOS ALBERTO BISSANI
Data: 06/06/2023 08:33:27 -0300
Verifique em <http://validar.br.gov.br>

CARLOS ALBERTO BISSANI
Diretor da Faculdade de Agronomia

Dedico à minha família, em especial ao meu filho, Luiz Felipe

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, oportunidades e experiências vividas e amor incondicional.

A minha família. Irmãos, Pai e Mãe, por ser rede de apoio e pela compreensão da ausência. Sem vocês, Eu nada seria. A vocês Pai e Mãe, gratidão especial pelo incentivo, exemplo e amor. Honro as suas histórias e agradeço seus esforços em nos manter no caminho da retidão.

Ao meu filho, Luiz Felipe, pelas mudanças que gerou em mim, trazendo um turbilhão de sentimentos e ensinamentos diários. Contigo aprendi a utilizar o tempo de maneira mais produtiva e a aproveitar a vida no momento presente. Pensando em você e no exemplo a ser deixado não desisti.

Ao meu esposo, Fabricio, pelo apoio, incentivo, auxílio e paciência. Te amo.

A Carolina Bremm, minha orientadora, pela oportunidade em viver a experiência do Doutorado. Pela confiança no desenvolvimento das atividades propostas, pelos ensinamentos, não só nas áreas acadêmicas, mas na forma de conduzir as situações vividas, pela doçura no tratar com todos a sua volta, pelas conversas francas e esclarecedoras em momentos de decisão e pelo apoio incondicional diante das ações necessárias para a manutenção da vida e da família. Hoje sei o significado do Verbo “Carolinizar”. Muito mais que uma forma especial para analisar os dados de pesquisa, é uma atitude em conduzir relações de maneira respeitosa, empática, carinhosa e feminina. Obrigada por ser exemplo.

A minha amiga confidente Lidi, por sempre estar ao meu lado. Pela franqueza e objetividade em que trata os assuntos. Pelo exemplo de força e persistência.

Ao Gpep pelas oportunidades de convívio e trocas acadêmicas. Aos colegas do “Nativão”, obrigada pela ajuda prestada, pela amizade oferecida, pelo acolhimento, tanto profissional quanto pessoal, pelo companheirismo, trabalho e brincadeiras.

Ao PPGZ pela agilidade e oportunidades. Aos professores pelos ensinamentos passados e a UFRGS pela estrutura e peso intelectual.

Ao CNPq pela bolsa concedida.

INFLUÊNCIA DE EVENTOS CLIMÁTICOS ADVERSOS NAS PASTAGENS NATURAIS MANEJADAS SOB OFERTAS DE FORRAGEM

Autora: Anelise Pereira Hundertmarck

Orientadora: Carolina Bremm

RESUMO

Esta tese é composta por dois estudos relacionados à influência das mudanças climáticas na resiliência e produção primária e secundária de pastagens naturais do bioma pampa manejadas sob ofertas de forragem. O primeiro estudo objetivou avaliar a resiliência a eventos de seca nos diferentes arranjos de oferta de forragem em pastagem natural do bioma Pampa, no sul do Brasil. Utilizou-se um banco de dados de protocolo de longa duração, localizado na estação experimental da UFRGS, em uma série temporal de 15 anos. Para isso, foram geradas 3 classes de eventos climáticos, derivadas do índice de evapotranspiração e precipitação padronizado (SPEI). O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, cujo fator de bloqueio foi o tipo de solo, com duas repetições. Os tratamentos consistem em diferentes ofertas de forragem: 4, 8, 8-12, 12 e 16 kg de matéria seca (MS) por 100 kg⁻¹ de peso vivo. Todas as variáveis foram analisadas no software R versão 4.1.1. Quando eventos de seca foram observados, a resiliência e a resistência da pastagem foram avaliadas. Pode-se concluir que as pastagens naturais do bioma Pampa são resistentes à seca e têm essa resposta maximizada quando o ambiente pastoril é submetido a oferta de forragem moderada, como 12%. Já o segundo estudo objetivou avaliar a influência dos eventos ENOS sobre a produção primária e secundária de pastagem natural do bioma Pampa manejada com distintas ofertas de forragem. Devido a predominância de espécies nativas de metabolismo fotossintético C4, foram consideradas as estações de primavera e verão. Os eventos foram classificados conforme a intensidade de precipitação pluviométrica. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos completos casualizados, cujo fator de bloqueamento foi o tipo de solo, com duas repetições. Os tratamentos são constituídos por distintas ofertas de forragem: 4, 8, 8-12, 12 e 16 kg de matéria seca (MS) por 100 kg⁻¹ de peso vivo. Todas as variáveis foram analisadas usando o software R versão 4.1.1. Os resultados deste estudo evidenciam que as anomalias climáticas, medidas a partir da intensidade dos eventos ENOS, são importantes fatores nas respostas da produção primária e secundária em pastagens naturais do bioma Pampa. Com isso, pode-se concluir que pastagens naturais do bioma pampa, quando manejadas sob ofertas de forragem moderada e alta sofrem menor influência das condições climáticas adversas e mantém a produção primária e secundária satisfatória, mesmo com as diferentes manifestações dos eventos ENOS.

Palavras-chave: Bioma Pampa; evento climático; resiliência ambiental; produção primária e secundária, eventos ENOS

¹Tese de Doutorado em Zootecnia – Produção Animal, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil (84p.). Abril. 2023.

INFLUENCE OF ADVERSE CLIMATE EVENTS ON NATURAL PASTURES MANAGED UNDER FORAGE ALLOWANCES¹

Author: Anelise Pereira Hundertmarck
Advisor: Carolina Bremm

ABSTRACT

This thesis consists of two studies related to influence of climate change on the resilience and primary and secondary production of natural pastures of the pampa biome managed under forage allowance. The first study aimed to evaluate the resilience to drought events in different forage allowance arrangements in natural pastures in the Pampa biome, in southern Brazil. A long-term protocol database located at the UFRGS experimental station was used in a 15-year time series. For this, 3 classes of weather events were generated, derived from the standardized evapotranspiration and precipitation index (SPEI). The experimental design used was randomized blocks, whose blocking factor was the type of soil, with two replications. Treatments consist of different forage allowances: 4, 8, 8-12, 12 and 16 kg of dry matter (DM) 100 kg⁻¹ of live weight. All variables were analyzed using R software version 4.1.1. When drought events were observed, pasture resilience and strength were evaluated. It can be concluded that the natural pastures of the Pampa biome are resistant to drought and have this response maximized when the pastoral environment is subjected to moderate forage allowance, such as 12%. The second study aimed to evaluate the influence of ENSO events on the primary and secondary production of natural pasture in the Pampa biome managed with different forage allowances. Due to the predominance of native species with C4 photosynthetic metabolism, the spring and summer seasons were considered. Events were classified according to rainfall intensity. The experimental design used was complete randomized blocks, whose blocking factor was the type of soil, with two replications. The treatments consist of different forage allowances: 4, 8, 8-12, 12 and 16 kg of dry matter (DM) per 100 kg⁻¹ of live weight. All variables were analyzed using the R software version 4.1.1. The results of this study show that climate anomalies, measured from the intensity of ENSO events, are important factors in the responses of primary and secondary production in natural pastures of the Pampa biome. With this, it can be concluded that natural pastures of the Pampa biome, when managed under moderate and high forage allowance, are less influenced by adverse weather conditions and maintain satisfactory primary and secondary production, even with the different manifestations of ENSO events.

Keywords: Pampa biome; weather event; environmental resilience; primary production, ENSO events

¹Doctoral Thesis in Animal Science – Animal Production, Faculty of Agronomy, Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brazil (84p.). April. 2023. Work carried out with financial support from CNPq.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I.....	12
1.INTRODUÇÃO GERAL.....	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 Modelo conceitual	15
2.2 Por que conservar as pastagens naturais e o bioma Pampa?	18
2.3 Fenômenos climáticos adversos e sua influência na região Sul do Brasil.....	20
3. HIPÓTESE E OBJETIVOS.....	22
3.1 Hipótese.....	22
3.2 Objetivo Principal.....	22
3.3 Objetivos Secundários.....	22
CAPÍTULO II.....	23
RESILIENCE OF NATURAL GRASSLAND PRODUCTION IN SOUTHERN BRAZIL SUBJECT TO DROUGHT EVENTS IN DIFFERENT GRAZING INTENSITIES BY RUMINANTS.....	24
ABSTRACT.....	24
1. INTRODUCTION.....	24
2. METHODS.....	26
3. RESULTS.....	30
4. DISCUSSION.....	33
5. CONCLUSION.....	36
6. REFERENCES.....	36
CAPÍTULO III.....	50
INFLUÊNCIA DO FENÔMENO ATMOSFÉRICO EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL (ENOS) NA PRODUÇÃO PRIMÁRIA E SECUNDÁRIA DE PASTAGENS NATURAIS DO BIOMA PAMPA COM DIFERENTES OFERTAS DE FORRAGEM.....	51
RESUMO.....	51
1. INTRODUÇÃO.....	51
2. MÉTODO.....	52
3. RESULTADOS.....	56
4. DISCUSSÃO.....	59
5. CONCLUSÃO.....	62
6. REFERÊNCIAS.....	63
CAPÍTULO IV.....	72
1. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
2. REFERÊNCIAS.....	74
ANEXO	79
VITAE.....	82

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

Table 1 - Air temperature (°C), precipitation (mm) and evapotranspiration (mm) according to climate event classes classified as “control” (normal years); “drought” (dry years) and “wet” (rainy years) recorded in the database used for this study. The months described inside for the variables, differentiated by class correspond to the occurrence of the event.....42

Table 2 - Forage mass, sward height (cm), percentage of tussock, forage accumulation rate, forage allowance and stocking rate in natural pasture of the Pampa biome managed different forage allowance treatments. The averages presented for each variable correspond to the data compiled in the database, from 2005 to 2020..... 44

Table 3 – Forage production and average daily gain of beef cattle grazing in a native grassland of the Pampa biome managed under different forage allowances and classified according to the climatic events (Control, Drought and Wet)..... 47

CAPÍTULO III.....

Tabela 1 – Significado dos efeitos dos fatores experimentais e suas interações na taxa de acúmulo (TAC), taxa de lotação (TLT), ganho médio diário (GMD) e ganho de peso por área (GPA), como resultado da análise de variância (ANOVA).....69

Tabela 2 - Taxa de acúmulo de forragem (TAC; kg MS ha dia⁻¹), taxa de lotação (TLT; Kg de PV ha⁻¹) de base de dados com 15 anos de manejo de pastagem natural do bioma Pampa, nas estações de primavera e verão, sob distintas ofertas de forragem, sob efeito de eventos ENOS. As letras "Maiúsculas" na linha representam as diferenças entre as Ofertas de forragem dentro de cada estação do ano. Já as letras minúsculas na coluna representam a diferença entre eventos ENOS na estação.....70

Tabela 3 - Ganho médio diário (GMD; kg dia⁻¹) e ganho de peso por área mensal (GPA; kg PV ha⁻¹) de base de dados com 15 anos de manutenção de pastagem natural do bioma Pampa, nas estações de primavera e verão, manejada com distintas ofertas de forragem, sob efeito de eventos ENOS. As letras "Minúsculas" na linha representam as diferenças entre as Ofertas de forragem dentro de cada estação do ano. Já as letras "Maiúsculas" na coluna representam a diferença entre eventos ENOS na estação.....71

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I	
Figura 1 – Modelo conceitual proposto.....	15
CAPÍTULO II	
Figure 1- Evolution of the drought index (SPEI) according to the time scale established in the database with 10 years of data collection (from 2005 to 2020), distributed on the “x” axis. The normal weather event pattern refers to 1 SD, plus or minus, from Standard Deviation (SD) = zero, observed on the “y” axis. The adverse weather event is recorded on the curve from 2 SD. When the SD is positive it indicates excessive rainfall and when negative it registers the event of drought.....	41
Figure 2 – Monthly forage production (kg DM ha ⁻¹), from a 10-year time series of evaluation recorded in a database, in natural pasture of the Pampa biome subjected to different forage allowances, according to classes of climatic events (P=0,002).....	45
Figure 3- Monthly average daily gain (kg BW animal day ⁻¹), from a 10-year time series of evaluation recorded in a database, in natural pasture of the Pampa biome subjected to different forage allowances, according to classes of climatic events (P= 3.772e ⁻¹³).....	46
Figure 4 – Resilience of forage production (P= 0.30) of native pastures of the Pampa biome, based on a 10-year evaluation, managed under different forage allowances when subjected to drought events. Letters different from each other in the columns differ by the tukey test (p<0.05).....	48
Figure 5 – Resistance of forage production (P= 0,011) from native pastures of the Pampa biome, based on a 10-year evaluation, managed under different forage allowances when subjected to drought events. Letters different from each other in the columns differ by the tukey test (p<0.05).....	49
CAPÍTULO III	
Figura 1- Precipitação pluviométrica real (A) e Precipitação pluviométrica padronizada (B). Os dados representam o comportamento da precipitação pluviométrica ao longo do ano. As médias são valores calculados a partir de um série de dados de 15 anos.....	67
Figura 2 – Precipitação histórica e precipitação observada em anos de eventos ENOS atípicos. Em A, evidencia-se a ocorrência de evento El Niño Forte, na estação da primavera, com precipitação acima da média. Em B, evidencia-se a ocorrência de La Niña forte, na estação do verão, com chuvas abaixo da média. Já em C, também com chuvas abaixo da média histórica evidencia-se a ocorrência de El Niño Fraco (C.1) e Neutro atípico (C.2). Os dados apresentados representam o comportamento da chuva e da temperatura ao longo do ano. As médias climatológicas são valores calculados a partir de um série de dados de 15 anos observados.....	68

CAPÍTULO I

1.INTRODUÇÃO GERAL

No Sul do Brasil o fenômeno climático de maior relevância se dá pela ocorrência da seca, geralmente intensificada nos meses de primavera e verão, época que coincide com o cultivo das principais culturas das atividades agrícola e pecuária. A seca, diferentemente da estiagem, é um longo período sem chuvas ou com chuvas mal distribuídas, que causam desequilíbrio hidrológico na região atingida (Sbell et al., 2015; Mitchell et al., 2016). Este extremo climático também pode estar atrelado ao fenômeno atmosférico El Niño Oscilação Sul (ENOS), especificamente a sua fase fria, chamada de La Niña, que acarreta a diminuição de precipitações pluviométricas no estado do Rio Grande do Sul (RS). Além da quantidade, verifica-se a redução na distribuição da precipitação pluvial, sendo o número de dias de chuva inferior em anos de La Niña (Matzenauer et al., 2017).

Segundo os dados do último Censo Agropecuário, dos 21,7 milhões de hectares de área ocupados por pela produção agropecuária no RS, aproximadamente 42% são constituídos de pastagens, que sofrem o impacto da escassez de água pela redução do rebrote, ocasionando baixa produção de forragem para ser consumida pelos ruminantes em pastejo. As áreas de pasto mais relevantes no estado e que são consideradas a principal fonte nutricional para bovinos em pastoreio são as naturais do Pampa (Nabinger et al., 2006), fração brasileira do bioma que ocupa uma área de 178 mil Km², ou seja, 63% do território gaúcho e 2,1% do território nacional (Bencke et al., 2016). Esse ambiente tem como principais características a diversidade florística. São mais de 400 espécies de gramíneas (Poaceae) e 150 de leguminosas (Fabaceae) de interesse forrageiro (Boldrini, 2020) compondo uma estrutura de duplo estrato. As pastagens nativas representam um valioso recurso natural pois são renováveis e resilientes e, aliado a isso, sua exploração gera rendimentos, estabelecendo, quando bem manejado, um exemplo de sistema de produção autossustentável.

A capacidade de resistir ou adapta-se e manter as principais características quando sujeito a eventos de perturbação, como as mudanças climáticas ou pastoreio, pode ser medido por meio de estudos sobre resiliência (Peterson et al., 2020; Li et al., 2019; Sbell et al., 2015). Para ambientes pastoris naturais, a resiliência é particularmente importante pois caracteriza a resistência a condições ambientais estressantes e/ou a capacidade de responder a condições favoráveis ou se recuperar após distúrbios (Bergamaschi et al., 2003; Boldrini & Eggers, 1996; Pinto, Wallau e Boldrini, 2019).

Pastagens naturais são um recurso essencial para a exploração pecuária no Rio Grande do Sul e, para otimizar a utilização desse recurso e minimizar os impactos da ocorrência de eventos extremos, torna-se necessário desenvolver estratégias de manejo que abrangem o uso de técnicas de pastoreio alicerçadas na quantidade de forragem presente no pasto, levando em consideração

a interface planta: animal. Existem dúvidas acerca da formação estrutural da vegetação em ambientes pastoris complexos e da forma como o comportamento ingestivo e a composição da dieta são afetados (Pinto et al., 2007; Gonçalves, 2007). Segundo Carvalho et al. (2007) o conceito de oferta de forragem fez avançar o conhecimento sobre o manejo das pastagens, pois atrelou a lotação animal a uma quantidade de forragem disponível na pastagem. Nesta perspectiva, as taxas de lotação passaram a ser uma consequência da quantidade de forragem disponibilizada a qual, em última análise, é reflexo da oferta de recursos tróficos do ambiente, bem como da capacidade da comunidade vegetal em capturá-los. Assim, a limitação para o desempenho animal não seria a concentração em nutrientes da forragem, mas sim a quantidade total de forragem que os animais conseguiriam colher e ingerir (Carvalho et al., 2007).

Como consequência da maior frequência de ocorrência de secas atualmente, esse tema torna-se ainda mais relevante. Também, não está claro como os fenômenos climáticos (Matzenauer et al., 2017) afetam as comunidades de plantas forrageiras no Sul do Brasil. Diante destes fatos, estudos relacionados a influência dos eventos climáticos, somados aos distúrbios causado pelo pastoreio, tornam-se interessantes e podem auxiliar para a manutenção dos ecossistemas naturais com bons índices produtivos.

Esta tese apresenta-se em capítulos. No primeiro, está proposto o modelo conceitual que embasa esse estudo, bem como uma breve revisão bibliográfica acerca dos pontos mais relevantes a serem analisados: a importância dos ecossistemas naturais e do bioma Pampa; as influências do pastoreio sob diferentes ofertas de forragem, nas produções primária e secundária e na resiliência de produção quando a vegetação é exposta a fenômenos climáticos adversos, principalmente relacionados a ocorrência da seca. No Capítulo II pode-se inferir sobre a resiliência das pastagens naturais do bioma Pampa. O terceiro capítulo, traz a análise do efeito dos eventos ENOS e diferentes ofertas de forragem na produção primária e secundária de pastagem natural do bioma Pampa. As duas pesquisas foram realizadas com uso de base de dados abrangendo o intervalo anual de 2005 à 2020. Por fim, as considerações finais ressaltam a importância de protocolos experimentais de longa duração e perspectivas para as pesquisas futuras.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Modelo conceitual

Essa pesquisa é fundamentada pelo modelo conceitual proposto na Figura 1, que descreve as interações sistêmicas de um ambiente de pastoril natural do bioma Pampa.

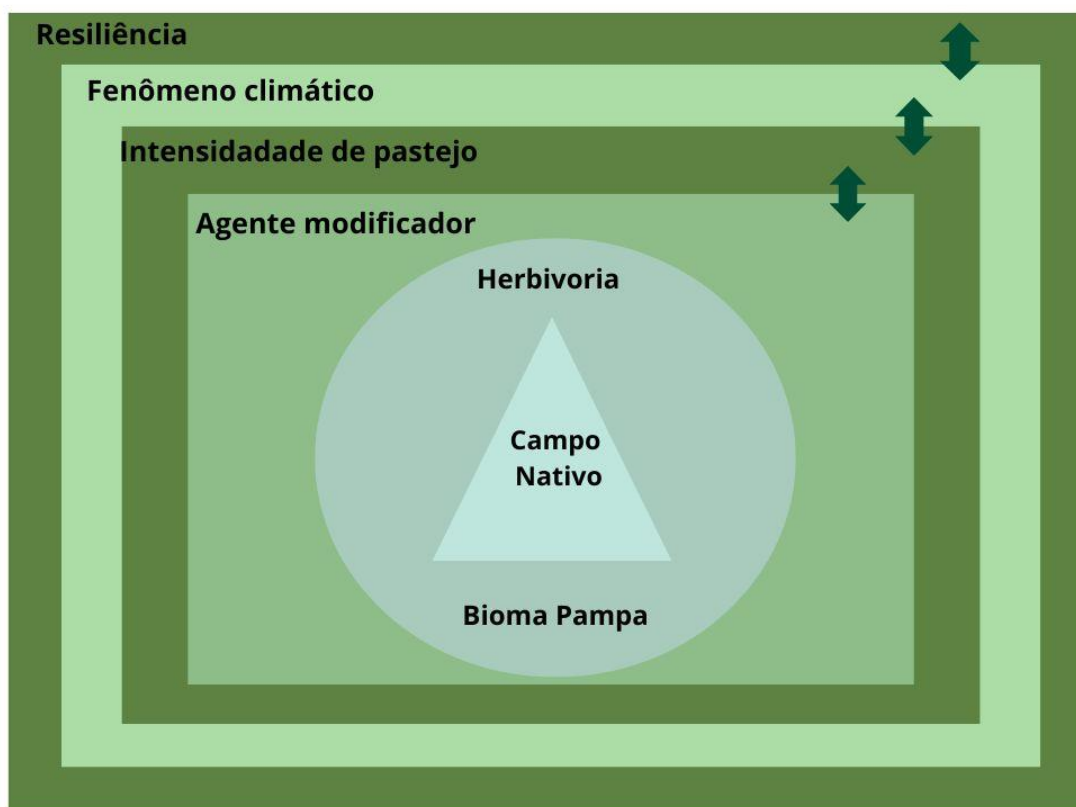


Figura 1 – Modelo conceitual que descreve as interações sistêmicas em um ambiente pastoril natural no sul do Brasil, sob efeito de diferentes intensidades de pastoreio e o fenômeno climático da seca na resiliência da produção primária e secundária.

O tema central deste estudo são as pastagens naturais do bioma Pampa. As características desse bioma foram determinadas, basicamente, por eventos de clima, fogo e herbivoria, sofridos ao longo de milhares de anos. Esse bioma é caracterizado por um compor um mosaico de vegetação campestre e arbustiva. Segundo Overbeck et al. (2009), o bioma Pampa tem aptidão para a criação pecuária, especialmente bovinos, ovinos, caprinos e equinos, uma vez que a diversidade de flora oferece pastagens nativas adequadas à realização dessa atividade. Com a chegada dos colonizadores europeus, para cá foi trazido o gado. Desde então, os bovinos têm

contribuído para a manutenção das características da vegetação, moldando a história e a cultura do povo. A atividade pecuária tem grande importância econômica, representando PIB estadual de R\$ 4,5 bilhões em 2018 (SEAPDR, 2019). No Brasil, o Pampa compõe o ecossistema dos chamados Campos Sulinos e foi reconhecido como bioma há relativamente pouco tempo, no ano de 2004, quando o território deixou de ser considerado parte do bioma Mata Atlântica (Carvalho et al., 2006).

Partindo do centro do modelo conceitual para as extremidades, interações sistêmicas entre a ação da herbivoria, exercida por bovinos, o agente modificador (pecuarista) e a intensidade de pastejo sob espécies forrageiras naturais determinam a forma como o ambiente é explorado e causam efeito, seja ele positivo ou negativo, para o equilíbrio do sistema. Fenômenos climáticos interagem nesse ambiente e, dependendo da sua intensidade, podem gerar um desequilíbrio no sistema pré-existente. Dados do IBGE (2022), com a seca registrada na safra 2020/2021, foi contabilizada uma queda no PIB do estado, determinada principalmente pelas retrações do setor agropecuário (-29,6%). A agricultura registrou queda de 37,2% e a pecuária uma redução de 11,4%, em 2020. A recuperação da seca que afetou a produção do campo no estado em 2020/2021 juntamente com a produção industrial do Estado ocorreu em 2021, elevando o resultado da econômico do setor, com registro de alta em torno de 10,4 % no ano. Em 2022, o PIB do Estado somou R\$ 582,9 bilhões com avanços significativos na Agropecuária (67,5%) e na Indústria (9,7%).

Com o objetivo de melhor explicar as interações do sistema, o exemplo a seguir descreve o efeito negativo causado pelo excesso de lotação de bovinos no pasto, como ocorre com manejo de oferta de forragem de 4 % do PV, representando alta intensidade de pastejo. Esses eventos de pastejo intensos determinaram ao longo dos anos um cenário de degradação dos solos e das pastagens naturais. Conseqüentemente, a produção animal reduzida e seu conseqüente baixo resultado econômico dificultam a manutenção da estrutura da propriedade rural, tornando a conversão de áreas de pastagem natural em monoculturas atrativas com solução financeira imediata. Diante desse cenário, acrescenta-se que o Pampa vem sofrendo diversas pressões, com gradativa e acentuada perda da biodiversidade diante da conversão de solos para lavouras como cultivos agrícolas e silvicultura (Matte e Waquil, 2020; Jaurena et al., 2021).

Em busca de manejos otimizados para ambientes pastoris naturais no sul do Brasil, a intensidade de pastejo torna-se uma ferramenta necessária e auxilia na visualização das respostas do meio que podem ser usadas para determinar diferentes estratégias de manejo. O conceito de oferta de forragem contribuiu para o avanço da pesquisa em manejo de pastagens, pois experimentos com animais em pastejo passaram a ser comparáveis e, nesta nova perspectiva, as taxas de lotação se tornaram reflexo da oferta de recursos tróficos e da capacidade da comunidade

vegetal em capturá-los (Carvalho et al., 2007). Amplitudes de ofertas de forragem de 4% a 16% do peso vivo (PV) em pastagem natural proporcionam variações acentuadas na estrutura do pasto (Maraschin, 2001). Para melhorar os processos de produção e garantir um equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e a conservação ecológica (Holden et al., 2014; Overbeck et al., 2015), a pecuária em ecossistemas pastoris naturais pode ser otimizada ajustando a oferta de forragem para os bovinos em pastejo. O pastoreio sob oferta moderada de forragem, maximiza a produção vegetal pelo controle da estrutura da vegetação. Além disso, retarda a sucessão ecológica e mantém a fisionomia e a diversidade de espécies vegetais, otimizando a produção animal e garantindo a manutenção do peso dos animais durante o período de inverno (Neves et al., 2009). A conversão de áreas nativas em monoculturas trás reflexos, como a ocorrência de fenômenos climáticos extremos com maior frequência e influenciados pela antropização do ambiente (Overbeck et al., 2007, Jacobsen et al., 2003, Maia et al., 2022). A ocorrência de fenômenos climáticos adversos acentua os efeitos do mau manejo e distanciam a pecuária tradicional de índices satisfatórios para o desenvolvimento da atividade. As mudanças climáticas induzidas pelo homem contribuíram para o aumento das secas agrícolas e ecológicas em algumas regiões devido ao aumento da evapotranspiração da terra. Nas últimas décadas, vários episódios de extremos climáticos impactaram os ecossistemas globais. Nessa perspectiva, a manutenção de ecossistemas de pastagens naturais torna-se uma excelente alternativa tanto para a produção animal quanto para a preservação ambiental e a prestação de serviços ecossistêmicos (Modernell et al., 2016).

A capacidade de resistir ou adaptar e manter características-chave quando submetidas a eventos de perturbação, como mudanças climáticas ou pastoreio, pode ser medida por meio de estudos de resiliência (Walker, 2023; Sbell et al., 2015). Para ambientes pastoris naturais, a resiliência é particularmente importante, pois caracteriza a resistência a condições ambientais estressantes e/ou a capacidade de responder a condições favoráveis ou se recuperar após distúrbios (Li et al., 2019). Um ecossistema resiliente tem a capacidade de absorver uma perturbação (secas, incêndios, entre outros), mantendo essencialmente a mesma estrutura e função (Holling, 1973). O ecossistema pode ser resiliente porque resiste ou se recupera de perturbações. Em ecossistemas de pastagens, a resiliência tem sido associada à diversidade da vegetação com base na hipótese que ecossistemas mais diversos (em termos de número de espécies) serão mais resilientes (resistem melhor a uma perturbação) porque há maior probabilidade de existência de uma ou mais espécies tolerantes ao estressor ou perturbação. (Yachi e Loreau, 1999; Van Ruijven e Berendse, 2010; Isbell et al., 2015). A perturbação reduz a abundância das espécies menos tolerantes, as mais tolerantes podem compensar, até certo ponto, e manter a relativa estabilidade do sistema (Yachi e Loreau, 1999; van Ruijven e Berendse, 2010; Lin, 2011). Estudos recentes também exploram outros aspectos da diversidade, como uniformidade e diversidade funcional (Craven et

al., 2018; Biggs et al., 2020; Wilcox et al., 2020), entre outros, como variáveis que também podem contribuir para a resiliência do ecossistema. Assim, um ecossistema pode ser resiliente por ser resistente a uma perturbação e/ou por se recuperar após o evento de perturbação (Isbell et al., 2015).

2.2 Por que conservar as pastagens naturais e o bioma Pampa?

Os ecossistemas pastoris naturais originam-se, principalmente, por processos relacionados ao clima, queimadas e pelo pastejo por animais selvagens (Paruelo et al., 2022). São usados para a pecuária e, para que sua utilização e conservação sejam otimizadas, práticas de manejo sustentáveis devem ser adotadas para seu gerenciamento (Bengtsson et al., 2019). Cerca de 25% da superfície terrestre abrange regiões cuja fisionomia se caracteriza pela cobertura vegetal com predomínio de pastagens naturais. No entanto, estes ecossistemas estão entre os menos protegidos em todo o planeta. O percentual de áreas protegidas dos campos é muito inferior a outros biomas, notadamente os florestais, tendo em vista que menos de 0,7% de sua superfície está inserida em áreas protegidas. Na realidade da América do Sul, esses índices são ainda mais preocupantes, tendo em vista que possuem apenas 0,3% de locais resguardados por lei (Henwood, 2010).

Na América do Sul, os campos se estendem por uma área de aproximadamente 750 mil Km², compartilhada por Brasil, Uruguai e Argentina e Paraguai. Na porção brasileira, os campos naturais caracterizam-se por ser um mosaico de vegetação campestre e arbustiva, campos limpos e campos sujos (Overbeck et al., 2009).

O Pampa está restrito ao estado do Rio Grande do Sul, onde ocupa uma área de 193.8km² (IBGE, 2019). Isto corresponde a 69% do território estadual e a 2,3% do território brasileiro, e é o bioma menos protegido pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), visto que tem a menor proporção de áreas legalmente protegidas se comparado com os demais biomas do Brasil (Litre e Bursztyn, 2015). Conforme dados do Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2020), somente 3,0% das unidades de conservação do país se encontram no Pampa, o que equivale a 5.876 km², razão para a sua conservação e manutenção de suas propriedades ecológicas e características fisionômicas (Nabinger et al, 2006; Overbeck et al, 2007). A atividade pecuária está presente no bioma Pampa há mais de 300 anos. Não se trata apenas de uma atividade produtiva, mas de um modo de vida de pessoas que tem sua dinâmica sociocultural e econômica diretamente relacionada à criação de animais.

As paisagens naturais do Pampa são variadas, de serras a planícies, de morros rupestres a coxilhas. O bioma exibe um imenso patrimônio cultural associado à biodiversidade. As paisagens

naturais do Pampa se caracterizam pelo predomínio dos campos nativos, mas há também a presença de matas ciliares, matas de encosta, matas de pau-ferro, formações arbustivas, butiazais, banhados, afloramentos rochosos, etc. Esse ecossistema abriga uma ampla diversidade florística (Boldrini, 2020). Como o bioma está situado abaixo do paralelo geográfico 30, em uma região classificada como subtropical, é o limite sul de distribuição de muitas espécies vegetais tropicais, cujo centro de diversidade localiza-se no Brasil central, e outras de origem temperada, que se distribuem ao sul do continente e encontram seu limite mais setentrional nesse paralelo. Por essa ser uma região de encontro de diferentes contingentes de floras, a riqueza específica é muito alta (2.150 spp.), pois convivem, aqui, espécies de gramíneas, p. ex., de metabolismo fotossintético C4, que são as que apresentam alta produtividade vegetal, com espécies de metabolismo C3, que são as que apresentam maior qualidade, com menores teores de lignina e maiores teores de proteína (Boldrini, 2020). Além da riqueza específica alta, muitos endemismos são encontrados nesses campos (260 spp.), pois é uma região de formação geológica muito antiga, com muitos ecossistemas associados, forçando as espécies a se adaptarem ao longo do tempo aos diferentes ambientes. São mais de 400 espécies de gramíneas (Poaceae) e 150 de leguminosas (Fabaceae) de interesse forrageiro (Boldrini, 2020), entre outras famílias, constituindo a base alimentar de 10,4 milhões de bovinos de corte e 2,7 milhões de ovinos (SEAPDR, 2023).

Em função da atividade pecuária e de outras atividades agropecuárias, o bioma sofre alterações em toda a sua biodiversidade. Com a introdução das monoculturas, os processos de degradação se expandem em algumas áreas. Estes processos são advindos da própria mecanização dos solos, que desencadeou e aumentou processos que são naturais e que se aceleraram devido à forma agressiva de como essas monoculturas foram desenvolvidas. A falta de conhecimento básico sobre a biodiversidade dos campos nativos e o baixo número de áreas efetivamente protegidas em Unidades de Conservação torna o bioma Pampa negligenciado (Overbeck et al., 2007).

Os campos naturais são um recurso essencial para a exploração pecuária no Rio Grande do Sul e representam a principal fonte alimentar de seus rebanhos, bovino e ovino, sendo responsável por mais de 90% da alimentação destes animais (Nabinger et al., 2006). A atividade pecuária desenvolvida nesse ambiente campestre foi, desde o início, extensiva e até os dias atuais é manejada com uso de conhecimento empírico, baixa utilização de tecnologias de processos e baixo investimento de capital. As consequências são o pastejo excessivo e redução das áreas de pastagens naturais, instigando o dilema “produção versus conservação” (Carvalho e Batello, 2009). Esses fatores contribuíram para que uma situação econômica desfavorável se instalasse no ambiente rural pecuário, em função da baixa produtividade, lucratividade e rentabilidade (Oliveira et al., 2017).

A presença do animal no ecossistema pastoril contribui para a manutenção da biodiversidade. De acordo com Santos et al. (2012) os animais são capazes de moldar as estruturas das pastagens tanto verticalmente como horizontalmente. Segundo Boldrini (2020), inúmeros benefícios resultam da adoção de campos bem manejados, ou seja, devem cobrir totalmente o solo não deixando a superfície descoberta. Dentre os benefícios, cabe destacar: é um impedimento para a entrada de espécies invasoras, como o capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees); potencializa a regulação hídrica através da infiltração da água no solo; atua na prevenção e controle de erosão, devido à grande quantidade de raízes na camada superficial do solo; o estoque de C no solo é mantido via matéria orgânica, já que a vegetação está constantemente sendo consumida pelos animais e, ao mesmo tempo, renovada; a interação planta – polinizador é garantida, a qual é essencial para a formação de sementes de muitas espécies vegetais; e é fonte forrageira para produção pecuária. Toda uma fauna associada à vegetação campestre, como insetos, répteis, aves, mamíferos e a meso e microfauna que vivem no solo, é dependente direta dessa formação vegetal para a sua sobrevivência e todos têm um papel interligado na dinâmica do sistema (Boldrini, 2020).

A perda de biodiversidade compromete o potencial de desenvolvimento sustentável da região, seja perda de espécies de valor forrageiro, alimentar, ornamental e medicinal, seja pelo comprometimento dos serviços ambientais proporcionados pela vegetação campestre, como o controle da erosão do solo e o sequestro de carbono que atenua as mudanças climáticas, por exemplo (Bengtsson et al., 2019). A pecuária, além de ser uma atividade econômica muito importante para a região, tem o potencial de contribuir para a conservação desses campos (Overbeck et al., 2007) em terras em sua maioria privadas (Redo et al., 2012). Além dos efeitos do pastoreio e do fogo, as secas episódicas de verão são uma perturbação de grande escala (regional ou sub-regional) que opera nesses sistemas (Oesterheld et al., 1999), e espera-se que sejam mais frequentes e graves devido às mudanças climáticas (IPCC, 2014).

2.3 Fenômenos climáticos adversos e sua influência na região Sul do Brasil

Mudanças anômalas na Temperatura Superficial do Mar geram alterações consideráveis no padrão de circulação das células de circulação geral atmosféricas, causando modulações nos sistemas atmosféricos terrestres (Pezzi, 2016). Os chamados “moduladores climáticos”, como El Niño Oscilação Sul (ENOS), “Dipolo do Atlântico”, “Oscilação Decadal do Pacífico”, “Oscilação Interdecadal do Pacífico” são exemplos de mecanismos oceano - atmosféricos caracterizados como uma mudança anômala (ou cíclica) na temperatura superficial do mar e que causam alterações climáticas em torno do globo. O ENOS é o modulador climático que possui a maior frequência e variabilidade, ocorre no Oceano Pacífico Tropical e é considerado como a principal

causa da variabilidade climática em diversas regiões do globo, que apresenta duas fases opostas: uma fase quente denominada El Niño e uma fase fria denominada La Niña (Berlato e Fontana, 2003). O Brasil, por ser um país de extensão territorial continental, sofre diferentes impactos do ENOS de acordo com a latitude (De Oliveira e Satyamurty, 1998). Tais alterações incluem déficit ou superávit de variáveis meteorológicas de precipitação, umidade e radiação solar, causando impactos em diversos setores industriais e econômicos. Nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, o El Niño causa déficit pluviométrico e conseqüentemente, tempo seco. No entanto, na região centro sul brasileira, acarreta a elevação pluviométrica e da umidade. A La Niña tem efeito oposto, causando superávit pluviométrico nas regiões norte e nordeste e seca no centro sul do Brasil (Marengo e Oliveira, 1998).

O estado do RS está inserido em dois diferentes biomas: a Mata Atlântica, que segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), ocupa cerca de 37% do estado, e o Pampa que ocupa 63%. Estes biomas apresentaram alterações antrópicas ao longo do tempo, principalmente pela pecuária e por atividades agrícolas (Lopes e Berlato, 2000; Jacobsen et al., 2003). O bioma Pampa brasileiro está inserido em uma região de clima subtropical úmido apresentando uma boa distribuição pluviométrica durante todo o ano (Teixeira e Pietro, 2020), o que propicia no forte desenvolvimento de atividades agrícolas, principalmente da pecuária devido a predominância da vegetação de gramíneas. Embora observe-se uma boa distribuição temporal da precipitação nas estações do ano no bioma Pampa, a variabilidade interanual dessa variável meteorológica é apresentada como o principal fator limitante às culturas na primavera e verão, responsável por oscilações na produção agrícola da região.

3. HIPÓTESE E OBJETIVOS

3.1 Hipótese

A hipótese central desse estudo é que pastagens naturais do bioma Pampa quando manejadas sob ofertas de forragem moderadas como as mantidas entre 8 e 12 Kg de MS para cada 100 kg de PV., são mais resilientes e mantém a produção primária e secundária satisfatória mesmo sob influência de eventos climáticos.

3.2 Objetivo Principal

Avaliar a influência de eventos climáticos, principalmente relacionados a seca, na resiliência e produção primária e secundária do campo nativo Do bioma Pampa.

3.3 Objetivos Secundários

Estudar a influência dos eventos de seca na resiliência e estabilidade do campo nativo do bioma Pampa manejado sob diferentes ofertas de forragem.

Detectar a intensidade dos eventos ENOS e se isso influencia nas respostas produtivas de pastagens naturais do bioma pampa.

Estudar a influência de eventos ENOS na produção primária de pastagens naturais do bioma pampa, principalmente na fase fria, La Niña.

Estudar a influência de eventos ENOS na produção secundária de pastagens naturais do bioma pampa, principalmente na fase fria, La Niña.

CAPÍTULO II

1 **RESILIENCE OF NATURAL GRASSLAND PRODUCTION IN SOUTHERN**
2 **BRAZIL MANAGED UNDER DIFFERENT GRAZING INTENSITIES:**
3 **IMPLICATIONS FOR DROUGHT EVENTS**

4
5 **ABSTRACT**

6 This study was conducted with the objective of evaluating the resilience to drought events
7 in the different forage allowance arrangements in natural pasture of the Pampa Biome, in southern
8 Brazil, testing its productive potential as a strategy for recovery or adaptation of its functionality
9 during and after an adverse event. The study used a database of a long-term protocol, located at
10 the experimental station of the Federal University of Rio Grande do Sul, over a time series of 15
11 years. For this, 3 classes of climatic events Control, Drought and Wet were generated, derived
12 from the standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI). The experimental design
13 used was complete randomized blocks, whose blocking factor was the type of soil, with two
14 replications. The treatments consist of different forage allowances: 4, 8, 8-12, 12 and 16 kg of dry
15 matter (DM) 100 kg⁻¹ of live weight. All variables were analyzed using R software version 4.1.1.
16 According to the classification adopted, in January and February, there is no record of excessive
17 rain. Likewise, in the months from March to October, no drought events were recorded. When
18 drought events were observed, yield resilience and resistance were evaluated. It can be concluded
19 that natural pastures of the Pampa biome are resilient and resistant to drought events, regardless
20 of the forage allowance to which they are submitted. In general terms, the moderate forage
21 allowance, 12%, maintained the best results for the analyzed variables.

22
23
24 **Keywords:** Pampa Biome; extreme weather event; environmental resilience; primary
25 production; secondary production

26
27 **1. INTRODUCTION**

28 In southern Brazil, the most relevant extreme weather event is the occurrence of drought,
29 usually intensified in the spring and summer months, a time that coincides with the cultivation of
30 the main crops of agricultural and livestock activities. Drought is a long period without rain or
31 with poorly distributed rains, which causes hydrological imbalances in a specific region [1,2]. In
32 addition to little rain, currently, the air is also dry, and rivers, reserves and even the levels of

33 available water in the subsoil decrease. Added to the heat of the summer season, the water deficit
34 ends up being feedback, as the plants increase evapotranspiration to reduce the temperature and,
35 thus, become more dehydrated and with fewer nutrients [3, 4].

36 According to data from the last Brazilian Agricultural Census [5], of the 21.7 million
37 hectares occupied by the 365,1 agricultural establishments in Rio Grande do Sul state,
38 approximately 42% are made up of pastures. These suffer the impact of water scarcity due to the
39 reduction of regrowth, causing low forage production to be consumed by grazers. Rio Grande do
40 Sul's economic is based on soy and corn crops and the maintenance of good livestock production
41 rates. Both activities are important and correlated, since the record of production failure in
42 agricultural activity leads to increased costs with livestock inputs related to animal nutrition.

43 Natural pastures are ecosystems created mainly by processes related to climate, fires and
44 grazing. The livestock activity carried out in southern Brazil has as its main forage base, the
45 natural grasslands of the Pampa Biome, whose most species recognized in this environment are
46 C4 grasses, legumes and other composite species that can be used for livestock and wildlife
47 production [6]. Its area occupies about 178,000 km², which corresponds to 63% of the state
48 territory and 2.1% of the national territory. It is part of an extensive natural region that represents
49 750,000 km² that covers the Uruguayan territory, part of Argentina and Paraguay, housing a
50 particular and diverse wildlife [7].

51 The livestock activity developed in this environment was extensive from the beginning
52 and until the present day, it is managed with low use of process technologies, i.e., with the use of
53 empirical knowledge and without the adoption of inputs to maximize production, and low capital
54 investment, generating degradation and low productivity [8]. These facts contributed to the
55 establishment of an unfavorable economic situation, becoming the main cause of the change in
56 land use [9] and the conversion of these areas to more profitable agricultural crops.

57 According to [10], human-induced climate change has contributed to the increase in
58 agricultural and ecological droughts in some regions due to increased evapotranspiration from the
59 land. In recent decades, several episodes of climate extremes have impacted global ecosystems.
60 From this perspective, maintaining natural pasture ecosystems becomes an excellent alternative
61 for both animal production and environmental preservation and the provision of ecosystem
62 services [11].

63 To improve production processes and ensure a balance between economic development
64 and ecological conservation [12, 13, 14], livestock in natural pastoral ecosystems can be
65 optimized by adjusting forage offered by animals under grazing conditions. Grazing management,
66 under moderate forage allowance, maximizes plant production by controlling the vegetation
67 structure [15]. In addition, it delays ecological succession and maintains the physiognomy and

68 diversity of plant species and improves animal production, ensuring the maintenance of weight
69 of animals grazing during the winter period [16].

70 The ability to resist or adapt and maintain key traits when subjected to disturbance events
71 such as climate change or grazing can be measured through resilience studies [17, 18, 1]. For
72 natural pastoral environments, resilience is particularly important as it characterizes resistance to
73 stressful environmental conditions and/or the ability to respond to favorable conditions or recover
74 after any disturbances [19].

75 Studies on the resilience of pastoral environments to climate events suggest that
76 biodiversity primarily stabilizes ecosystem productivity and productivity-dependent ecosystem
77 services, increasing resilience to climate events [1]. The same authors suggest that anthropogenic
78 environmental changes that lead to the loss of biodiversity seem to decrease the stability of the
79 ecosystem, altering the resistance of the environment to climatic events. Despite these results, it
80 is still unclear how climate disturbances or grazing systems affect natural forage plant
81 communities. Given these facts, it becomes relevant to evaluate the influence of climatic events,
82 here focused on the drought events, together with the disturbance caused by grazing pressure, for
83 the maintenance of natural ecosystems with good productive rates.

84 The objective of this study was to evaluate the resilience of natural grassland of the Pampa
85 Biome, managed under different forage allowance arrangements, when exposed to drought
86 events, testing its productive potential as a strategy for recovery or adaptation of its functionality
87 after an adverse event. Our hypothesis is that the use of moderate forage allowance, i.e., between
88 8 and 12%, provides greater resilience of production to the natural pastoral environment when
89 there is a disturbance caused by drought events.

90

91 **2. METHODS**

92 Area characterization and treatments

93 This study was carried out using the database generated by experimental evaluations in a
94 long-term experimental protocol, established in a natural pasture area of the Pampa Biome, in
95 southern Brazil. The database used in this research has 15 years, from 2005 to 2020. The
96 experimental area has 60 ha, belonging to the Agronomic Experimental Station of the Federal
97 University of Rio Grande do Sul (EEA-UFRGS; 30° 05'S, 51° 40'W and 46 meters a.s.l.) and
98 which has been managed under different treatments, which means different forage allowances
99 since 1986.

100 The climate of the region is Cfa type, humid subtropical with hot summers, according to
101 the Köppen classification. According to [20], the average annual precipitation in the EEA –
102 UFRGS is 1455 mm, and the average annual evapotranspiration is 1162 mm. The average monthly
103 air temperatures vary between 9 and 25 °C in the winter and summer months, respectively, and
104 the daily average of global solar radiation varies between 200 and 500 cal/cm². Soil predominant
105 types at the experimental plots are classified as Aluminic Acrisols in summit areas and as Dystric
106 Planosols in flooding occurrence areas [21]. The topography is defined as gently sloped, and
107 average above sea level altitude of 46 meters.

108 The floristic composition in the experimental area represents the natural grasslands of the
109 Central Depression region of Rio Grande do Sul - Brazil. [22] recorded 256 species belonging to
110 37 families, these being best represented by the families Gramineae (54 spp.), Compositae (46
111 spp), Leguminosae (18 spp.), Cyperaceae (14 spp.), and Rubiaceae (12 spp.), highlighting the
112 contribution of C4 grasses. The 11 main species found in the experimental protocol are
113 responsible for 70% of the vegetation cover, with emphasis on *Paspalum notatum*, *Andropogon*
114 *lateralis* and *Axonopus affinis*, present in all forage allowance treatments [23].

115 The experimental design used was in a complete randomized block, blocking factor is the
116 type of soil, with two replications (paddocks with an average area of 4.27 ha). The treatments
117 consist of different forage allowances: 4, 8, 12 and 16 kg of dry matter (DM) per 100 kg⁻¹ of live
118 weight (BW). In 2004, the treatment 8-12 kg DM 100 kg⁻¹ BW was implemented, which differs
119 from the others because it is not managed with a fixed forage allowance throughout the year. This
120 treatment is administered with an 8% forage allowance in spring and 12% in the other seasons.
121 The management of the experimental area was carried out every 28 days, on average. On this
122 occasion, animals are weighed, and the stocking rate is adjusted, as well as sward height, forage
123 mass and forage accumulation rate are measured.

124 Over the years, the experimental area was maintained without the supply of nutrients
125 through fertilization, or any other practice other than the management of different forage
126 allowances. In the experimental units managed with a lower forage allowance (4 and 8 kg DM
127 100 kg⁻¹ BW), only a stratum of vegetation can be observed in the pasture, homogeneous and
128 with a sward height very low (< 4 cm). On the other hand, in experimental units managed with
129 greater forage allowance (12 and 16 kg DM 100 kg⁻¹ BW), there is a greater frequency of
130 tussocks, configuring a double pasture structure and dispersed in mosaic. Continuous grazing
131 method was used. To adjust the stocking rate to the recommended grazing intensity, the with a
132 variable stocking rate, adjusted using the put-and-take technique [24]. The experimental animals
133 were beef cattle, from crosses between the Angus, Hereford, and Nellore breeds, with an initial
134 average age of 12 months. The animals remain in the experiment for approximately one year.

135 Standardized Precipitation Evapotranspiration Index - SPEI

136 Using the methodology of [4], the climatic drought index was calculated: the standardized
137 precipitation evapotranspiration index (SPEI). SPEI is based on precipitation and temperature
138 data and has the advantage of combining multiscale characters with the ability to include the
139 effects of temperature variability in drought assessment. The SPEI combines the sensitivity of the
140 PDSI (Palmer's Drought Severity Index, used to monitor drought events, analyzing data on
141 precipitation and air temperature, using a simple water balance model) to changes in evaporation
142 demand (caused by fluctuations in and temperature trends) with the computational simplicity and
143 multi-temporal nature of SPEI. This index is particularly suitable for detecting, monitoring, and
144 exploring the consequences of global warming in drought conditions. [4].

145 The SPEI index was generated from agrometeorological data from the Agronomic
146 Experimental Station (EEA) of UFGRS. The time series of monthly precipitations and monthly
147 average temperatures were obtained from the historical series between 1970 and 2020.
148 Afterwards, the standardization of the SPEI index was carried out for the data available in the
149 database according to the monthly evaluation periods. Figure 1 shows the evolution of the index
150 according to the established time scale, from 2005 to 2020. Based on [1], three different classes
151 were generated for the climatic events indicated by the SPEI. Standard deviations (SD) were
152 calculated, where the CONTROL class represents SD greater than -1 and less than 1, indicating
153 normal years; the DROUGHT class represents SD less than -1, indicating the incidence of
154 drought; the WET class represents DP greater than 1, indicating the incidence of rain.

155

156 Primary and secondary production in natural pastures

157 Seven natural pasture production indicators were evaluated: forage mass (FM), sward
158 height (SH), percentage of tussocks (%T), forage accumulation rate (FAR), stocking rate (SR),
159 forage production (FP) and average daily gain (ADG). The FM (kg DM ha^{-1}) was determined for
160 the lower strata of the pasture every 28 days on average, following the double sampling
161 methodology [25]; this methodology was used in several experiments carried out within this
162 protocol [26, 27, 28]. At the time of the double sampling evaluations, SH data were also collected
163 using the “sward stick” [28], over time a database was built relating height and forage mass,
164 making it possible to change the methodology in the mass estimate of the year 2018, where 100
165 height points were collected per paddock (experimental unit) in a systematic walk, generating the
166 average height of the lower stratum, thus defining the forage mass. Also, at the time of walking,
167 it was possible to verify the %T in each paddock, recording the discounted percentage of the total
168 area of the paddock to obtain an estimate of the area effectively grazed [29].

169 The SR (kg BW ha^{-1}) was obtained through the relationship between the total weight of
 170 the animals and the area of the paddock, after the insertion or removal of the regulator animals to
 171 maintain the treatments. The data referring to the animal BW ($\text{kg animal}^{-1} \text{ day}^{-1}$), were calculated
 172 by the difference in the individual BW of the test animals between the weightings. The gain per
 173 area was composed of the product between the average live weight gain (ADG) of animals in
 174 grazing by the number of animals (calculated by the stocking rate divided by the average BW of
 175 the animals) and then multiplied by the number of days elapsed between the weightings, finally,
 176 the data used in the analysis of live weight gain per area (kg BW ha^{-1}) was obtained by adding
 177 the average gains per area within the period.

178

179 The resilience of production in a natural grassland of the Pampa biome

180 As droughts are recorded only in the spring/summer months and because this is the period
 181 of greatest forage production due to the greater representation of native species present in the
 182 experimental protocol being of the C4 grasses [22], we chose to analyze the events of drought
 183 only in the months of November to March, since from the month of April the low temperature
 184 and solar incidence already interfere in the growth of the summer species. In the years classified
 185 as “Drought”, indices were calculated to evaluate the Resilience and Resistance of the natural
 186 pastoral environment for primary production variables (forage production) and secondary (ADG
 187 and BW gain per area). According to the methodology adapted from [1], we define resistance as:

188
$$\text{RET} = \text{POn} / |\text{Poe} - \text{POn}|;$$

189 And resilience as:

190
$$\text{RES} = |\text{Poe} - \text{POn}| / |\text{POn} + 1 - \text{Poe}|;$$

191 Where:

192 RET = Resistance

193 RES = Resilience

194 POn = Expected productivity during normal months

195 Poe = Productivity during monthly weather event

196 POn + 1 = monthly productivity after weather event

197 These variables were standardized and calculated month by month, using primary and
 198 secondary yield data for the different forage allowances. Resistance indicates how close
 199 productivity is to normal levels during a weather event. Resilience, on the other hand, indicates

200 the rate of return to normal levels of productivity after a climatic event. If a weather event reduces
201 productivity, greater forage growth rates during recovery lead to greater resilience until they are
202 fast enough to achieve full recovery to normal levels of productivity during the subsequent month.
203 For example, if during the month after a weather event yield recovers from 50 to 75% or 50 to
204 125% of normal yields, then yields will have returned midway from disturbed to normal levels
205 [1].

206

207 Experimental design and statistical analysis

208 All variables were analyzed using the R software version 4.1.1 [30]. Outliers were
209 graphically analyzed using the ggplotgui package. When the data was outside the normal
210 parameters, its exclusion became necessary. The anomalous data was excluded without harming
211 the data analysis. Descriptive analyzes were performed for the climatic and structural variables
212 of the pasture using the dplyr and tidyverse packages.

213 Forage production, weight gain and area gain data were analyzed using the lmer package
214 for mixed models with repeated measures over time, considering the fixed effects of treatment,
215 weather event class, month and their interactions. As random effects, paddock and year were
216 included. The models were simplified according to [31], by excluding non-significant random
217 effects ($P > 0.05$) ($y \sim \text{Treatment} \times \text{Class} \times \text{Month} + (1|\text{paddock}) + (1|\text{year})$). Different models were
218 tested for the variables and the model chosen was always the one with the lowest AIC value
219 (Akaike's information criterion) [31].

220 Analysis of variance (ANOVA) was performed for all variables studied, when significant
221 effects were detected, treatment means were compared using Tukey's test with a 95% confidence
222 level using the emmeans package [32]. The variance homogeneity and normality were visually
223 verified and tested with quantile-quantile plots using the R car package [33], without detecting
224 the need to transform the residuals. To evaluate production resistance and resilience, a simple
225 month-by-month analysis of variance was performed for spring and summer seasons. The lmer
226 package was used for mixed models considering the fixed effect of treatment. Year, month and
227 their interaction were considered as random effects ($y \sim \text{Treatment} + (1|\text{Year:Month})$).

228

229 3. RESULTS

230 Climatic data and structural characteristics of the pasture

231 As shown in Figure 1, it is possible to observe that the most severe droughts were recorded
 232 in the years 2005, 2006, 2008, 2011, 2015, 2016, 2018, 2019, and 2020. Values observed for mean
 233 monthly temperature, precipitation, evapotranspiration and standardized precipitation
 234 evapotranspiration index (SPEI), according to the types of classified climatic events are described
 235 in Table 1. Regardless of the year, in January, there were no events of excess rain (Wet). As for
 236 May, June, July, August, September and October, there was no record of drought events
 237 (Drought).

238 To characterize the pasture structure found in the long-term grazing trial, the forage mass,
 239 lower stratum sward height, percentage of tussocks, forage accumulation rate and forage
 240 allowance are presented in Table 2, it is possible to see that the increase in forage allowance
 241 reflects the increase in average forage mass, lower stratum height, tussock percentage and forage
 242 accumulation rate. The highest stocking rates are observed with the lowest forage offers, with an
 243 average ranging from 582.4 kg BW ha⁻¹ for a 4% forage allowance and 27.17 kg BW ha⁻¹ for a
 244 16%.

245 Primary and secondary production of natural pasture in the Pampa biome

246 There was a significant Class:Month interaction for total forage production (P=0.002;
 247 Figure 2). According to the classification adopted, in January and February, there were no
 248 excesses of rain. In these months, there was no difference between of Drought and Control classes'
 249 effects on forage production, with an average of 449.4 ± 76.6 kg DM ha⁻¹ and 519.5 ± 61.7 kg
 250 DM ha⁻¹. In March, significant differences were observed between the classes evaluated. Forage
 251 production was greater for the Drought and Control classes (estimated mean of 419.3 ± 86.2 kg
 252 DM ha⁻¹) compared to the Wet class (estimated mean of -41.2 ± 161.2 kg DM ha⁻¹).

253 In April, forage production for Control was greater than for Wet, with means of 332.9 ±
 254 60.8 and - 114.4 ± 150.6 kg DM ha⁻¹, respectively, not differing from Drought, with an average
 255 of 237.5 ± 108.0 kg DM ha⁻¹. For May, June, July, August and September, no events were
 256 observed in the Drought class. Forage production in these months was similar between the Control
 257 and Wet classes, with means of 104.4 ± 77.5, 81.45 ± 100.5, 143.6 ± 104.7, 48.9 ± 76.85 and
 258 235.4 ± 90.75 kg DM ha⁻¹, respectively. In October, no event was registered in the Drought class.
 259 There was a difference between Control and Wet, with a mean of 575.3 ± 61.8 and 235.6 ± 104
 260 kg DM ha⁻¹, respectively. For November and December, no significant differences were observed
 261 between the classes evaluated for forage production, with means of 374.9 ± 107.1 and 380.1 ±
 262 103.5, respectively.

263 For the variable ADG (kg BW animal day⁻¹ (ADG)), a significant interaction was
 264 observed for class:month (P<0.05; Figure 3). The observed averages for forage production and
 265 ADG are shown in Table 3. In January, no events were observed in the Wet class. There was also

266 no difference for Control and Drought, with a mean of 0.229 ± 0.044 kg BW animal⁻¹ day⁻¹. In
267 February, ADG was different between classes, being greater in Wet, with an average of $0.491 \pm$
268 0.086 kg kg BW animal⁻¹ day⁻¹, intermediate in Control, with an average of 0.261 ± 0.038 kg of
269 kg BW animal⁻¹ day⁻¹ and lower in drought, with a mean of 0.065 ± 0.048 kg BW animal⁻¹ day⁻¹.

270 In March and April, when the animals were exposed to climatic events classified as Wet,
271 they presented greater ADG, with means of 0.579 ± 0.86 and 0.580 ± 0.086 kg BW animal⁻¹ day⁻¹
272 ¹, respectively. For Control and Drought, ADG was lower, with averages of 0.229 ± 0.052 and
273 0.068 ± 0.052 kg BW animal⁻¹ day⁻¹, for March and April, respectively.

274 For the months of May, June, July, August and September, no events were observed in
275 the Drought class. In May, ADG was greater in Control when compared to Wet, with averages of
276 0.137 ± 0.052 and 0.002 ± 0.044 kg BW animal⁻¹ day⁻¹, respectively. In June and July, there was
277 no difference, with means of -0.134 ± 0.064 and 0.01 ± 0.065 kg BW animal⁻¹ day⁻¹, respectively.

278 In August, only wet class events were recorded. The ADG averages observed form -0.165
279 ± 0.055 kg BW animal day⁻¹. In September, there was no difference for AGD in the wet and
280 control classes, with an average of 0.325 ± 0.055 kg BW animal⁻¹ day⁻¹.

281 In October, ADG was greater when the animals were exposed to wet and control events,
282 with an average of 0.278 ± 0.045 kg BW animal⁻¹ day⁻¹ and lower for Drought, with an average
283 of 0.034 ± 0.087 kg BW animal⁻¹ day⁻¹.

284 ADG differed between classes in November, with values of 0.619 ± 0.092 kg BW animal⁻¹
285 ¹ day⁻¹ in Wet, 0.398 ± 0.040 kg BW animal⁻¹ day⁻¹ in Control and 0.168 ± 0.066 kg BW animal⁻¹
286 day⁻¹ in Drought. In December, ADG was greater when in Wet and Control in relation to Drought,
287 with means of 0.326 ± 0.074 and 0.029 ± 0.040 kg BW animal⁻¹ day⁻¹.

288

289 Resilience and production resistance in natural pasture of the Pampa biome

290 In Figure 4, it is possible to observe the difference (P=0.30) observed for the resilience of
291 forage production between forage allowance treatments. Natural pastures of the Pampa biome are
292 more resilient when managed under a forage allowance of 12% (3.4 ± 0.57) compared to 16%
293 (0.94 ± 0.58), less resilient. However, not different from the other forage allowances, with an
294 average of 1.61 ± 0.66 . There was also a difference between the treatments for forage production
295 resistance (P=0.011; Figure 5). Likewise, the 12% treatment was superior to 16% with means of
296 2.6 ± 0.34 and 1.08 ± 0.35 , respectively. Both forage allowances were not different from the other
297 treatments, with a mean of $1,64 \pm 0.37$.

298 For the ADG and BW gain per area variables, there was no difference between the forage
299 allowance treatments ($P>0.05$). The averages observed in ADG for resilience and resistance were
300 1.59 ± 0.49 and 1.92 ± 0.43 , respectively. As for BW gain per area, the averages were 1.42 ± 0.43
301 and 2.19 ± 0.70 , for resilience and resistance, respectively.

302

303 4. DISCUSSION

304 Natural pastures are the main forage resource available in southern Brazil. They present
305 high complexity when related to other agro-ecosystems due to the great diversity of species and
306 systems niches and interfere directly and indirectly with the patterns of livestock production
307 dynamics in this region. For natural pastures, climate, mainly temperature and humidity, is the
308 main environmental factor controlling pasture productivity [3,34]. When we analyze the influence
309 of the climate, through the classes of climatic events pre-defined in this study, it is possible to
310 observe its influence on forage production and the consequences on the average daily gain of
311 grazing cattle. [35] defined primary production as pasture dry matter production with its structural
312 attributes, which allow decisions to be made to maximize secondary production, quantifying
313 forage production rates and animal performance. Therefore, we will discuss these variables
314 together.

315 In relation to the months of the year, whenever forage production remained with high
316 production rates, the average daily gain responded in the same way. This fact can be observed
317 when analyzing the months of January, February, September, October, November and December.
318 But when forage production decreases, which can be observed in March, April, May, June and
319 July, the average daily gain responded with a decrease in the following month. This fact confirms
320 the relationship between primary and secondary production that exists when cattle are kept on
321 pasture and highlights the need to maintain high rates of forage production to optimize the grazing
322 process [16].

323 When we observe the classes of climatic events, we can infer that the lowest values, both
324 for forage production and ADG, were verified when the event was classified as Wet. These events
325 can be observed in the months of March, April and June. Also, these events were recorded, for
326 the most part, in the months corresponding to the autumn and winter seasons, coinciding with the
327 low incidences of radiation and luminosity. These events, when added together, may have the
328 ability to negatively impact the grazing environment and plant:animal interactions. Understanding
329 the relationship between primary and secondary production is essential for establishing
330 management actions that favor animal performance [36]. Whenever climatic conditions determine
331 greater forage production, the stocking rate must be increased, the opposite must occur when
332 climatic conditions determine a reduction in forage production.

333 Forage production, when managed under moderate forage offers, of 12%, proved to be
334 more resistant and more resilient than when the pasture is subjected to high forage allowance,
335 such as 16%. This may be related to the evolutionary trajectory of the natural pastures of the
336 Pampa biome, maintained in their “double stratum” state, by grazing by prehistoric herbivores.
337 The disturbance caused by grazing to native plant species, over the years, may have contributed
338 to the maintenance of more adapted and resilient species, since animals in grazing, when
339 expressing in their grazing behavior, a preference for native species present in the lower stratum
340 of pasture, end up conditioning the pastoral environment to maintain this structure [37]. When the
341 native pasture is managed at 12% forage allowance, the expression of this sward structure is
342 optimized, as more sites for optimal grazing are found, such as lower stratum height, forage mass
343 and tussocks percentage around 30%. According to [15], when using Shannon's diversity index
344 in relation to the levels of forage allowance in natural pasture of the Pampa biome, observed for
345 the forage allowance of 12% the highest index for the presence of prostrate species, of fast growth,
346 better nutritive value, and grazing resistance in the lower grazing stratum. When ruminants are
347 conditioned to grazing to maintain forage allowance at 16%, although there is a greater amount
348 of forage mass and adequate canopy height, this amount of pasture may be spatially distributed
349 in a way that interferes with the expression of the animals' ingestive behavior in grazing [38]. This
350 fact is linked to a greater percentage of tussocks distributed in grazing areas. In this scenario,
351 cattle end up selecting areas for grazing, in an attempt to minimize displacement in search of new
352 grazing sites. As a result of this choice, some grazing areas are overgrazed and others undergrazed.
353 Where there is overgrazing, there may be a loss of biodiversity of plant species due to the
354 disappearance of those less resistant to high grazing intensities. In undergrazed areas, the loss of
355 species biodiversity occurs due to competition between them for light and nutrients [23]. Although
356 less important from the point of view of the animal's diet, the plants of the upper stratum are
357 relevant in the grazing process, as they can change the displacement speed and selectivity. As for
358 vegetation dynamics, they are important due to competition for space and resources, limiting the
359 growth of other species, as well as serving as protection for those that are heavily consumed by
360 animals. Thus, they allow them to flower and form seeds, guaranteeing their perpetuation [23].

361 When there is a record of the drought event, these low resilience factors can be aggravated
362 in terms of intensity, duration and time interval between the climatic disturbances that occurred.
363 Analyzing a single event in isolation, the shape of the response is defined by the vegetation's
364 resilience properties, i.e., stress resistance and recovery time. The magnitude of the response
365 (change or loss of vegetation function) is a property of vegetation resilience (vertical orange
366 arrow) and the time for vegetation function to return to some level of previous climatic
367 disturbance is a property of recovery (diagonal blue arrow).

368 According to [2], the impact is derived from the cumulative loss of vegetation function
369 over time. The succession of multiple water deficit events can significantly increase the overall
370 impact if recovery is incomplete. The events classified as Drought were all recorded in the months
371 corresponding to the spring/summer seasons. Period that coincides with the vegetative cycle of
372 most native species present and described in this long-term experimental protocol [23]. The fact
373 that these plant species are present in all treatments and experimental units, it may suggest that
374 native species are more resilient to drought events, making it necessary to investigate the
375 resilience of these same species when subjected to disturbances caused by grazing in addition to
376 excessive rainfall. The 11 main species found in this experimental protocol are responsible for
377 70% of the vegetation cover, with emphasis on pitchfork grass (*Paspalum notatum*), reed grass
378 (*Andropogon lateralis*) and carpet grass (*Axonopus affinis*), present in all forage supply treatments
379 [23].

380 The maintenance of native pasture areas in the Pampa biome is necessary for the
381 expression of natural environmental characteristics and productive indices so that cattle ranching
382 in southern Brazil is economically viable. This study is in agreement with these, since the
383 resilience demonstrated when native species are managed under moderate forage allowance has
384 positive responses in relation to the effects of disturbances caused by adverse climatic events,
385 evidencing the role that this environment can play in providing ecological services already
386 demonstrated in this protocol [39, 27, 40, 41], in order to make the use of natural pastures
387 increasingly conscious and productive. When we seek to understand the heterogeneity in pastoral
388 environments, we can observe greater biodiversity richness, greater resilience, and greater
389 opportunity for selectivity with plants that complement each other, producing forage throughout
390 different seasons and resisting climatic extremes [1, 4].

391 Historically, the months of January and February do not record weather events classified
392 as Wet. As in the period from May to September, events classified as Drought are not recorded.
393 These results emphasize the importance of maintaining long-term protocols, enabling temporal
394 studies in search of results for current scenarios regarding environmental changes and their
395 influence on future productions. But it also highlights the need for data collection in periods of
396 low production potential, as it suggests that this gap may provide answers to important questions
397 such as resilience to different climatic events. Finally, for more answers to be reached on the
398 subject studied, it is extremely important to improve data collection and their compilation in the
399 databases, requiring the inclusion of new response variables and the composition of management
400 systems for diversified grazing.

401

402

403 5. CONCLUSION

404 Natural pastures of the Pampa biome are resilient and resistant to drought events,
405 regardless of the forage allowance to which they are submitted. In general terms, the moderate
406 forage allowance, 12%, maintained the best results for the analyzed variables.

407 **Data availability**

408 Datasets generated during and/or analyzed during the current study are available from the
409 corresponding author upon reasonable request.

410

411 6. REFERENCES

412

- 413 1. ISBELL, F. et al. **Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to**
414 **climate extremes**. *Nature*. Vol 526, 2015.
- 415 2. MITCHELL, P. J. et al. **An ecoclimatic framework for evaluating the resilience of**
416 **vegetation to water deficit**. *Global Change Biology* (2016) 22, 1677–1689,
417 doi:10.1111/gcb.13177
- 418 3. ZHANG, Y., et al. **Climate variability decreases species richness and community**
419 **stability in a temperate grassland**. *Ecology* 188, 183–192 (2018).
420 <https://doi.org/10.1007/s00442-018-4208-1>
- 421 4. VICENTE-SERRANO, S. M., BEGUERÍA, S., & LÓPEZ-MORENO, J. I. **A**
422 **Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized**
423 **Precipitation Evapotranspiration Index**, *Journal of Climate*, 23(7), 1696-1718, 2010.
- 424 5. SEAPDR. **Radiograph of Rio Grande do Sul agriculture**, 2021.
- 425 6. ALLEN, V. G. et al. **An international terminology for pastures and grazing animals**.
426 *Grass and To. Sci.* 66, 2–28, 2011.
- 427 7. BENCKE, G. A.; CHOMENKO, L.; SANT'ANNA, D. M. **Our unknown Pampa**. Porto
428 Alegre: Zoobotanical Foundation of Rio Grande do Sul, 2016.
- 429 8. CARVALHO, P. C. F. et al. **Animal production in the southern Campos biome**. *Rev.*
430 *Brazil Zootec* . 35, 156-202, 2006.
- 431 9. OVERBECK, GE et al. **Brazil's neglected biome: the Campos do Sul do Brasil**.
432 *perspective. Eco plant. Evolve. System* 9, 101-116, 2007.
- 433 10. IPCC. **Climate change 2021: the Physical Science Basis**. Contribution of Working
434 Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate
435 Change Cambridge Univ. press 2021.

- 436 11. MODERNELO, P. et al. **Land use change and provision of ecosystem services in**
437 **pastures in the Pampas and Campos of southern South America.** *env. Res.* To leave.
438 11, 113002. 2016.
- 439 12. HOLDEN, E. et al. **Sustainable development: Our Common Future revisited.** *Global*
440 *Environmental Change.* V. 26, p. 130–139, 2014.
- 441 13. OVERBECK, G.E.; et al. **Conservation in Brazil needs to include non-forest**
442 **ecosystems.** *Diversity and Distributions (Print),* V. 21, P. 1455-1460, 2015.
- 443 14. OLIVEIRA, T. E.; et al. **Agricultural land use change in the Brazilian Pampa Biome:**
444 **The reduction of natural grasslands.** *Land Use Policy.* V. 63, P. 394-400, 2017.
- 445 15. CARVALHO, P.C.F.; SANTOS, D.T.; NEVES, F.P. **Forage allowance as a conditioner**
446 **for pasture structure and animal performance.** In: Miguel Dall'Agnol; Carlos
447 Nabinger; Danilo Menezes Santana; Rogério Jaworski dos Santos (Eds.). *Productive*
448 *Sustainability of the Pampa Biome,* pg. 23-60. 2007.
- 449 16. NEVES, F.P.; et al. **Strategies for managing forage supply for rearing heifers on**
450 **natural pasture.** *Brazilian Journal of Animal Science.* No. 38, P. 1532-1542, 2009.
- 451 17. WALKER, B.H. **Resilience: what it is and is not.** *Eco social* 25, 25–27, 2023. doi:
452 10.5751/ES-11647-250211
- 453 18. PETERSON C. A., et al. **Resilience of an Integrated Crop–Livestock System to**
454 **Climate Change: A Simulation Analysis of Cover Crop Grazing.** In *Frontiers in*
455 *sustainable food systems,* v-4, 2020.
- 456 19. LI, M., et al. **Yields and resilience outcomes of organics, cover crops and conventional**
457 **practices in a Mediterranean climate.** *Sci. Rep.* 9, 12283. 2019.
- 458 20. BERGAMASCHI, H. et al. **Climate of the UFRGS Experimental Station (and**
459 **Coverage Region).** Porto Alegre: Federal University of Rio Grande do Sul. P.78, 2003.
- 460 21. IUSS, World Reference Base for Soil Resources 2006 (*World Soil Resources Reports No.*
461 103), 2006.
- 462 22. BOLDRINI, I.I.; EGGERS, L. **Grassland vegetation in southern Brazil: response and**
463 **dynamics of species to exclusion.** In: *Acta Botânica Brasileira,* 1996.
- 464 23. PINTO, C. E., WALLAU, M., BOLDRINI, I. **Vegetation structure and floristic**
465 **composition.** *NATIVÃO BOLETIN: + 30 YEARS OF RESEARCH IN NATIVE*
466 *CAMPO,* C. 3, P. 16 - 20, 2019.
- 467 24. MOTT, G. O. & LUCAS, H. L. **The design, conduct, and interpretation of grazing**
468 **trials on cultivated and improved pastures.** in: *Proceedings of the International.* 1380-
469 1385 (1952).
- 470 25. WILM, H. G, COSTELO, O. F & KLIPPLE, G. E **Estimation of forage productivity**
471 **by the double sampling method.** *J. Anim. social Agron.* 36, 194-203, 1944.

- 472 26. CARVALHO, P. C. F. et al. **Can animal performance be predicted from short-term**
473 **grazing processes?** *Ani. Product Sci.* 55, 319-327, 2015.
- 474 27. FISCHER, F. M., et al. **Long-term effects of grazing intensity on strategies and spatial**
475 **components of functional diversity in subtropical grasslands.** *Applic. Vegetable Sci.*
476 22, 39-47, 2018.
- 477 28. BARTHURAM, GT **Experimental Techniques: The HFRO sward stick.** in: *The Hill*
478 *Farming Research Organization.* 29-30, 1985.
- 479 29. Da TRINDADE, J.K.; et al. **Forage Allowance as a Target of Grazing Management:**
480 **Implications on Grazing Time and Forage Searching.** *Rangeland Ecology &*
481 *Management*, V. 65, P. 382-393, 2012.
- 482 30. R Core Team. **A: A language and environment for statistical computing,** 2018.
- 483 31. PINHEIRO J.C E BATES D.M, **Mixed-Effects Models in S and S-PLUS,** 2000.
- 484 32. LENTH, R. emmeans: **Estimated Marginal Means, also known as Least Square**
485 **Means.** R package version 1.3.1. 2018
- 486 33. FOX, J. & WEISBERG, S. **A companion {R} to applied regression,** 2011.
- 487 34. MA, ZHIYUAN et al., **Climate warming reduces the temporal stability of plant**
488 **community biomass production.** *Nature communications* | 8:15378 | doi:
489 10.1038/ncomms15378 | www.nature.com/naturecommunications, 2017.
- 490 35. MARASCHIN, G. E. **Native field management, animal production, vegetation**
491 **dynamics and fertilization of native pastures in southern Brazil.** in. PILAR, V.D et
492 al. *Southern fields: conservation and sustainable use of biodiversity.* Ministry of the
493 Environment, secretariat of biodiversity and forests. Department of Biodiversity
494 Conservation. P. 248-259, 2012.
- 495 36. BREMM, C. et al. **Importance of Management of Forage Supply for Animal**
496 **Production.** *NATIVÃO BOLETIN: + 30 YEARS OF RESEARCH IN NATIVE*
497 *CAMPO*, C. 9, P. 62-64, 2019.
- 498 37. BEHLING, H et al. **Dynamics of fields in southern Brazil during the late Quaternary.**
499 **Southern fields: conservation and sustainable use of biodiversity.** Ministry of the
500 Environment, secretariat of biodiversity and forests. Department of Biodiversity
501 Conservation, 2012.
- 502 38. BOLDRINI I., II **Biodiversity of Campos Sulinos.** in: *Forage and animal production*
503 *symposium.* 11-24, 2006.
- 504 39. CARVALHO, P. C. F. **Can grazing behavior support innovations in pasture**
505 **management?** In: *International Pasture Congress.* 1, 1134-1148, 2013.
- 506 40. KUNRATH, T. R. et al. **Pasture height determines pasture yield and animal**
507 **performance in a long-term integrated soybean and beef cattle system.** *Agricultural.*
508 *System* 177, 102716, 2006.

509 41. MITCHELL P. J., O'GRADY A. P.; HAYES K.R.; PINKARD E. A.. **Exposure of trees**
510 **to drought-induced die-off is defined by a common climatic.** 2014.

511

512

513

514

515

516

FIGURES AND TABLES

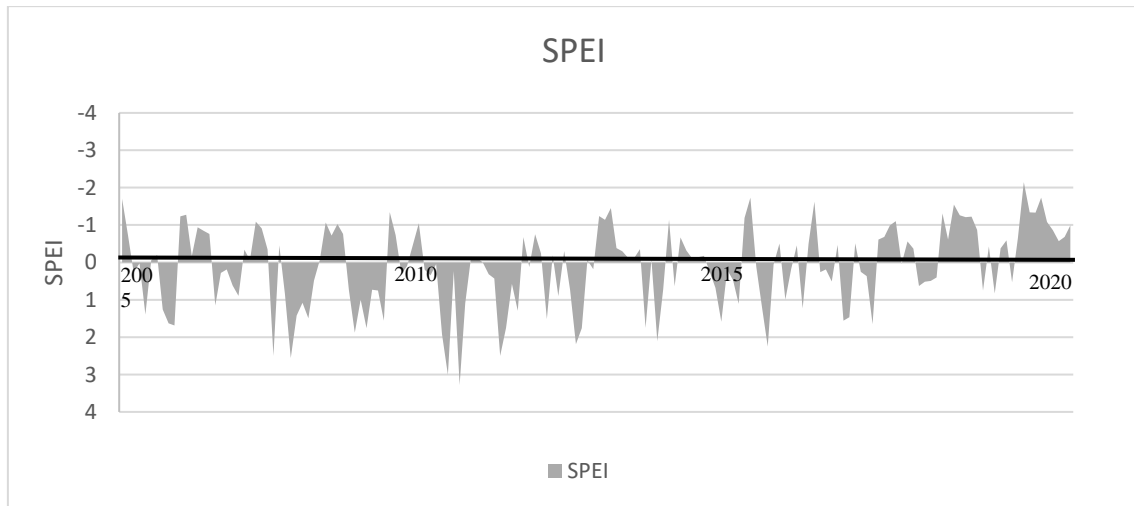


Figure 1- Evolution of the drought index (SPEI) according to the time scale established in the database with 10 years of data collection (from 2005 to 2020), distributed on the “x” axis. The normal weather event pattern refers to 1 SD, plus or minus, from Standard Deviation (SD) = zero, observed on the “y” axis. The adverse weather event is recorded on the curve from 2 SD. When the SD is positive it indicates excessive rainfall and when negative it registers the event of drought.

		SD					3.8	0	78.0	90.05	44.0	110.1		
		SE					0.9	0	14.2	14.2	9.8	20.1		
Reference evapotranspiration (mm)	Control	N*	70	70	80	70	50	80	28	40	40	70	50	30
		Min	4.3	3.6	2.8	1.9	1.3	1.4	1.2	1.5	2.8	3.1	4.3	4.3
		Max	6.1	5.3	4.3	3.1	2.18	2.1	2.4	2.5	4.3	4.0	6.5	5.04
		Mean	5.12	4.6	3.6	2.6	1.8	1.6	1.9	1.9	3.3	3.6	5.3	4.5
		SD	0.6	0.5	0.6	0.4	0.3	0.2	0.5	0.4	0.6	0.3	0.8	0.4
		SE	0.07	0.06	0.06	0.04	0.04	0.02	0.1	0.06	0.1	0.04	0.1	0.06
	Drought	N*	30	40	18	20						10	10	50
		Min	5.4	4.6	3.3	3.1						4.8	4.3	5.0
		Max	6.2	5.9	4.6	3.3						4.8	4.3	7.1
		Mean	5.9	5.3	3.9	3.2						4.8	4.3	6.0
		SD	0.3	0.4	0.7	0.1								0.7
		SE	0.06	0.07	0.2	0.02								0.1
	Wet	N*		10	10	10	30	10	30	40	20	20	10	10
		Min		3.7	3.6	2.4	1.6	1.0	1.0	1.6	2.3	3.5	3.1	4.4
		Max		3.7	3.6	2.4	1.9	1.0	1.5	2.4	2.4	4.3	3.1	4.4
		Mean		3.7	3.6	2.4	1.8	1.0	1.3	1.9	2.3	3.9	3.1	4.4
		SD					0.1	0	0.2	0.3	0.07	0.4		
		SE					0.02	0	0.04	0.05	0.02	0.09		
SPEI Standardized precipitation evapotranspiration index	Control	N*	70	70	80	70	50	80	28	50	40	70	70	40
		Min	-2.5	-2.6	-2.6	-2.3	-2.1	-1.3	-1.6	-2.5	-1.4	-1.6	-1.6	-1.8
		Max	1.4	1.2	2.0	3.3	2.9	1.3	3.4	2.3	3.2	2.6	0.8	2.3
		Mean	-0.6	-0.4	-0.1	-0.4	0.5	-0.3	0.3	0.05	0.6	1.0	-0.5	-0.2
		SD	1.5	1.4	1.4	1.7	2.0	1.0	2.1	1.6	1.9	1.5	0.9	1.7
		SE	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.1	0.4	0.2	0.3	0.6	0.1	0.2
	Drought	N*	40	40	18	20						10	20	60
		Min	-4.8	-3.8	-4.8	-2.9						-3.6	-4.9	-6.2
		Max	-3.3	-2.9	-3.2	-2.8						-3.6	-3.4	-2.
		Mean	-4.1	-3.4	-3.9	-2.8						-3.6	-4.1	-4.0
		SD	0.6	0.4	0.8	0.06						0	0.8	1.2
		SE	0.1	0.06	0.2	0.01						0	0.2	0.1
	Wet	N*		10	10	10	30	10	30	40	20	30	10	10
		Min		5.5	4.1	7.4	3.9	8.4	4.7	3.6	5.1	4.1	10.6	3.7
		Max		5.5	4.1	7.4	5.1	8.4	7.0	5.7	5.5	5.5	10.6	3.7
		Mean		5.5	4.1	7.	4.5	8.4	5.8	4.7	5.3	5.0	10.6	3.7
		SD					0.5		0.9	0.8	0.2	0.6		
		SE					0.09		0.2	0.1	0.05	0.1		

Table 2 - Forage mass, sward height (cm), percentage of tussock, forage accumulation rate, forage allowance and stocking rate in natural pasture of the Pampa biome managed different forage allowance treatments. The averages presented for each variable correspond to the data compiled in the database, from 2005 to 2020.

	Treatment	N	Min	Max	Mean	SD
Forage Mass (kg DM ha ⁻¹)	4	213	223.0	1910.8	809.7	299.6
	8	226	446.3	2777.2	1231.7	394.7
	8.12	224	747.0	2732.9	1431.5	364.8
	12	225	671.0	2590.3	1536.7	434.0
	16	221	855.7	3300.0	1763.5	484.4
Sward height(cm)	4	216	2.3	8.9	4.0	1.0
	8	224	2.5	10.6	5.6	1.5
	8.12	223	3.7	12.4	6.8	1.6
	12	221	4.1	13.1	7.7	1.8
	16	223	5.1	15.7	8.9	2.0
Percentage of tussocks (%)	4	178	0.0	10	2.4	2.5
	8	190	5.7	83	28.9	10.4
	8.12	184	6.3	54	32.6	10.3
	12	189	14.0	65	38.1	9.5
	16	186	21.2	74	44.3	10.4
Forage accumulation rate (kg DM ha ⁻¹ day ⁻¹)	4	194	-22.9	49.4	8.7	12.5
	8	213	-33.7	64.2	10.4	15.9
	8.12	213	-32.1	51.4	9.7	15.5
	12	206	-37.4	62.4	10.9	15.8
	16	208	-32.3	74.1	12.1	18.4
Forage allowance (% BW)	4	176	0.6	16.4	6.1	3.1
	8	199	1.3	32.4	12.6	6.4
	8.12	199	2.9	44.6	16.4	7.3
	12	193	3.7	43.5	20.2	8.4
	16	185	1.5	55.7	27.2	11.3
Stocking Rate (kg BW ha ⁻¹)	4	187	157	1130.4	582.4	213.6
	8	205	181.4	978.0	428.8	148.5
	8.12	208	171.9	832.0	357.3	135.4
	12	203	134.9	847.0	311.4	109.4
	16	185	1.5	55.7	27.2	11.3

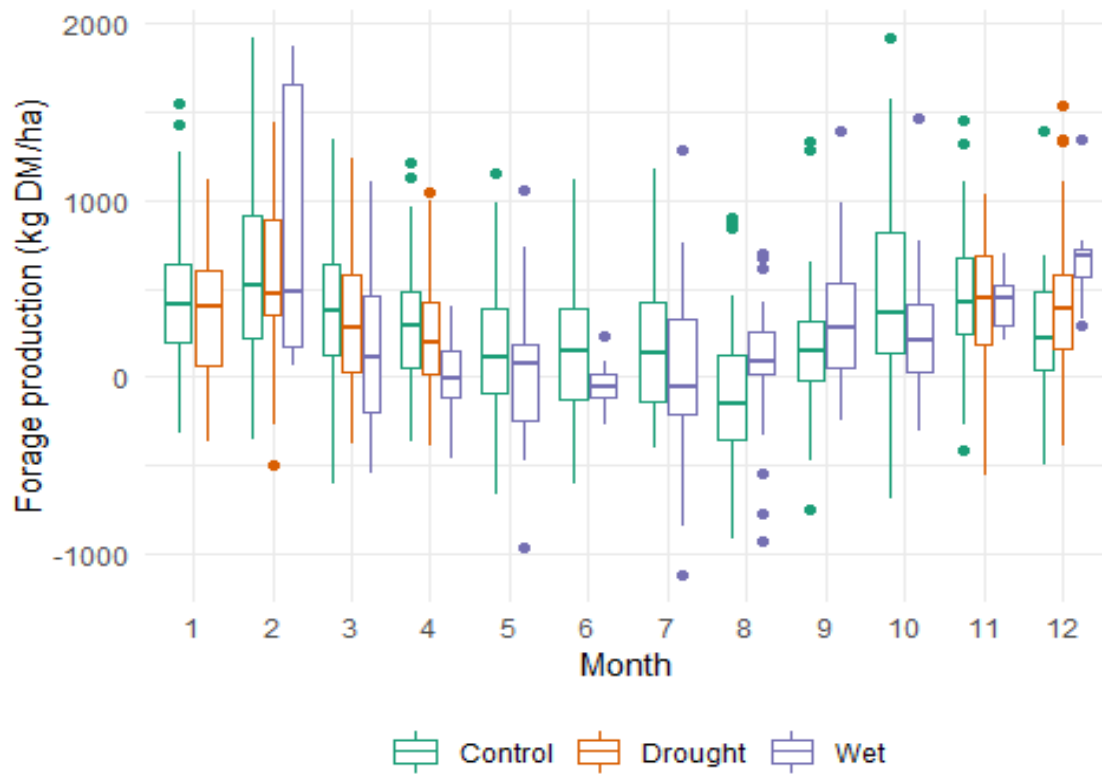


Figure 2 – Monthly forage production (kg DM ha⁻¹), from a 10-year time series of evaluation recorded in a database, in natural pasture of the Pampa biome subjected to different forage allowances, according to classes of climatic events (P=0,002).

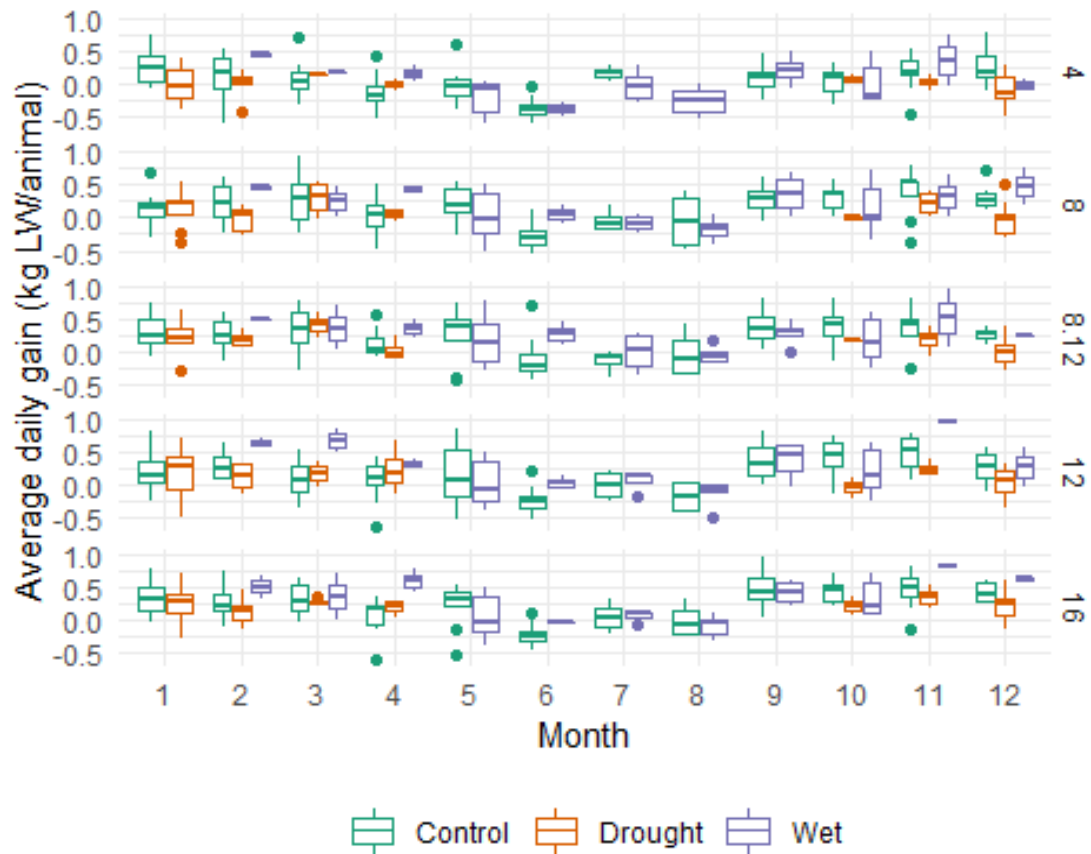


Figure 3- Monthly average daily gain (kg BW animal day⁻¹), from a 10-year time series of evaluation recorded in a database, in natural pasture of the Pampa biome subjected to different forage allowances, according to classes of climatic events ($P= 3.772e^{-13}$).

Table 3 – Forage production and average daily gain of beef cattle grazing in a native grassland of the Pampa biome managed under different forage allowances and classified according to the climatic events (Control, Drought and Wet).

Class	Forage Production	Average daily gain
	January	
Control	478.4 ± 62.7a	0.25 ± 0.04a
Drought	347.7 ± 76.3a	0.20 ± 0.04a
Wet	NA	NA
	February	
Control	560.6 ± 60.8a	0.26 ± 0.04b
Drought	551.2 ± 76.9a	0.06 ± 0.04c
Wet	NA	0.49 ± 0.09a
	March	
Control	457.7 ± 62.8a	0.25 ± 0.09b
Drought	380.9 ± 109.7a	0.20 ± 0.05b
Wet	-41.2 ± 161.2b	0.58 ± 0.05a
	April	
Control	332.9 ± 60.8a	0.02 ± 0.05b
Drought	237.5 ± 108ab	0.12 ± 0.05b
Wet	-114.4 ± 150.6b	0.56 ± 0.09a
	May	
Control	164.19 ± 69.4a	0.14 ± 0.06a
Drought	NA	NA
Wet	44.7 ± 84.7a	0.002 ± 0.04b
	June	
Control	185.4 ± 58.9a	-0.202 ± 0.064a
Drought	NA	NA
Wet	-22.5 ± 142.1a	-0.067 ± 0.064a
	July	
Control	168.2 ± 88.6a	0.062 ± 0.06a
Drought	NA	NA
Wet	119 ± 120.8a	-0.04 ± 0.06a
	August	
Control	-52.5 ± 77.5a	-0.16 ± 0.055a
Drought	NA	NA
Wet	150.3 ± 76.2a	NA
	September	
Control	141.4 ± 76.5a	0.37 ± 0.05a
Drought	NA	NA
Wet	329.5 ± 105a	0.28 ± 0.0a
	October	
Control	575.3 ± 61.8a	0.30 ± 0.04a
Drought	NA	0.03 ± 0.09b
Wet	235.6 ± 104b	0.25 ± 0.04a
	November	
Control	417.4 ± 107.7a	0.39 ± 0.04a
Drought	286.9 ± 149.4a	0.16 ± 0.06b
Wet	420.8 ± 107.7a	0.62 ± 0.09a
	December	
Control	271.5 ± 64.3a	0.31 ± 0.07a
Drought	356.2 ± 64.5a	0.03 ± 0.04b
Wet	536.5 ± 107.7a	0.33 ± 0.07a

Letters different from each other in the columns differ by the tukey test ($p < 0.05$).

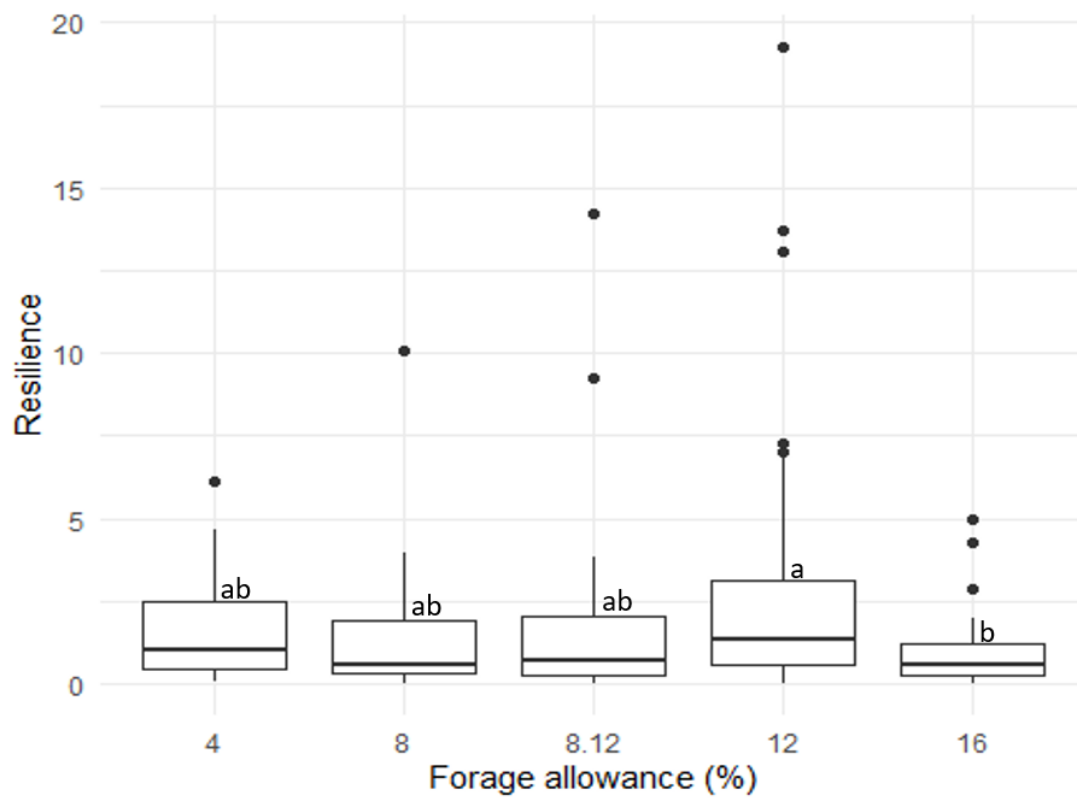


Figure 4 – Resilience of forage production ($P= 0.30$) of native pastures of the Pampa biome, based on a 10-year evaluation, managed under different forage allowances when subjected to drought events. Letters different from each other in the columns differ by the tukey test ($p<0.05$).

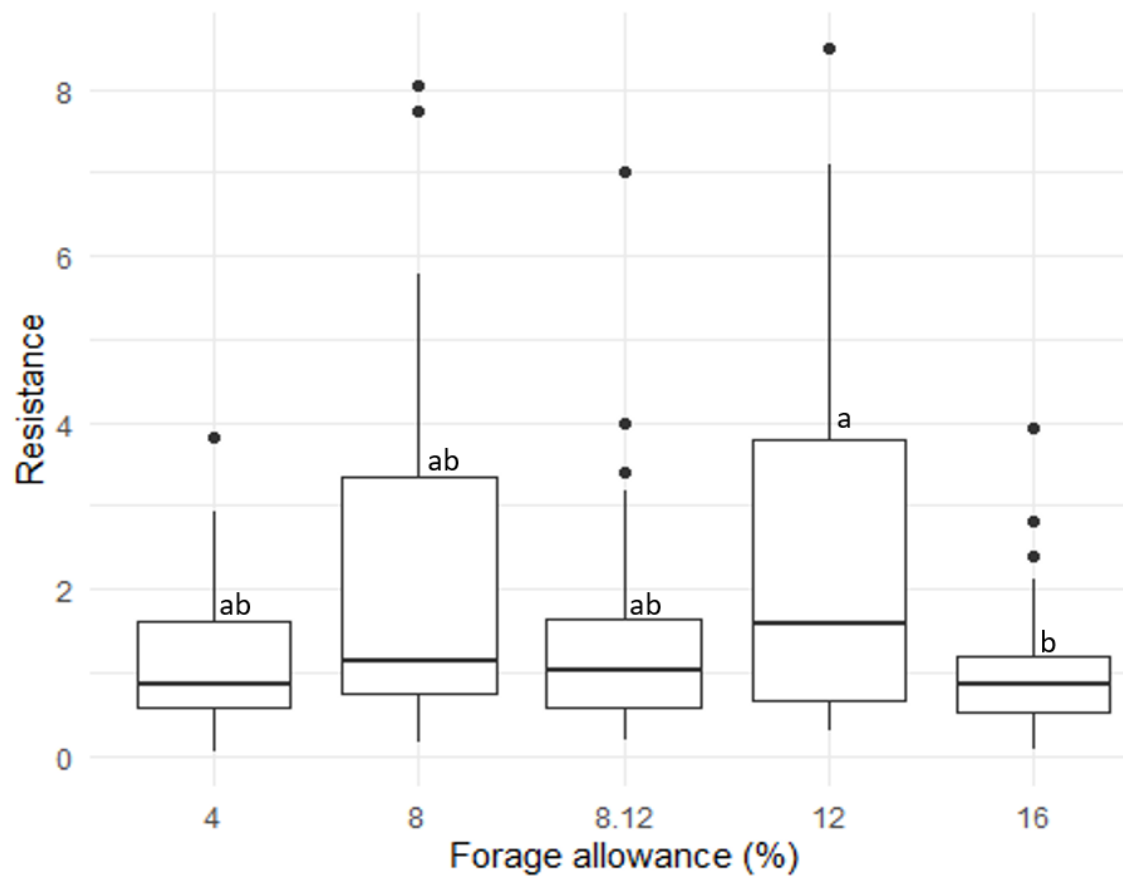


Figure 5 – Resistance of forage production ($P=0,011$) from native pastures of the Pampa biome, based on a 10-year evaluation, managed under different forage allowances when subjected to drought events. Letters different from each other in the columns differ by the tukey test ($p<0.05$).

CAPÍTULO III

1 **INFLUÊNCIA DO FENÔMENO ATMOSFÉRICO EL NIÑO OSCILAÇÃO SUL**
2 **(ENOS) NA PRODUÇÃO PRIMÁRIA E SECUNDÁRIA DE PASTAGENS**
3 **NATURAIS DO BIOMA PAMPA COM DIFERENTES OFERTAS DE**
4 **FORRAGEM**

5 **RESUMO**

6 Objetivou-se, neste estudo, avaliar a influência dos eventos ENOS sobre a produção
7 primária e secundária de pastagens naturais do bioma Pampa manejadas sob distintas ofertas de
8 forragem. Este estudo foi conduzido utilizando um banco de dados de um protocolo de longa
9 duração, localizado na estação experimental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, em
10 uma série temporal de 15 anos. Devido a predominância de espécies nativas de metabolismo
11 fotossintético C4, foram consideradas apenas as estações de primavera e verão. Os eventos foram
12 classificados conforme a intensidade de precipitação pluviométrica como Neutro (Neutro),
13 Neutro atípico, El Niño, El Niño forte, El Niño fraco, La Niña e La Niña Forte. O delineamento
14 experimental utilizado foi o de blocos completos casualizados, cujo fator de bloqueamento foi o
15 tipo de solo, com duas repetições. Os tratamentos são constituídos por distintas ofertas de
16 forragem: 4, 8, 8-12, 12 e 16 kg de matéria seca (MS) por 100 kg⁻¹ de peso vivo. Todas as
17 variáveis foram analisadas usando o software R versão 4.1.1. Os resultados deste estudo
18 evidenciam que as anomalias climáticas, medidas a partir da intensidade dos eventos ENOS, se
19 mostram importantes fatores nas respostas da produção primária e secundária em pastagens
20 naturais do bioma Pampa. Com isso, pode-se concluir que pastagens naturais do bioma Pampa,
21 quando manejadas sob ofertas de forragem moderada e alta, como em 12 e 16%, sofrem menor
22 influência das condições climáticas adversas e mantém a produção primária e secundária
23 satisfatória mesmo com as diferentes manifestações de ENOS.

24 **Palavras-chave:** Bioma Pampa; pastagem natural; eventos ENOS; produção primária e
25 secundária; precipitação pluviométrica

26
27 **1 INTRODUÇÃO**

28 Diversos são os fatores que influenciam as condições climáticas no território brasileiro,
29 entre eles o fenômeno atmosférico El Niño Oscilação Sul (ENOS) possui destaque. O fenômeno
30 ENOS, nas suas fases quente (EL Niño) ou fria (La Niña), ocorre no Pacífico Tropical, trazendo
31 alterações climáticas para diversas regiões do mundo. Dentre os efeitos mais evidentes, no Sul do
32 Brasil, estão as variações pluviométricas, pois delas dependem praticamente todas as atividades
33 desenvolvidas no meio rural, com influência direta na economia do bioma Pampa. O estado do
34 Rio Grande do Sul está inserido em dois diferentes biomas: a Mata Atlântica, que segundo o

35 Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [1], ocupa cerca de 37% do estado, e o Pampa que
36 ocupa 63%. Estes biomas apresentaram alterações antrópicas ao longo do tempo, principalmente
37 pela pecuária e por atividades agrícolas, que são a base econômica do estado [2, 3]. O bioma
38 Pampa brasileiro está localizado no extremo sul do Brasil, na região de clima subtropical úmido,
39 apresentando uma distribuição uniforme de precipitação durante todo o ano [4]. Apesar da boa
40 distribuição temporal da precipitação nas estações do ano no bioma Pampa, a variabilidade
41 interanual é apresentada como o principal fator limitante às atividades agropecuárias na primavera
42 e verão, responsável por oscilações na produção agrícola da região.

43 Em ecossistemas pastoris naturais, os animais pastam ao ar livre em pastagens ricas em
44 diversidade de espécies durante todo o ano, tornando os sistemas pecuários altamente dependentes
45 do clima e dos preços dos produtos. Como consequência, em países exportadores de carnes, como
46 Argentina, Brasil e Uruguai, onde os subsídios são mínimos ou inexistentes e os preços dos
47 produtos mudam constantemente, o desenvolvimento tecnológico deve ser orientado para
48 minimizar o risco econômico e reduzir a vulnerabilidade climática [5]. O uso de manejo baseado
49 em ofertas de forragem moderadas vem em direção ao desenvolvimento tecnológico de processos
50 adequados para redução de riscos da atividade pecuária, uma vez que o conceito de oferta de
51 forragem no manejo de pastagens é a de que ela seja uma ação de manejo e uma ferramenta
52 condicionante da estrutura do pasto a que se objetiva [6].

53 Apesar da importância deste bioma, estudos que envolvem a influência de fatores
54 climáticos como ENOS na produção primária e secundária de pastagens naturais no sul do Brasil
55 são escassos. Assim, acompanhar tais variações e possíveis influências deste fenômeno são de
56 extrema importância para a prevenção e a tomada de decisão na atividade pecuária. Este estudo
57 torna-se fundamental baseado na hipótese de que em anos ENOS, principalmente sob efeito do
58 evento La Niña, pastagens naturais do bioma Pampa, quando manejadas sob oferta de forragem
59 moderada, sofrem menor impacto na produção primária e secundária. Objetivou-se avaliar a
60 influência dos eventos ENOS sobre a produção primária e secundária em campo nativo manejado
61 sob distintas ofertas de forragem. Devido a predominância de espécies nativas de ciclo metabólico
62 C4, com crescimento nas estações quentes do ano, este estudo foi realizado considerando apenas
63 as estações correspondentes ao máximo crescimento de espécies vegetais naturais do bioma
64 Pampa, primavera e verão.

65

66 **2 MÉTODO**

67 Caracterização da área e tratamentos

68 Este estudo foi realizado utilizando uma base de dados de um protocolo experimental de
69 longa duração, estabelecido em área de pastagem natural do bioma Pampa, no sul do Brasil. A
70 base de dados possui 15 anos de dados de produção primária e secundária e dados climáticos
71 compilados, de 2005 a 2020. A área experimental possui 60 ha, pertencente à Estação
72 Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA-UFRGS; 30°
73 05'S, 51° 40'W e 46 metros de altitude acima do nível do mar). Ela vem sendo manejada sob
74 diferentes ofertas de forragem, desde 1986.

75 O clima da região é do tipo Cfa, subtropical úmido com verão quente, segundo
76 classificação de Köppen. Conforme [7], a precipitação média anual na EEA – UFRGS é de 1455
77 mm, a evapotranspiração média anual é de 1162 mm. As temperaturas médias mensais do ar
78 variam entre 9 e 25°C nos meses de inverno e verão, respectivamente, e a média diária de radiação
79 solar global varia entre 200 e 500 cal/cm².

80 A composição florística na área experimental representa os campos naturais da região da
81 Depressão Central do Rio Grande do Sul - Brasil. [8], registraram 256 espécies pertencentes a 37
82 famílias, sendo estas melhores representadas pelas famílias Gramineae (54 spp.), Compositae (46
83 spp.), Leguminosae (18 spp.), Cyperaceae (14 spp.), e Rubiaceae (12 spp.), destacando-se a
84 contribuição das gramíneas de rota metabólica C4. As 11 principais espécies encontradas no
85 protocolo experimental são responsáveis por 70% da cobertura vegetal, com destaque para
86 *Paspalum notatum*, *Andropogon Lateralis* e a *Axonopus affinis*, presentes em todos os tratamentos
87 de oferta de forragem C4 [9].

88 O delineamento experimental utilizado é o de blocos completos casualizados, cujo fator
89 de bloqueamento é o tipo de solo, com duas repetições (piquetes de área média de 4,27 ha). Os
90 tratamentos são constituídos por distintas ofertas de forragem: 4, 8, 12 e 16 kg de matéria seca
91 (MS) 100 kg⁻¹ de peso vivo (PV). No ano de 2004 foi implantado o tratamento 8-12 kg MS por
92 100 kg⁻¹ de PV, o que difere dos demais por não ser manejado com oferta de forragem fixa ao
93 longo do ano. Este tratamento é administrado com 8% de oferta de forragem na primavera e 12%
94 nas demais estações do ano. Os ajustes de lotação, bem como às avaliação de produção primária
95 e secundária, são realizadas na área experimental a cada 28 dias, em média.

96 Ao longo dos anos, a área experimental foi mantida sem aporte de nutrientes por meio de
97 adubação, ou qualquer outra prática senão o manejo das distintas ofertas de forragem. Nas
98 unidades experimentais manejadas com menor oferta de forragem (4 e 8 kg MS por 100 kg⁻¹
99 PV), apenas um estrato de vegetação pode ser observado no pasto, homogêneo e com um perfil
100 de dossel baixo. Já nas unidades experimentais manejadas com maiores ofertas de forragem (12
101 e 16 kg MS 100 kg⁻¹ PV), ocorre maior frequência de touceiras, configurando-se uma estrutura
102 de pasto em duplo estrato e dispersa em mosaico.

103 Para o ajuste da lotação à oferta de forragem preconizada, é utilizado o método de
104 pastoreio contínuo com taxa de lotação variável, ajustada valendo-se da técnica put-and-take [10].
105 Os animais experimentais são bovinos de corte, oriundos de cruzamentos entre as raças Angus,
106 Hereford e Nelore, com idade média inicial de 12 meses, provenientes da EEA - UFRGS. Os
107 animais permanecem no experimento por um ano, aproximadamente.

108 Para este estudo, foram consideradas apenas as estações de Primavera e Verão para as
109 análises de influência de eventos ENOS na produção primária e secundária. Isso porque a maioria
110 das espécies forrageiras encontradas no protocolo experimental são de ciclo C4 [9], e a maior
111 produção de forragem se dá nesse período.

112

113 Fenômeno atmosférico El Niño Oscilação Sul (ENOS)

114 Para que fosse viável avaliar a influência dos eventos ENOS na produção primária e
115 secundária de pastagens naturais, primeiro foi necessário descobrir se a manifestação dessas
116 anomalias gerava diferenças na quantidade de precipitação pluviométrica (mm), a partir de dados
117 agrometeorológicos da Estação Experimental Agronômica (EEA) da UFRGS. A série temporal
118 de precipitação mensal foi obtida da série histórica de 1970 - 2020. Em conjunto com os dados
119 de precipitação, para identificação da atuação do fenômeno ENOS foram adquiridos dados da
120 National Oceanic and Atmospheric dos Estados Unidos, [11]. O NOAA configura uma série de
121 satélites em órbita quase-polar heliosíncrona a aproximadamente 835 km de altitude. Em outubro
122 de 2019, a série possuía quatro satélites operacionais: NOAA-15, NOAA-18, NOAA-19 e
123 NOAA-20. Dados gerados pelos satélites são utilizados, sobretudo, em modelos climáticos e de
124 previsão do tempo atmosférico. Estes dados foram inseridos à base, na forma qualitativa e
125 quantitativa, relatando a ocorrência ou neutralidade dos fenômenos. Inicialmente, anos normais
126 foram classificados como “Neutro” e anos com a ocorrência da anomalia climática foram
127 classificados como “Niño” quando evidenciavam o aquecimento das águas do pacífico e “Niña”
128 quando o resfriamento das águas foi registrado.

129 É possível observar na série histórica (Figura 1A) a distribuição dos eventos ENOS e
130 neutros ao longo de 16 anos, não ficando esclarecido que a ocorrência do evento influencia em
131 mudança significativa na precipitação anual. Sendo assim, uma reclassificação para os eventos
132 climáticos tornou-se necessária, realizando uma análise profunda da intensidade do fenômeno
133 climático, utilizando a precipitação padronizada para as estações do ano (Figura 1B). Onde, o
134 desvio padrão -1 indica padrão negativo e precipitação abaixo da média histórica e +1 indica
135 padrão positivo com chuvas acima da média histórica. Os eventos foram classificados conforme
136 a intensidade de precipitação pluviométrica como Neutro (Neutro), Neutro atípico

137 (Neutro_Atípico), El Niño (Nino), El Niño forte (Nino_Forte), El Niño fraco (Nino_Fraco), La
138 Niña (Nina) e La Niña Forte (Nina_Forte).

139

140 Produção primária e secundária em pastagem natural

141 Para fins de caracterização da estrutura do pasto, foram descritas as variáveis: massa de
142 forragem (MF; kg MS ha⁻¹) altura do estrato inferior (ALT, cm) e percentagem de touceiras (%T,
143 % da área total do piquete).

144 A MF foi determinada para os estratos inferiores do pasto a cada 28 dias em média,
145 seguindo a metodologia de dupla amostragem [12]. Esta metodologia foi utilizada em vários
146 experimentos realizados dentro deste protocolo [13, 14, 15]. No momento das avaliações da dupla
147 amostragem, os dados de ALT também foram coletados com o uso do “sward stick” [16]. Ao
148 longo do tempo foi construído um banco de dados relacionando altura e massa de forragem
149 tornando possível mudar a metodologia na estimativa de massa do ano 2018, onde foram
150 coletados 100 pontos de altura por unidade experimental em uma caminhada sistemática, gerando
151 a altura média do estrato inferior, definindo assim a massa de forragem. Também, no momento
152 da caminhada, foi possível verificar a %T em cada unidade experimental, registrando a
153 participação percentual descontada da área total da unidade experimental para se obter a
154 estimativa da área efetivamente pastejada [17].

155 A taxa de acúmulo diário de matéria seca (TAC; kg MS ha⁻¹) foi estimada com o uso de
156 gaiolas de exclusão ao pastejo). A variável taxa de lotação (TLT) (kg PV ha⁻¹) foi obtida através
157 da relação entre o peso total dos animais e a área da unidade experimental, após a inserção ou
158 retirada dos animais reguladores para manutenção dos tratamentos.

159 Os dados referentes ao ganho médio diário (GMD; kg de PV⁻¹ dia⁻¹), foram calculados pela
160 diferença do peso individual dos animais testers entre as pesagens. O ganho por área (GPA; kg
161 PV ha⁻¹) foi composto pelo produto entre o ganho médio de peso vivo dos animais em pastejo
162 pelo número de animais (calculado pela taxa de lotação dividida pelo peso médio dos animais) e
163 depois multiplicado pelo número de dias decorridos entre as pesagens, por fim os dados utilizados
164 na análise ganho de peso vivo por área (kg PV⁻¹ ha⁻¹) foi obtido somando-se os ganhos médios
165 por área dentro do período.

166

167 Delineamento experimental e Análise estatística

168 O delineamento experimental utilizado é o de blocos completos casualizados, cujo fator
169 de bloqueamento é o tipo de solo, com duas repetições (piquetes de área média de 4,27 ha). Todas
170 as variáveis foram analisadas usando o software R versão 4.1.1 [18]. Os outliers foram analisados

171 graficamente, usando pacote ggplotgui. Foram realizadas análises por meio de gráficos
172 descritivos para as variáveis climáticas e estruturais do pasto utilizando os pacotes dplyr e
173 tidyverse.

174 Para precipitação pluviométrica, inicialmente testou-se o modelo considerando os efeitos
175 de eventos ENOS como fixos e estação do ano e suas interações. O ano foi considerado efeito
176 aleatório. Tendo em vista a ausência de efeito significativo para eventos ENOS e sua interação
177 com estação do ano ($P > 0,05$; Figura 1A), passou-se para uma análise mais profunda dos eventos
178 ENOS e sua intensidade, utilizando a precipitação padronizada por estação do ano.

179 Os dados de taxa de acúmulo de forragem, taxa de lotação, ganho médio diário e ganho
180 por área foram analisados usando o pacote lmer para modelos mistos com medidas repetidas no
181 tempo, considerando os efeitos fixos de Tratamento, Classe de evento climático, estação e suas
182 interações. Como efeitos aleatórios, foram incluídos potreiro, mês e ano. Os modelos foram
183 simplificados de acordo com [19], pela exclusão dos efeitos aleatórios não significativos ($P > 0,05$)
184 ($y \sim \text{tratamento} * \text{ENOS} * \text{estação} + (1 | \text{ano}/\text{mês}) + (1 | \text{piquete})$). Diferentes modelos foram testados
185 para as variáveis e o modelo escolhido foi sempre aquele com o menor valor de AIC (critério de
186 informação de Akaike). A análise de variância (ANOVA) foi realizada para todas as variáveis em
187 estudo, quando foram detectados efeitos significativos, as médias dos tratamentos foram
188 comparadas usando o teste de Tukey com nível de confiança de 95% usando o pacote emmeans
189 [20]. A homogeneidade da variância e a normalidade foram verificadas visualmente, testadas com
190 gráficos quantil utilizando o pacote R car [21], sem ser detectada a necessidade de transformação
191 dos resíduos.

192

193

194 3 RESULTADOS

195

196 Precipitação Pluviométrica

197 Não houve interação entre estações do ano e eventos ENOS para precipitação pluviométrica
198 (mm). Houve diferença entre as estações do ano para esta variável ($P = 0.031$). Na primavera, a
199 precipitação pluviométrica foi semelhante entre os eventos El Niño, La Niña e Neutro, com média
200 de $448 \pm 110,9$ mm. No verão, o volume pluviométrico registrado foi menor, com média de $327,33$
201 $\pm 68,06$ mm. Com base nos dados coletados na estação experimental, a precipitação pluviométrica
202 anual registrada foi de 1633 mm. Já a histórica registra 1496,51 mm de chuva anual. Não
203 necessariamente em anos classificados como Niño chove mais e em anos de Niña chove menos,
204 como pode ser observado na Figura 1A, que mostra a precipitação pluviométrica real no período
205 de 2005-2021. A influência na precipitação por estação, dentro de cada ano, ocorre em função da
206 intensidade do evento ENOS registrada no período, que pode ser observado na Figura 1B. Quando

207 avaliadas as classes padronizadas para eventos ENOS, pode-se verificar que na primavera,
208 eventos de Nino_forte ocorreram nos anos de 2009 e 2014 (Figura 2A), com a ocorrência de
209 chuvas acima da média. Já no verão nos anos de 2006 e 2021 foi registrado evento de Nina_forte
210 (Figura 2B), Nino_fraco em 2019 (Figura 2C) e Neutro_atípico em 2020, com registro de chuvas
211 abaixo da média (Figura 2D).

212 Não foram registradas as intensidades de Neutro_atípico, Nina_forte e Nino_fraco na estação
213 de primavera. Assim como não ocorreram eventos de Nino_forte na estação do verão.

214

215

216 Produção primária e secundária de pastagem natural do bioma Pampa

217

218 A massa de forragem (MF), altura do estrato inferior (ALT) e porcentagem de touceiras (%T)
219 são descritores da estrutura do pasto em função do manejo com diferentes ofertas de forragem. A
220 massa de forragem média registrada na base de dados é de $809,7 \pm 229,6$; $1231,7 \pm 394,7$; $1431,5$
221 $\pm 364,8$; $1536,7 \pm 434$ e $1763,5 \pm 484,4$ Kg de MS ha⁻¹ para as ofertas de 4, 8, 8-12, 12 e 16 Kg
222 de MS para 100 Kg de PV⁻¹, respectivamente. A altura do estrato inferior foi mantida com médias
223 de $3,97 \pm 1$; $5,58 \pm 1,46$; $7,66 \pm 1,83$ e $8,91 \pm 2,05$ para as ofertas de 4, 8, 8-12, 12 e 16 Kg de
224 MS para 100 Kg de PV⁻¹. O %T médio registrado foi de $2,36 \pm 2,53$; $28,95 \pm 10,43$; $32,62 \pm$
225 $10,26$; $38,15 \pm 9,95$ e $44,31 \pm 10,39$ % em relação a área total da unidade experimental. É possível
226 observar que o aumento da oferta de forragem reflete o aumento da massa média de forragem,
227 altura do estrato inferior e na porcentagem de touceiras.

228 Os efeitos dos fatores experimentais e suas interações na taxa de acúmulo de forragem (TAC),
229 taxa de lotação (TLT), ganho médio diário (GMD) e ganho de peso por área (GPA), podem ser
230 observados na Tabela 1, como resultado da análise de variância (ANOVA).

231 Não foram observados efeitos significativos para taxa de acúmulo de forragem (TAC; kg MS
232 ha dia⁻¹; Tabela 2). Na estação da primavera, as taxas de acúmulo média observada foi de $12,32$
233 $\pm 6,10$ kg MS ha⁻¹ dia⁻¹ quando ocorreram os eventos classificados como El Niño, Neutro, La
234 Niña, e El Niño_forte. No verão a média observada para a mesma variável foi de $14,55 \pm 7,08$
235 kg MS ha dia⁻¹ na ocasião de eventos classificados como El Niño, El Niño_fraco, La Niña_forte,
236 La Niña, Neutro e Neutro_atípico.

237 Para taxa de lotação (TLT) houve interação tripla entre ofertas de forragem, eventos ENOS e
238 estação (Tabela 2).

239 A TLT foi inferior para todos os tratamentos na primavera, em anos Neutros, com média de
240 $257,2 \pm 79,7$ Kg de PV ha⁻¹, quando comparados aos demais eventos registrados. Quando o evento
241 em evidência foi o Nina, a taxa de lotação foi maior, com $582 \pm 31,2$ Kg de PV ha⁻¹ na oferta de
242 4%, intermediário para 8 e 8-12%, com média de $402 \pm 30,9$ Kg de PV ha⁻¹ e inferior para 12 e
243 16%, com média de $253,5 \pm 30,95$ Kg de PV ha⁻¹. Em anos de Nino, a taxa de lotação em 4% foi

244 superior em a oferta de 16%, em 39,8%. Mesmo comportamento foi observado em anos de
245 Nino_forte, onde a oferta a 16% e 7,6%.

246 No verão, em anos Neutros, a taxa de lotação foi superior para 4%, com $776 \pm 64,1$ Kg de PV
247 ha^{-1} , intermediário em 8%, com $481 \pm 64,2$ Kg de PV/ha e inferior para 8-12, 12 e 16%, com
248 média de $315 \pm 64,1$ Kg de PV ha^{-1} . Já em anos Neutro_atípico, a maior taxa de lotação foi
249 observada para 8% ($410 \pm 75,9$ Kg de PV ha^{-1}), intermediária para 4, 8-12 e 12% ($324,3 \pm 75,9$
250 Kg de PV ha^{-1}) e inferior para 16%, com valor de $248 \pm 75,9$ Kg de PV ha^{-1} . Quando o evento
251 registrado foi Nina, a TLT para a manutenção de oferta de 4% foi de $634 \pm 36,8$ Kg de PV ha^{-1} ,
252 superior em 34,8% ao observado na oferta 8% ($413 \pm 36,8$ Kg de PV ha^{-1}).

253 Interação significativa entre ofertas de forragem, ENOS e estação do ano foi observada para
254 ganho médio diário (GMD; Tabela 3). Quando analisadas as estações em função dos eventos
255 ENOS, pode-se observar que na primavera, em anos Neutros, o GMD foi semelhante para as
256 distintas ofertas de forragem, com média de $0,448 \pm 0,15$ kg PV animal⁻¹ dia⁻¹. Em anos Nina,
257 o GMD foi superior para os bovinos mantidos sob oferta de 16%, mas não diferente dos bovinos
258 submetidos as ofertas de 12 e 8-12, com média de $0,278 \pm 0,061$ kg PV animal⁻¹ dia⁻¹. Bovinos
259 mantidos sob oferta de 8% tiveram GMD superior quando comparado àqueles em oferta de 4%.
260 Em anos Nino, o GMD foi maior para bovinos mantidos sob oferta de 16%, intermediário para
261 aqueles mantidos nas ofertas de 12, 8-12 e 8%, com média de $0,231 \pm 0,07$ kg PV animal⁻¹ dia⁻¹
262 e inferior para aqueles submetidos a 4% ($0,070 \pm 0,07$ kg de kg PV animal⁻¹ dia⁻¹). Para
263 Nino_forte, bovinos mantidos sob oferta de 16 e 12% ($0,393 \pm 0,117$ kg PV animal⁻¹ dia⁻¹,
264 tiveram GMD superior, mas não diferentes quando comparados aos mantidos nas ofertas de 8 e
265 8-12 % ($0,266 \pm 0,12$ kg PV animal⁻¹ dia⁻¹). Aqueles mantidos sob oferta de forragem de 4%
266 demonstraram o menor desempenho.

267 Já no verão, bovinos mantidos sob diferentes ofertas de forragem em anos Neutro tiveram
268 GMD superior quando mantido sob oferta 16%, mas não diferentes daqueles mantidos nas ofertas
269 de 8-12 e 12, com média de $0,191 \pm 0,136$ kg PV animal⁻¹ dia⁻¹. Animais mantidos sob as ofertas
270 de 8 e 4% tiveram GMD inferior, com média de $0,093 \pm 0,13$ kg PV animal⁻¹ dia⁻¹. Em Anos
271 Neutro_atípico, bovinos mantidos nas diferentes ofertas de forragem tiveram desempenho
272 semelhante, com média de $0,294 \pm 0,15$ kg PV animal⁻¹ dia⁻¹. Para o evento Nina, bovinos
273 mantidos sob oferta de 8-12% tiveram GMD superior de $0,330 \pm 0,072$ kg PV animal⁻¹ dia⁻¹,
274 mas não diferente quando comparado as mantidos sob ofertas de 16 e 8% ($0,256 \pm 0,39$ kg PV
275 animal⁻¹ dia⁻¹). Aqueles mantidos sob oferta 4 e 12% tiveram o pior desempenho, com média de
276 $0,193 \pm 0,07$ kg PV animal⁻¹ dia⁻¹.

277 Em anos de Nina_forte, no verão, bovinos mantidos sob oferta 4% tiveram desempenho
278 inferior aos demais tratamentos, com $0,214 \pm 0,18$ kg PV animal⁻¹ dia⁻¹, mas sem diferir daqueles
279 mantidos sob oferta de 12% ($0,478 \pm 0,18$ kg PV animal⁻¹ dia⁻¹). Os bovinos mantidos nas ofertas

280 de 16, 8 e 8-12 % tiverem desempenho superior, com média de $0,546 \pm 0,14$ kg PV animal⁻¹ dia⁻¹.
281 No registro do evento Nino, o desempenho de bovinos foi semelhante e superior quando
282 submetidos aos tratamentos de 8-12, 12 e 16%, com média de $0,297 \pm 0,10$ kg PV animal⁻¹ dia
283 ⁻¹, semelhante àqueles mantidos na oferta de 8% e inferior para aqueles mantidos sob oferta de
284 4% ($0,075 \pm 0,10$ kg PV animal⁻¹ dia⁻¹). Por fim, em verões sob efeito do evento Nino_fraco,
285 bovinos mantidos sob ofertas de 16, 8-12 e 12% tiveram desempenho superior, com média de
286 $0,312 \pm 0,155$ kg PV animal⁻¹ dia⁻¹, mas sem diferir do tratamento 8%. Já aqueles mantidos sob
287 oferta de 4% tiveram menor GMD.

288 Interação significativa entre ofertas de forragem, ENOS e estação do ano foi observada para
289 ganho de peso por área mensal (GPA; Tabela 3). Na estação da primavera, para os eventos Neutro,
290 Nino e Nino_forte, não houve diferença para ganho de peso em bovinos mantidos nas diferentes
291 ofertas de forragem, com média de $51,8 \pm 32,2$ Kg PV ha⁻¹. Quando registrado anos Nina, o GPA
292 foi superior nas ofertas 8 e 8-12%, com média de $54,55 \pm 16,2$ Kg PV ha⁻¹, mas não diferente de
293 12 e 16% ($62,47 \pm 16$ Kg PV ha⁻¹). O GPA na oferta de 4% foi inferior aos demais, mas não
294 diferente dos tratamentos 12 e 16%, com $16,13 \pm 16,7$ Kg PV ha⁻¹.

295 No verão para os eventos Neutro, Neutro_atípico e Nino_fraco, não houve diferenças para
296 GPA de bovinos mantidos nas diferentes ofertas de forragem, com médias de $20,1 \pm 32,5$ Kg PV
297 ha⁻¹. Para anos Nina, o GPA foi superior em bovinos sob oferta 4% ($66,21 \pm 14,4$ Kg PV ha⁻¹,
298 intermediário em 8-12 e 8 % ($42,31 \pm 14,41$ Kg PV ha⁻¹) e inferior nas ofertas 16 e 12% ($28,18 \pm$
299 $14,1$ Kg PV ha⁻¹). Quando o evento registrado foi Nina_forte, o GPA foi superior em bovinos sob
300 oferta de 8% ($112,10 \pm 32$ Kg PV ha⁻¹), em relação a oferta 4% ($18,96 \pm 38,1$ Kg PV ha⁻¹), mas
301 não diferente das demais ofertas, média de $68,22 \pm 32$ Kg PV ha⁻¹. Em anos Nino, para as ofertas
302 8-12, 8 e 12%, o GPA foi maior, com média de $47,17 \pm 17,4$ Kg PV ha⁻¹, mas sem diferir da oferta
303 16% ($27 \pm 17,1$ Kg PV ha⁻¹), e menor quando bovinos permanecerem sob 4% ($12,52 \pm 17,1$ Kg
304 PV ha⁻¹).

305

306 4 DISCUSSÃO

307 Eventos climáticos

308 Os resultados deste estudo evidenciam que as anomalias climáticas, medidas a partir da
309 intensidade dos eventos ENOS, se mostram importantes fatores na respostas da produção primária
310 e secundária em pastagens naturais do bioma Pampa. Também sugere que em termos de volume
311 pluviométrico, anos neutros ou ENOS, apresentam o comportamento similar nas estações da
312 primavera e verão, conforme confirmam os registros normais de [22].

313 Na primavera, nos anos de 2009 e 2014, pode-se observar o efeito do Nino_forte
314 influenciando na precipitação acima da média (Figura 2A). Eventos ENOS quando registrados
315 como anomalia de El Niño, ou fase quente, tem como principal característica o aumento no volume
316 pluviométrico anual no estado do Rio Grande do Sul, sendo estes volumes mais intensos na
317 primavera do ano de início da anomalia, geralmente nos meses de outubro e novembro e no final
318 do outono do ano seguinte, geralmente nos meses de abril, maio e junho. Já no verão, ENOS
319 anômalos foram registrados, como Nina_fraco e Nina_forte, evidenciando o efeito padrão que
320 ENOS na sua fase fria tem no extremo Sul do Brasil. Geralmente, em anos de La Niña, ocorre o
321 registro de menor precipitação anual com acentuada redução nas estações mais quentes do ano.
322 Em anos neutros, também é registrada tendência de menores volumes pluviométricos, similares
323 às precipitações pluviais que ocorrem em anos de La Niña, ficando entre 1.600 e 1.800 mm [23].

324 Os eventos anômalos registrados nos anos anteriores aos evidenciados pela análise da
325 precipitação padronizada podem auxiliar na discussão das intensidades acentuadas nos eventos
326 registrados. Se analisarmos os últimos 3 anos registrados na base de dados, sendo eles 2019, 2020
327 e 2021, percebemos forte anomalia climática, nos verões, registrados como Nino_fraco,
328 Neutro_atípico e Nina_forte, respectivamente. Esta sequência de eventos climáticos anômalos de
329 baixa precipitação pluviométrica pode ter influenciado as reservas de água no solo e a
330 evapotranspiração que tem papel fundamental na retroalimentação do ciclo das chuvas. Segundo
331 [24], estudando as particularidades ambientais do bioma Pampa relacionadas ao balanço
332 energético, o processo de evapotranspiração é influenciado principalmente pela energia
333 disponível na superfície, demanda atmosférica por vapor d'água, fatores fisiológicos da vegetação
334 e resistências impostas à transferência de vapor d'água entre a vegetação e a atmosfera, sendo que
335 o microclima local do bioma Pampa desempenha um papel importante na partição energética.
336 Além disso, o bioma Pampa é um ecossistema complexo onde as interações superfície-atmosfera
337 dependem do tempo e do clima, do solo e da fenologia da vegetação.

338

339 Produção primária em pastagem natural do bioma Pampa

340 A taxa de acúmulo não sofreu influência de eventos ENOS ou das ofertas de forragem
341 avaliadas em cada estação. Numericamente, a taxa de acúmulo foi maior no tratamento 8-12%,
342 também no verão, período de maior evapotranspiração das espécies vegetais. O processo de
343 produção de tecidos vegetais é contínuo e regulado por variáveis ambientais, características
344 estruturais e genéticas e seguem um fluxo de crescimento determinado pela interação desses
345 fatores. Ou seja, o ciclo de vida de sucessivas folhas, em um perfilho, está intimamente
346 relacionado, pois o aparecimento de uma nova folha, a cessão do crescimento da folha anterior e
347 a senescência de uma folha madura acontecem mais ou menos ao mesmo tempo. Sendo assim, a

348 resposta plástica observada por meio da taxa de acúmulo pode estar relacionada aos mecanismos
349 adotados pelas plantas para adaptar-se as condições do manejo, alterando seu programa
350 morfogênico em resposta às variações ambientais [25]. Tanto a atividade fotossintética quanto o
351 perfilhamento, respondem de modo diferente a variações no manejo da pastagens e das condições
352 ambientais a qual estão expostas, e, devido a isso, o crescimento é dificilmente previsível [26].

353 A taxa de lotação (TLT) mostra-se sensível as alterações entre anos Neutros e ENOS, para
354 ambas as estações avaliadas. Se observadas as menores ofertas de forragem, no caso 4 e 8%,
355 quando o evento ENOS registrado induzir a maiores volumes pluviométricos, como Nino e
356 Nino_forte, maior taxa de lotação é observada. Em contrapartida, em anos Nina, Nina-forte ou
357 Neutro, relação inversa é evidenciada. Neste protocolo de longa duração, a taxa de lotação é
358 consequência direta do manejo de pastejo sob diferentes ofertas de forragem e condicionadora
359 das diferenças observadas na estrutura do pasto. No caso da manutenção de altas taxas de lotação,
360 observadas nas menores ofertas de forragem, altas pressões de pastejo homogeneízam a estrutura
361 da vegetação [6], determinando altura de estrato inferior entre 3 e 5 cm, vegetação com maior
362 proporção de solo descoberto. Esta situação, em que a estrutura é limitante e o crescimento do
363 pasto está comprometido pelo manejo de pastejo ou condições climáticas adversas, o
364 desequilíbrio nas interações planta:animal podem gerar oscilações na taxa de lotação e fragilidade
365 do sistema pastoril. Por outro lado, a manutenção na taxa de lotação, independente do eventos
366 climáticos pode ser observada para as maiores ofertas de forragem, como 12 e 16%. Acrescenta-
367 se ao fato anterior que em anos onde a manifestação da anomalia registra a fase quente do ENOS,
368 pode-se observar maior taxa de lotação para todos os tratamentos. Pode-se dizer que na primavera,
369 na menor oferta de forragem, a redução da lotação chega a 20,2 % quando comparamos a resultado
370 da TLT em Nino e Nino_forte com Nina e a 64,7% quando comparamos com Neutro. O manejo
371 das ofertas de forragem, quando conduzido de forma a não limitar o consumo animal, apresenta
372 menor sensibilidade aos efeitos do clima. A manutenção de uma taxa de lotação estável ao longo
373 dos meses de estação quente, onde a maioria das espécies C4 estão em crescimento, traz segurança
374 para o sistema ambiental e pecuário e permite predizer ganhos e projetar estratégias que
375 beneficiem a economia dentro da atividade pecuária.

376 O conhecimento dos efeitos dos eventos meteorológicos adversos sobre a produtividade
377 é importante para o manejo de sistemas pecuários baseados em pastagens naturais. Além disso,
378 cada espécie forrageira ou cultura tem suas características específicas em termos de exigência de
379 nutrientes, água, especificidades anatômicas e fisiológicas, assim como, cada espécie animal tem
380 suas particularidades e responde ao meio ao qual foi submetido de formas diferentes.

381

382 Produção secundária em pastagem natural do bioma Pampa

383 O ganho médio diário (GMD) foi influenciado pelas variações climáticas registradas
384 pelos eventos ENOS e Neutro. Outro ponto a ser observado é que os eventos Nina e Nina-forte,
385 em ambas as estações, ocasionam redução no GMD de bovinos em pastejo em áreas com menor
386 oferta de forragem, destacando a fragilidade do sistema frente ao estresse hídrico gerado por estes
387 eventos.

388 É possível ainda verificar a ocorrência de maiores ganhos quando os ENOS registrados
389 favoreceram maior precipitação nas estações relatadas e quando os bovinos estavam em pastejo
390 nas maiores ofertas de forragem. Quando manejamos pastagens naturais do bioma Pampa sob
391 ofertas moderadas a altas, pode-se verificar a ocorrência de maior porcentagem de sítios ótimos
392 de pastejo, o que possibilita aos animais coletarem pasto em quantidades satisfatórias para a
393 manutenção de ganhos médios superiores [27]. Segundo [28] a escala do consumo de forragem
394 por bovinos em pastejo, que leva até o desempenho animal inicia no bocado, o qual é diretamente
395 influenciado pela estrutura do pasto. Mesmo nas ofertas maiores, como em 16%, que tem como
396 efeito a apresentação da estrutura de pasto heterogênea e “engrossada” em relação aos demais
397 tratamentos, o GMD foi satisfatório.

398 Ao analisar o ganho de peso por área, detectamos o mesmo padrão observado para GMD,
399 com GPA satisfatórios em anos Nino e Nino_forte e provável estabilidade quando os bovinos
400 experimentais permaneceram em pastejo nas maiores ofertas de forragem. O GPA é uma
401 consequência da manutenção de índices de GMD de bovinos em pastejo e pode ser otimizado em
402 ofertas variáveis ao longo pois estas propiciam melhora na estrutura da vegetação disponível para
403 os bovinos em pastejo. Eventos ENOS influenciam a produção primária e secundária em
404 pastagem natural do bioma Pampa. Anos caracterizados como Neutro podem ter efeito negativo
405 mais pronunciado que anos de La Niña. Já em anos que registraram eventos El Niño, independente
406 da sua intensidade, influenciaram positivamente as produções primárias e secundárias.

407

408 **5 CONCLUSÃO**

409 Pastagens naturais do bioma Pampa, quando manejadas sob ofertas de forragem
410 moderada e alta, como em 12 e 16%, apresentam menor influência das condições climáticas
411 adversas e mantém a produção primária e secundária satisfatória mesmo com as diferentes
412 manifestações de ENOS.

413 **Disponibilidade de dados**

414 Os conjuntos de dados gerados e/ou analisados durante o estudo atual estão disponíveis
415 com o autor correspondente mediante solicitação razoável.

416

417 **6 REFERÊNCIAS**

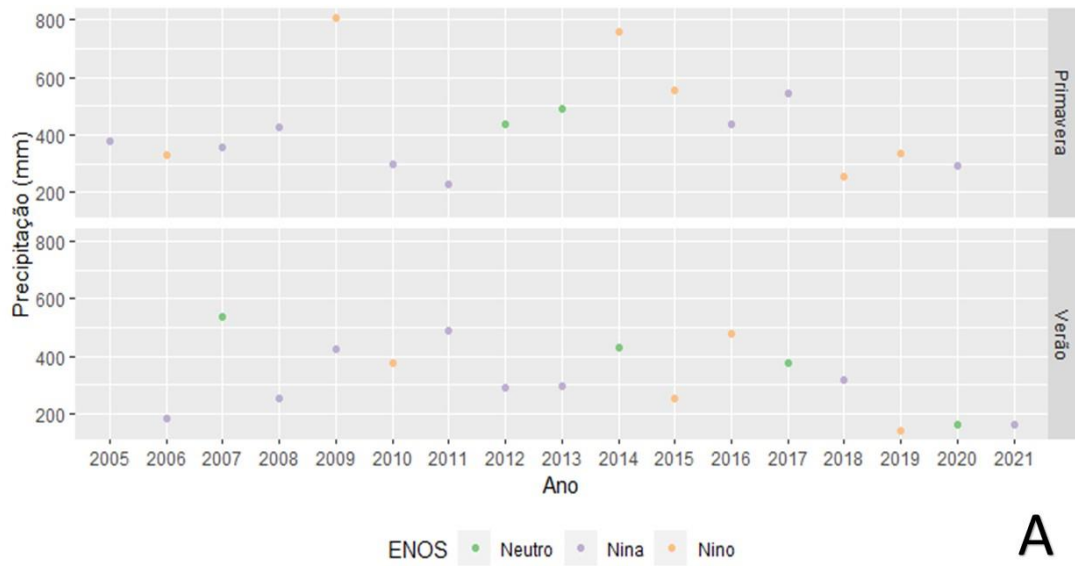
418

- 419 1. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de**
 420 **biomas do Brasil: first approximation.** Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Disponível em:
 421 <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=details&id=66083>.
 422 Acesso em: May 22, 2020.
- 423 2. JACÓBSEN, L. O; FONTANA, D. C; SHIMABUKURO, Y. E. **Alterações na vegetação**
 424 **em macrozonas do Rio Grande do Sul associados a eventos El Niño e La Niña,**
 425 **usando imagens NOAA.** Revista Brasileira de Agrometeorologia, v. 11, n. 2, p. 361-374,
 426 2003.
- 427 3. MAIA, J. F. et al. **O pampa gaúcho e a contribuição da agricultura e da pecuária**
 428 **familiar no processo de desenvolvimento territorial.** 2022.
- 429 4. TEIXEIRA, M. S; PRIETO, R B. **Eventos extremos de chuva no estado do Rio Grande**
 430 **do Sul, Brasil, entre 2004 e 2013. Parte 1: definição dos eventos e estatísticas.** Revista
 431 Brasileira de Meteorologia, v. 35, p. 45-52, 2020.
- 432 5. JAURENA. M. et al., **Native Grasslands at the Core: A New Paradigm of**
 433 **Intensification for the Campos of Southern South America to Increase Economic**
 434 **and Environmental Sustainability.** Front. Sustain. Food Syst., 05 March 2021. Sec.
 435 Agroecology and Ecosystem Services. V. 5 - 2021
 436 | <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.547834>
- 437 6. CARVALHO, P.C.F.; SANTOS, D.T.; NEVES, F.P. **Oferta de forragem como**
 438 **condicionadora da estrutura do pasto e do desempenho animal.** In: Miguel
 439 Dall'Agnol; Carlos Nabinger; Danilo Menezes Santana; Rogério Jaworski dos Santos
 440 (Eds.). Sustentabilidade Produtiva do Bioma Pampa, pg. 23-60. 2007.
- 441 7. BERGAMASCHI, H., GUADAGNIN, M.R., CARDOSO, L.S., DA SILVA, M.I.G.,
 442 **Clima da estação experimental da UFRGS (e região de abrangência).** UFRGS, Porto
 443 Alegre. 78pp, 2003.
- 444 8. BOLDRINI 96
- 445 9. PINTO, C. E., WALLAU, M., BOLDRINI, I. **Vegetation structure and floristic**
 446 **composition.** NATIVÃO BOLETIN: + 30 YEARS OF RESEARCH IN NATIVE
 447 CAMPO, C. 3, P. 16 - 20, 2019.
- 448 10. MOTT, G.O., LUCAS, H.L.. **The Design, Conduct and Interpretation of Grazing**
 449 **Trials on Cultivated and Improved Pastures.** International Grassland Congress.
 450 Pennsylvania, In, pp. 1380–1395, 1952.

- 451 11. National Oceanic and Atmospheric (NOAA) - **NOAA, Episódios frios e quentes por**
452 **temporada.** Disponível em:
453 https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php>
454 Acesso em: 01 de dezembro de 2022.
- 455 12. WILM, H.G., COSTELLO, D.F., KLIPPLE, G.E.. **Estimating forage yield by the**
456 **double- sampling method 1.** Agron. J. 36, 194–203, 1944.
- 457 13. MEZZALIRA, J. C., CARVALHO, P. C. F., DA TRINDADE, J. K. & BREMM, C.
458 **Animal and vegetable production in native pasture managed under different forage**
459 **offers by cattle.** Science Rural. 42, 1264-1270, 2012.
- 460 14. CARVALHO, P. C. F. et al. **Can animal performance be predicted from short-term**
461 **grazing processes?** Ani. Product Sci. 55, 319-327, 2015.
- 462 15. FISCHER, F. M., et al. **Long-term effects of grazing intensity on strategies and spatial**
463 **components of functional diversity in subtropical grasslands.** Applic. Vegetable Sci.
464 22, 39-47, 2018.
- 465 16. BARTHAM, GT **Experimental Techniques: The HFRO sward stick.** in: The Hill
466 Farming Research Organization. 29-30, 1985
- 467 17. Da TRINDADE, J.K.; et al. **Forage Allowance as a Target of Grazing Management:**
468 **Implications on Grazing Time and Forage Searching.** Rangeland Ecology &
469 Management, V. 65, P. 382-393, 2012.
- 470 18. R Core Team. **A: A language and environment for statistical computing,** 2018.
- 471 19. PINHEIRO J.C E BATES D.M, **Mixed-Effects Models in S and S-PLUS,** 2000.
- 472 20. LENTH, R. emmeans: **Estimated Marginal Means, also known as Least Square**
473 **Means.** R package version 1.3.1. 2018
- 474 21. FOX, J. & WEISBERG, S. **A companion {R} to applied regression.** 2011.
- 475 22. BERGAMASCHI, H. et al. **Clima da estação experimental da UFRGS (e região de**
476 **abrangência).** Porto Alegre: UFRGS, p. 77. 2012.
- 477 23. MATZENAUER, R.; RADIN, Bernadete ; MALUF, J. R. T. . **O fenômeno ENOS e o**
478 **regime de chuvas no Rio Grande do Sul.** Agrometeoros, v. 25, p. 323-331, 2017.
- 479 24. ROCHA N.S. et al., **Análise do balanço hídrico climatológico da sub-bacia**
480 **hidrográfica do alto Camaquã-rs.** Geo UERJ, Rio de Janeiro, n. 37, e 37723, 2020 |
481 DOI: 10.12957/geouerj.2020.37723.
- 482 25. QUADROS, F. L. F. de; TRINDADE, J. P. P.; BORBA, M. **A abordagem funcional da**
483 **ecologia campestre como instrumento de pesquisa e apropriação do conhecimento**
484 **pelos produtores rurais.** In: PILLAR, V. de P. et al. (Ed.). Campos sulinos: conservação
485 e uso sustentável da biodiversidade. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, cap. 15,
486 p. 206-213, 2009.

- 487 26. PEDREIRA, C. G. S.; MELLO A. C. L.; OTANI, L. **O processo de produção de**
488 **forragem em pastagem.** In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA
489 (Piracicaba, SP). A produção animal na visão dos brasileiros. Piracicaba: Fealq, p. 772-
490 807. 2001.
- 491 27. GONÇALVES, E.N et al.. **Relações planta-animal em ambiente pastoril heterogêneo:**
492 **processo de ingestão de forragem.** Brazilian Journal of Animal Science 38, 1655-1662.
493 2009.
- 494 28. CARVALHO, P. C. F., et al.. **Comportamento ingestivo de animais em pastejo.**
495 Forragicultura: ciência, tecnologia e gestão de recursos forrageiros'. (Eds RA Reis, TF
496 Bernardes, GR Siqueira) pp, 525-545. 2013.

FIGURAS E TABELAS



A

1



B

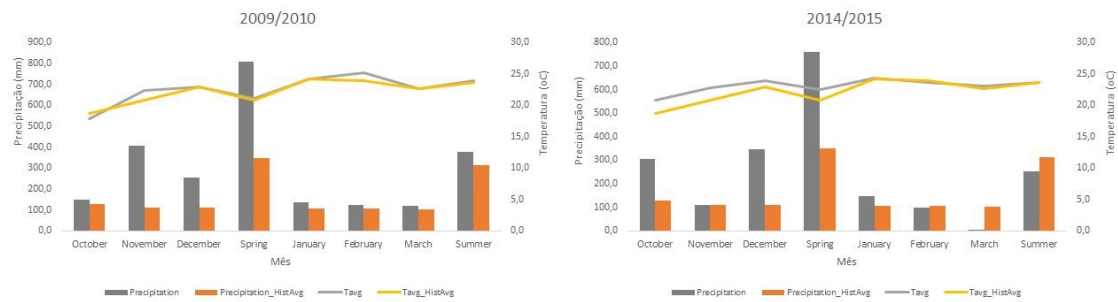
2

3 Figura 1- Precipitação pluviométrica real (A) e Precipitação pluviométrica padronizada (B). Os
 4 dados representam o comportamento da precipitação pluviométrica ao longo do ano. As médias
 5 são valores calculados a partir de um série de dados de 15 anos.

6

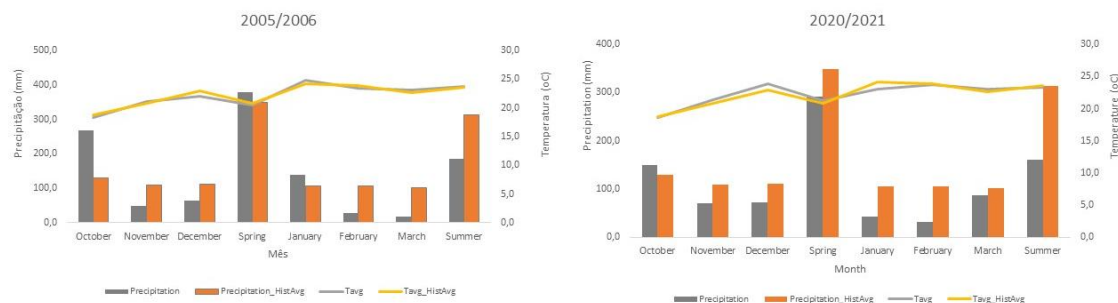
7

A) PRIMAVERA – EL NIÑO FORTE



8

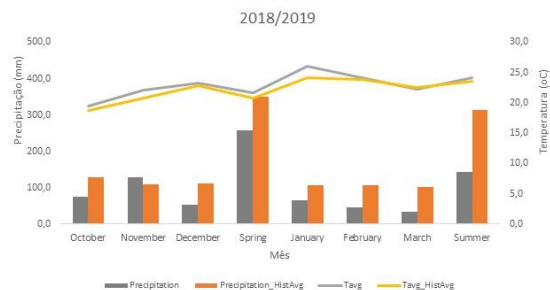
B) VERÃO – LA NIÑA FORTE



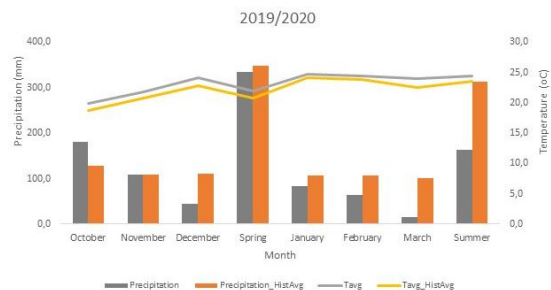
9

C) VERÃO

C.1) EL NIÑO FRACO



C.2) NEUTRO ATÍPICO



10

11 Figura 2 – Precipitação histórica e precipitação observada em anos de eventos ENOS atípicos.

12 Em A, evidencia-se a ocorrência de evento El Niño Forte, na estação da primavera, com

13 precipitação acima da média. Em B, evidencia-se a ocorrência de La Niña forte, na estação do

14 verão, com chuvas abaixo da média. Já em C, também com chuvas abaixo da média histórica

15 evidencia-se a ocorrência de El Niño Fraco (C.1) e Neutro atípico (C.2). Os dados apresentados

16 representam o comportamento da chuva e da temperatura ao longo do ano. As médias

17 climatológicas são valores calculados a partir de um série de dados de 15 anos observados.

18

19

20

21

22 Tabela 1 – Significado dos efeitos dos fatores experimentais e suas interações na taxa de acúmulo
 23 (TAC), taxa de lotação (TLT), ganho médio diário (GMD) e ganho de peso por área (GPA), como
 24 resultado da análise de variância (ANOVA).

Fatores experimentais	TAC	TLT	GMD	GPA
OF ^a	ns	***	***	***
ENOS ^b	ns	**	ns	ns
ESTAÇÃO ^c	ns	**	ns	ns
OF × ENOS	ns	***	ns	ns
OF × ESTAÇÃO	ns	***	ns	ns
ENOS × ESTAÇÃO	ns	***	ns	ns
OF × ENOS × ESTAÇÃO	ns	***	***	**

* Nível de significância $p < 0.05$.

**Nível de significância $p < 0.01$.

*** Nível de significância $p < 0.001$.

ns Não significativa

^a Oferta de Forragem

^b Eventos ENOS

^c Estação do Ano

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

Tabela 2 - Taxa de acúmulo de forragem (TAC; kg MS ha dia⁻¹), taxa de lotação (TLT; Kg de PV ha⁻¹) de base de dados com 15 anos de manejo de pastagem natural do bioma Pampa, nas estações de primavera e verão, sob distintas ofertas de forragem, sob efeito de eventos ENOS. As letras "Maiúsculas" na linha representam as diferenças entre as Ofertas de forragem dentro de cada estação do ano. Já as letras minúsculas na coluna representam a diferença entre eventos ENOS na estação.

Estação		Primavera						
Classe	Neutro	Neutro_At	La Niña	La Niña_Forte	EL NIÑO	EL NIÑO_FORTE	EL NIÑO_FRACO	
OF	4	10,9±12,3a	-	9,3±3,2 ^a	-	15,9±4,4a	6,5±6,3a	-
	8	6,8±9,4a	-	13,7±3,1 ^a	-	14,5±4,4a	4,4±6,2a	-
	8-12	17,1±9,9a	-	10,4±3,1 ^a	-	15,8±4,4a	13,5±6,7a	-
	12	11,2±10,7a	-	11,7±3,1 ^a	-	16,1±4,4a	11,3±6,3a	-
	16	15,3±9,9a	-	13,8±3,1 ^a	-	19,2±4,4a	9,0±6,3a	-
Estação		Verão						
Classe	Neutro	Neutro_At	La Niña	La Niña_Forte	EL NIÑO	EL NIÑO_FORTE	EL NIÑO_FRACO	
OF	4	10,2±7,0a	8,7±8,1a	16,1±3,9 ^a	18,2±9,9 ^a	19,6±5,3a	-	13,5±8,1a
	8	9,9±7,3a	5,8±8,1a	14,8±3,8 ^a	26,7±9,9 ^a	18,5±5,3a	-	15,2±8,1a
	8-12	6,7±7,0a	1,57±8,1a	13,1±3,8 ^a	15,7±9,9 ^a	15,9±5,3a	-	14,0±8,1a
	12	16,7±7,0a	5,2±8,1a	18±4 ^a	12,8±9,9 ^a	21,7±5,3a	-	28,8±8,1a
	16	6,6±7,0a	17,2±8,1a	21,8±4 ^a	12,7±9,9 ^a	18,5±5,3a	-	22,6±8,1a
Estação		Primavera						
Classe	Neutro	Neutro_At	La Niña	La Niña_Forte	EL NIÑO	EL NIÑO_FORTE	EL NIÑO_FRACO	
OF	4	257,2±84,7Ca	-	582±31,2Ba	-	718±37,3ABa	741±59,1Aa	-
	8	275±80Aa	-	417±30,9Ab	-	411±38,5Abc	556±56,7Abc	-
	8-12	252±80Ba	-	387±30,9Bb	-	433±60,5ABb	609±60,5Aab	-
	12	244±73,8Aa	-	286±30,9Ac	-	336±38,4Acd	441±58,2Acd	-
	16	240±80Aa	-	221±31Ac	-	273±38,4Ad	343±58,2Ad	-
Estação		Verão						
Classe	Neutro	Neutro_At	La Niña	La Niña_Forte	EL NIÑO	EL NIÑO_FORTE	EL NIÑO_FRACO	
OF	4	776±64,1ABa	343±75,9Cab	634±36,8Ba	663 ± 102,6ABCa	890±50,3Aa	-	626±76,1ABCa
	8	481±64,2Ab	410±75,9Aa	413±36,8Ab	465 ±88,5 Aab	513±49,8Ab	-	358±76,1Ab
	8-12	322±64,1Ac	320±75,9Aab	321±36,5Abc	346 ± 88,5Abc	409±49,8Abc	-	350±76,1Ab
	12	338±64,1Ac	310±75,9Aab	336±36,5Abc	291 ± 88,5Abc	376±49,8Acd	-	296±76,1Ab
	16	248±75,9Ac	248±75,9Ab	263±36,5Ac	263 ± 88,5 Ac	276±49,8Ad	-	262±76,1Ab

Tabela 3 - Ganho médio diário (GMD; kg dia⁻¹) e ganho de peso por área mensal (GPA; kg PV ha⁻¹) de base de dados com 15 anos de manutenção de pastagem natural do bioma Pampa, nas estações de primavera e verão, manejada com distintas ofertas de forragem, sob efeito de eventos ENOS. As letras "Minúsculas" na linha representam as diferenças entre as Ofertas de forragem dentro de cada estação do ano. Já as letras "Maiúsculas" na coluna representam a diferença entre eventos ENOS na estação.

Estação		Primavera						
Classe	Neutro	Neutro_At	La Niña	La Niña_Forte	EL NIÑO	EL NIÑO_FORTE	EL NIÑO_FRACO	
OF	4	0,44 ± 0,15Aa	-	0,02 ± 0,06 Bc	-	0,07 ± 0,07ABc	0,12 ± 0,12 ABb	-
	8	0,54 ± 0,15Aa	-	0,23 ± 0,06Ab	-	0,20 ± 0,07A b	0,29 ± 0,11 Aab	-
	8-12	0,48 ± 0,15 Aa	-	0,25 ± 0,06 Aab	-	0,22 ± 0,07Ab	0,24 ± 0,12 Aab	-
	12	0,51 ± 0,15 Aa	-	0,30 ± 0,06 Aab	-	0,27 ± 0,07A b	0,36 ± 0,17Aa	-
	16	0,48 ± 0,15 Aa	-	0,35 ± 0,06 Aa	-	0,41 ± 0,07 Aa	0,43 ± 0,12 Aa	-
Estação		Verão						
Classe	Neutro	Neutro_At	La Niña	La Niña_Forte	EL NIÑO	EL NIÑO_FORTE	EL NIÑO_FRACO	
OF	4	0,08 ± 0,13Ab	0,27 ± 0,16Aa	0,19 ± 0,07Ab	0,21 ± 0,184Ab	0,07 ± 0,101Ab	-	0,06 ± 0,16Ab
	8	0,11 ± 0,13Ab	0,26 ± 0,16Aa	0,21 ± 0,07Aab	0,53 ± 0,184a	0,19 ± 0,101ab	-	0,23 ± 0,15ab
	8-12	0,17 ± 0,14Aab	0,34 ± 0,16Aa	0,33 ± 0,07Aa	0,53 ± 0,184Aa	0,31 ± 0,101Aa	-	0,31 ± 0,15Aa
	12	0,21 ± 0,13Aab	0,32 ± 0,16Aa	0,19 ± 0,07Ab	0,48 ± 0,184Aab	0,30 ± 0,101Aa	-	0,30 ± 0,15Aa
	16	0,32 ± 0,13Aa	0,27 ± 0,16Aa	0,30 ± 0,07Aab	0,56 ± 0,184Aa	0,29 ± 0,101Aa	-	0,32 ± 0,15Aa
Estação		Primavera						
Classe	Neutro	Neutro_At	La Niña	La Niña_Forte	EL NIÑO	EL NIÑO_FORTE	EL NIÑO_FRACO	
OF	4	53,0 ± 35,5Aa	-	16,1 ± 16,7Ab	-	35,0 ± 15,3Aa	54,1 ± 20,7Aa	-
	8	54,5 ± 32,1Aa	-	55,2 ± 16Aa	-	52,6 ± 15,1Aa	80,3 ± 19,7Aa	-
	8-12	40 ± 28,5Aa	-	53,7 ± 16,2Aa	-	52,3 ± 15,1Aa	54,8 ± 21,2Aa	-
	12	36,2 ± 30,2Aa	-	42,4 ± 16Aab	-	47,3 ± 15,1Aa	68,1 ± 20,2Aa	-
	16	38,7 ± 30,2Aa	-	40,2 ± 16Aab	-	47 ± 15,1Aa	63,6 ± 20,2Aa	-
Estação		Verão						
Classe	Neutro	Neutro_At	La Niña	La Niña_Forte	EL NIÑO	EL NIÑO_FORTE	EL NIÑO_FRACO	
OF	4	21,9 ± 45,3Aa	28,8 ± 26,1Aa	66,2 ± 91,9Aa	18,9 ± 38,1Ab	12,5 ± 17,1Ab	-	6,7 ± 27,1Aa
	8	8,2 ± 45,3Aa	28,7 ± 26,1Aa	40,5 ± 83,7Aab	112,2 ± 30,2Aa	46,3 ± 17,4Aa	-	37,4 ± 26,1Aa
	8-12	6,9 ± 45,3Aa	32 ± 26,1Aa	44,1 ± 87,1Aab	81,4 ± 30,2Aab	49,2 ± 17,4Aa	-	42,4 ± 26,1Aa
	12	9,9 ± 45,3Aa	27 ± 26,1Aa	27,7 ± 87,3Ab	58,9 ± 30,2Aab	46,1 ± 17,1Aa	-	32,8 ± 26,1Aa
	16	18,4 ± 45,3Aa	16,8 ± 26,1Aa	28,6 ± 84,5Ab	64,2 ± 30,2Aab	27 ± 17,1Aab	-	28,6 ± 26,1Aa

CAPÍTULO IV

1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Protocolos experimentais de longa duração, como este que embasou o estudo desta Tese, acrescentam informação de qualidade e confiabilidade para a ciência pois, registram as mudanças ambientais e climáticas que vem ocorrendo ao longo dos anos em consequência das mudanças de necessidades de vida da população ao seu redor.

Também, visando acrescentar maior confiabilidade aos dados coletados e posteriormente analisados, adotar a utilização de métodos de avaliação atualizados, que contam com apoio de equipamentos com sensoriamento remoto, auxílio de satélite e índices de vegetação. Estes equipamentos devem, logicamente, ser calibrados e analisados em relação aos métodos tradicionais de avaliação. Existe um caminho de médio prazo a ser realizado, porém necessário para a longevidade e confiabilidade das informações geradas pelo protocolo.

Manejar pastagem baseada na oferta de forragem foi um divisor de águas em pesquisas com pastagens naturais e nos trouxe informações a respeito da massa de forragem, crescimento e consumo de forragem. Atualmente, modelos de manejo que prezem a oferta de forragem adequada, aliada a estrutura ótima para o pastejo mostram a evolução necessária para otimizar manejos e maximizar ganhos na atividade pecuária, tornando-a rentável e competitiva frente as atividades de monoculturas que ameaçam a manutenção e manutenção do bioma Pampa e da atividade pecuária exercida sobre ele.

2 REFERÊNCIAS

BENCKE, G. A.; CHOMENKO, L.; SANT'ANNA, D. M. **Our unknown: Pampa**. Porto Alegre: Zoobotanical Foundation of Rio Grande do Sul, 2016.

BENGTSSON, J. *et al.* Grasslands-more important for ecosystem services than you might think. **Ecosphere**, Washington, DC, v. 10, [art.]e02582, 2019.

BERGAMASCHI, H. *et al.* **Clima da estação experimental da UFRGS** (e região de abrangência). Porto Alegre: UFRGS, 2003. 78 p.

BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. **El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul: aplicações de previsões climáticas na agricultura**. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2003.

BIGGS, C. R. *et al.* Does functional redundancy affect ecological stability and resilience? A review and meta-analysis. **Ecosphere**, Washington, DC, v. 11, n. 7, [art.] e03184, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ecs2.3184>, Acesso em: 24 maio 2023

BOLDRINI, I. I.; EGGERS, L. Vegetação campestre do sul do Brasil: dinâmica de espécies à exclusão do gado. **Acta Botanica Brasilica**, Brasília, DF, v. 10, n. 1, p. 37-50, 1996.

BOLDRINI, I. Por que e para que conservar o Pampa? *In*: CONGRESSO SOBRE O BIOMA PAMPA: REUNINDO SABERES, 1., 2020, Pelotas. **Anais**. Pelotas: UFPel, 2020. p. 12-29.

CARVALHO, P. C. F. *et al.* Animal production in the southern Campos biome. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 35, p. 156-202, 2006.

CARVALHO, P. C. F.; SANTOS, D. T.; NEVES, F. P. Oferta de forragem como condicionadora da estrutura do pasto e do desempenho animal. *In*: DALL'AGNOL, M. *et al.* (ed.). **Sustentabilidade produtiva do Bioma Pampa**. Porto Alegre: Metrópole, 2007. p. 23-60.

CARVALHO, P. C. F.; BATELLO, C. Access to land, livestock production and ecosystem conservation in the Brazilian Campos biome: the natural grasslands dilemma. **Livestock Science**, Amsterdam, v. 120, n. 1/2, p. 158–162, 2009.

CRAVEN, D. *et al.* Multiple facets of biodiversity drive the diversity-stability relationship. **Nature Ecology & Evolution**, London, v. 2, n. 10, p. 1579–1587, 2018.

DA TRINDADE, J. K. *et al.* Daily forage intake by cattle on natural grassland: response to forage allowance and sward structure. **Rangeland Ecology & Management**, Lakewood, v. 69, n. 1, p. 59–67, 2016.

OLIVEIRA, G. S.; SATYAMURTY, P. **O El Niño de 1997/98: evolução e impactos no Brasil**. [São José dos Campos: INPE], 1998.

GONÇALVES, E. N. **Comportamento ingestivo de bovinos e ovinos em pastagem natural da Depressão Central do Rio Grande do Sul**. 2007. 131 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

HENWOOD, W. D. Toward a strategy for the conservation and protection of the world's temperate grasslands. **Great Plains Research**, Lincoln, v. 20, n. 1, p. 121-134, 2010.

HOLDEN, E. *et al.* Sustainable development: our common future revisited. **Global Environmental Change**, Oxford, v. 26, p. 130–139, 2014.

HOLLING, C. S. Resilience and Stability of ecological systems. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v. 4, n. 1, p. 1–23, 1973. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>. Acesso em: 20 maio 2023.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de biomassa do Brasil: primeira aproximação**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=66083>. Acesso em: 22 maio 2020.

ISBELL, F. *et al.* Biodiversity increases the resistance of ecosystem productivity to climate extremes. **Nature**, London, v. 526, p. 574-577, 2015.

JACÓBSEN, L. O.; FONTANA, D. C.; SHIMABUKURO, Y. E. Alterações na vegetação em macrozonas do Rio Grande do Sul associados a eventos El Niño e La Niña, usando imagens NOAA. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 11, n. 2, p. 361-374, 2003.

JAURENA, M. *et al.* Native grasslands at the core: a new paradigm of intensification for the campos of southern South America to increase economic and environmental sustainability. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, Lausanne, v. 5, [art.] 547834, Mar. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.547834>. Acesso em: 29 mar. 2023.

LI, M. *et al.* Yields and resilience outcomes of organics, cover crops and conventional practices in a Mediterranean climate. **Scientific Reports**, London, v. 9, [art.] 12283, 2019.

LIN, B. B. Resilience in agriculture through crop diversification: adaptive management for environmental changes. **Bioscience**, Oxford, v. 61, n. 3, p. 183–193, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1525/bio.2011.61.3.4>. Acesso em: 10 maio 2023.

LITRE, G.; BURSZTYN, M. Percepções e adaptações aos riscos climáticos e socioeconômicos na pecuária do bioma Pampa. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 55- 80, jul./set. 2015.

MAIA, J. F. *et al.* **O pampa gaúcho e a contribuição da agricultura e da pecuária familiar no processo de desenvolvimento territorial.** 2022. Dissertação (Mestrado em Administração) - Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade Federal do Pampa, Santana do Livramento, 2022.

MARASCHIN, G. E. Production potential of South America grasslands. *In:* INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., 2001, Piracicaba. **Proceedings** [...]. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2001. p.5-18.

MARENGO, J. A.; OLIVEIRA, G. S. Impactos do fenômeno La Niña no tempo e clima do Brasil: desenvolvimento e intensificação do La Niña 1998/1999. *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10., 1998, Brasília, DF. **Anais.** Brasília, DF: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1999. CD-ROM.

MATTE, A.; WAQUIL, P. D. Productive changes in Brazilian Pampa: impacts, vulnerabilities and coping strategies. **Natural Hazards**, Wellington, v. 1, p. 1-20, 2020.

MATZENAUER, R.; RADIN, B.; MALUF, J. R. T. O fenômeno ENOS e o regime de chuvas no Rio Grande do Sul. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v. 25, p. 323-331, 2017.

MITCHELL, P. J. *et al.* An ecoclimatic framework for evaluating the resilience of vegetation to water deficit. **Global Change Biology**, Oxford, v. 22, p. 1677–1689, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/gcb.13177>. Acesso em: 5 mar. 2022.

NABINGER, C. Manejo e produtividade das pastagens nativas do subtropico brasileiro. *In:* SIMPÓSIO DE FORRAGEIRAS E PRODUÇÃO ANIMAL, 1., 2006, Porto Alegre. **Anais.** Porto Alegre: Ulbra, 2006. p. 25–76

MODERNEL, P. *et al.* Land use change and provision of ecosystem services in pastures in the Pampas and Campos of southern South America. **Environmental Research Letters**, Bristol, v. 11, [art.] 113002, 2016.

NEVES, F. P. *et al.* Strategies for managing forage supply for rearing heifers on natural pasture. **Brazilian Journal of Animal Science**, Viçosa, MG, v. 38, p. 1532-1542, 2009.

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

OESTERHELD, M. *et al.* Effects of grazing, fire and climate on primary productivity of grasslands and savannas. *In:* WALKER, L. R. (ed.). **Ecosystems of the world 16 ecosystems of disturbed ground.** New York: Elsevier, 1999. p. 287–306.

OVERBECK, G. E. *et al.* Brazil's neglected biome: the south Brazilian Campos. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, Amsterdam, v. 9, n. 2, p. 101–116, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2007.07.005>. Acesso em: 5 mar. 2022.

OVERBECK, G. E. *et al.* Os campos sulinos: um bioma negligenciado. *In:* PILLAR, V. P. *et al.* (ed.). **Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade.** Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2009. p. 26-41.

OVERBECK, G. E. *et al.* Conservation in Brazil needs to include non-forest ecosystems. **Diversity and Distributions**, London, v. 21, n. 12, p. 1455-1460, 2015.

PACHAURI, R. K.; MEYER, L. A. (ed.). **Climate Change 2014: synthesis report**. Geneva: IPCC, 2014. Disponível em https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_SYR_FINAL_Front_matters.pdf. Acesso em: 20 maio 2023.

PARUELO, J. M. *et al.* Pastures and fires: their role in shaping the structure and functioning of the Rio da Prata fields. **Ecología Austral**, Buenos Aires, v. 32, p. 784–805, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.25260/EA.22.32.2.1.1880>. Acesso em: 30 de maio de 2023.

PETERSON C. A. *et al.* Resilience of an integrated crop–livestock system to climate change: a simulation analysis of cover crop grazing. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, Lausanne, v. 4, [art.] 604099, 2020.

PEZZI, L. P.; SOUZA, R. B.; QUADRO, M. F. L. Uma revisão dos processos de interação oceano-atmosfera em regiões de intenso gradiente termal do oceano atlântico sul baseada em dados observacionais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 31, p. 428-453, 2016.

PINTO, C. E. *et al.* Comportamento ingestivo de novilhos em uma pastagem nativa do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 36, n. 2, p. 319-327, 2007.

PINTO, C. E.; WALLAU, M.; BOLDRINI, I. Vegetation structure and floristic composition. **Nativão Boletim: + 30 Years of Research in Native Campo**, Porto Alegre, c. 3, p. 16-20, 2019.

REDO, D. J. *al.* Impacts of internal and external policies on land change in Uruguay, 2001– 2009. **Environmental Conservation**, Lausanne, v. 39, n. 2, p. 122–131, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/S0376892911000658>. Acesso em: 22 maio 2023.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural. **Radiografia da agropecuária gaúcha**. Porto Alegre: SEAPDR, 2019.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural. **Radiografia da agropecuária gaúcha**. Porto Alegre: SEAPDR, 2023.

SANTOS, D. T. *et al.* A ciência no campo: o exemplo do projeto Redes de Referência. *In: SIMPÓSIO DE FORRAGEIRAS E PRODUÇÃO ANIMAL*, 3., 2008, Porto Alegre. **Anais**. Porto Alegre: UFRGS, 2008. p. 135-171.

TEIXEIRA, M. S.; PRIETO, R. B. Eventos extremos de chuva no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, entre 2004 e 2013. Parte 1: definição dos eventos e estatísticas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 35, p. 45-52, 2020.

TRINDADE, J. P. P.; ROCHA, D. S.; VOLK, L. B. S. **Uso da terra no Rio Grande do Sul**: ano 2017. Bagé: Embrapa Pecuária Sul, 2018.

VANRUIJVEN, J.; BERENDSE, F. Diversity increases community recovery, but not resilience, after drought. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 98, n. 1, p. 81–86, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2009.01603.x>. Acesso em: 23 maio 2023.

WALKER, B. H. Resilience: what it is and is not. **Ecology and Society**, Ottawa, v. 25, n. 2, [art.] 11, p. 25–27, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5751/ES-11647-250211>. Acesso em: 4 fev. 2023.

WILCOX, K. R. *et al.* Rapid recovery of ecosystem function after extreme drought in a South African savanna grassland. **Ecology**, Washington, DC, v. 101, n. 4, p. 1–9, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ecy.2983>. Acesso em: 23 maio 2023.

YACHI, S.; LOREAU, M. Biodiversity and ecosystem productivity in a floating environment: the insurance hypothesis. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, Washington, DC, v. 96, n. 4, p. 1463–1468, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.96.4.1463>. Acesso em: 24 maio 2023.

ANEXO

I – Normas para submissão dos artigos referentes aos capítulos II e III desta tese.

Global Change Biology Initial Submission Checklist

These guidelines will assist you as you prepare your manuscript for review. There is no charge for submission.

The following information is required during the submission process:

- Contact information for all authors:
 - First name, middle initial and last name
 - Institution
 - E-mail address
- The submitting author (only) must provide an ORCID iD when submitting a manuscript. This takes around 2 minutes to complete. [Find more information here.](#)
- Contact information for at least 5 suggested reviewers (selection is at the Editor's discretion)
 - First and last name
 - Institution
 - E-mail address
 - These must have no conflict of interest with the authors including former or current coauthors (within the past 4 years), students, mentors and members of the same academic institution
- Running head - 45 characters maximum, including spaces
- Keywords - 6 to 10 words or short phrases

Answers to the following questions (max 50 words per answer)

- What is the scientific question you are addressing?
- What is/are the key finding(s) that answers this question?
- Why is this work important and timely?
- Does your paper fall within the scope of GCB; what biological AND global change aspects does it address?
- What are the three most recently published papers that are relevant to this question? This information will assist the Editors in selecting reviewers.
- If you listed non-preferred reviewers, provide a justification for each
- Justification if your manuscript does not conform to author or formatting guidelines (e.g. exceeding word limit)

The following elements are not required but assist in the review process.

- Lines double-spaced
- Lines numbered
- Supplemental materials supplied as separate files

GCB no longer has strict formatting requirements for initial submissions, but all manuscripts must contain the essential elements needed to evaluate a manuscript:

- Abstract - 300 word limit
- Keywords - 6-10 words or phrases
- Introduction
- Methods
- Results
- Discussion
- References - any style or format, as long as the style is consistent

Paper Types Defined

	Scope	Original Data Included	Format	Handling
Primary Research	present results of completed research project or meta-analysis	yes	standard	peer-reviewed
Technical Advance	present exciting new research tools, methods, and techniques	if appropriate	standard except results and discussion may be combined	peer-reviewed
Research Review	a specialist subject of topical interest	if appropriate	up to 10 headings following a logically developed plan, with an introduction and conclusion.	peer-reviewed
Opinion	usually a review or re-analysis that challenges prevailing views on a topical issue	if appropriate	up to 6 sections including an introduction and conclusion	peer-reviewed
Report	expert scientific reports which outline the direction of a relevant research area, integrated experimental network, etc.	no	abstract, introduction, up to 20 sections, followed by a conclusion/recommendations	peer-reviewed at Editor's discretion
Editorial	editor commentary on an important development in the journal or background to a SI or VSI	no	no abstract: only contains body, references, tables, figure captions, and figures	not peer-reviewed, Editorial decision
Commentary	invited discussions highlighting the novelty of a recently published article	no	no abstract: only contains body, references, tables, figure captions, and figures	not peer-reviewed, Editorial decision
Letter to the Editor	a well-reasoned challenge to a recently published article of relevance to the journal	if appropriate	no abstract: only contains body, references, tables, figure captions, and figures	not peer-reviewed, Editorial decision
Response to the Editor	response to a letter	if appropriate	no abstract: only contains body, references, tables, figure captions, and figures	not peer-reviewed, Editorial decision. Published online only.

Formatting for Individual Paper Types

	Primary Research	Technical Advance	Research Review	Opinion	Report	Editorial	Commentary	Letter to the Editor	Response to Letter to the Editor
Abstract	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Introduction	✓	✓	✓	✓	✓				
Methods	✓	✓							
Results (including Figures and Tables)	✓	may be combined	up to 10 sections	up to 6 sections *	up to 20 sections	combine into "main body" of text **	combine into "main body" of text **	combine into "main body" of text **	combine into "main body" of text **
Discussion	✓								
References	✓	✓	✓	✓	✓	✓ ****	✓ ****	✓ ****	✓ ****
Word limit	8,000	4,000	8,000	5,000	20,000	500	1,500	800	500

* Limit of eight Figures and/or Tables total

** Limit of one Figure or Table total

*** Limit of ten references total

Word limits apply to the main body of the text (Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion, and Acknowledgements).

VITAE

Anelise Pereira Hundertmarck, filha de Henrique Ziegler Hundertmarck e Denise Pereira Hundertmarck, nascida em 04 de fevereiro de 1988, em Júlio de Castilhos, RS. Coursou o ensino fundamental na E.E.E.F. Júlio Prates de Castilhos, e o ensino médio na I.E.E. Vicente Dutra , ambas em Júlio de Castilhos, RS. Em 2008, ingressou no curso de Zootecnia, na Universidade Federal de Santa Maria – UFSM – campus Santa Maria – RS. Durante os anos do curso desenvolveu atividades de pesquisa e extensão junto ao grupo PASTOS & SUPLEMENTOS, sob a orientação da prof^a. Dr^a. Marta Gomes da Rocha. Formou-se em Zootecnia em fevereiro de 2013 e em março de 2013 ingressou no curso Mestrado em Produção Animal, pelo Programa de Pós-Graduação em Zootecnia – UFSM, sob orientação das professoras Marta Gomes da Rocha e Luciana Pötter. Desenvolveu o trabalho de “Fluxo de Biomassa e padrões de desfolha em pastagem de papuã submetida a adubação nitrogenada”. Em abril de 2019 iniciou seu Doutorado na Universidade Federal do Rio Grande do Sul sob orientação do Prof^a. Dr^a. Carolina Bremm. Sua tese como requisito para obtenção do grau de Doutora foi submetida a banca de defesa de Doutorado em abril de 2023.