



Variação temporal de índices de vegetação em pastagem natural, submetida a diferentes ofertas de forragem

Daniele Gutterres Pinto Ogliari^{1(*)}, Denise Cybis Fontana¹ e Carolina Bremm²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Av. Bento Gonçalves, 7712, CEP 91540-000, Porto Alegre, RS.

E-mails: daniele.gutterres@gmail.com e dfontana@ufrgs.br

²Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária, Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural – DDPA/SEAPDR. Rua Gonçalves Dias, 570, CEP 90130-060 Porto Alegre, RS. E-mail: carolina.bremm@gmail.com

(*)Autor para correspondência.

INFORMAÇÕES

História do artigo:

Recebido em 26 de agosto de 2020

Aceito em 11 de dezembro de 2020

Termos para indexação:

NDVI

EVI

Greenness

bioma Pampa

RESUMO

O objetivo deste estudo foi utilizar sensores orbitais visando gerar informações que possam ser úteis na construção de um sistema de monitoramento das pastagens naturais no bioma Pampa, assim como, analisar a dinâmica de variação temporal dos índices de vegetação. A área de estudos é um experimento de longa duração com pastagem natural, manejada sob diferentes ofertas de forragem: 4, 8, 12 e 16 kg de MS/100 kg de peso vivo. Para caracterizar a pastagem natural foram utilizadas imagens do sensor Terra/MODIS e dos sensores Landsat/TM e OLI. Para caracterizar as condições meteorológicas foram utilizados dados de temperatura média do ar, precipitação pluvial, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar global e evapotranspiração potencial e calculado o balanço hídrico. Foi possível, utilizando os índices de vegetação diferenciar os tratamentos de oferta de forragem, sendo os maiores valores encontrados no tratamento 4 kg MS/100 kg de PV. Entre as estações do ano, os índices de vegetação apresentaram os menores e maiores valores no inverno e na primavera/verão, respectivamente. Estes resultados evidenciam que os sensores MODIS, TM e OLI são capazes de gerar dados que podem compor sistemas de monitoramento de pastagens naturais do bioma Pampa.

© 2020 SBAgro. Todos os direitos reservados.

Introdução

As pastagens naturais do bioma Pampa estendem-se desde o Uruguai, províncias Argentinas de Corrientes, Entre Rios, Santa Fé, Córdoba, Buenos Aires e La Pampa, e a metade Sul do Rio Grande do Sul, sendo denominada de *Pastizales del Rio de la Plata*, ocupando uma área de 760.000 km² (Overbeck *et al.*, 2015). Embora pareça simples, é um bioma complexo, composto por vários tipos de formações

vegetais, dentre as quais o campo dominado por gramíneas é a mais representativa (Boldrini, 2012).

Suas pastagens naturais são fonte de alimento para os rebanhos herbívoros, sendo a pecuária uma atividade econômica importante para o Rio Grande do Sul. No entanto, a progressiva introdução e expansão das áreas com monoculturas e espécies exóticas, têm levado à degradação as áreas do Pampa (Nabinger *et al.*, 2006). Há estimativas que alertam que em 2008 restavam, em torno de 36% da

vegetação nativa do Pampa (CSR/IBAMA, 2010). Além disso, de 1985 a 2018 houve uma perda de aproximadamente 1.903.996 ha de áreas naturais não florestais do Bioma Pampa no Rio Grande do Sul (MAPBIOMAS, 2019).

Além da degradação de áreas naturais do bioma Pampa pela introdução de outros tipos de uso do solo, existe também a degradação de pastagens naturais pelo manejo insuficiente para a conservação de espécies vegetais. Pode-se destacar algumas práticas, como a falta de adequada subdivisão da propriedade em função das condições de solo e vegetação, o uso indiscriminado do fogo, a falta de uso da prática do diferimento de piquetes e o controle inadequado da intensidade de pastejo (Nabinger *et al.*, 2006).

Devido à importância do bioma Pampa, a pressão pela modificação do uso do solo e a degradação das áreas das pastagens naturais do Pampa, é de grande importância que as mesmas sejam sistematicamente monitoradas para a sua preservação. É necessário conceber um sistema de monitoramento qualificado, capaz de acumular informações por um período longo de anos, de forma contínua, e com isso obter informações originais e fundamentais à conservação das pastagens naturais do Pampa.

Neste contexto, técnicas envolvendo sensoriamento remoto, como, por exemplo, o uso de séries temporais de índices de vegetação, podem viabilizar um monitoramento contínuo e sistemático das pastagens naturais do bioma. A capacidade dos índices de vegetação (IV) como indicadores do estado da biomassa têm sido testada e comprovada sua eficiência em diversos estudos em áreas de pastagens naturais (Li *et al.*, 2016; Liang *et al.*, 2016; Junges *et al.*, 2016; Bremm *et al.*, 2018; Moreira *et al.*, 2019).

Visando gerar dados passíveis de utilização em sistemas de monitoramento das pastagens naturais no bioma Pampa, utilizou-se de forma complementar sensores e produtos com diferentes resoluções, com o objetivo de analisar a variação temporal (anual e interanual) dos índices de vegetação NDVI e EVI do sensor MODIS e verificar se os índices de vegetação NDVI e EVI e a componente *Greenness*, calculados a partir de dados dos sensores TM e OLI variam em função das estações do ano e dos níveis de oferta de forragem.

Material e métodos

A área onde foi realizado o estudo pertence a Estação Experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - EEA/UFRGS, localizada sob as coordenadas geográficas 30°05'27"S, 51°40'18"W e 46 m de altitude, no município de Eldorado do Sul, na Depressão Central do Rio Grande do Sul.

O clima da região é classificado como Subtropical Úmido - Cfa, o tipo predominante no Rio Grande do Sul, segundo a classificação climática de Köppen (Alvares *et al.*, 2014).

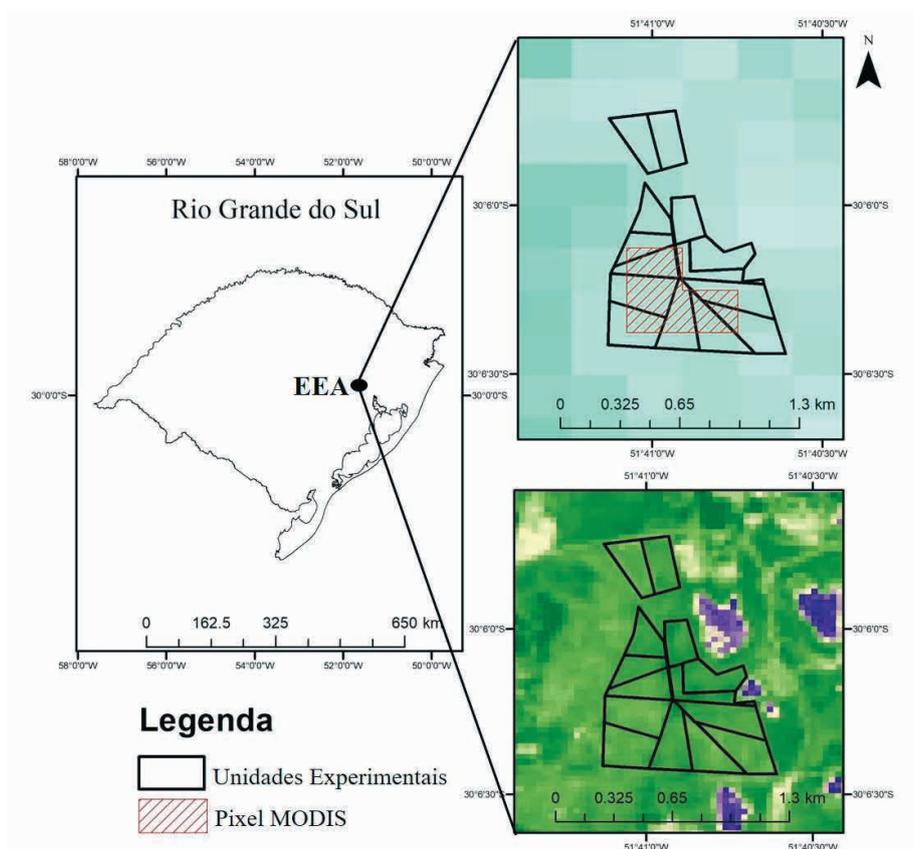
Não existe estação seca e a precipitação pluvial média anual na EEA/UFRGS é de 1.440 mm, com média mensal de 120 mm. Existe uma importante variação térmica ao longo do ano, com a temperatura média do ar variando de 13,5 °C nos meses mais frios (junho e julho) a 24,6 °C nos meses mais quentes (janeiro e fevereiro). A variação térmica anual está associada às variações no aporte de energia, com as médias diárias da radiação solar global oscilando de 206 (junho) a 509 cal.cm⁻².dia⁻¹ (dezembro) (Bergamaschi *et al.*, 2012). Na área experimental ocorrem três tipos de solos Planossolo Háptico Distrófico êndico, Argissolo Vermelho Distrófico típico e Plintossolo Argilúvico Distrófico típico (Machado & Giasson, 2016).

A área de estudo (Figura 1) situa-se num experimento de longa duração, composto de 64 ha de pastagem natural, que vem recebendo o mesmo nível de interferência antrópica desde 1986. O delineamento experimental é de blocos casualizados com duas repetições de área por tratamento, os quais consistem em diferentes ofertas de forragem, fixas ao longo do ano e ofertas variáveis na estação primaveril. Para este estudo foram consideradas apenas as ofertas de forragem fixas: 4, 8, 12 e 16 kg de MS.100 kg⁻¹ de peso vivo (% OF). O método de pastejo utilizado é o contínuo com taxa de lotação variável (Mott & Lucas, 1952), para ajuste das ofertas de forragem preconizadas. A carga animal é ajustada em intervalos de aproximadamente 28 dias, de acordo com a massa de forragem disponível para pastejo, nas unidades experimentais (UE). Os animais utilizados nas unidades experimentais são novilhas de corte, oriundas de cruzamentos entre as raças Angus, Hereford e Nelore, com idade média inicial de 12 meses.

Nas análises deste trabalho foram utilizadas imagens provenientes dos sensores orbitais com diferentes resoluções espacial e temporal. Os dados extraídos das imagens Terra/MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) foram utilizadas visando o monitoramento contínuo da superfície, em grande escala, enquanto as imagens Landsat/TM (*Thematic Mapper*) e OLI (*Operational Land Imager*) visaram a obtenção de dados em escala mais detalhada e com maior diferenciação das condições da biomassa na superfície.

Do sensor MODIS, foram utilizadas imagens de NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e EVI (Índice de Vegetação Melhorado), de 2004 a 2017, obtidos da plataforma SATVEG, desenvolvida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), totalizando 322 imagens. Estas imagens são composições de máximo valor dos índices de vegetação a cada 16 dias. Como a resolução espacial do sensor MODIS, para o produto utilizado é de 250 m, foram utilizados três *pixels* que se situaram totalmente dentro da área experimental (Figura 1), sem fazer distinção entre os tratamentos. Como as áreas circundantes à área experimental são ocupadas também por pastagens natu-

Figura 1. Localização da área de estudos, evidenciando a resolução espacial dos sensores utilizados. À direita acima a imagem do sensor MODIS, salientado em vermelho os pixels utilizados. À direita abaixo a imagem do sensor Landsat. Estação Experimental Agronômica (EEA), Eldorado do Sul, RS, Brasil.



rais, mesmo que possa haver problemas de correspondência espacial nas imagens MODIS, tais problemas não impactam significativamente nas análises da dinâmica sazonal. Assim, com os dados do sensor MODIS foram, construídos os perfis temporais dos índices de vegetação do total de anos analisados e o perfil temporal médio do período.

Dos sensores TM e OLI (Landsat), foram utilizadas as imagens de reflectância no topo da atmosfera (TOA), do período de 2004 a 2017, sendo consideradas todas as imagens livres de nuvens deste período. Estas imagens possuem resolução espacial de 30 m, desta forma o número de pixels dentro de cada unidade experimental variou de 32 a 60. Devido à resolução espacial das imagens Landsat foi possível analisar os índices de vegetação em função dos tratamentos de oferta de forragem. A partir destas imagens foram calculados os índices de vegetação NDVI e EVI, utilizando a equação do EVI 2 (Jiang *et al.*, 2008). Também foram geradas imagens de *Greenness* (GN), através de *Tasseled Cap Transformation* (Crist, 1985; Baig *et al.*, 2014), utilizando as equações 1 para dados obtidos a partir do sensor TM e equação 2 para dados obtidos a partir do sensor OLI. Os dados de ambos os sensores foram obtidos através da plataforma *Google Earth Engine*.

$$GN = -0,1603 * b1 - 0,2819 * b2 - 0,4934 * b3 + 0,794 * b4 - 0,0002 * b5 - 0,1446 * b7 \quad (1)$$

$$GN = -0,2941 * b2 - 0,243 * b3 - 0,5424 * b4 + 0,7276 * b5 + 0,0713 * b6 + 0,1608 * b7 \quad (2)$$

Sendo: para o sensor TM, a banda 1 representa o azul, a banda 2 o verde, a banda 3 o vermelho, a banda 4 o infravermelho próximo, a banda 5 o infravermelho médio, a banda 6 o infravermelho termal e a banda 7 o infravermelho médio. Para o sensor OLI a banda 1 é o costeiro/aerosol, a banda 2 o azul, a banda 3 o verde, a banda 4 o vermelho, a banda 5 o infravermelho próximo, as bandas 6 e 7 são o infravermelho médio.

Além dos dados orbitais, a condição meteorológica dos anos avaliados foi caracterizada. Para tanto, foram obtidos dados de temperatura média do ar, precipitação pluvial, umidade relativa do ar, velocidade do vento, radiação solar global e evapotranspiração potencial, da estação meteorológica da EEA/UFRGS, localizada próxima à área experimental. A partir destes dados, foi calculado o balanço hídrico meteorológico sequencial mensal, pelo método de Thornthwaite & Mather (1955), para verificação dos períodos de déficit hídrico. Foi considerada a CAD de 75 mm e a evapotranspiração potencial foi estimada pelo método de Penman (1956).

Com os dados dos sensores TM e OLI, foi analisada a va-

riabilidade dos índices de vegetação em função da oferta de forragem e em função das estações do ano. Para isto, foi realizada análise da variância (ANOVA) em nível de 5% de significância ($P < 0,05$), com a função “lmer” do pacote “lme4” do programa estatístico R 3.6.0 (R Core Team, 2019). No modelo estatístico, foram inseridos os efeitos fixos de tratamento, estação do ano e interação entre tratamento e estação do ano. Como efeitos aleatórios, foram inseridos unidade experimental e ano. O modelo estatístico foi simplificado pela remoção dos efeitos aleatórios não significativos ($P > 0,05$). As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Por fim, foi realizado um estudo de caso para comparação dos dados do NDVI dos sensores MODIS e TM, dos anos 2005 e 2009, a fim de caracterizar a variação interanual dos índices de vegetação. Foram escolhidos estes anos em função de anomalias ocorridas na precipitação pluvial.

Resultados e discussão

Monitoramento contínuo da dinâmica temporal das pastagens naturais

A série temporal dos índices de vegetação NDVI e EVI, obtidos do sensor MODIS, mostrou as variações que ocorreram ao longo do período de análise, tanto ao longo do ano como entre anos (Figura 2). Tais variações refletem as mudanças na biomassa e fenologia das pastagens naturais. As mudanças da biomassa decorrem tanto de diferenças nas condições meteorológicas, como o regime pluviométrico, como também podem ser função de diferenças nas práticas de manejo, como a intensidade de pastejo, empregadas na área. Já a fenologia varia em função dos ciclos das diferentes espécies que compõem a pastagem natural.

Quando se faz a análise do perfil médio dos índices de

vegetação de toda a série estudada busca-se caracterizar um padrão regional para a variação ao longo do ano da biomassa. O padrão observado na área experimental mostra que os índices de vegetação NDVI e EVI apresentam maiores valores nos períodos de outono e primavera e menores valores no período de inverno (Figura 3).

Os maiores valores de NDVI (0,63) e EVI (0,40) ocorreram na primeira quinzena de abril e primeira quinzena de dezembro, respectivamente. Enquanto, os menores valores de NDVI (0,54) e EVI (0,31) ocorreram na segunda quinzena de julho (Figura 3). Padrões similares de variação temporal anual de índices de vegetação foram encontrados por Moreira *et al.* (2019), ao analisar a fenologia de diferentes tipologias campestres no Rio Grande do Sul e, também por Wagner *et al.* (2018) ao analisar a variabilidade dos índices NDVI e EVI no bioma Pampa brasileiro e uruguaio. Ambos os estudos, foram desenvolvidos em grandes áreas ocupadas com pastagens naturais, onde a resolução espacial do sensor MODIS, além de adequada, é talvez um dos poucos produtos que possibilita o acompanhamento das variações espaciais e temporais da cobertura vegetal. A coincidência do padrão observado nestes estudos com o obtido no presente trabalho, suporta a escolha metodológica do uso deste sensor na área experimental.

Os maiores valores dos índices de vegetação, observados nos períodos de outono e primavera, ocorrem em função do rebrote das espécies vegetais que compõem o dossel no período de primavera e pelo desenvolvimento delas no período de outono (Boldrini *et al.*, 2015). No final do verão/início do outono grande parte das espécies vegetais presentes nas pastagens naturais da região entram em senescência (Boldrini *et al.*, 2015), aumentando a quantidade de material vegetal senescente no dossel, o que acarreta diminuição nos valores dos índices de vegetação. Além disto, o

Figura 2. Perfis temporais dos índices de vegetação NDVI e EVI, obtidos a partir do sensor MODIS, dos anos 2004 a 2017. Eldorado do Sul, Brasil.

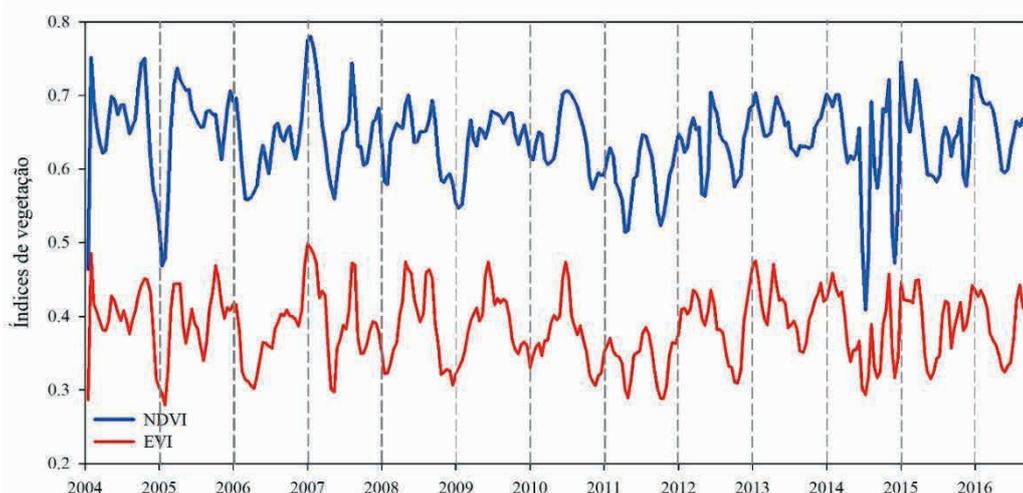
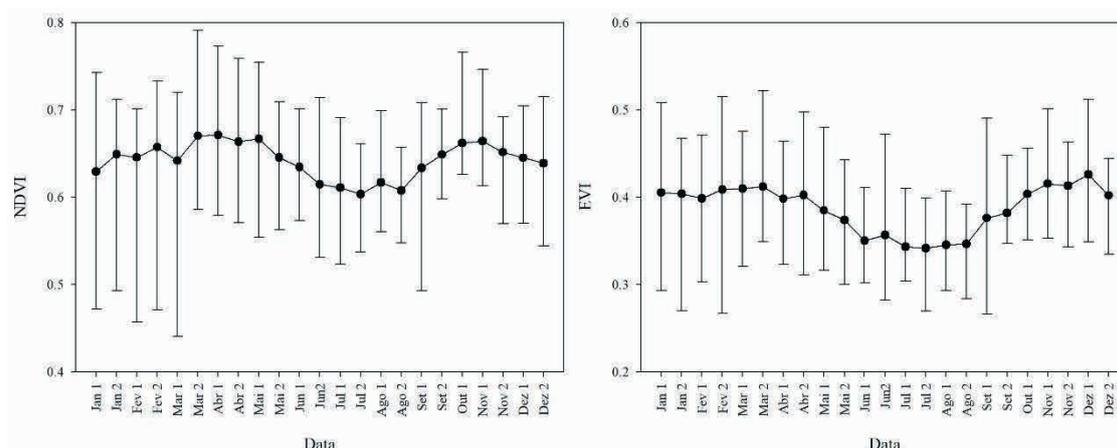


Figura 3. Perfis temporais médios dos índices de vegetação NDVI e EVI, obtidos a partir do sensor MODIS, produto MOD13Q1 em composição de 16 dias. Os pontos representam as médias e as barras os valores mínimos e máximos ocorridos no período de 2004 a 2017, Eldorado do Sul, Brasil.



inverno é um período crítico para a pecuária Riograndense, pois é o período em que ocorre o menor crescimento vegetal nas pastagens naturais no bioma Pampa. O menor crescimento das plantas está associado à baixa quantidade de radiação solar global, baixas temperaturas e ocorrência de geadas (Fontana *et al.*, 2018).

Como mencionado anteriormente, ao se determinar o padrão médio da vegetação de uma região, pode-se, em um sistema de monitoramento, estabelecer o padrão esperado da vegetação. Anomalias positivas e negativas neste padrão podem estar associadas a condições favoráveis ou desfavoráveis, respectivamente, para o crescimento das plantas. Mais frequentemente, tais anomalias estão associadas a eventos meteorológicos que impactam grandes áreas e o sensor MODIS tem contribuição relevante. Além disso, o conhecimento da ocorrência de anomalias pode ser utilizado para auxiliar o pecuarista na tomada de decisão em relação as ações de manejo, como, por exemplo, o ajuste da taxa de lotação animal.

Diferenciação dos níveis de oferta de forragem ao longo do ano

Ao utilizar dados obtidos a partir do sensor MODIS, pode-se realizar análises contínuas acerca do desenvolvimento da vegetação da área experimental, dada a disponibilização de imagens na forma de composições de máximo valor dos índices de vegetação a cada 16 dias, o que minimiza a influência de problemas com nebulosidade e de geometria de aquisição das imagens (NASA, 2019). No entanto, a média resolução espacial do sensor (250 m) não permite a distinção dos tratamentos de oferta de forragem, pois a área do pixel MODIS excede a área das unidades experimentais. Já, ao se utilizar dados dos sensores TM e OLI, pode-se realizar análises levando em consideração os tratamentos de oferta de forragem, pois a resolução espacial

dos sensores é de 30 m, sendo assim, a área coberta por cada pixel é inferior a área das unidades experimentais.

Em termos gerais, verifica-se que o tratamento 4% OF apresentou os maiores valores para os três índices de vegetação (NDVI, EVI e GN) e, conforme aumentou a oferta de forragem, diminuíram os valores dos índices de vegetação (Figura 4 e Tabela 1).

As diferenças observadas nos índices de vegetação, muito possivelmente, são decorrência das diferenças da estrutura da vegetação, causadas pela imposição dos tratamentos de oferta de forragem (Melizara *et al.*, 2012). Segundo Ferreira *et al.* (2020), em pastagens naturais onde o pastejo é excluído há aumento de biomassa senescente. Desta forma, nas unidades experimentais com tratamento de 4% OF, pela baixa oferta de forragem, os animais têm menor oportunidade de selecionar sua dieta, quase não existindo espécies não pastejadas nestas unidades experimentais. Conforme aumenta a oferta de forragem, os animais têm maior oportunidade de selecionar a sua dieta, formando uma estrutura com duplo estrato na pastagem, onde as espécies menos pastejadas tornam-se touceiras. Devido a isto, a vegetação sob baixa oferta de forragem (4% OF) apresenta-se, de forma geral, com maior verdor (biomassa verde) em relação aos demais tratamentos. Este resultado discorda do resultado encontrado por Junges *et al.* (2016). Os autores, utilizaram dados de índices de vegetação obtidos a partir do sensor MODIS, sob diferentes intensidades de pastejo, na mesma área de estudos, e encontraram os maiores valores dos índices de vegetação em intensidade de pastejo moderada. A discordância destes resultados pode ser devido às diferenças de resolução espacial dos sensores, MODIS e TM/OLI, com maior mistura espectral no pixel MODIS. Devido ao tamanho da área experimental, no presente trabalho somente imagens TM/OLI foram utilizadas.

A interação entre os fatores oferta de forragem e es-

Figura 4. Variabilidade dos índices de vegetação NDVI, EVI e componente Greenness (GN), em função da oferta de forragem. Dados obtidos a partir dos sensores TM e OLI no período de 2004 a 2017. Eldorado do Sul, Brasil. A linha horizontal dentro das caixas representa a mediana. Os limites das caixas representam os percentis 25 e 75. As barras representam os percentis 10 e 90. Os círculos representam os valores extremos.

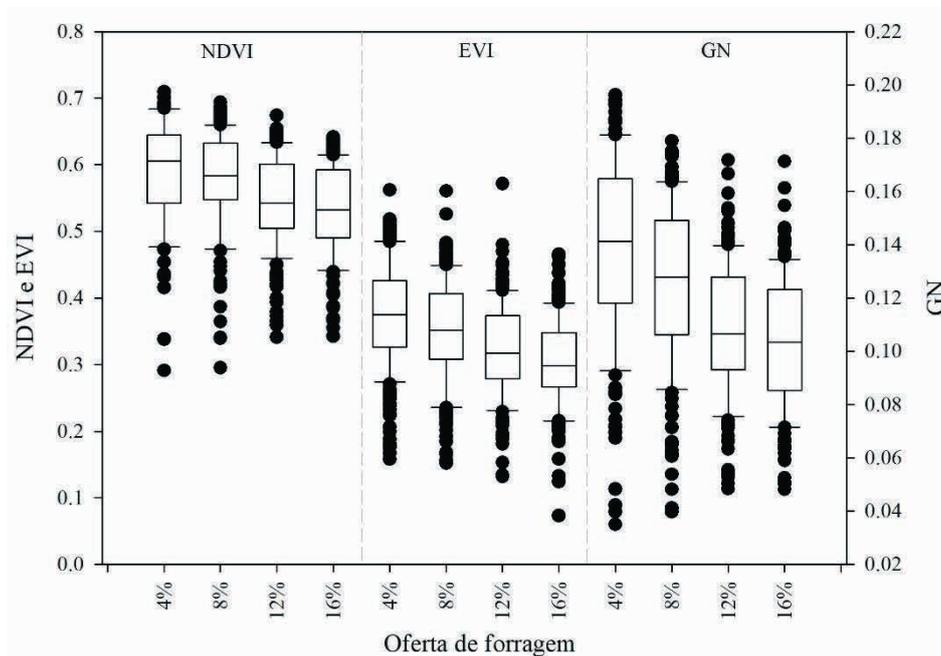


Tabela 1. Valores médios e desvio padrão residual (DP) dos índices de vegetação EVI, NDVI e da componente Greenness (GN), nas diferentes ofertas de forragem e estações do ano no período de 2004 a 2017. Eldorado do Sul, Brasil.

EVI					
Estação do Ano	Oferta de Forragem (% PV)				Média ± DP
	4	8	12	16	
Verão	0,37 Ba	0,38 Aa	0,35 Aab	0,34 Ab	0,36 ± 0,08
Outono	0,37 Ba	0,34 Bab	0,32 Abc	0,31 Bc	0,33 ± 0,08
Inverno	0,35 Ba	0,29 Cb	0,27 Bbc	0,25 Cc	0,29 ± 0,07
Primavera	0,41 Aa	0,38 Aa	0,33 Ab	0,30 Bb	0,36 ± 0,06
Média ± DP	0,38 ± 0,08	0,35 ± 0,07	0,32 ± 0,06	0,31 ± 0,06	
NDVI					
Estação do Ano	Oferta de Forragem (% PV)				Média ± DP
	4	8	12	16	
Verão	0,56 Ba	0,58 Aa	0,56 Aa	0,55 Aa	0,56 ± 0,09
Outono	0,58 ABa	0,57 ABa	0,54 Aa	0,54 Aa	0,56 ± 0,08
Inverno	0,58 ABa	0,53 Bab	0,49 Bb	0,48 Bb	0,52 ± 0,07
Primavera	0,61 Aa	0,60 Aab	0,55 Abc	0,53 Ac	0,57 ± 0,06
Média ± DP	0,58 ± 0,08	0,58 ± 0,08	0,54 ± 0,07	0,53 ± 0,07	
GREENNESS					
Estação do Ano	Oferta de Forragem (% PV)				Média ± DP
	4	8	12	16	
Verão	0,13 Ba	0,13 ABa	0,12 Aa	0,12 Aa	0,13 ± 0,03
Outono	0,13 Ba	0,12 Bab	0,11 Ab	0,10 Ab	0,12 ± 0,03
Inverno	0,13 Ba	0,10 Cb	0,08 Bb	0,08 Bb	0,10 ± 0,03
Primavera	0,15 Aa	0,14 Aa	0,11 Ab	0,10 Ab	0,13 ± 0,03
Média ± DP	0,14 ± 0,03	0,13 ± 0,03	0,11 ± 0,03	0,10 ± 0,02	

Obs. Letras distintas, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, diferem pelo teste de Tukey (P<0,05).

tação do ano foi significativa para os índices de vegetação avaliados ($P < 0,05$). Quando se comparou as estações do ano (Figura 5 e Tabela 1), nos tratamentos 8, 12 e 16% OF, os índices de vegetação apresentaram os menores valores no inverno. Enquanto no tratamento 4% as estações verão, outono e inverno tiveram os menores valores.

A redução nos índices no inverno está associada a menor disponibilidade de energia no sistema, dada a redução na radiação solar incidente e consequente menor temperatura do ar (Fontana *et al.*, 2018).

No verão, apenas o EVI diferenciou os tratamentos de oferta de forragem sendo maior nos tratamentos 4% e 8% de OF (Tabela 1), consequência da maior variabilidade dos valores deste índice para todos os tratamentos de oferta de forragem (Figura 5). Parte importante desta variação está associada ao fator hídrico, visto que o verão é o período em que a probabilidade de ocorrer déficit hídrico no Rio Grande do Sul é maior, devido à alta demanda evaporativa da atmosfera (Fontana *et al.*, 2018).

Comparação de dados dos sensores MODIS e TM/OLI

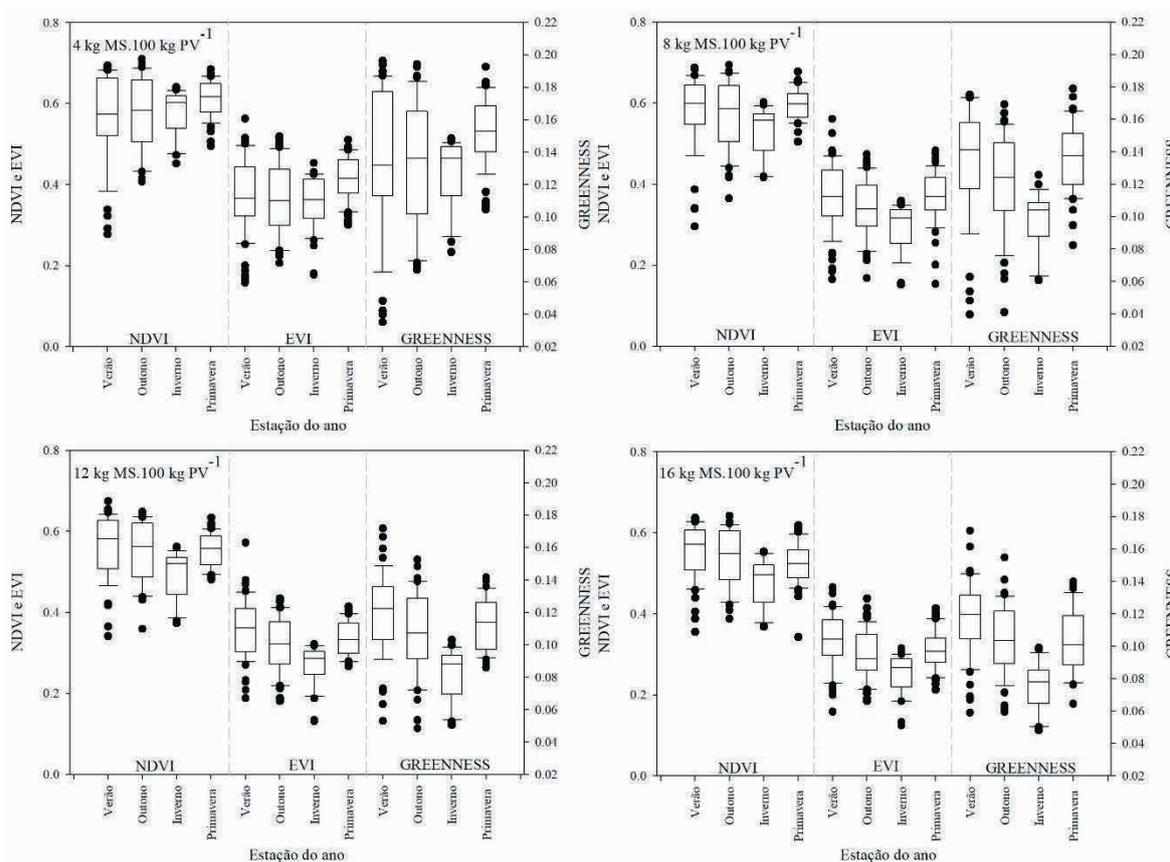
Em uma área de pastagem natural, em que os tratamentos de oferta de forragem são mantidos inalterados ao longo do ano, a variação dos valores de NDVI entre anos pode

ser fortemente explicada pelas variações meteorológicas ocorridas e auxiliar no entendimento do porquê das anomalias ocorridas nos dois anos analisados.

Analisando as condições meteorológicas ocorridas nos anos 2005 e 2009, verifica-se que nos meses janeiro e fevereiro de 2005 ocorreu déficit hídrico (Figura 6C). Nestes mesmos meses, em 2009, o déficit hídrico foi menor, porém houve déficit hídrico nos meses março, abril e maio (Figura 6D). Nos meses de maio, junho e julho, a temperatura média do ar foi superior em 2005 à ocorrida em 2009 (Figura 6A).

Observa-se que, em 2009, o perfil temporal de NDVI foi semelhante ao perfil médio (2004-2017) no período de outono-inverno. Já nos meses de janeiro, fevereiro, setembro, segunda quinzena de novembro e dezembro os valores de NDVI de 2009 foram superiores aos valores médios (Figura 7). O ano de 2005 apresentou anomalias no perfil temporal de NDVI, podendo ser caracterizado como um ano atípico. Janeiro e fevereiro apresentaram valores de NDVI inferiores aos do perfil médio, enquanto o restante do ano apresentou valores de NDVI superiores aos valores médios. Na Figura 7, foram utilizadas escalas distintas para o NDVI proveniente do MODIS e dos TM/OLI de forma a facilitar visualmente a correspondência de valores. Ressalta-

Figura 5. Variabilidade dos índices de vegetação NDVI, EVI e da componente Greenness (GN) em função do tratamento de oferta de forragem (4, 8, 12 e 16 Kg MS.100kg PV⁻¹) e da estação do ano. Dados obtidos a partir dos sensores TM e OLI no período de 2004 a 2017. Eldorado do Sul, Brasil. A linha horizontal dentro das caixas representa a mediana. Os limites das caixas representam os percentis 25 e 75. As barras representam os percentis 10 e 90. Os círculos representam os valores extremos.



-se que no presente estudo foi feito uso das imagens Landsat TOA, que apresentam alta correlação com as imagens de reflectância de superfície (após implementação das correções atmosféricas).

As condições hídricas desfavoráveis, possivelmente, causaram estresse às espécies vegetais, resultando em menores valores de NDVI. Em resposta ao déficit hídrico, a nível celular, diminui a turgidez das células, causando redução nas taxas de alongamento celular, o que diminui o crescimento vegetal (Claeys & Inze, 2013). Isto pode explicar os valores de NDVI inferiores aos valores médios, ocorridos no verão de 2005 e março, abril e maio de 2009. As temperaturas amenas nos meses de outono e inverno (2005) podem ter ocasionado desenvolvimento das espécies vegetais que normalmente não se desenvolvem neste período em função das baixas temperaturas, resultando em maiores valores de NDVI. Desta forma, em 2005 o perfil temporal de NDVI não apresentou queda característica a partir de maio, como ocorreu na média da série temporal.

Devido à complexidade da vegetação das pastagens naturais, ressalta-se que as anomalias apresentadas nos perfis de NDVI, podem não ser decorrentes de um único fator, como as condições meteorológicas ocorridas. Apesar disso,

estes resultados ajudam a evidenciar que num sistema de monitoramento, a identificação do estresse pode ser realizada utilizando imagens orbitais. O uso integrado de índices de vegetação com dados meteorológicos observados, permite um maior entendimento de qual fator de estresse pode ter causado o sintoma de anomalia no crescimento e/ou desenvolvimento da planta, inferido a partir dos índices de vegetação.

Pode-se observar ainda que o NDVI proveniente dos sensores MODIS e TM apresentou um padrão de variação temporal semelhante, nos dois anos avaliados. Isto evidencia a robustez deste índice e a possibilidade do uso de múltiplos sensores para compor um sistema de monitoramento das pastagens naturais. Sensores de alta taxa de revisita e moderada resolução espacial podem ser usados para identificar anomalias de crescimento tendo como base o padrão temporal esperado para uma dada região e época do ano. Identificadas as regiões com anomalias, podem-se usar sensores de maior resolução espacial para delimitar as áreas afetadas.

Figura 6. Variação da temperatura média do ar (A), acumulado de precipitação pluvial (B) e ocorrência de déficit e excesso hídrico em 2005 (C) e déficit e excesso hídrico em 2009 (D). Eldorado do Sul, Brasil, 2019.

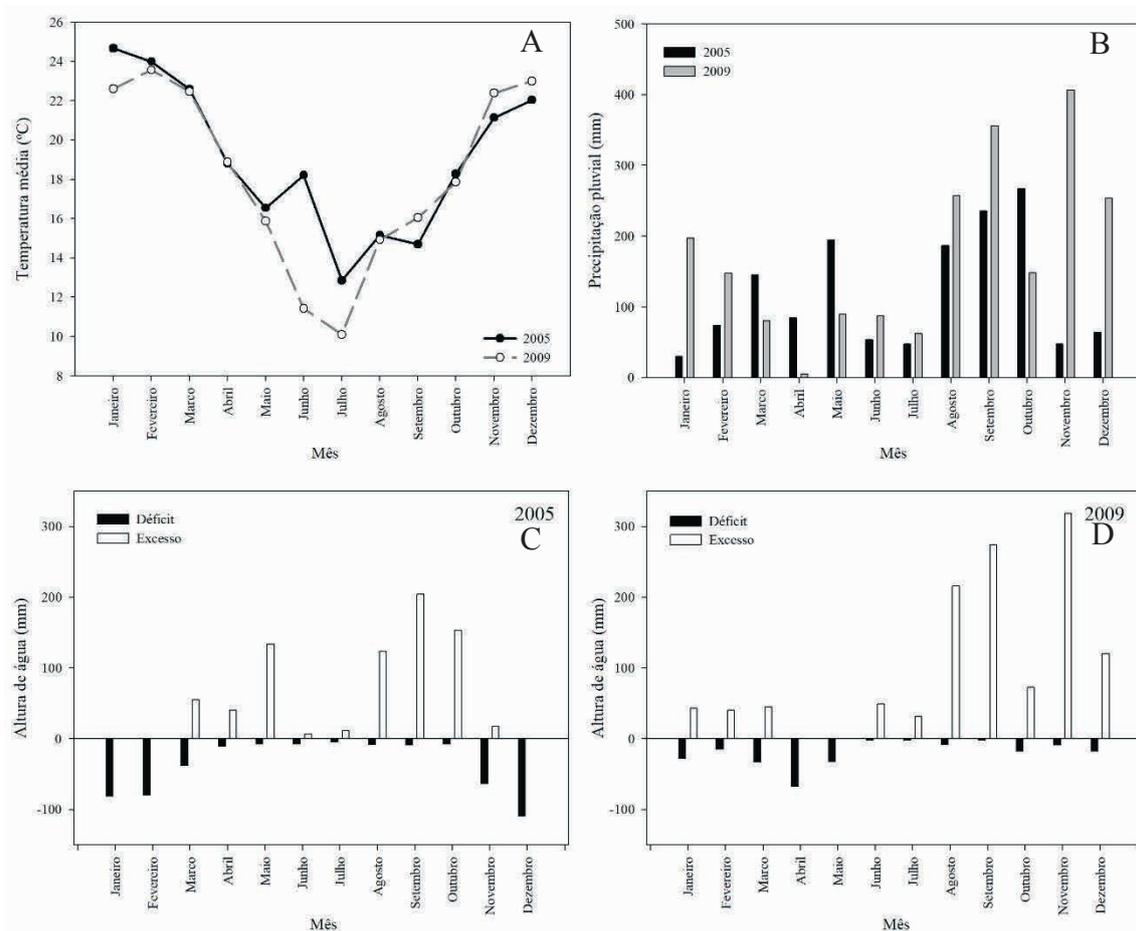
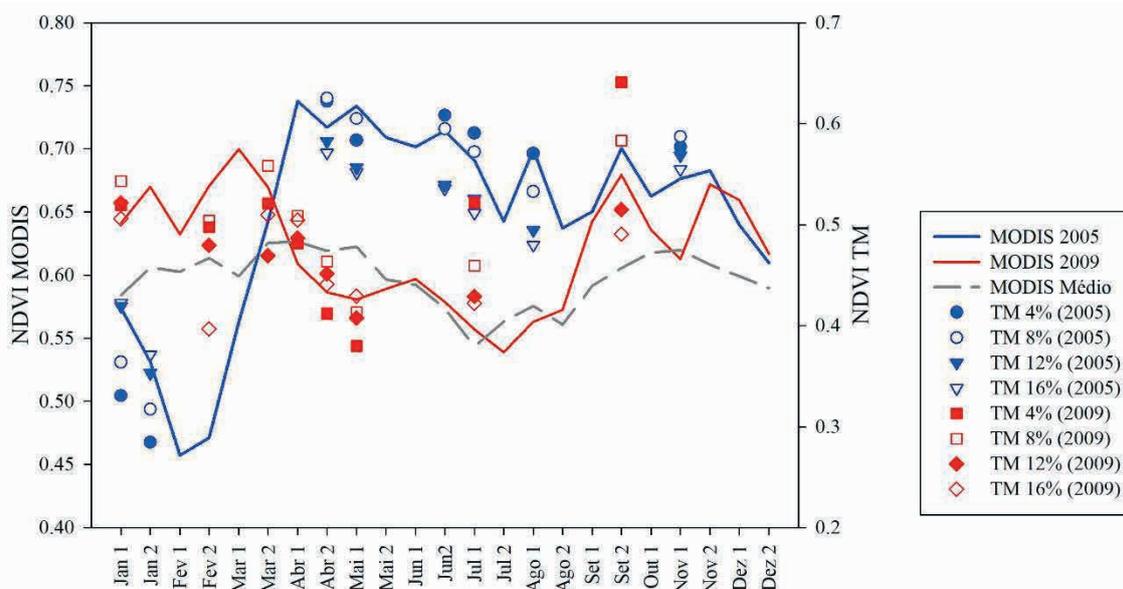


Figura 7. Evolução temporal dos dados de NDVI provenientes dos sensores MODIS e TM, nos anos de 2005 e 2009. Eldorado do Sul, Brasil.



Conclusões

Os sensores MODIS, TM e OLI são capazes de fornecer dados sobre pastagens naturais do bioma Pampa, gerando informações complementares.

Em termos sazonais, os índices de vegetação obtidos com os sensores TM e OLI, apresentam os maiores e menores valores na primavera/verão e inverno, respectivamente.

Com os sensores TM e OLI é possível diferenciar níveis de oferta de forragem. O menor nível de oferta de forragem (4%) está associado aos maiores valores de índices de vegetação. Os níveis de oferta de forragem diferem entre si nos três índices de vegetação testados (NDVI, EVI e *Greenness*).

Contribuição dos autores

D. G. P. OGLIARI foi responsável pela organização da base de dados, análise dos dados e escrita do artigo. D; C; FONTANA fez a revisão do artigo e C. BREMM as análises estatísticas e revisão do artigo.

Referências

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Berlin, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507.

BAIG, M. H. A. et al. Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance. *Remote Sensing Letters*, Abingdon, v. 5, n. 5, p. 423-431, 2014. DOI: 10.1080/2150704X.2014.915434.

BERGAMASCHI, H. et al. *Clima da estação experimental da UFRGS (e região de abrangência)*. Porto Alegre: UFRGS, 2012. 77 p.

BOLDRINI, I. I. A flora dos campos do Rio Grande do Sul. In: PILLAR, V.D.P. et al. (ed.). *Campos sulinos: conservação e uso sustentável da biodiversidade*. Brasília, MMA, 2012. p. 63-77.

BOLDRINI, I. I.; OVERBECK, G.; TREVISAN, R. Biodiversidade de Plantas In: PILLAR, V.P.; LANGE, O. (Org.). *Os campos do Sul*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015. p. 51-59.

BREMM, C. et al. The potential use of vegetation index to estimate crude protein on natural grassland of Southern Brazil. *Journal of Animal Science*, v. 96, p. 204-205, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1093/jas/sky404.443>.

CLAEYS, H.; INZÉ, D. The agony of choice: how plants balance growth and survival under water-limiting conditions. *Plant Physiology*, Bethesda, v. 162, p. 1768-1779, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.113.220921>.

CRIST, E. P. Tasseled Cap equivalent transformation for reflectance factor data. *Remote Sensing of Environment*, New York, v. 17, n.3, p. 301-306, 1985. DOI: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(85\)90102-6](https://doi.org/10.1016/0034-4257(85)90102-6).

FERREIRA, P. M. A. et al. Long-term ecological research in Southern Brazil Grasslands: Effects of grazing exclusion and deferred grazing on plant and arthropod communities. *Plos One*, v. 15, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227706>.

FONTANA, et al. NDVI and meteorological data as indicators of the Pampa biome natural grasslands growth. *Bragantia*, Campinas, v. 77, n. 2, p.404-414, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.2017222>.

IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS RENOVÁVEIS. *Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite: monitoramento do bioma Pampa*. Brasília, 2010. Disponível em: https://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/relatorio_tecnico_monitoramento_desmate_bioma_pampa_72.pdf. Acesso em: 14 jun. 2019.

JIANG Z. et al. Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. *Remote Sensing of Environment*, v. 112, p. 3833-3845, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.06.006>.

JUNGES, A. H. et al. Temporal profiles of vegetation índices for characterizing grazing intensity of natural grasslands in Pampa biome. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 73, n. 4, p. 332-337, 2016.

LI, F. et al. Modeling grasslands aboveground biomass using a pure vegetation index. *Ecological Indicators*, v. 62, p. 279-288, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.11.005>.

LIANG, T. et al. Multi-factor modeling of above-ground biomass in alpine grassland: A case study in the Three-River Headwaters Region, China. **Remote Sensing of Environment**, v. 186, p. 164-172, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.08.014>.

MACHADO, I.R.; GIASSON, E. **Mapa de solos da Estação Experimental Agrônômica da UFRGS**. 2016.

MELIZZARA, J. C. et al. The ingestive behavior of cattle in large-scale and its application to pasture management in heterogeneous pastoral environment. **Journal of Agricultural Science and Technology**, Tehran, v.2, n.7A, 909-916, 2012. DOI: [0.17265/2161-6256/2012.07A.008](https://doi.org/10.17265/2161-6256/2012.07A.008).

MOREIRA, A. et al. Seasonal dynamics of vegetation indices as a criterion for grouping grassland typologies. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.76, n.1, p.24-32, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-992x-2017-0173>.

MOTT, G.O.; LUCAS, H.L. The design conduct and interpretation of grazing trials on

cultivated and improved pastures. In.: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRES, 6., 1952, Pennsylvania. **Proceedings...** Pennsylvania: State College Press, 1952. p.1380-1395.

NABINGER, C. et al. Biodiversidade e produtividade em pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 28., 2006, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2006. p.37-86.

NASA. **MODIS** – Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer. [2019]. Disponível em: <https://modis.gsfc.nasa.gov/>. Acesso em: 20 out. 2019.

OVERBECK, G. E. et al. Fisionomia dos campos. In: PILLAR, V.P.; LANGE, O. (Org.). **Os campos do Sul**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2015. p.31-41.

PENMAN, H. L. Evaporation: an introductory survey. **Netherland Journal of Agriculture Science**, Wageningen, v. 4, p. 9-29, 1956.

PROJETO MAPBIOMAS. Coleção 4 da série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Disponível em: <https://plataforma.mapbiomas.org/stats>. Acesso em: 01 nov. 2019.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance: publication of Climatology. Centerton: Drexel Institute of Technology 1955.v. 8, p. 104.

WAGNER, A. P. L. et al. Vegetation indices variability in the Pampa grasslands in Brazil and Uruguay. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v. 26, n. 1, p. 83-92, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v26i1.26364>.

REFERENCIAÇÃO

OGLIARI, D. G. P.; FONTANA, D. C.; BREMM, C. Variação temporal de índices de vegetação em pastagem natural, submetida a diferentes ofertas de forragem. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v.28, e026778, 2020.



Temporal variation of vegetation indices in natural grassland, submitted to different forage allowances

Daniele Gutterres Pinto Ogliari^{1(*)}, Denise Cybis Fontana¹ and Carolina Bremm²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Av. Bento Gonçalves, 7712, CEP 91540-000, Porto Alegre, RS, Brazil.

E-mails: daniele.gutterres@gmail.com e dfontana@ufrgs.br

²Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária, Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural – DDP/SEAPDR. Rua Gonçalves Dias, 570, CEP 90130-060 Porto Alegre, RS, Brazil. E-mail: carolina.bremm@gmail.com

(*)Corresponding author.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 26 August 2020

Accepted 11 December 2020

Index terms:

NDVI

EVI

greenness

Pampa biome

ABSTRACT

The objective of the study was to use orbital sensors to generate information that can be useful in the construction of a monitoring system for natural pastures in the Pampa biome, as well as to analyze vegetation indices. The study area is a long-term experiment with natural grassland, managed under different forage allowance: 4, 8, 12 and 16 kg dry matter/100 kg live weight. Images of the Terra/MODIS sensor and the Landsat/TM and OLI sensors were used to characterize the natural grassland. To characterize the meteorological conditions, data of mean air temperature, rainfall, relative humidity, wind speed, global solar radiation and potential evapotranspiration were used and the water balance was calculated. It was possible, using the vegetation indices to differentiate forage allowance treatments, with the highest values found in the treatment 4 kg DM/100 kg of LW. Between seasons, the vegetation indices showed the lowest and highest values in winter and spring/summer, respectively. These results show that the MODIS, TM and OLI sensors are capable of generating data that can compose systems for monitoring natural grassland in the Pampa biome.

© 2020 SBAgro. All rights reserved.

CITATION

OGLIARI, D. G. P.; FONTANA, D. C.; BREMM, C. Variação temporal de índices de vegetação em pastagem natural, submetida a diferentes ofertas de forragem. *Agrometeoros*, Passo Fundo, v.28, e026778, 2020.