

Identificação e Mapeamento de Áreas Infestadas por Capim-annoni (*Eraglostis plana*) Através do Uso de Índice de Vegetação no Município de Dom Pedrito/RS

Cristhiane Madruga Farinha¹, Daniel Hanke¹, Shirley Grazieli da Silva Nascimento¹,
Mariana Rockenbach de Ávila² e Leonardo Paz Deble¹

Recebido em 01/12/2021 – Aceito em 12/07/2022

¹ Universidade Federal do Pampa/Unipampa. Brasil. <cristhianemadruga@gmail.com, hankesolos@gmail.com, nascimento.shy@gmail.com, leonardodeble@unipampa.edu.br>.

² Colaboradora via FAPEG na Embrapa Clima Temperado, Pelotas/RS. Brasil. <mariana.avila@colaborador.embrapa.br>.

RESUMO – O *Eraglostis plana* Ness, popularmente conhecido como Capim-annoni, é considerada hoje uma espécie invasora de difícil erradicação dos campos sulinos. O objetivo deste trabalho é avaliar a possibilidade de uso das técnicas aerofotogramétricas como forma de identificação da distribuição do Capim-annoni, de maneira a contribuir no monitoramento da referida planta. Para este trabalho foram realizadas a coleta de informações relativa à presença ou não de Capim-annoni a campo, a análise de Índice de Vegetação, a altura de planta e a condutividade elétrica do solo. Os resultados apresentados mostram que o Índice é uma ferramenta promissora na identificação de Capim-annoni por sensoriamento remoto.

Palavras-chave: Fotogrametria; mapeamento; Capim-annoni; Dom Pedrito; plantas invasoras; *Eragrostis plana* Ness.

Identification and Mapping of Areas Infested by Capim-annoni (*Eraglostis plana*) in the Municipality of Dom Pedrito/RS

ABSTRACT – The *Eraglostis plana* Ness popularly known as Capim-annoni is today considered an invasive species that is difficult to eradicate from the southern fields. The objective of this work is to evaluate the possibility of using aerophotogrammetric techniques as a way of identifying the distribution of Capim-annoni, in order to contribute to the monitoring of that plant. For this work, the collection of information regarding the presence or absence of Capim-annoni in the field, analysis of the Vegetation Index, plant height and soil electrical conductivity were carried out. The presented results support that the Vegetation Index is a promising tool in the identification of Capim-annoni by remote sensing.

Keywords: Photogrammetry; mapping; Annoni grass; Dom Pedrito; invasive plants; *Eragrostis Flat* Ness.

Identificación y Mapeo de Áreas Infestadas por Capim-annoni (*Eraglostis plana*) en el Municipio de Dom Pedrito/RS

RESUMEN – El *Eraglostis Plana* Ness, conocido popularmente como Capín annoni, se considera hoy una especie invasora difícil de erradicar de los campos del sur. El objetivo de este trabajo es evaluar la posibilidad de utilizar técnicas aerofotogramétricas como forma de identificar la distribución de Capín annoni, con el fin de contribuir al seguimiento de dicha planta. Para este trabajo se realizó la recolección de información sobre la presencia o ausencia de Capín annoni en el campo, análisis del Índice de Vegetación, altura de planta y conductividad eléctrica del suelo. Los resultados presentados apoyan que el Índice de Vegetación es una herramienta prometedora en la identificación de Capín Annoni por teledetección.

Palabras clave: Fotogrametría; mapeo; capín annoni; Dom Pedrito; plantas invasoras; *Eragrostis plana* Ness.

Introdução

A invasão de espécies de plantas e animais exóticos é considerada, atualmente, a segunda maior ameaça à biodiversidade mundial, perdendo apenas para a destruição de *habitat* pela ação humana (Ziller et al., 2002). Essas ameaças demonstraram afetar os serviços ecossistêmicos e diminuir a barreira de espécies nativas por meio de mecanismos como predação, hibridização, competição e efeitos indiretos (Simberloff et al., 2013).

As espécies exóticas possuem grande potencial de competir com as espécies nativas, por não terem predadores que as controlem; assim, elas se adaptam e interferem nos biomas e os modificam. Visto que são capazes de prosperar porque chegam a novos ecossistemas sem concorrentes locais coevoluídos, parasitas e patógenos para regular seus números (Keane e Crawley, 2002) e são potencialmente capazes de explorar recursos e espaços de nicho que os nativos não podem (Byers e Noonburg, 2003; Levine, 2000).

Como exemplo, os javalis, que foram introduzidos para caça esportiva; o caramujo-gigante-africano, como um substituto do escargot; entre outras espécies de animais. As espécies de plantas exóticas, da mesma forma, trazem impactos negativos, como: eucaliptos (*Eucalyptus*) e Pinus (*Pinus elliottii*), que são usados largamente em florestamento. Nos Estados Unidos, estima-se que 42% de todas as espécies ameaçadas ou em perigo estão em risco, principalmente por causa das espécies exóticas invasoras (Pimentel et al., 2005). Essas espécies também interferem na economia global, sendo estimado um custo anual de 5% na economia mundial devido aos danos ocasionados por essas invasoras (Pimentel et al., 2001).

Em se tratando de plantas invasoras, o Capim-annoni (*Eragrostis plana* Ness), destaca-se nas pastagens do sul do Brasil. Inicialmente, a introdução da gramínea ocorreu no Rio Grande do Sul na década de 50, existindo duas teorias sobre a disseminação desse capim. A primeira teoria, segundo Hall (1977), propõe que o Capim-annoni tenha chegado ao Brasil como contaminante de sementes de capim Rhodes (*Chloris gayana* Kunth.) e de capim Chorão (*Eragrostis curvula* Nees). Já a segunda teoria sugere que ele foi trazido propositalmente como uma nova espécie forrageira para a região do estado do Rio Grande do Sul (Reis e Oliveira, 1978).

Entretanto, anos depois foi classificado como planta invasora, tanto pelos baixos teores nutricionais, como pelo alto teor de fibra (Reis e Coelho, 2000; Ferreira et al., 2006), e, ainda, por sua baixa aceitação pelos animais como bovinos e ovinos, os quais vieram a desenvolver desgaste precoce de seus dentes em função do alto teor de fibra. Além disso, a alta capacidade de infestação, supressão e conversão de ambientes naturais o levaram a ser considerada espécie invasora de difícil erradicação. Outras características do Capim-annoni que corroboram com isso são o seu alto potencial de produção de sementes, que facilitam sua dispersão. Também foi observado efeito alelopático, o que prejudica a germinação de sementes de outras espécies nativas ou cultivadas, e, por fim, elevada plasticidade fenotípica, significando alta capacidade de alterar sua morfofisiológica de acordo com as condições do ambiente, tornando-o capaz de produzir sementes mesmo sob pastejo intensivo (Screffer-Basso et al., 2016).

Após o estabelecimento dessa gramínea em áreas de pastagem nativa, seu controle é extremamente difícil. Entre as propostas de controle, figura a rotação com culturas anuais seguida da implantação de forragens cultivadas (Reis e Coelho, 2000). No entanto, o banco de sementes de Capim-annoni possibilita reinfestação nas situações em que a pastagem volta a ser estabelecida; essa alternativa apresenta limitada viabilidade, pois requer a eliminação do campo nativo temporária ou permanente. Semelhante ao que ocorre em outras culturas exploradas em grandes áreas, o controle químico também possui potencial para ser utilizado em Capim-annoni em pastagens naturais (Carbo e Zanetti, 2019).

No que tange ao sensoriamento remoto (SR), seguindo ainda a caracterização morfológica de Reis (1993), o Capim-annoni pode ser caracterizada como planta com folhas e dosséis erectófilos, com ângulo de inclinação, em relação ao solo, de mais de 60° (Goel e Strebel, 1984). Portanto, pode-se dizer que esses diferentes ângulos de inclinação das folhas são de extrema importância nos estudos de SR da vegetação, pois esses ângulos de inclinação interferem diretamente na resposta espectral dos alvos de SR e, conseqüentemente, no resultado final do mapeamento de determinado tipo de vegetação, utilizando como técnica as diferentes respostas espectrais de cada alvo (Panzoni et al., 2013).

O presente trabalho tem por finalidade desenvolver ou aprimorar metodologias existentes, no sentido de detectar a presença de *Capim-annoni*, para, assim, auxiliar no controle, realizando o monitoramento a partir do levantamento aerofotogramétrico, para que seja possível quantificar a incidência de *Capim-annoni* em relação ao campo natural e poder identificar os meios de propagação. Com essas informações, torna-se possível a tomada de decisão e de ações que possibilitem o controle e a mitigação dos efeitos nocivos, causados por altas infestações da referida planta. O prejuízo econômico e ambiental se deve à presença e expansão de área de *Capim-annoni* sobre os 6,5 milhões de hectares de pastagem nativa onde se localizam os campos de pecuária de corte do Rio Grande do Sul e os remanescentes da vegetação campestre (Hasenack et al., 2007), típicos do bioma Pampa, que apresenta rica diversidade florística e valor forrageiro. Calcula-se que um milhão de hectares de terra tenham sido comprometidos com a presença de *Capim-annoni* (Medeiros et al., 2004). A expansão dessas áreas representa grande risco à conservação da biodiversidade do bioma Pampa (Martell, 2018).

Neste sentido, estudar as origens, a forma de disseminação, a existência de predadores naturais, as formas de controle populacional e a extensão atual de áreas de infestação do *Capim-annoni* é importante para evitar prejuízos econômicos e, principalmente, ambientais nos locais onde se insere (Ferreira e Felippi, 2010). Estudos acerca de mapeamentos de áreas infestadas por *Capim-annoni* são escassos, não apenas em termos de artigos científicos brasileiros, como também internacionais (Gomes, 2017), conforme Cicconet et al. (2015), Gomes (2017), Luiz e Neves (2019), e Neves et al. (2019), que realizaram pesquisas visando ao monitoramento de áreas com ocorrência de *Capim-annoni*.

Portanto, objetivou-se avaliar a possibilidade de uso das técnicas aerofotogramétricas na identificação da distribuição do *Eragrostis plana* Ness (*Capim-annoni*) de outros grupos botânicos presentes na fitossociologia do campo nativo bioma Pampa, para contribuir no monitoramento dessa espécie nos ecossistemas campestres da Campanha Gaúcha meridional. Os objetivos específicos são mapear a incidência de *Capim-annoni* em campo nativo; analisar áreas afetadas,

quantificando a proporção dessa espécie em relação a outros gêneros botânicos presentes na estrutura do campo natural; e inferir as diferenças de reflectância entre o *Capim-annoni* e outros grupos botânicos ocorrentes no campo nativo. Uma característica das áreas invadidas pelo *Capim-annoni* é o desaparecimento de todas as outras espécies da comunidade vegetal inicialmente existentes (Coelho, 1986), devido a seu efeito alelopático sobre outras espécies (Ferreira et al., 2008); portanto, favorecendo o impacto e o sucesso de espécies invasoras em novos ambientes (Meiners et al., 2012).

Materiais e Métodos

O estudo foi conduzido por meio de vistoria a campo em três diferentes áreas (talhões de 25 x 50 m) localizadas na Estância do Pampa, no Centro Tecnológico Agropecuário da Universidade Federal do Pampa, campus do município de Dom Pedrito/RS. Essas áreas foram escolhidas com base no nível de incidência da espécie (*Eragrostis Plana* Ness), considerando as seguintes condições: 1) área de baixa infestação (virtual ausência) da espécie; 2) área de infestação intermediária (65%); e 3) área de alta infestação (80%) (esse percentual de infestação foi calculado posteriormente aos levantamentos aerofotogramétricos por meio de extrapolação por pixel de imagem). Os critérios para a escolha das áreas, assim como dos parâmetros de frequência de ocorrência das espécies, respeitaram observações a campo. Em cada área, foram selecionados 15 pontos de amostragem, georreferenciados com GPS (Sistema de Posicionamento Global), equipamento de mão “Garmin – modelo eTrex 30”. Em cada ponto, foi determinada a presença ou não de *Capim-annoni*, a altura de plantas e a condutividade elétrica do solo (equipamento portátil modelo “Hanna – HM”). Esses atributos/parâmetros foram determinados para fins de correlação com os dados de NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), cuja tradução do inglês para o português significa “Índice de Vegetação pela Diferença Normalizada”, detalhado à frente.

O levantamento aerofotogramétrico foi realizado por meio da utilização de aeronave não tripulada controlada por sensoriamento remoto (Drone DJI *Phantom 4 pro*) equipado com câmera RGB de alta resolução (sensor de 20 megapixels) e

câmera NIR (*near infrared lent*) MAPIR Survey III (sensor de 12 megapixels). A aeronave sobrevoou as áreas de estudo com voo pré-programado (altura de 30 m e velocidade de disparo de uma foto por segundo em cada equipamento fotográfico).

Posteriormente, as imagens RGB e NIR foram orientadas e alinhadas em fluxo de trabalho para a estruturação de modelo digital de elevação (MDE), modelo digital de terreno (MDT) e ortofoto, utilizando-se o software *Agisoft photoscan v.1.4.3.1*. A partir da ortofoto NIR, foi possível calcular o índice NDVI. Esse índice utiliza imagens dos canais espectrais do R (reflectância no vermelho) e da IVP (reflectância no infravermelho próximo) para ser calculado por: $NDVI = (IVP - R) / (IVP + R)$ (Equação 1). A partir dos levantamentos aerofotogramétricos, foi determinado o NDVI para as áreas das situações avaliadas, bem como para cada um dos 45 pontos georreferenciados (15 pontos em cada uma das três situações de análise).

Os dados de mapeamento foram submetidos à análise estatística descritiva média e desvio padrão observado nas tabelas. Também foram ajustadas a Análise Multivariada de Componentes Principais (ACP) – considerando-se uma matriz de correlação como medida de semelhança e aplicação do teste de significância por reamostragem *bootstrap* para análise de estabilidade dos eixos de ordenação – e a Análise de Regressão Linear Simples (com ajuste dos dados a uma equação polinomial de segundo grau – $Y = ax^2 + bx + c$).

Resultados e Discussão

Após o processamento das imagens e o fluxo de trabalho de aquisição de imagens NDVI, foram obtidos os resultados apresentados nas Figuras 1i, 1ii e 2, em que a Figura 1i mostra as áreas com baixa taxa de infestação dessa espécie; e a Figura 1ii mostra as áreas de infestação intermediárias, e a Figura 2 mostra áreas com alta infestação.

A localização da Figura 1 foi escolhida por ainda incluir áreas com presença exclusiva de espécies nativas do bioma Pampa, principalmente gramíneas rasteiras de várias espécies. Ao contrapor a Figura 1i. C com a Figura 1ii.C, onde ambas representam a análise dos índices NDVI,

é observável uma diferença significativa nas duas imagens: a primeira representa um campo predominantemente natural; a segunda, um campo com uma taxa de infestação de 65%, ou seja, parcialmente infestado por Capim-annoni.

O comportamento espectral se mostrou diferente em ambas as imagens – a cor das gramíneas do campo natural representado pela coloração azulada e, na Figura 1ii. C, constata-se uma variação na coloração das gramíneas, o que indica uma mudança na resposta espectral do índice NDVI.

Ao analisar a Figura 2.C, é possível notar uma significativa diferença na coloração, ao comparar com a Figura 1i.C e a Figura 1ii.C. Tendo em vista que a Figura 2.C representa uma área com taxa de 80% de infestação de Capim-annoni, o que indica que a resposta espectral é promissora em virtude da metodologia empregada neste estudo. Levando-se em conta que as áreas analisadas eram pequenas e a altura de capitação das imagens era baixa, o nível de resolução, ou seja, os pixels são mais precisos em cada ponto georreferenciado das amostras.

Em um estudo realizado por Neves et al. (2019), observou-se que o índice NDVI está negativamente correlacionado com as variáveis: peso da biomassa total seca, matéria verde seca da fração Capim-annoni e o nível de infestação, possivelmente em virtude da similaridade do Capim-annoni comparada às folhas de outras plantas que compõem o bioma Pampa. Presumivelmente as correlações negativas apresentadas no estudo estão relacionadas com a metodologia empregada, pois, comparativamente, nota-se uma discordância em relação à precisão do índice NDVI.

Possivelmente essa diferença entre ambos os estudos seja pelo fato de o detalhamento das imagens ser sensível à identificação da espécie, mas com uma dependência em relação à altura. Isso não ocorre em todos os pontos deste estudo, mas é bastante evidente que existem correlações significativas. Os voos conduzidos neste trabalho foram bem baixos e com precisão, onde ocorre, ou não o Capim-annoni e em cada uma das áreas georreferenciadas, por sua vez, houve influência na altura de planta.

Em razão de o Capim-annoni ser uma planta mais competitiva, apresentou touceiras

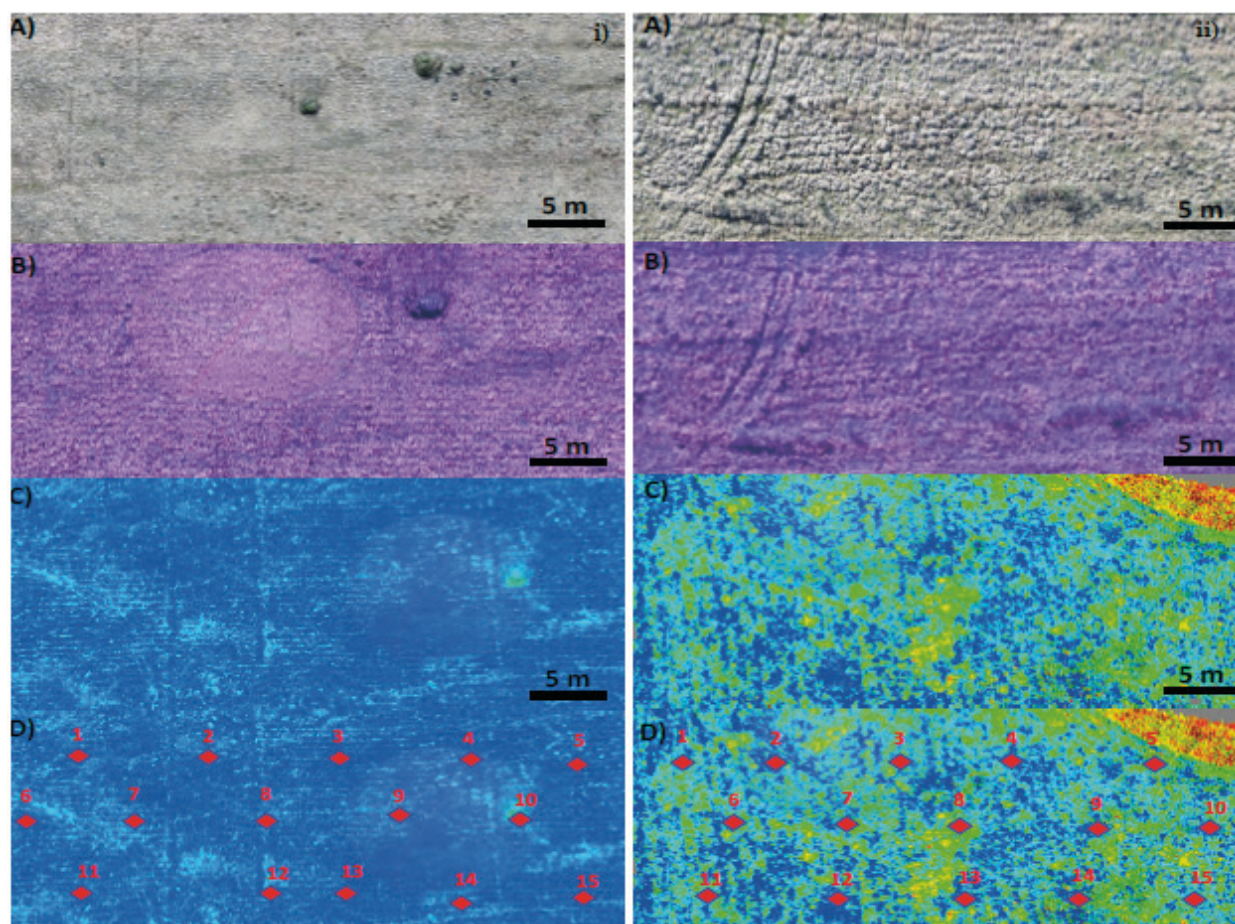


Figura 1 – i) Levantamento aerofotogramétrico e informações de amostragem da área de referência (virtual ausência/baixa infestação de Capim-annoni): A) Ortofoto mosaico RGB da área analisada; B) Ortofoto mosaico NIR da área analisada; C) Imagem NDVI da área; e D) Localização dos pontos georreferenciados e analisados na área, apresentados na imagem NDVI; e ii) Levantamento aerofotogramétrico e informações de amostragem da área de infestação intermediária de Capim-annoni (65 % de infestação): A) Ortofoto mosaico RGB da área analisada; B) Ortofoto mosaico NIR da área analisada; C) Imagem NDVI da área; e D) Localização dos pontos georreferenciados e analisados na área, apresentados na imagem NDVI. Fonte: elaborado pelos autores.

maiores nos pontos que foram amostrados e georreferenciados, em comparação às outras estruturas botânicas presentes na área, o que contribui para os resultados obtidos.

Considerando as informações obtidas nas Figuras 1i, 1ii e 2, e as coletadas na vistoria a campo, foram selecionados 15 pontos de

amostragem em cada uma das três situações de análise, que foram georreferenciados. Com essas informações, foi possível quantificar a incidência ou não de infestações de Capim-annoni, como também se pode analisar as variações decorrentes da altura de planta e o índice NDVI, bem como a condutividade elétrica e a presença de Capim-annoni (Tabela 1).

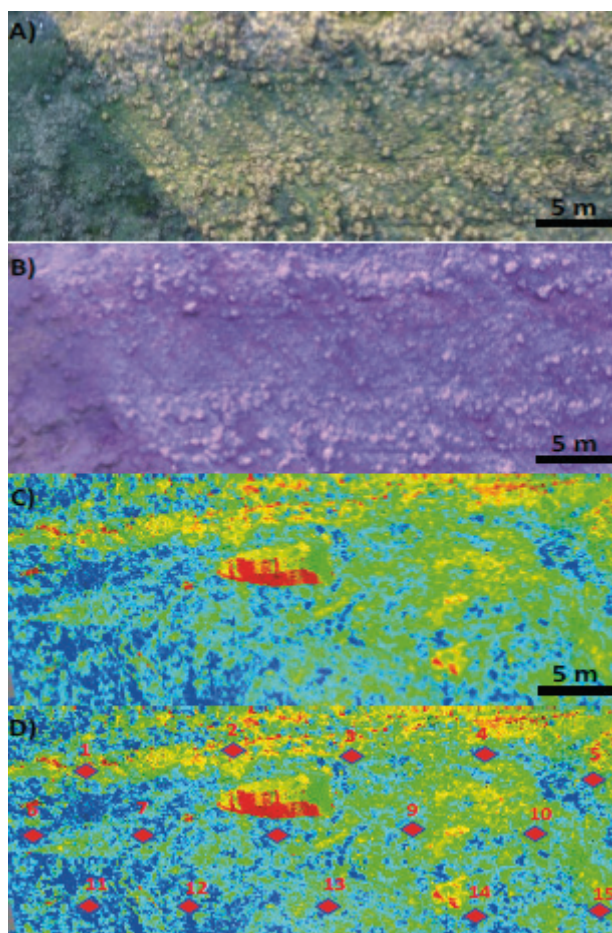


Figura 2 – Levantamento aerofotogramétrico e informações de amostragem da área de alta infestação de Capim-annoni (80% de infestação): A) Ortofoto mosaico RGB da área analisada; B) Ortofoto mosaico NIR da área analisada; C) Imagem NDVI da área; e D) Localização dos pontos georreferenciados e analisados na área, apresentados na imagem NDVI. Fonte: elaborado pelos autores.

Na Tabela 1 é possível examinar a assimetria no índice NDVI com presença de Capim-annoni, em relação aos pontos com existência de espécies nativas, observado no ponto de referência 8, sendo que a altura de planta de Capim-annoni é proporcional às demais gramíneas existentes nos pontos referenciados. Da mesma forma, a condutividade elétrica do solo se mostrou maior em relação aos demais pontos de amostragem. Conforme Rabello (2009), a condutividade elétrica do solo pode ser influenciada por várias propriedades físico-químicas do solo, tais como: salinidade do solo, porcentagem de saturação,

densidade volumétrica, umidade, como também a quantidade de argila, a capacidade de troca de cátions e a matéria orgânica.

Também é possível notar na Tabela 1 uma infestação maior de Capim-annoni em relação ao campo natural; ou seja, dentre os 15 pontos da amostra, 9 possuem a presença de Capim-annoni. Dentre as 9 incidências, observa-se que o índice NDVI é superior a 0,60 na presença do Capim-annoni. A condutividade elétrica do solo no ponto onde a referida planta está presente também pode ser observada, o que indica que a qualidade íons é maior nessas áreas.

Tabela 1 – Informações relativas à presença de Capim-annoni (*Eragrostis plana*), NDVI, altura de planta, condutividade elétrica do solo e coordenadas geográficas de cada ponto de controle/amostragem da área com baixa (virtual ausência) infestação de Capim-annoni e da área infestação intermediária de Capim-annoni (65%).

Baixa (virtual ausência) infestação de Capim-Annoni						
Ponto de referência	Presença de Capim-Annoni	NDVI	Altura de Planta (cm)	Condutividade elétrica do solo ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Coordenadas geográficas	
1	Não	0,3452	12	0,21	30°59'58.82"S	54°36'56.72"O
2	Não	0,3111	13	0,22	30°59'58.62"S	54°36'56.53"O
3	Não	0,2872	18	0,17	30°59'58.44"S	54°36'56.43"O
4	Não	0,2212	19	0,18	30°59'58.46"S	54°36'56.22"O
5	Não	0,2872	17	0,22	30°59'58.41"S	54°36'55.39"O
6	Não	0,3321	22	0,3	30°59'58.84"S	54°36'56.61"O
7	Não	0,3892	16	0,27	30°59'58.81"S	54°36'56.39"O
8	Não	0,2982	12	0,29	30°59'58.81"S	54°36'56.02"O
9	Não	0,3433	13	0,19	30°59'58.70"S	54°36'55.65"O
10	Sim	0,6753	31	0,34	30°59'58.73"S	54°36'55.24"O
11	Não	0,3761	18	0,26	30°59'59.14"S	54°36'56.76"O
12	Não	0,3561	19	0,21	30°59'59.13"S	54°36'56.25"O
13	Não	0,3221	14	0,23	30°59'59.06"S	54°36'55.92"O
14	Não	0,2982	17	0,18	30°59'59.12"S	54°36'55.39"O
15	Não	0,3422	17	0,21	30°59'59.13"S	54°36'54.95"O
Média da área (total)	-	0,3456 $\pm$ 0,1001	17 $\pm$ 5	0,23 $\pm$ 0,05	-	-
Média da área com Capim-Annoni	-	-	-	-	-	-
Média da área sem Capim-Annoni	-	0,3221 $\pm$ 0,0429	16 $\pm$ 3	0,22 $\pm$ 0,04	-	-

Infestação intermediária de Capim-Annoni (65 %)						
Ponto de referência	Presença de Capim-Annoni	NDVI	Altura de Planta (cm)	Condutividade elétrica do solo ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Coordenadas geográficas	
1	Sim	0,6894	37	0,24	30°59'59.26"S	54°36'49.75"O
2	Não	0,3877	17	0,24	30°59'59.17"S	54°36'49.34"O
3	Sim	0,7211	41	0,31	30°59'59.17"S	54°36'48.90"O
4	Não	0,3117	14	0,19	30°59'59.02"S	54°36'48.42"O
5	Sim	0,7679	43	0,32	30°59'59.02"S	54°36'48.22"O
6	Não	0,3872	19	0,26	30°59'59.23"S	54°36'50.12"O
7	Sim	0,6892	32	0,28	30°59'59.10"S	54°36'49.41"O
8	Sim	0,7452	43	0,31	30°59'59.04"S	54°36'48.91"O
9	Sim	0,6562	33	0,32	30°59'59.09"S	54°36'48.44"O
10	Não	0,3982	21	0,22	30°59'58.96"S	54°36'47.77"O
11	Sim	0,6562	38	0,19	30°59'59.61"S	54°36'49.96"O
12	Não	0,4121	26	0,19	30°59'59.52"S	54°36'49.34"O
13	Sim	0,7123	36	0,41	30°59'59.51"S	54°36'48.67"O
14	Não	0,4321	19	0,2	30°59'59.51"S	54°36'48.23"O
15	Sim	0,7782	29	0,33	30°59'59.62"S	54°36'46.98"O
Média da área (total)	-	0,5830 $\pm$ 0,1699	30 $\pm$ 10	0,27 $\pm$ 0,07	-	-
Média da área com Capim-Annoni	-	0,7129 $\pm$ 0,0446	37 $\pm$ 5	0,30 $\pm$ 0,06	-	-
Média da área sem Capim-Annoni	-	0,3882 $\pm$ 0,0411	19 $\pm$ 4	0,22 $\pm$ 0,03	-	-

* Obs: Presença de Capim-annoni: identificação botânica, no ponto georreferenciado, da presença de Capim-annoni (*Eragrostis plana*); NDVI – Normalized Difference Vegetation Index (índice de vegetação pela diferença normalizada) do pixel associado ao ponto georreferenciado, obtido por: $\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{V}) / (\text{NIR} + \text{V})$, onde NIR = banda do infravermelho próximo e V = banda do vermelho; altura de plantas: determinada em centímetros, diretamente no ponto georreferenciado; condutividade elétrica do solo: determinada por meio de condutivímetro portátil, diretamente no ponto georreferenciado; coordenadas geográficas: determinadas para cada ponto por GPS. Valores seguidos por $\pm$ representam o desvio padrão em relação à média do atributo/parâmetro. Fonte: elaborado pelos autores.

Tabela 2 – Informações relativas à presença de Capim-annoni (*Eragrostis plana*), NDVI, altura de planta, condutividade elétrica do solo e coordenadas geográficas de cada ponto de controle/amostragem da área de alta infestação de Capim-annoni (80%).

Ponto de referência	Presença de Capim-Annoni	NDVI	Altura de Planta (cm)	Condutividade elétrica do solo ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Coordenadas geográficas	
1	Sim	0,6345	25	0,21	31° 0'1.10"S	54°36'46.00"O
2	Sim	0,7232	31	0,23	31° 0'1.12"S	54°36'45.36"O
3	Sim	0,7847	33	0,3	31° 0'1.20"S	54°36'44.73"O
4	Sim	0,7932	32	0,29	31° 0'1.27"S	54°36'44.10"O
5	Sim	0,7899	29	0,28	31° 0'1.39"S	54°36'43.40"O
6	Não	0,3182	21	0,19	31° 0'1.85"S	54°36'46.00"O
7	Sim	0,5932	28	0,16	31° 0'1.88"S	54°36'45.12"O
8	Não	0,3211	22	0,21	31° 0'1.88"S	54°36'44.59"O
9	Sim	0,6243	29	0,27	31° 0'2.27"S	54°36'43.78"O
10	Sim	0,3982	22	0,22	31° 0'2.35"S	54°36'43.09"O
11	Não	0,4432	23	0,19	31° 0'2.10"S	54°36'46.30"O
12	Sim	0,6435	27	0,31	31° 0'2.32"S	54°36'45.42"O
13	Sim	0,6811	29	0,33	31° 0'2.38"S	54°36'44.67"O
14	Sim	0,6211	27	0,32	31° 0'2.62"S	54°36'43.93"O
15	Sim	0,7652	33	0,37	31° 0'2.88"S	54°36'43.12"O
Média da área (total)	-	0,6090 $\pm$ 0,1652	27 $\pm$ 4	0,26 $\pm$ 0,06	-	-
Média da área com Capim-Annoni	-	0,6710 $\pm$ 0,1132	29 $\pm$ 3	0,27 $\pm$ 0,06	-	-
Média da área sem Capim-Annoni	-	0,3608 $\pm$ 0,0713	22 $\pm$ 1	0,20 $\pm$ 0,01	-	-

* Obs: Presença de Capim-annoni: identificação botânica, no ponto georreferenciado, da presença de Capim-annoni (*Eragrostis plana*); NDVI – Normalized Difference Vegetation Index (índice de vegetação pela diferença normalizada) do pixel associado ao ponto georreferenciado, obtido por: $\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{V})/(\text{NIR} + \text{V})$, onde NIR = banda do infravermelho próximo e V = banda do vermelho; altura de plantas: determinada, em centímetros, diretamente no ponto georreferenciado; condutividade elétrica do solo: determinada, por meio de condutivímetro portátil, diretamente no ponto georreferenciado; coordenadas geográficas: determinadas para cada ponto por GPS. Valores seguidos por $\pm$ representam o desvio padrão em relação à média do atributo/parâmetro. Fonte: elaborado pelos autores.

Conforme Tabela 2, onde a infestação de Capim-annoni é alta, dentre os 15 pontos analisados, 12 estão comprometidos. Ao analisar a altura de plantas nessa área de estudo, verifica-se a similaridade entre a referida planta e o campo nativo. Apesar dessa semelhança, a sensibilidade do índice NDVI se mostrou promissor na detecção do Capim-annoni, o que sugere que, mesmo em alguns pontos onde a altura é quase que insignificante em relação ao campo nativo e o Capim-annoni, existe uma diferença de índice NDVI, e pode-se deduzir que existe uma perspectiva de identificar essas diferenças em termos de absorbância e transmitância do infravermelho próximo, sendo ela a principal banda utilizada no cálculo do índice NDVI, sobre tudo nesse distanciamento das imagens obtidas.

Um aumento na condutividade elétrica também foi observado em alguns pontos onde o Capim-annoni está presente. Essas áreas de alta condutividade proporcionam melhor germinação e melhor desenvolvimento das sementes. Mas, em virtude de o Capim-annoni ser uma espécie exótica muito competitiva, ele consegue disputar esses nutrientes de uma forma mais eficaz do

que outras plantas, inclusive as do próprio bioma Pampa; por consequência, ele se desenvolve melhor, ganhando mais fitomassa e maior altura. Sua capacidade de competição, em razão do nível nutricional do solo, auxilia no seu desenvolvimento e compromete, assim, o surgimento de outras espécies.

Análise de componentes principais e modelos de regressão linear

A análise de componentes principais envolvendo variáveis (“p” - NDVI; altura de planta e condutividade elétrica do solo) e unidades amostrais (n – pontos das situações analisadas) explicou, aproximadamente, 95% da variância total das amostras, sendo que 81,3% da variação encontra-se contida no primeiro componente principal (CP 1 – eixo “x”) e 13,7% no segundo componente principal (CP 2 – eixo “y”) (Figura 3). Ambos os componentes 1 e 2 foram significativos ao teste de reamostragem *bootstrap*, considerando-se dez mil interações com reposição e $p < 0,05$.

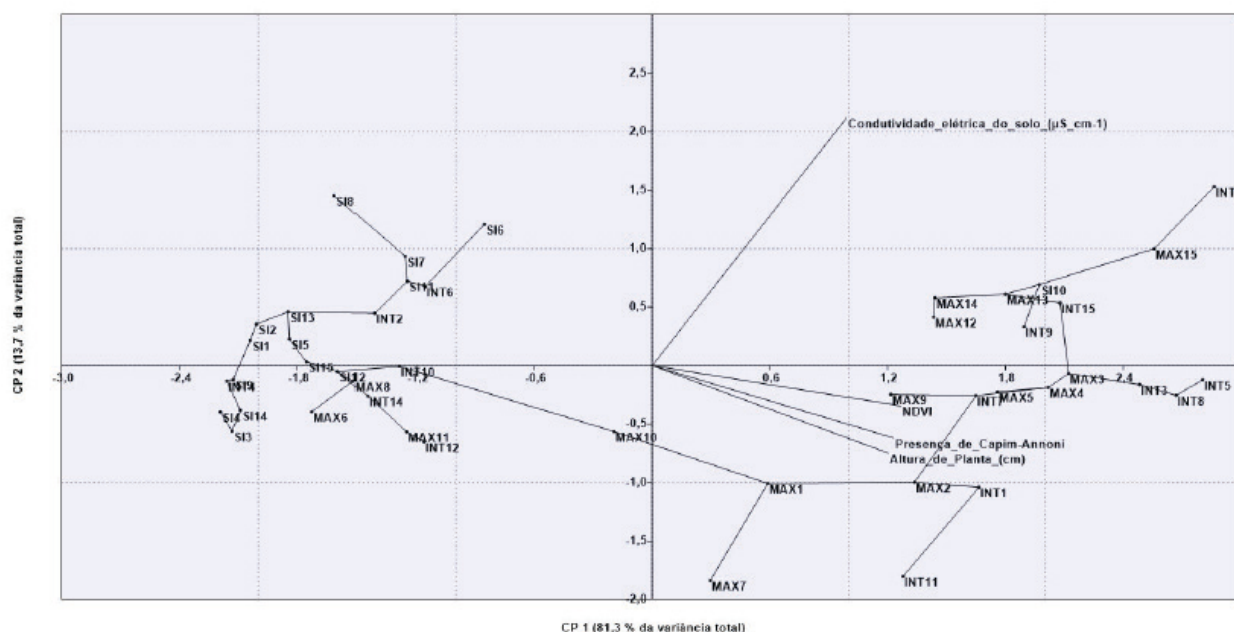


Figura 3 – Análise de componentes principais envolvendo as três áreas do estudo e variáveis (atributos/parâmetros) analisadas. Obs: SI = área com baixa infestação (virtual ausência de infestação); INT = área de infestação intermediária (65 %) e; MAX = área de alta infestação de Capim-annoni (*Eragrostis plana*). Fonte: elaborado pelos autores.

O CP 1 (eixo “x”) é uma variável produzida pela compilação da estrutura matemática dos atributos/parâmetros NDVI, presença de Capim-annoni e altura de plantas, e que explica maior proporção da variação dos dados. Em outras palavras, as unidades amostrais (pontos das situações de infestação avaliadas) foram dispersas com base na maior influência dessas variáveis que respondem diretamente ao Capim-annoni e sua resposta espectral. Assim, o CP 1 é uma variável relacionada diretamente às características da fisionomia campestre (variável relacionada às plantas). Por sua vez, o CP 2 (eixo “y”) foi definido mais fortemente com base na estrutura dos dados da condutividade elétrica do solo e explica menor proporção da variância dos dados (13,7%), ou seja, é uma variável matemática que corresponde à característica do solo. Dessa forma, para fins de compreensão do diagrama, o eixo “x” corresponde às características das plantas (mais importante explicar a dispersão dos dados) e o eixo “y” responde à parte de variação pela influência do solo.

Por meio da ACP, pôde ser observada uma nítida separação dos grupos amostrais (situações de infestação avaliadas), estando a maior parte

dos pontos da área de maior infestação (80%) e infestação intermediária (65%) projetada à direita do eixo “x” (CP 1), posição que é determinada pela maior frequência de ocorrência do Capim-annoni, maior NDVI e altura de plantas.

Esse resultado suporta que o NDVI pode ser uma ferramenta importante para a identificação do nível de infestação de Capim-annoni, bem como do seu estágio de crescimento (altura). As unidades amostrais que correspondem à situação de baixa (virtual ausência) de infestação, bem como os pontos amostrais das áreas de intermediária e elevada infestação que não apresentam desenvolvimento de Capim-annoni aparecem à esquerda do CP1 (em relação à origem), o que suporta a afirmação anterior (Figura 3).

Em relação ao CP 2 (eixo “y”), os pontos das unidades amostrais que aparecem acima da origem (e, sobretudo, à direita do eixo “x”) tendem a apresentar uma maior condutividade elétrica do solo (Figura 3). Esse padrão de dispersão dos dados ressalta a tendência de que a maioria dos pontos onde ocorre incidência do Capim-annoni apresenta maior condutividade elétrica do solo. Esses resultados serão abordados em mais detalhes a seguir.

A altura de planta apresentou correlação positiva significativa com o NDVI ($p < 0,05$), sendo que os pontos de maior valor no modelo correspondem majoritariamente às situações de intermediária e máxima infestação de Capim-annoni (Figura 4). Embora o NDVI seja reconhecido como uma relação espectral sensível à altura de plantas, nas situações avaliadas as

maiores alturas correspondem aos pontos de ocorrência do Capim-annoni e, mesmo nos pontos onde essa espécie apresenta relativa menor altura de planta, o NDVI também foi superior. Esse resultado suporta o fato de que, além da altura de plantas, também ocorre uma diferenciação do NDVI devido à natureza dos tecidos botânicos da espécie infestante.

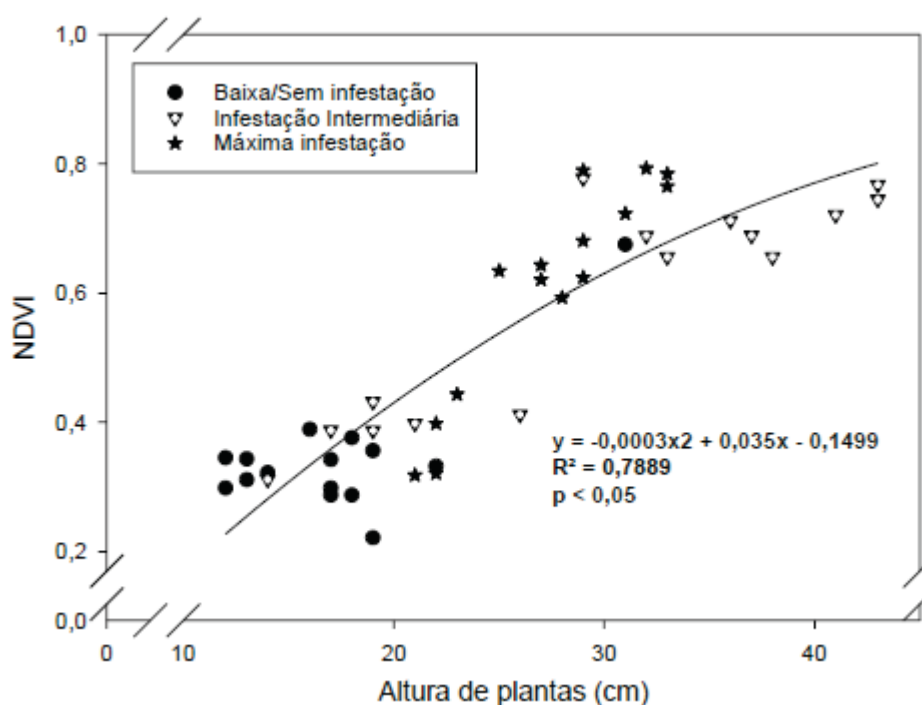


Figura 4 – Regressão linear entre as variáveis “altura de plantas” e “NDVI” envolvendo todos os pontos amostrados. Fonte: elaborado pelos autores.

A condutividade elétrica do solo apresentou menor influência sobre a altura de plantas, embora os dados coletados apontem que ocorre uma influência dessa variável de solo sobre o desenvolvimento vegetal. A Figura 5 mostra a relação polinomial entre essas variáveis, sendo mais forte na área com baixa infestação (virtual ausência) ($p < 0,05$) e mais fraca nas áreas de infestação intermediária (65%) e elevada (80%) ($p < 0,1$).

Embora essas relações sejam matematicamente mais fracas, os modelos sugerem que a modificação do conteúdo iônico (na solução do solo e nos sítios de troca das argilas e matéria orgânica) beneficia o crescimento de plantas e, em especial, do Capim-annoni. Possivelmente, isso se deve à capacidade competitiva dessa espécie em

comparação às espécies pertencentes aos outros grupos botânicos naturais da fisionomia campestre onde o estudo foi realizado. Semelhante ao observado para a relação entre a condutividade elétrica do solo e a altura de plantas, também foi verificado na relação entre essa variável de solo e o NDVI (Figura 5).

Nessa relação, apenas foi verificada uma relação significativa (modelo polinomial de segundo grau – $Y = ax^2 + bx + c$) para a área de baixa infestação de Capim-annoni. Dessa forma, a variável de solo apresenta pouca influência direta na variação do NDVI nos pontos de amostragem, sobretudo no que se refere ao crescimento da espécie infestante, o que sugere que o solo apresenta apenas um efeito de caráter indireto sobre a variação da resposta espectral.

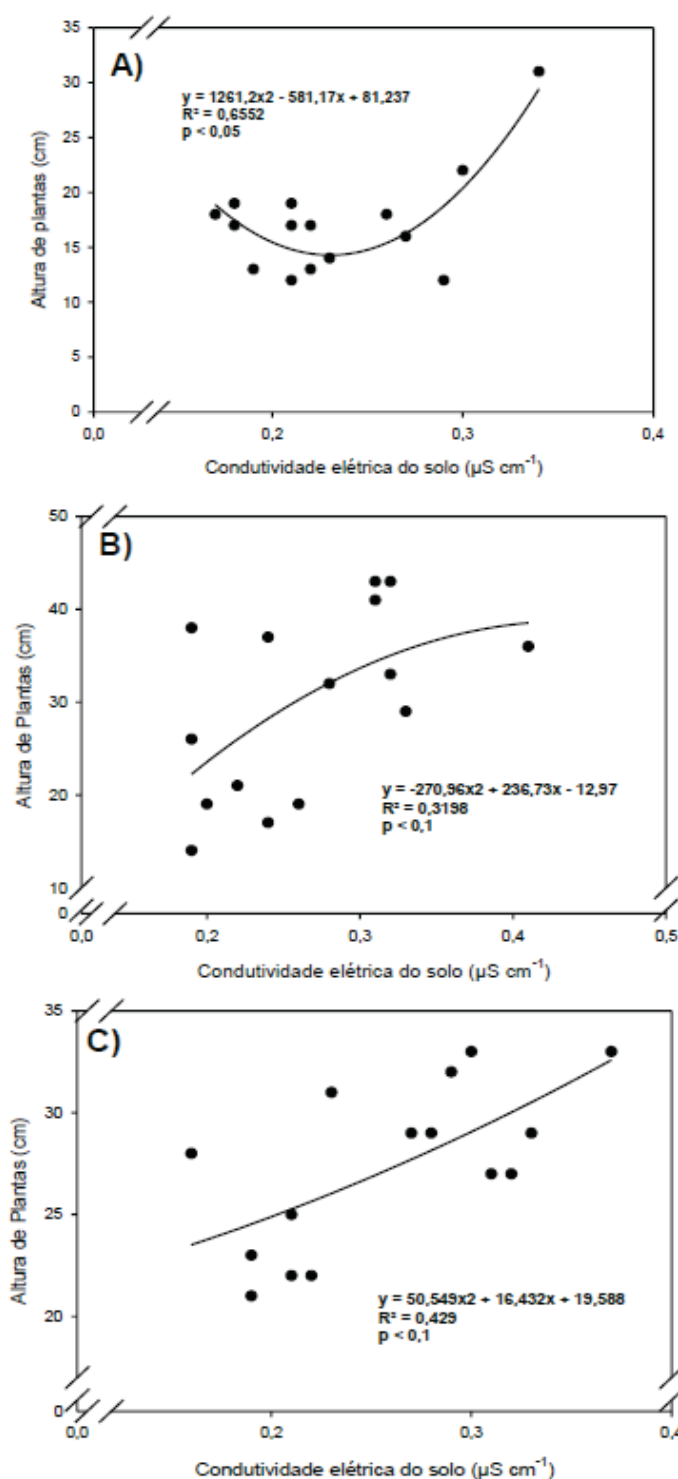


Figura 5 – Regressões lineares entre a condutividade elétrica do solo e a altura de plantas em: A) área com baixa (virtual ausência) de infestação; B) área com intermediária infestação (65 %) e; C) área com alta infestação (80%) de Capim-annoni (*Eragrostis plana*). Fonte: elaborado pelos autores.

Considerações finais

Este trabalho buscou desenvolver ou aprimorar metodologias existentes no sentido de mapear o Capim-annoni. Através do levantamento

aerofotogramétrico de três áreas com níveis de infestação diferentes, por meio deste levantamento foi possível calcular o índice NDVI dessas áreas e analisar as diferentes ondas de reflectância dos gêneros botânicos presentes em cada área.

Através das análises e variações existentes neste trabalho, verificou-se que o índice NDVI pode ser uma ferramenta não apenas para identificar a presença de Capim-annoni, mas também analisar o seu estágio de crescimento. Apesar de o índice NDVI possuir uma relação espectral sensível à altura de plantas, neste estudo ele se mostra assertivo na detecção do Capim-annoni, mesmo em áreas onde existe similaridade de altura de planta.

Com esta pesquisa, espera-se contribuir nas análises e identificação de áreas infestadas por Capim-annoni, visando ao seu controle e mitigação. Tendo em vista que a referida planta representa um perigo para a biodiversidade do bioma Pampa, por ser uma planta de alta competitividade, acaba por contribuir com o desaparecimento de outras espécies da comunidade vegetal, além de acarretar prejuízos econômicos em pastagens nativas.

Os resultados obtidos neste estudo demonstraram possuir uma dependência em relação à altura de voo para a captação das imagens, como também ao tamanho dos talhões a serem analisados, visto que, com voos mais baixos, possibilitou uma melhor qualidade na resolução das imagens obtidas. Assim, pode proporcionar uma resolução melhor dos pixels e resultados mais precisos, em comparação com estudos já realizados nesse sentido.

Por fim, identificamos a possibilidade de agregar maiores informações com os dados obtidos neste trabalho, ou seja, futuras análises geoestatísticas, através de novas hipóteses, tornando possível fazer inferência e previsões a partir dessas amostras.

Outro fator possível de ser estudado são as variações de condutividade elétrica do solo, nas áreas com incidência de Capim-annoni, possibilitando analisar as causas para essa elevação, através de um estudo mais aprofundado de análise de solo.

Com base nos estudos aqui realizados, como também em relação a estudos já feitos e futuros, esperamos que, em algum momento, seja possível monitorar áreas com infestação de Capim-annoni apenas com sensoriamento remoto e, da mesma forma, realizar o seu controle através de drones de pulverização, equipados com tecnologia possível a ser aplicada apenas em plantas de Capim-annoni, auxiliando em seu controle e, tendo aqui uma visão otimista, eliminando o Capim-annoni em solo gaúcho.

Referências

- Boechat LT. Técnica de sensoriamento remoto na detecção do mofo branco e da mancha-angular no feijoeiro. 128 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.
- Borregaard T, Nielsen H, Nørgaard L e Have H. Crop-weed Discrimination by Line Imaging Spectroscopy. *Journal of Agricultural Engineering Research*, [S. l.], 75(4): 389-400, 4 abr. 2000. DOI <https://doi.org/10.1006/jaer.1999.0519>
- Braz AM, Borges JPS, Bernardes DCS e Terezan LH. Análise da aplicação de VANT na atualização de cadastro florestal com uso de pontos de controle. *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR*, João Pessoa/PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.
- Byers JE, Noonburg EG. Scale dependent effects of biotic resistance to biological invasion. *Ecology ecological society américa* [S. l.], ano, 84(6): 1428-1433, 1, 2003.
- Cicconet NJM, Filipini A, Spironello RL e Cunha H. Mapeamento do *Eraglostis plana* Ness (Capim-annoni) por meio de imagens orbitais. *Revista do departamento de Geografia, USP. São Paulo*, 29(1): 20-33, jul. 2016.
- Coelho RW. Substâncias fitotóxicas presentes no Capim-annoni-2. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 21(3): 255-263, 1986.
- Coelho F LCT. Estação Fotogramétrica Digital. Rio de Janeiro/RJ: Instituto Militar de Engenharia, 2002.
- Corbo SB, Zanetti JF. Herramientas para el control dirigido de Capim Annoni. *Revista del plan Agropecuario* [S. l.], 1 set. 2019.
- Ferreira AD. Uma “exótica” no campo: o Capim-annoni-2 e suas influências na produção pecuária na coxilha de São Rafael, no município de Quaraí/RS. Trabalho de Conclusão de curso de Graduação Tecnológico em Planejamento e Gestão para o Desenvolvimento Rural, UFRGS, Quaraí/RS, 2011. 31p.
- Ferreira NR, Medeiros RBS, Gonçalves GL. Potencial alelopático do Capim-annoni-2 (*Eragrostis plana* Nees) na germinação de sementes de gramíneas perenes estivais. *Revista Brasileira de Sementes, Brasília*. 30(2): 43-50, 2008.
- Ferreira RN e Felippi EE. Reflexos econômicos, sociais e ambientais da invasão biológica pelo Capim-annoni (*Eragrostis Plana* Nees) no Bioma Pampa. *Cadernos de ciência & tecnologia, Brasília*. 27(1/3): 47-70, jan/dez, 2010.
- Goel NS e Strebel DE. Simple beta distribution representation of leaf orientation in vegetation canopies. *Agronomy Journal*. 76: 800-803, 1984.

- Gomes DF. Uso de imagens Sentinel-2 na identificação de áreas com infestação do Capim-annoni-2 no Complexo Eólico Cerro Chato, Santana do Livramento/RS. 2017.
- Hall GAB. Capim Annoni no RGS; forrageira desejável ou invasora? Correio do Povo Rural, Porto Alegre 19(970), 25 mar. 1977. Suplemento Rural, p.10 c.3.
- Hasena CK, Cordeiro JLP e Costa BSC. Cobertura Vegetal Atual do Rio Grande do Sul. In: Simpósio de forrageiras e Produção Animal, 2. 2007, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: UFRGS – Departamento de Forrageiras e Agrometeorologia, 2007. p.15-21.
- Keane RM e Crawley MJ. Trends in Ecology & Evolution: Exotic plant invasions and the enemy release hypothesis. 4. ed. [S. l.]: CelPress, 01 de abril 2002. v. 17. DOI [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(02\)02499-0](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(02)02499-0). Acesso em: 28 mar. 2021.
- Levine JM. Species Diversity and Biological Invasions: Relating Local Process to Community Pattern. Science, [S. l.], v. 288, n. 5467, p. 852-854, 5 maio 2000. DOI 10.1126/science.288.5467.852. Disponível em: <https://science.sciencemag.org/content/288/5467/852>. Acesso em: 12 abr. 2021.
- Barreto LAJ e Neves MC. Sensoriamento remoto proximal na pesquisa agropecuária: passos iniciais. In: Embrapa Meio Ambiente-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 19., 2019, Santos. Anais... São José dos Campos: INPE, 2019. Ref. 96563., 2019.
- Martell RW. Efeitos da frequência e seletividade de corte da vegetação sobre campos invadidos por *Eragrostis plana* no sul do Brasil. 2018.
- Medeiros RB, Focht T, Ferreira NR e Brack SCF. Longevidade de sementes de *Eragrostis plana* Nees em um solo de campo natural. In: Reunión del grupo técnico regional del Cono Sur em mejoramiento y utilización de los recursos Forrageiros del área tropical y subtropical – GRUPO CAMPOS, 20., 2004, Salto. Anais: Regional Norte de la República del Uruguay, 2004. p. 213-214.
- Meiners SJ et al. Developing an ecological context for allelopathy. Plant Ecology, 2012, 213: 1221-1227 DOI 10.1007/s11258-012-0078-5.
- Mitishita EA, Goncalves JE, Graca NLSS, Centeno JAS, Machado AML. O uso. In: XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia, 2014, Gramado. Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia, 2014.
- Pimentel D et al. Economic and environmental threats of alien plant, animal, and microbe invasions. Agriculture, ecosystems & environment, 84(1): 1-20, 2001. DOI [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(00\)00178-X](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(00)00178-X).
- Pimentel D, Zuniga R e Morrison D. Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. Ecological Economics [S. l.], 52(3): 273-288, 15 fev. 2005.
- Ponzoni FJ, Shimabukuro YE e Kuplich TM. Sensoriamento remoto da vegetação, 2ª edição revisada e ampliada, São Paulo: Oficina de textos, 2013.
- Rabello LM. Condutividade elétrica do solo, tópicos e equipamentos. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2009. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fcore.ac.uk%2Fdownload%2Fpdf%2F15427611.pdf&clen=1307299&chunk=true>. Acesso em: 30 set. 2021.
- Reis JCL e Oliveira OLP. Considerações sobre o Capim Annoni-2. In: EMBRAPA-UEPAE de Bagé. Circular técnica, 2. Bagé/RS: [s. n.], 1978. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/67857/1/CR-2-1978.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2019.
- Reis JCL e Coelho RW. Controle das pastagens. Pelotas, EMBRAPA-CPACT, 2000 Técnica, 22, 21p.
- Ziller SR e Galvão FA. Degradação da estepe gramíneo-lenhosa no Paraná por contaminação biológica de *Pinus elliottii* e *P. taeda*. Revista Floresta 32: 41-7, 2002.

Biodiversidade Brasileira – BioBrasil.
Fluxo Contínuo
n.1, 2023

<http://www.icmbio.gov.br/revistaeletronica/index.php/BioBR>

Biodiversidade Brasileira é uma publicação eletrônica científica do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) que tem como objetivo fomentar a discussão e a disseminação de experiências em conservação e manejo, com foco em unidades de conservação e espécies ameaçadas.

ISSN: 2236-2886