

RELAÇÃO DE ÍNDICES ESPECTRAIS DE VEGETAÇÃO COM ATRIBUTOS EDÁFICOS EM ÁREA DE PASTAGEM COM MANEJO ROTACIONADO

João Vitor Ienco Bonacina¹ João Pedro Ienco Bonacina¹

Luís Henrique Serafim da Silva¹

Renata Bruna S. C. Favan²

João Ricardo Favan²

RESUMO

O estudo em questão aborda a utilização da agricultura de precisão, com foco no índice GCI (Índice de Clorofila Verde), para monitorar a saúde da vegetação e os atributos edáficos em pastagens de capim braquiária sob manejo rotacionado em Pirajuí (SP). A pesquisa utilizou imagens de sensoriamento remoto do Sentinel-2 para calcular o GCI e coletou amostras de solo para análise dos teores de nutrientes, pH e V%. O índice GCI apresentou variações sazonais, com maiores valores no período das águas e menores no período de seca, demonstrando sensibilidade às condições climáticas. A análise estatística revelou diferenças significativas entre os piquetes para os atributos do solo, e a correlação entre o GCI e os atributos edáficos foi avaliada. Embora tenha sido constatado que o índice GCI não apresenta correlação direta com todos os nutrientes do solo, ele mostrou utilidade no direcionamento da coleta de solo para análise e na identificação de áreas de pastagem degradadas, especialmente ao se associar ao comportamento de atributos-chave como pH e V%. Os resultados indicam que o índice GCI pode ser uma ferramenta simplificada e útil para o manejo da rotação de pastagem, fornecendo informações valiosas sobre a relação entre a vegetação e o solo. A conclusão aponta para a relevância do uso do índice GCI na identificação e recuperação de áreas de pastagem degradadas, contribuindo assim para a melhoria da pecuária extensiva em pastagens degradadas.

Palavras-chave: Índice de clorofila verde, pastagem rotacionada, nutrientes do solo, sensoriamento remoto, monitoramento.

1 INTRODUÇÃO

A atividade pecuária exercida por pequenos produtores, com foco na atividade em sistema extensivo, enfrenta desafios significativos devido à degradação das pastagens. As principais causas dessa degradação incluem superlotação das áreas, declínio da fertilidade

¹ Discente em Mecanização em Agricultura de Precisão na FATEC Pompeia, Pompeia-SP,

² Docentes do curso Mecanização em Agricultura de Precisão, FATEC Pompeia, Pompeia-SP.

do solo devido à falta de adubação e manejo inadequado das pastagens (DIAS-FILHO, 2017).

A degradação das pastagens é caracterizada pelo gradual declínio do vigor, da produtividade e do valor nutricional das forrageiras, comprometendo a capacidade da espécie de sustentar a produção animal e a resistência e/ou tolerância a pragas, doenças e plantas invasoras (DIAS-FILHO, 2017).

A agricultura de precisão (AP) é tem sido uma ferramenta útil para os produtores na gestão dos diferentes sistemas de cultivo, no entanto, sua eficácia depende da capacidade de avaliar a variabilidade espacial do solo e das culturas de maneira eficiente e econômica. Essa prática tem impulsionado o desenvolvimento de sistemas de sensoriamento e monitoramento para identificar os fatores limitantes à produção em áreas específicas (BERNARDI, 2014).

O potencial da AP em sistemas de produção animal, especialmente aqueles baseados em pastagens, tem sido destacado na literatura. As características do sensoriamento remoto, como a cobertura espectral, a revisita periódica e a capacidade de cobrir grandes áreas, tornam-na uma ferramenta promissora para o monitoramento das pastagens à medida que diminui a mistura dos dados espectrais com outros alvos ou feições terrestres (BERNARDI; PEREZ, 2014).

Dentre os índices de vegetação (IVs) abordados em literatura, para o presente estudo foi selecionado o Green Chlorophyll Index (GCI). Este índice, assim como o NDVI (Índice De Vegetação Por Diferença Normalizada) e EVI (Índice de Vegetação Aprimorado), são ferramentas valiosas para o monitoramento ambiental, fornecendo medições quantitativas e qualitativas do vigor da vegetação em uma área específica (BANNARI et al., 1995; SHIRATSUCHI et al., 2014).

Através da análise da reflectância espectral da vegetação, os IVs permitem detectar alterações no uso do solo, estimar diversos aspectos da cobertura vegetal, como vigor, saúde, biomassa, teor de clorofila, entre outros parâmetros, possibilitando, em alguns casos, identificar o tipo de cultura e estimar a possível produtividade da área (VILAMUELAS et al. 2016).

O índice de clorofila verde (GCI) é especialmente útil para estimar o teor de clorofila em áreas de alta densidade foliar, o que pode fornecer informações importantes sobre a saúde e o estado fisiológico das plantas. A partir da análise do GCI, os pesquisadores podem inferir, além da produtividade das plantas, a qualidade da vegetação e até mesmo

detectar estresses ambientais precocemente detectado pela redução desse índice (KUMAR, et al 2018).

Estudos demonstram que o GCI apresenta uma relação significativa com alguns atributos edáficos, como a matéria orgânica (MO), uma vez que a maior teor de matéria orgânica está associado a um aumento no GCI, indicando teores elevados de clorofila e biomassa vegetal (SIMS & GAMON, 2002; ZHANG et al., 2008).

O Nitrogênio é o elemento mais abundante em áreas com elevado teor de matéria orgânica (MO). Ele é essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, e sua disponibilidade no solo pode influenciar o índice GCI (SIMS & GAMON, 2002).

Dessa maneira, o GCI é um índice promissor para o monitoramento da saúde da vegetação e de atributos edáficos (D'OLIVEIRA, 2014). Com isso, a combinação entre o GCI com outros IVs aliados a dados edáficos adquiridos através de análise de solo pode fornecer informações valiosas para melhorias no sistema de manejo rotacionado e manutenção de áreas de pastagem evitando assim a degradação.

Nesse contexto, o conhecimento da distribuição espacial dos atributos do solo e sua relação com a vegetação das pastagens por meio de ferramentas de AP pode ser crucial para o manejo eficiente das pastagens. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi mapear a variabilidade espacial do GCI e potencial correlação entre os atributos químicos do solo em uma pastagem de capim braquiária sob manejo rotacionado em Pirajuí (SP).

2 MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área

O ensaio foi realizado em uma área da Fazenda Vale Verde, no município de Pirajuí- SP, em uma área de aproximadamente 472 ha. A área de pastagem com cultivo de capim *Urochloa* spp. foi utilizada para recria de gado nelore (*Bos taurus*) em sistema de manejo rotacionado. A propriedade foi dividida em 13 piquetes, sendo selecionados para o estudo 3 deles, de acordo com a sequência de uso: Piquete 1 (posterior o uso), Piquete 2 (em uso) e Piquete 3 (próximo a ser usado), durante o período experimental, compreendido entre 05 de janeiro a 15 de fevereiro de 2024.

Aquisição e processamento dos dados de sensoriamento remoto

Imagens de sensoriamento remoto foram adquiridas da área de estudo entre 01 de janeiro de 2023 e 31 de dezembro de 2023. As imagens foram obtidas pelo satélite Sentinel-2 (SENTINEL, 2014), com um critério de seleção que incluiu apenas aquelas com menos de 20% de cobertura de nuvens. Posteriormente, um processo de filtragem foi aplicado para

eliminar pixels com presença de nuvens ou cirros, resultando em um mosaico de imagens adequadas para análise (COLUZZI et al., 2018).

Cálculo do Índice de Clorofila Verde (GCI)

O GCI foi calculado a partir das imagens processadas utilizando a função padrão para essa finalidade, com base na equação apresentada na Equação 1. O valor do GCI foi incorporado como uma banda em cada imagem processada (AMIRI & POURGHASEMI, 2022).

$$GCI = \frac{NIR}{VERDE} - 1 \quad (1)$$

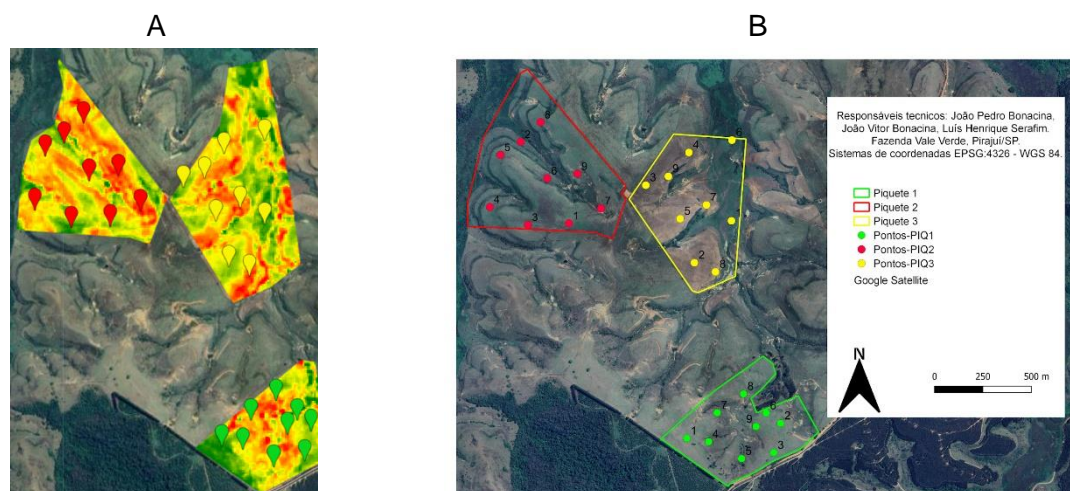
Onde: GCI: índice de clorofila verde para um determinado pixel; NIR: valor da refletância do comprimento de onda do infravermelho próximo (842 µm) para um pixel; VERDE: valor da refletância do comprimento de onda verde visível (560 µm) para um pixel.

Todo o processo de aquisição e processamento das imagens foi realizado utilizando a plataforma Google Earth Engine (GEE) (GORELICK et al., 2017), com um script desenvolvido em linguagem JavaScript.

Análise de solo

Os pontos georreferenciados de coleta de solo foram determinados a partir da análise da mediana do índice GCI, sendo posicionados, para cada piquete, 3 pontos em uma região de valores inferiores do índice (0.8 a 1.03), 3 pontos para valores intermediários (1.03 a 1.26) e 3 pontos para valores superiores do GCI (1.26 a 1.5), como apresentado pela Figura 1. O solo em cada um desses pontos foi amostrado a uma profundidade de 0 a 15 cm, e enviados para análise físico-química ao Laboratório de Solos da Fundação Shunji Nishimura de Tecnologia, localizado na cidade de Pompéia-SP.

FIGURA 1. Mapa do Índice de Clorofila Verde (GCI) com pontos georreferenciados para amostragem de solo dos piquetes 1, 2 e 3 (A). Delimitação da área dos piquetes 1 (verde), 2 (vermelho) e 3 (amarelo) conjuntamente com os pontos georreferenciados para coleta de amostras de solo (B).



Fonte: os autores (2024).

Análise estatística

Os dados de pH (pH CaCl_2 e pH H_2O), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), acidez potencial (H^+AL), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por base (V%) foram submetidos à análise de normalidade pelo método de Shapiro (Shapiro, 1965). Os atributos de MO, pH CaCl_2 , pH H_2O , Mg e V% foram analisadas pelo teste de comparação de médias entre os piquetes utilizando a análise de variância (ANOVA) e suas diferenças foram averiguadas pelo teste de Tukey. Os dados de P, K, Ca, SB, CTC foram submetidas a outros testes estatístico, por não apresentarem distribuição normal de dados, no qual suas medianas foram avaliadas pelo teste de Kruskal-Wallis (KRUSKAL & WALLIS, 1952), e as diferenças entre os piquetes foi determinada pelo teste de Dunn (DINNO, 2015).

Interpolação dos dados

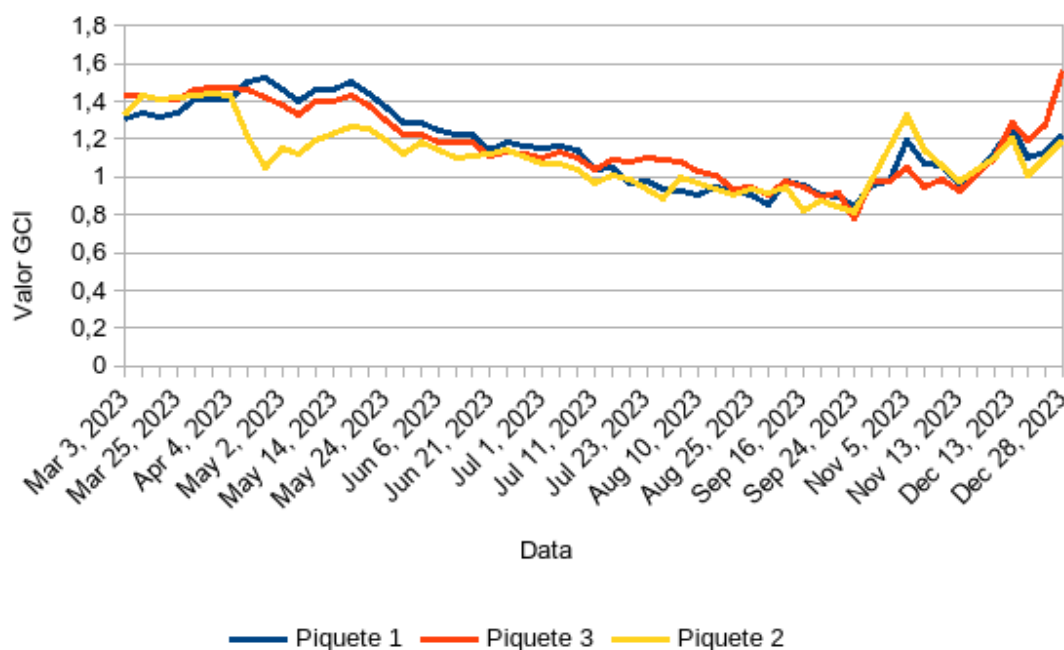
Os valores obtidos de P, V%, MO, Mg e pH foram interpolados, utilizando o algoritmo IDW (BURROUGH E MCDONNELL, 1998), para toda área de cada piquete, e foi analisado a correlação de Pearson (Pearson, 1996) entre essas imagens interpoladas e o índice de vegetação GCI com finalidade de avaliar o comportamento do índice em relação

aos teores de nutrientes, pH e V% contidos no solo. Assim como, foi realizado a análise de variância e teste de médias de Tukey dos valores interpolados dessas variáveis para cada piquete, utilizando o software estatístico Jamovi versão 2.5 (JAMОВI, 2024).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante todo o ano de 2023 os 3 piquetes analisados apresentaram um perfil semelhante de comportamento do índice de GCI, sugerindo uma uniformidade entre essas áreas, de tal forma que, para este indicador, não foi percebida nenhuma alteração significativa da rotação da pastagem ao longo do ano em relação aos piquetes selecionados para o experimento, como mostrado na Figura 2.

FIGURA 2. Perfil de comportamento da mediana do índice de clorofila verde (GCI) para os 3 piquetes estudados ao longo do ano de 2023.



Fonte: os autores (2024).

O valor mediano do índice GCI durante o ano de 2023 variou entre 0,77 e 1,52, sendo o Piquete 1 alcançou seu menor valor de 0,9 em setembro e seu maior valor de 1,52 no mês de maio, por sua vez o piquete 3 obteve os valores de 0,79 em outubro e 1,48 em abril, respectivamente, e, finalmente, o piquete 2 obteve os valores de 0,82 em setembro e 1,44 em abril. Dessa forma pode ser percebido que os maiores valores de GCI estão concentrados na porção central do primeiro semestre (período das águas), enquanto os

menores valores estão concentrados no segundo semestre (período de seca), entre os meses de setembro e outubro.

Os índices de vegetação, de forma mais generalizada, são considerados ferramentas interessantes para monitoramento da saúde das culturas, considerando índices como o GCI, NDVI e EVI que são ligados à quantidade de clorofila das plantas (TONG; HE, 2014). Esses índices são largamente utilizados e demonstram a condição geral do campo, embora sua relação com determinados nutrientes do solo carece de maiores estudos (BASCIETTO et.al, 2021).

A análise do teor de nutrientes para cada piquete mostrou que há uma diferenciação entre os piquetes amostrados, de tal forma que o piquete 3 se destaca quantitativamente, com valores superiores, em todos os atributos de solo analisados, como mostra a Tabela 1. Dessa forma, percebe-se que o Piquete 3 apresenta valores maiores para todos os nutrientes uma vez que se trata de um piquete que entrará em uso no sistema de rotação adotado, dessa forma, houve tempo para reestabelecimento dessa melhor condição (PISSINATI et. al, 2018).

TABELA 1. Médias (desvio padrão entre parênteses) para os atributos de solo dos piquetes 1 (posterior ao uso), 2 (em uso) e 3 (anterior ao uso).

	Piquete 1	Piquete 2	Piquete 3
MO	8,55 (2,5)	9,44 (3,0)	11,33 (3,0)
PHCACL2	4,42 (0,15)	4,56 (0,2)	4,95 (0,14)
PHH2O	5,22 (0,15)	5,35 (0,18)	5,67 (0,10)
P	3,0 (1,0)	3,0 (0,72)	6,0 (2,08)
K	1,7 (0,46)	2,9 (1,7)	2,5 (0,99)
CA	13 (8,9)	17 (10,11)	19 (14,76)
MG	6,23 (2,55)	6,56 (3,09)	11,3 (3,97)
SB	21 (11,27)	27 (14,56)	32 (18,86)
CTC	53 (15,92)	52 (14,31)	48 (19,56)
V%	55,44 (15,92)	54,66 (14,31)	57,88 (19,56)

** Letras minúsculas na mesma linha apresentam a diferenciação entre os piquetes para um determinado atributo submetido ao teste de tukey com 95% de probabilidade

* Letras minúsculas na mesma linha apresentam a diferenciação entre os piquetes para um determinado atributo submetido ao teste de dunn com 95% de probabilidade

Os valores de pH do solo nos piquetes 1, 2 e 3 foram 5,22, 5,35 e 5,67, respectivamente (Figura 1). Os piquetes 1 e 2 apresentaram os menores valores de pH, sem diferença estatística entre si ($p > 0,05$). O piquete 3 apresentou o maior valor de pH, diferindo estatisticamente dos piquetes 1 e 2 ($p < 0,05$). De acordo com Alvarez et al. (1999), os valores encontrados para o pH são considerados bons para áreas de pastagem de acordo com sua classificação, entretanto o estudo corrobora com o autor uma vez que uso

do solo sob pastagem reduzem os valores de pH do solo. Isso é observado à medida que na data de coleta de solo foram selecionados os piquetes de acordo com a ordem de pastejo, piquete 1- posterior ao uso, piquete 2- em uso e piquete 3 - próximo ao uso.

Os menores valores de pH nas áreas de pastagem estão associados à maior exposição ao solo, por consequência menor intensidade de área foliar associada ao menor índice de clorofila verde. Dessa maneira, esse índice poderá ser indicado para direcionar a ordem entre os piquetes para ser utilizado.

Estudos demonstram que a acidez do solo pode afetar negativamente a produtividade de espécies forrageiras, reduzindo a absorção de nutrientes pelas plantas, assim como, seu potencial produtivo (VEIGA et al., 2015). A longo prazo, essa acidez do solo pode levar à maior porcentagem de solo exposto, perda da matéria orgânica, capacidade de retenção de água acarretando na degradação do solo, influenciando assim diretamente na qualidade química do solo (FAGERIA & BALIGAR, 2008 ; BAYER et al., 2013).

Em solos ácidos, a maior concentração de Al^{+3} , principalmente na forma de íons livres, leva à formação de complexos insolúveis com o P. Essa complexação torna o P indisponível para as plantas, limitando seu crescimento e desenvolvimento (NOVAIS et al. 2007), dessa forma, os valores de P mais baixos encontrados nos piquetes 1 e 2 podem estar associados aos baixos pH encontrados nos mesmos piquetes os quais para o atributo de P também diferem do piquete 3.

De acordo com a intensificação do uso das pastagens observam-se maiores teores de Al^{+3} (acidez trocável) e $H+Al$ (acidez potencial) de acordo com a Tabela 2.

TABELA 2. Médias para os atributos de acidez potencial ($mmol.dm^{-3}$) e acidez trocável ($mmol.dm^{-3}$) para o solo dos piquetes 1 (posterior ao uso), 2 (em uso) e 3 (anterior ao uso).

Atributo	Piquete 1	Piquete 2	Piquete 3
Al^{+3}	2,78	2.89	1.33
$H+Al$	12.1	13.4	8.44

A baixa disponibilidade de P em áreas de pastagem com manejo rotacionado pode ser um problema significativo para a produtividade das pastagens. O manejo adequado da pastagem, com foco na correção do pH do solo e na adubação fosfatada, é essencial para aumentar a disponibilidade de P e garantir a produtividade das pastagens.

Comportamento semelhante ao pH foi observado com o elemento Mg entre os piquetes. Piquetes 1 e 2 não diferem entre si, entretanto diferem do piquete 3 o qual apresenta valores superiores de Mg. Resultados semelhantes foram encontrados por Favero et al (2008), onde em solo sob sistema agroflorestal apresentou teores mais elevados do elemento quando comparado a um sistema de pastagem.

Estudo realizados por Souza et al. (2001) e Oliveira et al. (2003) envolvendo recuperação de áreas de pastagem degradadas demonstraram a importância de manter os teores de Ca^{+2} e Mg^{+2} em níveis adequados uma vez que a ação desses nutrientes proporciona maior produção de matéria seca na pastagem, pois reduzem a saturação do alumínio e o aumento da disponibilidade de nutrientes como N, P e K que são essenciais ao desenvolvimento da gramínea.

O P atua no armazenamento e na transferência da energia para transporte eletrônico durante o processo de fotossíntese, enquanto o Mg, além de fazer parte da estrutura da molécula da clorofila, é também cofator da hidrólise do ATP, (MARSCHNER, 1995; MALAVOLTA ET AL., 1997, TAIZ; ZEIGER, 2007).

O manejo rotacionado age na preservação e distribuição dos nutrientes do solo para a planta dessa forma a planta realiza ações metabólicas para produção de biomassa, ou de hibernar de forma a preservar o estado nutricional interno para sobreviver a agentes estressores (TAGLIAPIETRA et al. 2021), outro ponto que corrobora nesse estudo para o uso do índice GCI como fator de direcionamento da malha amostral destinada a análise de solo da área e/ou identificação de qual piquete será manejado.

A saturação por bases elevada indica maior disponibilidade de nutrientes essenciais para as plantas, como nitrogênio, fósforo e potássio, o que promove o crescimento e a produtividade das pastagens. Esse atributo é fortemente correlacionado de acordo com a Tabela 3 com os atributos de pH, MO e CTC os quais quando apresentam altos valores favorecem o desenvolvimento de raízes das plantas.

Dessa forma, o índice GCI uma vez que se relaciona com o desenvolvimento vegetativo da forrageira pode-se observar que os atributos químicos como o P, Mg e MO também diferiram entre os piquetes, sendo fatores essenciais para o processo fotossintético, entretanto as correlações entre os valores interpolados desses atributos com o índice não são fortes.

O processo de interpolação dos dados permitiu aumentar a quantidade de dados e a variabilidade deles para cada atributo, dessa forma, a análise que inicialmente foi feita com 27 pontos de dados, passou a contar com 1569 pontos de dados, abrangendo toda a área de estudo, aqui caracterizada pelos 3 piquetes.

Os dados interpolados mostraram correlações medianas e altas (de 0.47 a 0.93) entre os nutrientes com destaque para as correlações entre V% e pH, na casa dos 0.906 e magnésio (Mg) com pontuação de 0.933. A elevada correlação entre esses nutrientes já foi relatada em diversos trabalhos como Moritsuka et. al (2011), Liu et. al (2016) e Komolafe et. al (2021), que trabalharam essa correlação com dados coletados, destaca-se, para o presente trabalho, o comportamento semelhante para os dados interpolados, como mostrado na Tabela 3.

TABELA 3. Coeficiente de correlação de pearson para os dados interpolados dos atributos de solo pH (PH), magnésio (MG), matéria orgânica (MO), fósforo (P), soma de base (V) e o Índice de clorofila verde (GCI).

	V	PH	MG	MO	P
PH	0.906				
Mg	0.933	0.839			
MO	0.362	0.495	0.476		
P	0.667	0.797	0.685	0.576	
GCI	-0.117	-0.086	-0.060	0.000	-0.129

Por outro lado, quando tratado da correlação entre o índice de vegetação GCI e os demais atributos de solo, foi percebido valores muito baixos para essas relações, na ordem entre 0.000 e 0.129, tanto para correlações diretas como inversas, indicando que este índice não apresenta comportamento semelhante ao de nenhum dos atributos analisados, não permitindo estabelecer nenhuma relação de predição esse índice e os atributos de solo.

Diversos trabalhos apontam que índices de vegetação como o NDVI e EVI podem apresentar alguma correlação com nutrientes em culturas como morango, milho, arroz, tomate, entre outras (LI et. al, 2010; AGRAHARI et. al, 2021), no entanto, esse comportamento não foi relatado no presente trabalho.

A estimação de teores e concentrações de nutrientes de solos, como Ca, K, Mg, N, P, Mn e Fe por meio de ferramentas de sensoriamento remoto estão associados ao uso de dados provenientes de espectroscopia, principalmente na banda do infravermelho médio e distante (MANLEY, 2014; ERLER, et. al, 2020), sendo essas regiões não utilizadas para a formação do índice GCI utilizado no presente trabalho.

Embora esse índice não tenha se mostrado adequado para correlacionar-se com os nutrientes de solo, ele se mostrou adequado para acompanhamento da saúde da cultura, como mostrado nos trabalhos de Kahsay (2022) e Tayade (2022), da mesma forma, esse indicador, foi capaz de diferenciar-se entre os piquetes estudados, mostrando sua possibilidade de uso, na avaliação da qualidade do produto vegetativo de um talhão. Dessa forma pode ser observado a diferenciação do índice de GCI entre os piquetes estudados, como mostra a Tabela 4.

Tabela 4 - Medianas (desvio padrão entre parênteses) para os atributos de solo interpolados e índice de clorofila verde (GCI) dos piquetes 1 (posterior ao uso), 2 (em uso) e 3 (anterior ao uso).

	Piquete 1	Piquete 2	Piquete 3
GCI	1.15 (0.16) a	1.12 (0.13) b	1.17 (0.15) a
P	3.58 (0.5) b	3.25 (0.53) c	6.27 (1.25) a
MO	9.03 (1.88) c	9.35 (1.89) b	11.1 (2.19) a
Mg	6.60 (1.38) b	6.60 (2.22) c	11.0 (2.68) a
PH	5.20 (0.08) c	5.35 (0.14) b	5.66 (0.08) a
V	45.1 (5.52) b	49.7 (9.63) c	65.5 (7.30) a

Letras minúsculas na mesma linha apresentam a diferenciação entre os piquetes para um determinado atributo submetido ao teste de comparações múltiplas de Dwass-Steel-Crichlow-Fligner com 95% de probabilidade

O teste de diferenciação de medianas, apresentou que para os dados interpolados de todos os atributos de solo, há uma diferenciação entre os piquetes, mostrando assim, que todos os piquetes revelam índices diferenciados desses nutrientes seja este piquete em uso (piquete 2), após o uso (piquete 1) ou pronto para uso (piquete 3). Por outro lado, para o indicador GCI, há uma diferenciação entre o piquete que está em uso (piquete 2) dos demais piquetes, essa diferenciação pode ser causada pelo consumo da pastagem no piquete em uso (menor área fotossintética disponível) e maior exposição do solo (HOTT et. al, 2021).

O GCI é um indicador da saúde das plantas e da produtividade da pastagem, estimado através de sensores remotos. Esse índice é altamente correlacionado com a quantidade de clorofila presente nas plantas, sendo um indicador direto da atividade fotossintética e, consequentemente, da produtividade vegetal.

A indicação do o GCI associado ao atributo V% demonstram a importância de manter a fertilidade do solo para garantir a produtividade da pastagem. Práticas de manejo que contribuem para a saturação por bases e fertilidade do solo, como a calagem,

adubação e a melhor seleção dos piquetes durante o manejo rotacionado, podem aumentar o GCI e, conseqüentemente, a produtividade da pastagem.

O monitoramento da área através do índice do GCI para direcionamento amostral para análise de fertilidade do solo pode ser ferramenta útil para o manejo da pastagem, permitindo direcionar os piquetes para rotação.

CONCLUSÃO

O índice de vegetação GCI, embora não apresente uma forte correlação entre os nutrientes do solo para direcionamento do manejo da pastagem, esse mesmo índice apresentou a capacidade de diferenciar as áreas de estudo entre aquelas que estão em uso daquelas que não estão em uso, quando associados aos atributos nutricionais sinalizados no presente trabalho, devido a sua variabilidade espacial, dessa forma este indicador pode ser utilizado para manejo das áreas de pastagem, como uma metodologia simplificada para definição do manejo da rotação de pastagem.

REFERÊNCIAS

- AGRAHARI, R.K.; KOBAYASHI, Y.; TANAKA, T.S.T.; PANDA, S.K.; KOYAMA, H. Smart fertilizer management: the progress of imaging technologies and possible implementation of plant biomarkers in agriculture. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 67, n. 3, 2021. p. 248–258. doi: <https://doi.org/10.1080/00380768.2021.1897479>. Acesso em 03 abr. 2024.
- ALVAREZ, V. H.; NÓBREGA, J. C. A. **Classificação de solos**. Embrapa Solos. 1999.
- BASCIETTO, M.; SANTANGELO, E.; BENI, C. Spatial Variations of Vegetation Index from Remote Sensing Linked to Soil Colloidal Status. **Land**. n. 10, v. 80, 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/land10010080>
- BAYER, C.; OLIVEIRA, P. T. S.; MENDONÇA, M. S. Soil organic matter under different grazing intensities in a tropical rangeland. **Soil Science Society of America Journal**, v. 77, n. 5, 2013. p. 1639-1649.
- BURROUGH, P.A., MCDONNELL, R.A. Creating continuous surfaces from point data. In: BURROUGH, P.A., GOODCHILD, M.F., MCDONNELL, R.A., SWITZER, P., WORBOYS, M. (Eds.), **Principles of Geographic Information Systems**. Oxford University Press, Oxford, UK. 1998.
- D'OLIVEIRA, P.S.; HOTT, M.C.; ANDRADE, R.G.; MAGALHÃES, W.C.P. **Aplicações da agricultura de precisão em pastagens**. Embrapa, 2014. 32 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1151612/1/Aplicacoes-da-agricultura-de-precisao-em-pastagens.pdf>. Acesso em: 03 abr 2024.
- ERLER, A.D.; RIEBE, T.; BEITZ, H.G.; LÖHMANNSRÖBEN, D.; GEBBERS, R. Soil Nutrient Detection for Precision Agriculture Using Handheld Laser-induced Breakdown

Spectroscopy (LIBS) and Multivariate Regression Methods (PLSR, Lasso and GPR). **Sensors**, v. 20, n. 2, 2020. p. 418. doi:10.3390/s20020418. Acesso em 03 abr. 2024.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Ameliorating soil acidity of tropical soils with lime and other amendments. **Journal of Plant Nutrition**, v. 31, n. 11, 2008. p. 2000-2031.

HOTT, M.C. et al. Classification of Cynodon spp. grass cultivars by UAV, **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 8, n. 12, 2021. p. 266–270. doi:10.22161/ijaers.812.26. Acesso em 02 abr. 2024

KAHSAY, A.G. Comparison of thermal infrared and multispectral UAV imagery for detecting pine trees (Pinus Brutia) health status in Lefka Ori National Park in West Crete, Greece. 2022.

KOMOLAFE, A.A.; OLORUNFEMI, I.E.; OLORUNTOBA, C.; AKINLUYI, F.O. Spatial prediction of soil nutrients from soil, topography and environmental attributes in the northern part of Ekiti State, Nigeria. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 21. 2021. Doi : <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100450>. Acesso em 03 abr. 2024 .

LI, H.; LI, T.; GORDON, R.J.; ASIEDU, S.K.; HU, K. Strawberry plant fruiting efficiency and its correlation with solar irradiance, temperature and reflectance water index variation. **Environmental and Experimental Botany**, v. 68, n. 2, 2010. p. 165-174. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.12.001>. Acesso em 03 abr. 2024.

LIU, R.; XU, F.; YU, W. Analysis of field-scale spatial correlations and variations of soil nutrients using geostatistics. **Environ Monit Assess** . v.188, n. 126, 2016. doi: <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5130-9>. [Aceso em: 03 abr. 2024.](#)

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafós, 1997. 319p.

MANLEY, M. Near-infrared Spectroscopy and Hyperspectral Imaging: Non-destructive Analysis of Biological Materials. **Chem. Soc. Rev**, v. [43](#), n.[24](#), 2014. p. 8200–8214. doi:10.1039/C4CS00062E. Acesso em 03 abr. 2024.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants London**: Academic Press, 1995. 889p.

MORITSUKA, N.; YANAI, J.; UMEDA, M.; KOSAKI, T. Spatial relationships among different forms of soil nutrients in a paddy field. **Soil Science and Plant Nutrition**. v. 50, n. 4, 2004. p. 565–573. doi:<https://doi.org/10.1080/00380768.2004.10408513>. Acesso em 03 abr. 2024.

PEARSON, K. Mathematical contributions to the theory of evolution. III. Regression, herefity and panmixia. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character, n. 187, 1896. p. 253-318.

PISSINATI, A.; MOREIRA, A.; SANTORO, P. H. Yield components and nutrients content in summer cover plants used in crop rotation in no-tillage system. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, n. 49, v. 13, 2018. p. 1604–1616. doi: <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1474899>

SHAPIRO, S.S.; WILK, M.B. An analysis of variance test for normality. **Biometrika** v. 52, n. 3/4, 1965. p. 591-611

SIMS, D. A.; GAMON, J. A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. **Remote Sensing of Environment**, n. 81, v. 2-3, 2002. p. 337-354.

TAGLIAPIETRA, E. L.; ZANON, A. J.; STRECK, N. A. Optimum Leaf Area Index to Reach Soybean Yield Potential in Subtropical Environment. **Agronomy Journal**, v. 113, n. 5, p. 4447-4456, 2021

TAYADE, R.; YOON, J.; LAY, L.; KHAN, A.L.; YOON, Y.; KIM, Y. Utilization of Spectral Indices for High-Throughput Phenotyping. **Plants**, v. 11, 2022. p. 1712.
<https://doi.org/10.3390/plants11131712>. Acesso em 03 abr. 2024

TONG, A.; HE, Y. Remote sensing of grassland chlorophyll content: Assessing the spatial-temporal performance of spectral indices. **2014 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium**, Quebec City, QC, Canada, 2014, pp. 2846-2849, doi: 10.1109/IGARSS.2014.6947069.

VEIGA, M. D.; OLIVEIRA, P. T. S.; MENDONÇA, M. S. Soil physical properties under different grazing intensities in a tropical rangeland. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 39, v. 6, 2015. p. 1560-1569.

VILLAMUELAS, M.; PÉREZ-GUTIÉRREZ, C.; GARCÍA-GIRÓN, J. A comprehensive analysis of vegetation indices from Sentinel-2 images for agriculture applications. **Remote Sensing**, v. 8, n. 10, 2016. 833 p.