

ANÁLISE DOS SISTEMAS AGROFLORESTAIS PELO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO ESPECTRAL EM ASSENTAMENTO RURAL

Débora Guerreiro de Oliveira Silva ¹, Cristiane Nunes Francisco ², Antonio Carlos Pries Devide ³

¹Universidade Federal Fluminense - UFF, Niterói-RJ debora.ogsilva@gmail.com; ² Universidade Federal Fluminense - UFF, Niterói-RJ cristianenf@id.uff.br; ³Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios, Pindamonhangaba-SP antoniocarlosdevide@gmail.com

RESUMO

Considerando a capacidade dos sistemas agroflorestais (SAF) para a recuperação e a conservação da biodiversidade, bem como o bom desempenho dos índices de vegetação espectrais para monitorar a cobertura vegetal, este trabalho tem como objetivo analisar a resposta vegetativa em pequenas unidades agrícolas que façam uso do SAF. Para isto, foi calculado o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) para os períodos seco e chuvoso do ano de 2022 do Assentamento Nova Esperança I, município de São José dos Campos, SP. Os resultados mostraram que as áreas florestadas e as parcelas com SAF apresentaram o maior NDVI da área de estudo, bem como sofreram a menor redução do índice decorrente do estresse hídrico durante o período de estiagem. Conclui-se então que a vegetação florestal é resistente às variações de pluviosidade, favorecendo a permanência da cobertura vegetal durante o ano, bem como o método aplicado é uma ferramenta eficaz na avaliação de SAF.

Palavras-chave — Sensoriamento remoto, biodiversidade, sustentabilidade agroambiental, agricultura familiar.

ABSTRACT

Considering the capacity of agroforestry systems (AFS) for the recovery and conservation of biodiversity, as well as the strong performance of spectral vegetation indices for monitoring vegetation cover, this work aims to analyze the vegetative response in small agricultural units that uses AFS. For this purpose, the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) was calculated for the dry and rainy period of 2022 in the Nova Esperança I settlement, in the municipality of São José dos Campos, SP. The results showed that the forested areas and the plots with AFS had the highest NDVI in the study area, as well as suffering the lowest reduction in the index due to water stress during the dry season. It is therefore concluded that forest vegetation is resistant to variations in rainfall, favoring the permanence of vegetation cover throughout the year, and that the method applied is an effective tool for evaluating AFS.

Key words — Remote sensing, biodiversity, agro-environmental sustainability, family farming.

1. INTRODUÇÃO

Por representarem um modelo eficiente e natural de plantio saudável e sustentável, os sistemas agroflorestais (SAF) têm sido considerados relevantes para a recuperação da biodiversidade em áreas passíveis de restauração tanto nas regiões temperadas quanto nas tropicais [1]. De acordo com o Decreto nº 7.830/2012, em seu Art. 2º, os SAF são definidos como o manejo de plantas lenhosas perenes em associação com plantas herbáceas, arbustivas, arbóreas, culturas agrícolas e forrageiras, obtendo alta diversidade de espécies e interações entre seus componentes. Ademais, deve ser destacado que o referido arcabouço legal enfatiza a importância do pequeno produtor rural na medida em que o indicam como um agente para a recomposição da vegetação sem que prejudique sua atividade produtora.

A utilização de árvores no sistema produtivo impacta de modo benéfico o ambiente, pois promove os principais serviços ecossistêmicos presentes em sistemas não antropizados, entre eles: o aumento do armazenamento do carbono e da produção de biomassa [2] e a alta diversidade e quantidade de organismos da fauna edáfica, o que favorece a diversidade vegetal e a conservação do solo [3]. Por fim, sob o ponto de vista hidrológico, os SAF propiciam a maior taxa de infiltração da água e menor erosão do solo, reduzindo o escoamento superficial e aumentando, assim, a disponibilidade de água [4].

Os índices de vegetação espectrais, obtidos por produtos de sensoriamento remoto, constituem-se como uma notável ferramenta para os estudos de restauração por SAF, pois são capazes de detectar o desenvolvimento de sistemas biodiversos florestais e agrícolas bem como inúmeros parâmetros influenciados pelo manejo e, também, por fatores externos [5].

A partir desses índices, é possível a quantificação das taxas de absorção da radiação pelos pigmentos fotossintetizantes e, desta forma, utilizar modelos matemáticos para estimar a produção agrícola, combater o desflorestamento, monitorar a vegetação, além de gerar

inventários florestais e mapeamentos da cobertura da terra [5][6]. Entre os índices mais utilizados, está o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) que tem potencialidade para estimar a produção primária, monitorar as mudanças fenológicas e avaliar a saúde florestal e agrônômica [7][8].

Desta forma, considerando a capacidade dos SAF para a recuperação e a conservação da biodiversidade, bem como dos índices de vegetação para aferir as propriedades da cobertura vegetal, este trabalho tem como objetivo analisar a resposta vegetativa em pequenas unidades agrícolas que implantam SAF, a partir do NDVI calculado para os períodos seco e chuvoso do ano de 2022.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo corresponde ao Assentamento Nova Esperança I, com 460 ha, situado no município de São José dos Campos - SP. Predominantemente, é coberto por pastagem, cultivos agrícolas e capoeira, seguida de vegetação arbórea presente nas baixadas e encostas úmidas. Em algumas parcelas, ocorre o plantio de monoculturas de espécies convencionais, como milho e soja, com as fases do cultivo e do crescimento no período de verão e, da colheita, no inverno.

Os SAF aí existentes são variados e, até mesmo dentro de uma mesma parcela, podem ocorrer diferentes tipos de sistemas como: espécies agrícolas consorciadas entre linhas com espécies florestais nativas ou espécies fixadoras de biomassa e/ou nitrogênio; consórcio de diferentes tipos de hortaliças; e ainda o policultivo multiestratificado, no qual se associam diferentes espécies a fim de criar estratos verticais.

A região rural de São José dos Campos se insere na unidade climática Tropical ameno semiúmido meridional e de subtipo climático das Escarpas da Serra da Mantiqueira [9]. Apresenta precipitação anual de 1.195 mm a 1.805 mm, com quatro a cinco meses secos, e volume pluviométrico menor que a evapotranspiração potencial. O período de estiagem se estende de abril a agosto, com precipitação média mensal abaixo de 100 mm, atingindo os menores valores entre maio e agosto. No restante dos meses, o volume mediano mensal está acima de 120 mm, alcançando valores maiores a 200 mm nos meses de dezembro a fevereiro, resultando em amplitude mensal máxima, entre o mês mais chuvoso e seco, próxima a 300 mm [10].

Como o NDVI está correlacionado com a umidade do solo na zona radicular das plantas, com a defasagem de 47 dias entre a ascensão do nível d'água e o início da estação de crescimento [11], a escolha das imagens foi feita com base na distribuição anual das chuvas. Em 2022 a distribuição manteve-se, no entanto o volume está abaixo da mediana em todos os meses com valores próximos a 50 mm, com exceção de setembro, novembro e dezembro [10].

Assim, com base nessa análise, foram selecionadas duas cenas do sistema orbital Sentinel 2, referentes ao Level 2A, com resolução espacial de 10 m [12] e cobertura de nuvem

abaixo de 20%, uma correspondendo ao mês de março, ou seja, no final do período de chuvas, e a outra do mês de agosto de 2022, referente ao período de estiagem, representando, assim, respectivamente, o período de excedente e de déficit hídrico.

Com base nessas imagens, foi calculado o NDVI [13], que consiste na diferença normalizada entre a reflectância do NIR – banda do infravermelho próximo, e a reflectância no Red – banda do vermelho.

A vegetação vigorosa apresenta alto contraste entre o NIR, devido ao espalhamento múltiplo das folhas das plantas, e o Red, decorrente da absorção da radiação eletromagnética pelos pigmentos fotossintetizantes. Assim, o NDVI varia entre -1 e 1, com os valores negativos correspondendo, em geral, aos corpos d'água ou à ausência de vegetação e, valores próximos a 1, relacionados à maior quantidade de vegetação fotossinteticamente ativa [6].

Para analisar a densidade, a conexão e saúde dos fragmentos florestais entre a estação chuvosa e a estação estiagem, foi analisada a estatística descritiva do NDVI e realizada a classificação das 63 parcelas do assentamento. Além disso, os resultados foram também analisados com base em visitas de campo, com objetivo de reconhecer a paisagem com enfoque no arranjo dos SAF.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como era esperado, no período chuvoso, os valores de NDVI foram maiores do que na estiagem (Figura 1): enquanto, no mês de março, o índice apresentou média de 0,45 e desvio padrão de 0,098, no mês de agosto, a média foi de 0,29 e desvio padrão de 0,095, o que corresponde a um decréscimo de 35% na média. O desvio padrão foi menor em março, considerando que corresponde a 22% da média, enquanto, no mês de agosto, a 35% (Tabela 1). O valor máximo do NDVI ocorreu no único remanescente de floresta estacional semidecidual, localizado a noroeste do assentamento, que corresponde à Reserva Legal (RL) de todas as parcelas assentadas.

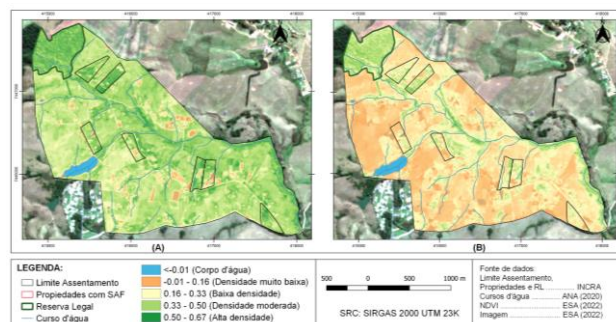


Figura 1. Mapa do NDVI na estação chuvosa (A) e na estiagem (B) do Assentamento Nova Esperança I, São José dos Campos, SP, 2022.

Mês	Média	Desv.Pad.	Mínimo	Máximo
Março	0,45	0,098	-0,16	0,67
Agosto	0,29	0,095	-0,17	0,59

Tabela 1. Estatística descritiva do NDVI do Assentamento Nova Esperança I, São José dos Campos, SP, 2022

Os resultados indicam a variabilidade intra-anual do aporte de biomassa da vegetação, ou seja, média do NDVI maior no período de chuvas e, menor, na estiagem. Como o volume de chuvas nos meses de 2022 e 2021 [10], precedentes às imagens, foi abaixo da normal pluviométrica, os índices aqui obtidos, possivelmente, estão menores do que de um ano típico.

Quanto ao desvio-padrão do NDVI apresentar-se como maior no mês de estiagem, pode estar indicando a variação da resposta das plantas ao estresse hídrico, pois aquelas que não estão adaptadas, como a ausência de um sistema radicular em camadas mais profundas do perfil do solo, são mais sensíveis ao déficit [14].

Analisando o NDVI de acordo com as classes de uso e cobertura da terra no mês de março, correspondente ao período de superávit hídrico (Figura 1A), verifica-se que a maior classe (0,50 a 0,67), com 31% do assentamento, é constituída pelos SAF e, também, por formação florestal de espécies lenhosas em estágio avançado de regeneração, correspondentes à RL e Área de Preservação Permanente (APP) dos cursos d'água. O intervalo de 0,33 a 0,50 – segunda maior classe de NDVI, abrange a maior área de estudo, 63% do assentamento, e refere-se às atividades agropecuárias, constituídas por pastagens. Nessa mesma classe, com distribuição dispersa, estão incluídas as formações arbustivas de pouca idade - capoeira, indicativo de regeneração natural, bem como as culturas agrícolas de final do ciclo. As demais classes - canteiros agrícolas em preparo ou pousio (0,16 a 0,33), solo exposto e construções (-0,01 a 0,16), e corpos hídricos (< -0,01) perfazem os 6% restantes da área de estudo.

Na Figura 1B, com NDVI do mês de agosto, correspondendo ao estresse hídrico das plantas, verifica-se que a quinta classe, com NDVI acima de 0,50, passa a ter apenas 2% da área de estudo, ou seja, um decréscimo de mais de 1.000%. A quarta classe de NDVI, então, passa a ser constituída pela vegetação densa composta pela floresta em estágio avançado de regeneração, que representa 27% da área total. Os valores da agropecuária decaem expressivamente e passam a constituir a terceira classe de NDVI, com 68% da área composta por pastagem, gramíneas e áreas de cultivo com densidade vegetativa muito baixa pós-colheita. Os corpos hídricos se mantiveram e a classe relativa ao solo exposto aumentou para 2%.

Estudos de [15] e [16], que compararam valores de NDVI entre o período úmido e seco nos estados de Minas Gerais e São Paulo, corroboram com os resultados alcançados no presente trabalho, ou seja, os maiores valores do índice ocorreram no período úmido enquanto que, no período com

menor volume de precipitação, somente a mata nativa ciliar, a silvicultura e a área irrigada apresentaram maiores índices.

A queda dos valores do NDVI não está associada apenas à diminuição da atividade fotossintética e, portanto, ao declínio da produção vegetal, mas também a diminuição da cobertura completa da terra pela vegetação devido à pós-colheita em monocultivos, fazendo com que a resposta espectral passe a estar contaminada pelo solo exposto. Verifica-se, desta forma, a importância das áreas protegidas e das SAF na manutenção dos maiores índices e também da cobertura da terra.

Estudo desenvolvido por [17], que avaliou a cobertura vegetal através dos índices de vegetação NDVI e SAVI (Soil-Adjusted Vegetation Index), ressalta este último como um índice da expressão da saúde vegetativa mais próximo ao real, devido a minimização dos efeitos de reflectância do solo proporcionado pelo fator de ajuste contido no cálculo do SAVI.

A mediana do NDVI das parcelas do assentamento, sete com SAF e 56 sem SAF, estão classificadas em três classes na Figura 2. Verifica-se que, no período chuvoso, 43% das parcelas que não utilizam SAF estão incluídas na classe com valores de NDVI intermediários (0,32 a 0,45), enquanto apenas uma parcela com SAF apresenta-se nessa classe e, as seis restantes, foram classificadas no intervalo de maior NDVI (0,45 a 0,58) junto com as demais sem SAF (Figura 2A). No período seco, nenhuma parcela foi incluída na maior classe; na classe intermediária, cinco parcelas sem SAF e quatro com SAF foram incluídas; e as demais parcelas estão na classe com valores menores, ou seja, 86% do total (Figura 2B). Verifica-se, assim que, apesar do número reduzido de parcelas com SAF, nas maiores classes de NDVI, tanto do período chuvoso (100%) quanto da estiagem (57%), estão contidas as parcelas com este tipo de manejo.

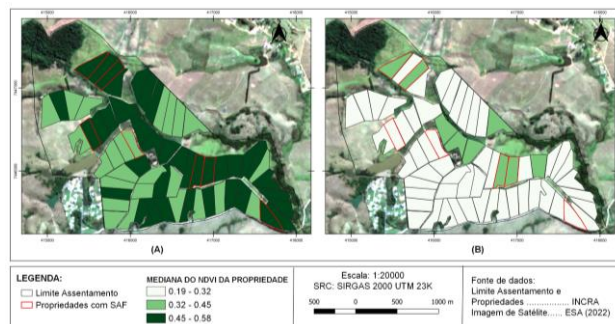


Figura 2. Mapa do NDVI na estação chuvosa (A) e na estiagem (B), ano 2022, das parcelas do Assentamento Nova Esperança I, São José dos Campos, SP.

Portanto, observa-se que o período de estiagem afeta grande parte dos lotes que têm a agropecuária como principal classe de uso, o que sugere a menor capacidade da planta para obter água e, também, a exposição do solo devido à menor ou extinta cobertura vegetal. Outra consequência da baixa densidade de vegetação é a menor recarga do lençol freático no período de chuvas, que ocasiona a diminuição do potencial

de armazenamento de água nos solos [18] e, por conseguinte, o estresse hídrico da vegetação.

4. CONCLUSÕES

A análise do NDVI no assentamento rural, no período seco e chuvoso, demonstrou que as áreas protegidas (APP e RL) e os SAF, ambos cobertos por vegetação arbórea, apresentaram os maiores índices de vegetação nos dois períodos, em detrimento da agropecuária que predomina na área de estudo. Ressalta-se, ainda que, no período de estiagem, o decaimento do NDVI foi também menor nas áreas florestadas, o que mostra a importância da presença da vegetação densa, pois, além de manter serviços ecossistêmicos intrínsecos (estoque de carbono, biodiversidade etc.) durante todo ano, no período de escassez hídrica, protege o solo e, durante o período úmido, auxilia na recarga do lençol freático.

Desta forma, com base nos resultados aqui obtidos que analisa um assentamento rural, o presente estudo aponta para o papel de destaque do uso do SAF e, assim, defende o estímulo e a valorização dos modelos produtivos e sustentáveis.

No entanto, devido à complexidade da paisagem no meio rural e à diversidade biofísica e socioambiental dos SAF, são necessários mais estudos com a análise de assentamentos rurais extensos e com maior número de glebas implantadas com SAF a fim de expandir e corroborar os resultados deste estudo.

Por fim, como a metodologia utilizada neste estudo é de fácil aplicação, os índices de vegetação espectrais podem servir como um indicador relevante, para os monitoramentos, as tomadas de decisão e as avaliações periódicas acerca dos SAF em assentamentos rurais.

5. REFERÊNCIAS

- [1] Jose, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. *Agroforest Syst.*, v. 76:1–10. 2009.
- [2] D. J. Cardoso, L. M. Parron, F. Luziane. Metodologia para análise da viabilidade financeira e valoração de serviços ambientais em sistemas agroflorestais. In: L. M. Parron, J. R. Garcia, E. B. Oliveira, G. G. Brown, R. B. Prado. *Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do bioma Mata Atlântica*. Brasília, DF: Embrapa, Capítulo 6. 2015.
- [3] A. Primavesi. Agroecologia e manejo do solo. *Revista Agriculturas*, v. 5, n.6, setembro de 2008.
- [4] L. C. Balbino, A. N. Kichel, D. J. Bungenstab, R. G. Almeida. Sistemas de integração: o que são, suas vantagens e limitações. In: D. J. Bungenstab (Ed). *Sistemas de integração Lavoura-Pecuária-Floresta: a produção sustentável*. Campo Grande. Embrapa Gado de Corte, p. 13-24. 2011.
- [5] A. L. Lechner, G. M. Foody, D. S. Boyd. *Applications in Remote Sensing to Forest Ecology and Management*. One Earth 2, Cambridge, v. 2, Issue 5. 2020.
- [6] F. J. Ponzoni, Y. E. Shimabukuro, T. M. Kuplich. *Sensoriamento remoto da vegetação*. 2ª Edição São Paulo: Oficina de textos. 2012.
- [7] C. R. Naue, M. W. Marques, N. B. Lima, and J. D. Galvão. Sensoriamento remoto como ferramenta aos estudos de doenças de plantas agrícolas: uma revisão. Recife - PE: *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 3, 190-195, 2010.
- [8] Y. F. Silva, I. T. Silva, C. W. S. Romero, T. A. Águas, E. A. M. Garçon, T. L. Brasco, G. D. A. Figueiredo, J. V. Rocha, and R. A. C. Lamparelli. Análise multivariada de comportamentos espectrais de folhas em diferentes estágios de desenvolvimento. Santos: In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 19., 2019.
- [9] G. T. Novais, and E. Galvani. Uma tipologia de classificação climática aplicada ao estado de São Paulo. *Revista do departamento de geografia*, São Paulo - SP: Universidade de São Paulo, v. 42, 2022.
- [10] INPE. CPTEC. Evolução mensal e sazonal das chuvas. Disponível em: <<http://clima1.cptec.inpe.br/evolucao/pt>> Acesso em 20 out 2022.
- [11] E. H. Teramoto, M. T. Benjumea, R. D. Gonçalves, C. H. Kiang. Séries temporais do índice NDVI na avaliação do comportamento sazonal do Aquífero Rio Claro. *Rev. Bras. de Cartografia*, v. 70, n. 3, pp. 1135-1157. 2018.
- [12] ESA. Resolutions Sentinel-2. 2022. Disponível em <<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions>> Acesso em 15 jul. 2022
- [13] J. W. Rouse, R. H. Haas, J. A. Schell, and D. W. Deering. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *ERTS-1 Symposium*, Washington, DC. p. 309-317, 1973.
- [14] R. F. Santos, R. Carlesso. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 2, n. 3, p. 287–294, 1998.
- [15] I. M. Boratto, R. L. Gomide. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 16., 2013, Foz do Iguaçu. Anais... São José dos Campos: INPE, p. 7345-7352, 2013.
- [16] V. C. Leda, J. E. O. Santos, R. Filgueiras, D. A. P. Nicolette, and C. R. L. Zimback. Índices de Vegetação na caracterização da bacia do Ribeirão da Prata, Lençóis Paulista – SP. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 5, p. 125-135, 2016.
- [17] S. Gameiro, C. P. B. Teixeira, T. A. S. Silva Neto, M. F. L. Lopes, C. R. Duarte, M. V. S. Souto, and C. R. L. Zimback. Avaliação da cobertura vegetal por meio de índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) na Sub-Bacia Hidrográfica do Baixo Jaguaribe, CE. *Terræ*, v. 13(1-2):15-22. 2016.
- [18] G. Araújo Júnior, F. T. Gomes, M. J. Da Silva, A. M. R. F. Jardim, V. J. L. P. Simões, J. L. P. S. Izidro, M. L. M. V. Leite, V. I. Teixeira, T. G. F. Silva. Estresse hídrico em plantas forrageiras: Uma revisão. *Pubvet*, v. 13(01). 2019.