

APLICAÇÃO DE ÍNDICES DE VEGETAÇÃO NA AVALIAÇÃO ESPACIAL DA VEGETAÇÃO DO PARQUE ESTADUAL DE VILA VELHA

Renan Valério EDUVIRGEM¹

Mauro PAROLIN²

Fernando Henrique VILLWOCK³

RESUMO

A presente pesquisa apresenta a aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Vegetação ajustado ao Solo (SAVI), no Parque Estadual de Vila Velha, localizado no município de Ponta Grossa, Paraná, Brasil. Neste sentido, a pesquisa teve como objetivo a avaliação da cobertura vegetal, com a finalidade de verificar se houve degradação da vegetação, regeneração ou mesmo nenhuma alteração com base em imagens Landsat correspondentes a julho de 2007, 2013 e 2019. Os procedimentos metodológicos pautaram-se na aquisição de imagens dos satélites Landsat 5 e 8, sequenciados por Processamento Digital de Imagens e correção atmosférica utilizando-se do algoritmo de correção FLAASH; gerar índices NDVI e SAVI; realizar teste estatístico para confirmação da análise espacial; verificação de ocorrência de alteração da vegetação entre as cenas elencadas. Ressalta-se que esse estudo levou em conta os dias sem chuva antes das obtenções das cenas. Nos resultados são apresentadas diferenças pontuais na vegetação, principalmente na área de floresta plantada onde há *Eucalyptus* spp. Verificou-se ascensão no desenvolvimento da família Araucariaceae na parte oeste do PEVV. Na área pontuada como Estepe-Savana no plano de manejo observou-se variações, apontando desenvolvimento natural da cobertura vegetal. A parte leste da Unidade de Conservação apresentou-se com maior estabilidade. Dentre as considerações finais, se recomenda que as avaliações espaciais sejam continuadas para verificação das alterações e do desenvolvimento da vegetação, tanto do estrato herbáceo quanto dos estratos superiores, que englobam diversidade de famílias incluindo de Araucariaceae que apresentou desenvolvimento na parte oeste do PEVV, a aproximadamente 2 km da extensa área de transição Estepe-Savana.

Palavras-chave: Cobertura vegetal. Vegetação. Sensoriamento Remoto.

¹ Doutorando em Geografia pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Professor Colaborador na Universidade Estadual do Centro Oeste, Campus de Guarapuava - Lotado no Departamento de Geografia.

² Professor Associado do Colegiado de Geografia da Universidade Estadual do Paraná - Campus de Campo Mourão e Professor do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Maringá.

³ Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Maringá.

APPLICATION OF VEGETATION INDICES IN THE SPATIAL ASSESSMENT OF VEGETATION OF THE VILA VELHA STATE PARK

ABSTRACT

This research presents the application of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI), in the Vila Velha State Park, located in the municipality of Ponta Grossa, Paraná, Brazil. In this sense, the research aimed to assess the vegetation cover, with the purpose of verifying whether there was degradation of vegetation, regeneration or even any alteration based on Landsat images corresponding to July 2007, 2013 and 2019. The methodological procedures were based on the acquisition images from Landsat 5 and 8, sequenced by Digital Image Processing and atmospheric correction using the FLAASH correction algorithm; generate NDVI and SAVI indices; perform statistical test to confirm the spatial analysis; verification of occurrence of vegetation change between the listed scenes. It should be noted that this study took into account the days without rain before the scenes were obtained. The results show specific differences in vegetation, mainly in the planted forest area where *Eucalyptus* spp. is planted. There was a rise in the development of the Araucariaceae family in the west part of the PEVV. In the area scored as Steppe-Savana in the management plan, variations were observed, indicating natural development of vegetation cover. The eastern part of the Conservation Unit was more stable. In the conclusions, it is recommended that the spatial evaluations be continued to verify the alterations and the development of the vegetation, both of the herbaceous stratum and of the superior strata, which include a diversity of families influencing Araucariaceae that presented development in the western part of the PEVV, approximately 2 km from the extensive Steppe-Savannah transition area.

Keywords: Vegetal cover. Vegetation. Remote sensing.

1 INTRODUÇÃO

O Sensoriamento Remoto (SR) é uma ferramenta de elevado potencial para espacialização de dados e índices. De acordo com Novo (1992), o SR pode ser compreendido com a utilização simultânea de sensores, com objetivo de estudar processos e fenômenos que ocorrem na superfície terrestre, pela radiação eletromagnética e substâncias de diversas origens.

O SR é utilizado desde a década de 1960, na construção de modelos de parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, que podem ser mensurados por índices de vegetação (JENSEN, 2009). Nesse estudo será dada ênfase a dois índices, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Vegetação ajustado ao Solo (SAVI).

O NDVI é um indicador importante para a análise da cobertura de vegetação em diferentes períodos, sendo realizado por técnicas de SR. Este índice tem o objetivo de proporcionar a visualização das mudanças na cobertura do solo, oriundas das atividades antrópicas, assim como seu desenvolvimento (QUESADA et al., 2017). O NDVI tem função importante como índice para avaliar a deterioração e condição da vegetação ao absorver a radiação fotossintética.

Este índice permite verificar a fase de densidade e desenvolvimento da planta em determinada localidade, conforme a vegetação características. Assim, o NDVI pode ser utilizado para avaliação do desenvolvimento, progresso ou a degradação da vegetação.

Huete (1988) realizou a proposta da modificação do NDVI com propósito de mitigar os efeitos da variabilidade, da tipologia e densidade da vegetação, criando um novo índice intitulado de Índice de Vegetação ajustado ao Solo (SAVI).

O Parque Estadual de Vila Velha possui plano de manejo elaborado em 2004, que apresenta o mapa de uso e ocupação do parque evidenciando a vegetação presente, sendo Estepe higrófila, transição Estepe-Savana, Flotesta Ombrófila Mista Aluvial, Flotesta Ombrófila Mista Montana, Formações pioneiras de influência fluvial e refúgios vegetacionais rupestres (IAP, 2004).

Por tal diversidade, o monitoramento da vegetação é importante para verificar se houve degradação, restauração ou nenhuma alteração. Levando em conta o plano de manejo a predominância da vegetação ocorre por transição Estepe-Savana e Flotesta Ombrófila Mista

Montana. Para reforçar a importância da utilização do NDVI no monitoramento da vegetação, serão apresentados brevemente exemplos.

Em estudo realizado na Floresta do Parque Estadual do Turvo, Rosa et al. (2013) identificaram que o NDVI apresentou variações ao longo do ano, sendo as estações de verão e inverno, as que apresentam maior estabilidade. Por tal fato, no presente trabalho para avaliar o Parque Estadual de Vila Velha (PEVV) utilizou-se imagens geradas na estação de inverno correspondentes ao mês de julho.

Mallmann, Prado e Pereira Filho (2015) afirmaram que o NDVI para o Parque Estadual Quarta Colônia foi altamente eficiente para a compreensão espacial da modificação florestal para a tipologia analisada, sendo fundamental para auxiliar na tomada de decisão para aplicação da Lei 11.428/06.

Resende et al. (2015) utilizaram o NDVI e SAVI para avaliar a regeneração florestal no Parque Nacional Chapada Das Mesas. Os autores identificaram para a área em estudo que o SAVI evidência visualmente melhor as distinções entre fitofisionomias. Por tal fato, em estudos que objetivam avaliar a dinâmica ou mesmo se houve alterações da vegetação é necessário utilizar pelo menos dois índices para confirmação dos resultados encontrados.

Araújo et al. (2019) em análise realizada na Área de Proteção Ambiental no município de Belém-PA com propósito de auxiliar na detecção da degradação da vegetação nativa de 1993 a 2006 e, de 2006 a 2013, a vegetação foi reduzida em 12% e 21%, respectivamente. Assim, novamente a ressalva para a importância da utilização de índices de vegetação para detecção da alteração da vegetação.

As Unidades de Conservação são protegidas por leis (o PEVV uma delas) municipais, estaduais e federais. Entretanto, há possibilidade de ocorrer a degradação ou mesmo problemas na manutenção florestal. O NDVI e SAVI são ferramentas que podem auxiliar na gestão e conservação da vegetação do PEVV.

Assim, esse trabalho tem como objetivo promover a avaliação da cobertura vegetal, com a finalidade de verificar se houve degradação da vegetação, regeneração ou mesmo nenhuma alteração com base em imagens Landsat correspondentes a julho de 2007, 2013 e 2019.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

2.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O PEVV está localizado no município de Ponta Grossa, (Figura 01), com área de 3.823,28 hectares (IAP, 2011). O PEVV é conhecido pelos arenitos presentes, que possuem formas que expressam belezas cênicas.

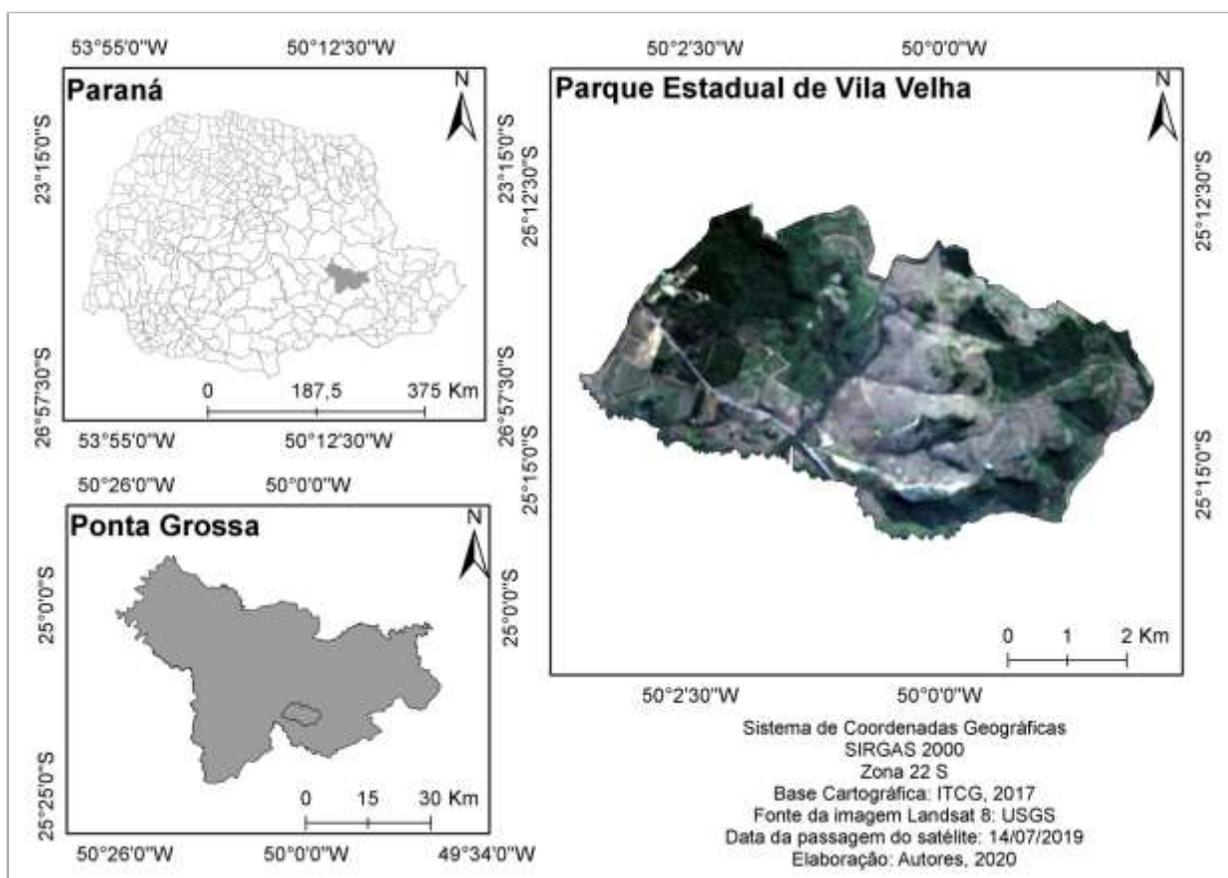


Figura 01: Localização do município de Ponta Grossa no estado do Paraná, com destaque para imagem de satélite delimitando o Parque Estadual de Vila Velha

O relevo e a hidrografia local são influenciados pelas falhas, diques, fraturas, nas direções NE-SW e NW-SE, relativas à atividade do Arco de Ponta Grossa. Arqueamento da crosta terrestre originado na região, na Era Mesozóica, por volta de 130 milhões de anos atrás (SANTANA e MELO, 2001).

O clima no local segundo a classificação de Köppen é do tipo Cfb, com temperatura no mês mais frio de 18°C em média, com os verões frescos e temperatura média no mês mais quente de 22°C com ausência de estação seca definida (MAACK, 2002).

A precipitação anual média é de 1.542 mm, com chuvas distribuídas ao longo do ano, com declínio nos meses de abril a agosto (MELO, GIANNINI e PESSENDA, 2000). Ao analisar o gráfico de precipitação no período de 2007 a 2019 (Figura 02 A e B), verificou-se que a média anual do período foi de 1.765,2 mm com diminuição de abril a agosto, corroborando as informações de Melo, Giannini e Pessenda (2000), todavia, com aumento de 223,2 mm na média anual.

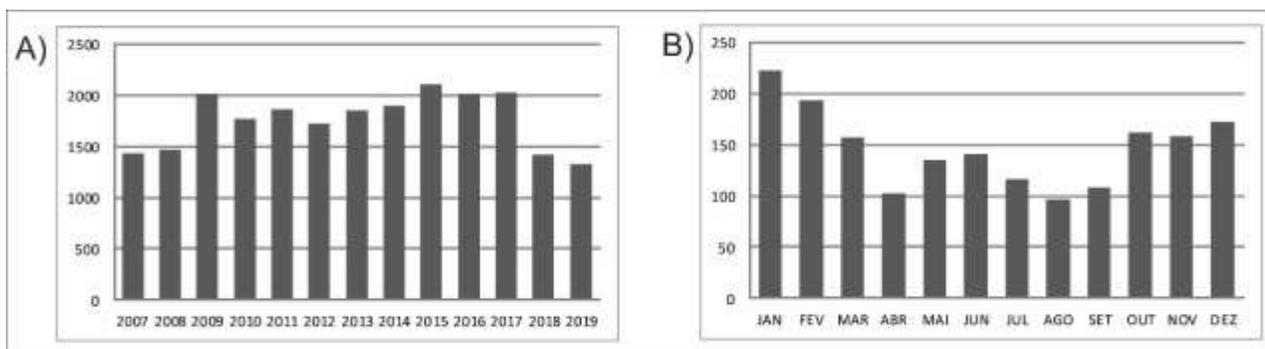


Figura 02: Dados de precipitação pluvial da estação meteorológica Santa Cruz (código: 2550003) no período de 2007 a 2019. A) precipitação anual. B) precipitação mensal

A vegetação é composta pelos campos limpos do tipo savana gramíneo-lenhosa, Floresta Ombrófila Aluvial e Montana, transição Estepe-Savana e Cerrado (VELOSO e GÓES FILHO, 1982; MORO, 1998; ESTREIECHEN et al., 2001; IAP, 2004; MORO, 2012). A distribuição espacial da vegetação pode ser observada no mapa de plano de manejo da vegetação (Figura 03) desenvolvido pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP).

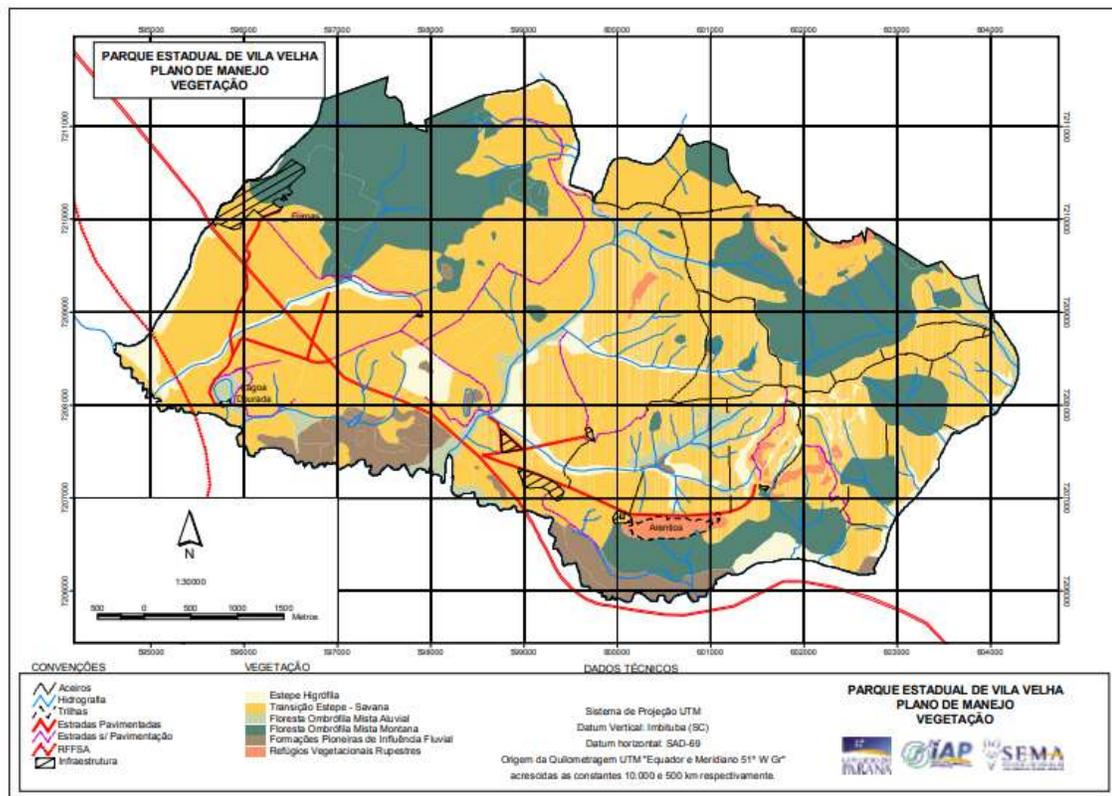


Figura 03: Mapa do plano de manejo da vegetação do Parque Estadual de Vila Velha

2.2 SELEÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITE

O estudo foi realizado utilizando imagens dos satélites Landsat 8 – sensor OLI e, Landsat 5 – sensor TM, para gerar os índices NDVI e SAVI com as datas de 29/07/2007, 13/07/2013 e 14/07/2019. Para simplificar a referência das datas supracitadas, foram chamadas apenas pelos anos, desse modo, 2007, 2013 e 2019, respectivamente. Escolheu-se o mês de julho porque marca o início de inverno e, de acordo com Rosa et al. (2013) o NDVI apresenta variações durante o ano, e as estações de inverno e verão são as que apresentam maior estabilidade. Assim, optou-se por julho por ser um mês que não foi encontrado nuvens sobre a área de estudo para os anos elencados. Fernandes, Vicens e Furtado (2017) ressaltam que escolher cenas de mesmo mês minimizam a influência da fenologia vegetal, no que tange aos fenômenos periódicos que acontecem na vegetação.

As imagens foram adquiridas no repositório da *United States Geological Survey* (USGS). Foram adotadas as etapas de Processamento Digital de Imagens (PDI), de acordo com

Moreira (2007). A etapa de correção atmosférica foi realizada utilizando o programa ENVI 5.3®, utilizando-se do algoritmo de correção FLAASH (ARIAS, ZAMORA e BOLANOS, 2014).

O satélite Landsat 5 e 8 possuem resolução espacial de 30 metros com disponibilização a cada 16 dias. O primeiro possui resolução radiométrica de 8 “bits” e o segundo de 16 “bits”. Para abranger a área em estudo foram utilizadas imagens com órbita/ponto 221/077. As bandas utilizadas para gerar os índices NDVI e SAVI foram: Banda 5 (0.85-0.88 μm) e Banda 4 (0.64-0.67 μm) para Landsat 8, e, para o Landsat 5 a Banda 4 (0.76-0.90 μm) e Banda 3 (0.63-0.69 μm).

2.3 ÍNDICE NDVI

O realce da vegetação pelo NDVI, leva em consideração, as relações entre a refletância do solo e da vegetação, sendo que a vegetação possui elevada refletância na região do Infravermelho Próximo, já o solo na região do vermelho. Assim, quanto maior for a densidade da cobertura vegetal, inferior será a refletância na região do visível - vermelho, todavia, será superior a refletância na região do Infravermelho Próximo. Para o cálculo de NDVI foi utilizado a Equação 1:

$$NDVI = \left(\frac{NIR - RED}{NIR + RED} \right) \quad (Eq.1)$$

Sendo:

NDVI = Índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

NIR = refletância na banda do infravermelho próximo;

RED = é a refletância na banda vermelha.

Os valores obtidos no NDVI variam entre +1 e -1, em que, quanto mais próximo de -1, menor a densidade da cobertura vegetal, e quanto mais próximo de +1, maior é a densidade.

2.4 ÍNDICE SAVI

Para gerar o SAVI utilizou-se a Equação 2.

$$SAVI = \left(\frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} \right) * (1 + L) \quad (Eq.2)$$

Sendo:

NIR = reflectância na banda do infravermelho próximo;

RED = é a reflectância na banda vermelha;

"L" é a constante que minimiza o efeito do solo e pode variar de 0 a 1.

Segundo Huete (1988) os melhores valores para a constante (L) são:

L = 1 para densidades baixas (vegetações abertas);

L = 0,50 para densidades médias;

L = 0,25 para densidades altas.

Escolheu-se o valor de 0,50 para a constante após realizar a avaliação espacial da vegetação do PEVV, levando-se em consideração a composição florestal e savana-estepe (HUETE, 1988). Os índices SAVI e NDVI demonstram valores que representam maiores índices de vegetação quando estão próximos de 1 positivo, correspondendo à vegetação florestal mais densa, sendo representados pelos mapas temáticos na cor verde-escuro. Os valores que apresentam índice vegetação florestal menos densa estão representados pelos mapas na cor verde-claro. Nas cores laranja e amarelo, estão representadas as áreas com árvores baixas esparsas e campos. Os valores 0 e negativos correspondem às áreas construídas, corpos d'água e solo exposto, estando representados na cor vermelha.

2.5 ELABORAÇÃO DE MAPAS, GRÁFICOS E ANÁLISE ESTATÍSTICA

O gráfico de precipitação – apresentado no item 2.1 – foi elaborado no Microsoft Excel® com base nos dados da estação meteorológica Santa Cruz (código: 2550003) da Agência Nacional de Águas fornecida pelo Instituto das Águas do Paraná, localizada nas coordenadas geográficas 25°12'00"S e 50°09'00"W. Os mapas foram elaborados utilizando-se o programa ArcGis 10.4.1®, bem como para a distribuição de 297 (n) pontos aleatórios na área do PEVV para promover a análise estatística. A análise estatística foi realizada utilizando-se o programa IBM SPSS 22®. Adotou-se o nível de significância de 5% e confiança de 95%. Para averiguar se a distribuição dos dados é normal, utilizou-se os testes de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk. Ambos apontaram distribuição não normal para o conjunto de dados de NDVI e SAVI (Tabela 01).

Tabela 01: Testes de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk

	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estatística	df	Sig.	Estatística	df	Sig.
NDVI 2007	0,129	297	0,000	0,917	297	0,000
NDVI 2013	0,107	297	0,000	0,929	297	0,000
NDVI 2019	0,130	297	0,000	0,930	297	0,000
SAVI 2007	0,145	297	0,000	0,941	297	0,000
SAVI 2013	0,064	297	0,000	0,972	297	0,000
SAVI 2019	0,068	297	0,002	0,981	297	0,001

Com o propósito de verificar se há diferenças entre o NDVI e SAVI de cada ano trabalhado nesse estudo, utilizou-se o teste de Friedman – teste não paramétrico. De acordo com Firmino (2015, p. 80) esse “teste é útil quando se deseja comprovar a hipótese de que as k amostras emparelhadas provêm da mesma população”, assim, se tem as seguintes hipóteses para testar para o NDVI:

H₀: As distribuições dos valores de NDVI não diferem;

H₁: As distribuições dos valores de NDVI são diferentes.

O teste de hipótese também foi realizado para o SAVI:

H₀: Não existem diferenças nos valores de SAVI;

H₁: Existem diferenças nos valores de SAVI.

A estatística de teste (designada por χ^2) é dada pela Equação 3:

$$\chi^2 = \frac{12}{nk(k+10)} \sum_{i=1}^k (R_i)^2 - 3n(k+1) \quad (\text{Eq. 3})$$

Sendo:

N é o número de linhas;

K é o número de colunas;

R_j a soma das ordens na coluna.

Essa variável segue uma distribuição Qui-Quadrado com k – 1 graus de liberdade.

Se a probabilidade obtida por este método não superar α rejeita-se H₀.

Desse modo será testado se há diferenças entre os valores de NDVI (n=297) para os anos de 2007, 2013 e 2019, bem como para o SAVI. Havendo diferenças estatisticamente significante será realizado o teste de comparações múltiplas para determinar quais os anos que apresentaram diferenças.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores máximos encontrados para o NDVI no período em estudo foram 0,93 para 2007, e 0,89 para 2013 e 2019. Os valores mínimos oscilaram de -0,96 a 0,01, tendo o ano de 2013 o valor mais negativo, sequenciado por 2019 e 2007. Para os valores de SAVI os anos com valores mais negativos foram 2019 (-0,06) e 2013 (-0,03), o menor valor encontrado para 2007 foi de 0; no que consiste aos valores positivos, os mesmos não ultrapassaram 0,59 (Figura 04).

Analisando comparativamente o resultado dos mapas de NDVI e SAVI (Figura 04) encontrou-se diferenças significativas, ocorrendo de fato o ajuste ao solo, apresentando a efetividade para análise por meio de ambos os mapas e representando satisfatoriamente o comportamento da vegetação no PEVV, demonstrando o desenvolvimento da vegetação florestal paulatina no período estudado.

Ambos os índices destacaram com êxito os corpos d'água, solo exposto e áreas construídas com os valores negativos (cor vermelha no mapa), maiores valores principalmente para os fragmentos florestais (cor verde escuro) e valores intermediários para a transição Savana-Estepe (cores laranja e amarelo). Rêgo et al. (2012) obtiveram o mesmo resultado na qualidade da análise comparativa entre os índices analisando a vegetação do município de São Domingos do Cariri-PB.

Ressalta-se que levou-se em conta a precipitação para saber o período sem chuva antes da passagem do satélite e geração da imagem orbital, pois com esse dado, mitiga-se a possibilidade de análises errôneas, uma vez que a precipitação é uma variável que potencializa o vigor da vegetação. Para a imagem de 2007 foram 3 dias sem chuva, para 2013 (10 dias) e 2019 (23 dias) (Tabela 02).

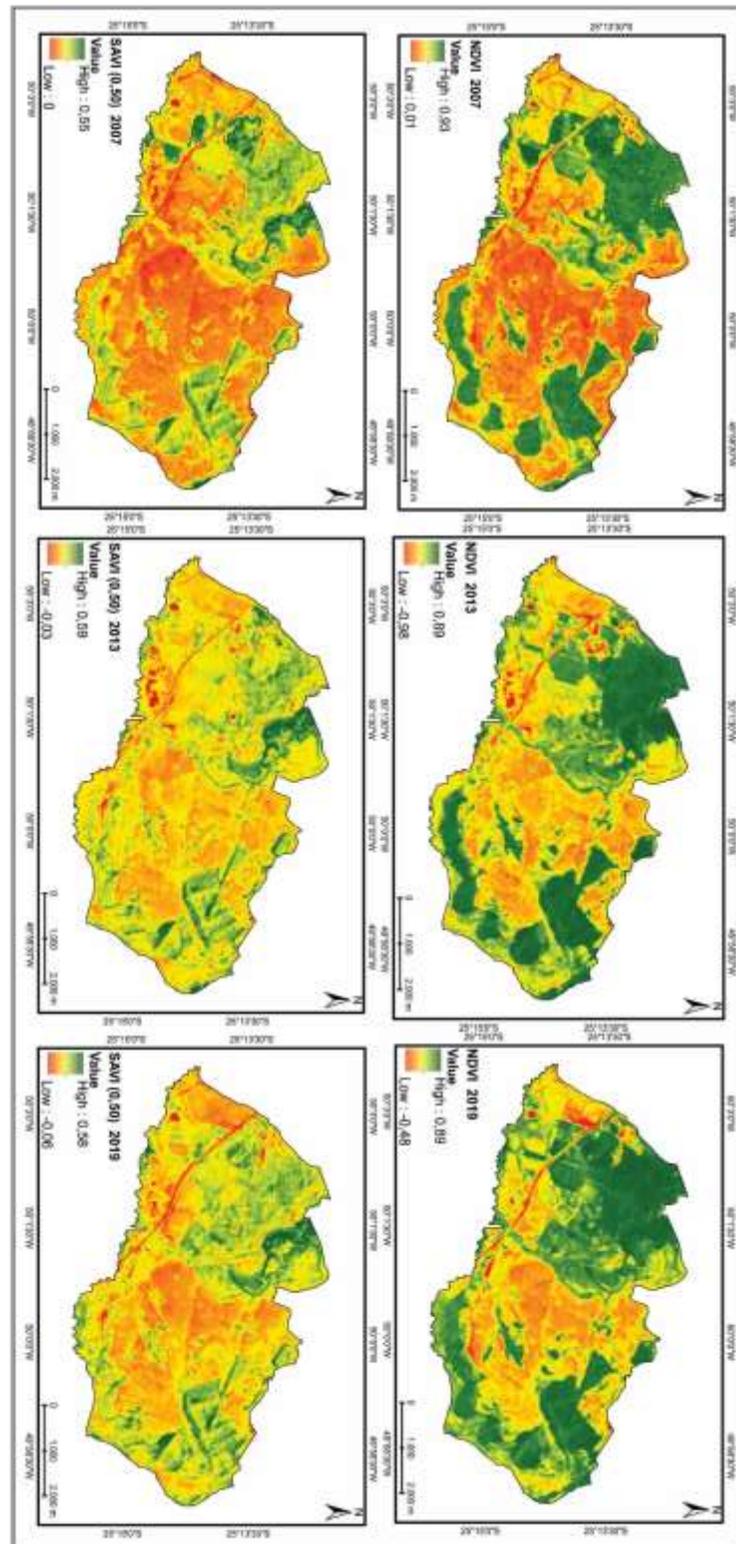


Figura 04: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e com ajuste ao solo (SAVI) do Parque Estadual de Vila Velha (correspondente aos anos 2007, 2013 e 2019)

Tabela 02: Dias com ausência de chuva antes dos registros das cenas

Data da imagem	Dias sem chuva
29/07/2007	3
13/07/2013	10
14/07/2019	23

Ao correlacionar os dias sem chuvas com as datas das imagens, diagnosticou-se que mesmo com 13 dias a mais sem chuva o ano de 2019 apresentou o mesmo valor máximo (0,89) de NDVI na comparação com 2013, e o SAVI diferença de 0,01 entre esses anos. Tal fato é resultante do plano de manejo da vegetação de 2004, que nas proximidades das furnas (no lado oeste do PEVV), encontra-se fragmento de Floresta Ombrófila Mista Montana com adensamento da família Araucariaceae (Figura 05 – quadro de cor violeta). Ao analisar essa área em 2019 com os anos anteriores nota-se o desenvolvimento da família Araucariaceae pelo aumento nos valores dos índices, bem como a preservação ao norte dessa área.

No lado oeste do PEVV observa-se a subtração da vegetação com valores negativos de NDVI e SAVI próxima a pista pavimentada, na comparação entre os anos de 2007 e 2013 e, em 2019 ocorre à regeneração florestal (Figura 04 e Figura 05 – círculo azul); nessa área consta no plano de manejo (IAP, 2004) plantio de *Eucalyptus* spp. Logo a frente da área contextualizada há um misto de floresta plantada de *Eucalyptus* spp. e Araucariaceae, que apresentou aumento dos índices de vegetação no período analisado (Figura 05 – polígono branco).

Os fragmentos florestais de Floresta Ombrófila Mista Montana presentes na parte leste do PEVV apresentam desenvolvimento da formação florestal, principalmente entre os adensamentos de vegetação; além de sutil avanço de arbóreas na região sudeste do PEVV (na área de formação pioneira de influência fluvial). Ressalta-se que a área centro-leste do PEVV com cobertura vegetal de transição entre Savana-Esteve, apresentou modificações naturais, ocorrendo o desenvolvimento e evolução da vegetação.



Figura 05: Imagem de satélite com destaque para as principais áreas com modificações na parte oeste do Parque Estadual de Vila Velha. Fonte: *World Imagery*. Elaboração: Autores (2020)

O NDVI e SAVI demonstraram-se ferramentas eficientes no monitoramento da vegetação, uma vez que permitiram a detecção de alterações na cobertura vegetal, principalmente na identificação da redução de *Eucalyptus* spp. e identificação de solo exposto no local em 2013; os anos de 2013 e 2019 apresentaram-se mais semelhantes em relação a 2007 até porque a segunda e terceira imagens apresentam diferença de 6 anos, a primeira e a terceira 12 anos. Assim, havendo maior possibilidade de ocorrer mudanças na vegetação em maior período de tempo em condições ambientais naturais. Para confirmação das alterações da vegetação, além da análise espacial, utilizou-se também o teste de Friedman.

O teste de Friedman apontou que os valores de NDVI apresentaram diferenças estatisticamente significantes [$\chi^2(2) = 197,502$; $p < 0,001$]. O teste de comparações múltiplas determinou que todos os anos – 2007, 2013 e 2019 – apresentaram diferenças estatisticamente significantes nos valores de NDVI.

Para o SAVI, o teste de Friedman também apontou diferenças estatisticamente significantes [$\chi^2(2) = 167,522$; $p < 0,001$], necessitando usar o “post hoc” para detectar quais pares diferiram. Com o teste foi possível determinar que o ano de 2007 diferiu de 2013 e 2019.

A análise estatística foi fundamental para corroborar afirmativas realizadas mediante a análise espacial por meio dos mapas presentes na figura 04, gerando maior fidedignidade as asserções realizadas.

Silva et al., (2009) afirmam que além da utilização dos índices de vegetação é fundamental que o trabalho de campo seja realizado para conferência de algumas áreas. Essa afirmação é positiva, pois desse modo, é possível demonstrar a vegetação existente em alguns pontos. Principalmente na área em estudo, pois a mesma é diversificada.

No dia 02/03/2018 foi realizado campo no PEVV para confirmação da cobertura vegetal em diferentes localidades com valores de índices diferenciados expressos pelo NDVI e SAVI (Figura 06).

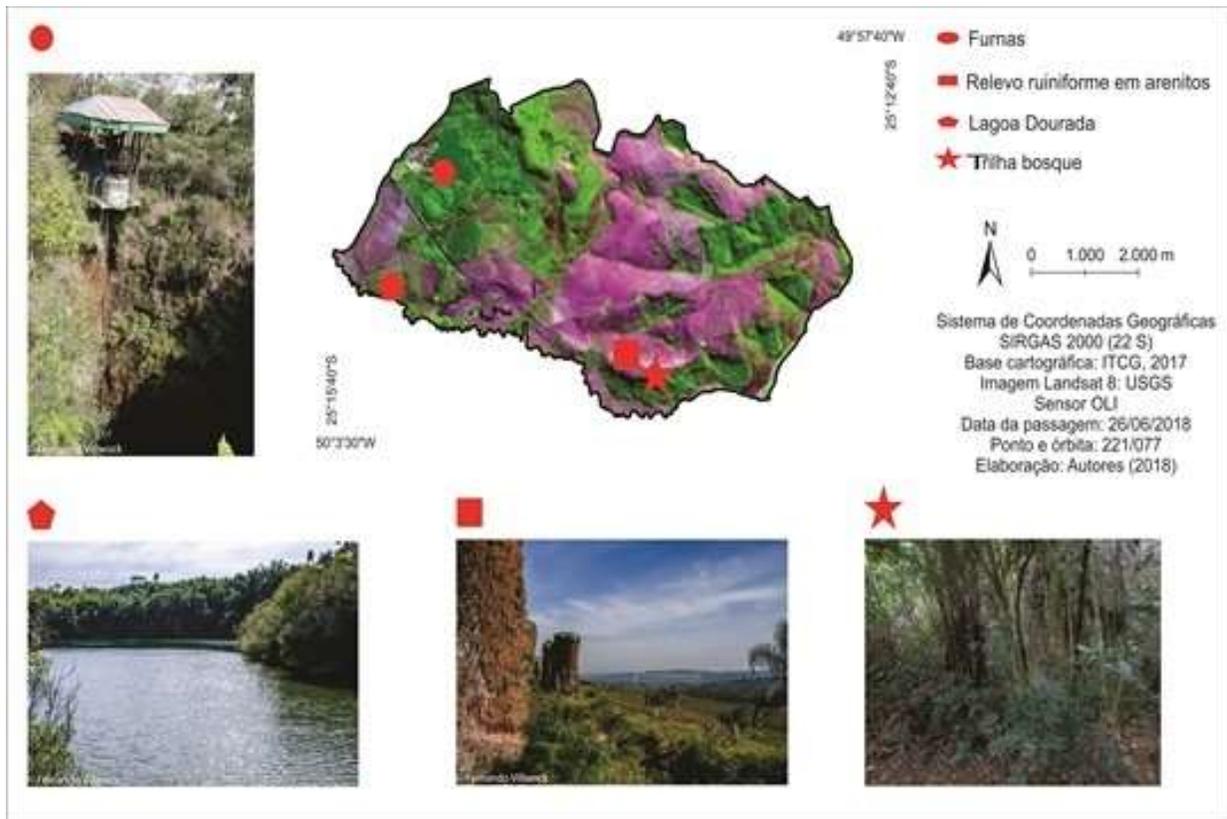


Figura 06: Imagem orbital da área de estudo (composição colorida falsa cor (6)R (5)G (4)B), com fotografias dos pontos visitados

Na Figura 06, é possível visualizar que a área de Furnas possui vegetação com características das Florestas Ombrófila Densa e Aluvial, com presença de pteridófitas.

Schwartzburd (2006) identificou nessa área as seguintes espécies de pteridófitas: *Blechnum polypodioides* Raddi, e, *Dicranopteris flexuosa* (Schrad.) Underw.

Na Lagoa Dourada identificou-se a presença de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, sendo a Floresta Ombrófila Mista a predominante. Neste ponto se observou a presença de elementos da Floresta Estacional Semidecidual (Figura 06).

Na área dos relevos ruiformes observou-se espécies de gramíneas exóticas, tais como *Melinis minutiflora* P. Beauv., e, *Brachiaria* sp. Ainda foram observadas espécies nativas que compõem os campos gerais, e também de cerrado, principalmente no que concerne o campo sujo com *fáceis* de cerrado e cerrado rupestre. Ritter, Ribeiro e Moro (2010, p.383) realizaram estudo no PEVV e concluíram que “As disjunções da fitocenose de Vila Velha exibem apenas fitofisionomias campestres compatíveis com o campo sujo com *fácies* de cerrado e cerrado rupestre. Floristicamente, exibem atributos qualitativos suficientes para serem consideradas fitocenoses de Cerrado”. Nos paredões, entre as espécies, estão presentes as rupícolas, epífitas e bromélias. Na trilha bosque foi observada vegetação fechada com abundância de pteridófitas e bromélias (Figura 06).

Dalazoana, Silva e Moro (2007) afirmaram que para o PEVV as famílias mais relevantes na estrutura de comunidades de campo foram Poaceae, Asteraceae, Cyperaceae, Fabaceae e Rubiaceae. Deste modo, o PEVV possui elevada diversidade no que concerne a cobertura vegetal, sendo composto por gramíneas, arbustos e espécies arbóreas, cujos índices SAVI e NDVI, foram fundamentais para apontar as áreas com maiores e menores valores, e densidade da vegetação.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os objetivos e hipóteses propostos para o trabalho foram alcançados com êxito, sendo identificada a variação da vegetação nas cenas de 2007, 2013 e 2019, tanto por análise espacial, quanto pelo teste de Friedman, aceitando-se a hipótese alternativa para o SAVI e NDVI.

Ao analisar a distribuição espacial entre os anos abordados verificou-se que em 2013 ocorreu redução de *Eucalyptus* spp. em pequena porção da área oeste do PEVV, sendo recuperada e estando plena em 2019. Ao norte desse plantio de *Eucalyptus* spp. verificou-se que a

área determinada ao adensamento de Araucariaceae, apresentou desenvolvimento, sendo executado de maneira correta o plano de manejo, uma vez que as diferenças nos valores dos índices são expressivas no comparativo entre 2007 e 2019.

Ressalta-se que os estudos utilizando NDVI e SAVI devem levar em conta os dias sem chuvas antes da obtenção das cenas, pelo fato que essa cautela pode evitar análises incorretas no que consiste aos valores obtidos nos índices, pois a precipitação pode influenciar na fenologia da vegetação. Recomenda-se que avaliações espaciais sejam continuadas para verificação das alterações e do desenvolvimento da vegetação, tanto do estrato herbáceo quanto dos estratos superiores, que englobam diversas famílias incluindo de Araucariaceae que apresentou desenvolvimento na parte oeste do PEVV, a aproximadamente 2 km da extensa área de transição Estepe-Savana.

5 AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Fundação CAPES pelas bolsas de doutorado dos doutorandos.

6 REFERÊNCIAS

ARIAS, H. A.; ZAMORA, R. M.; BOLANOS, C. V. Metodología para la corrección atmosférica de imágenes Aster, RapidEye, Spor 2 y Landsat 8 con el modulo FLAASH del software ENVI. In: **Revista Geográfica de América Central**, v. 2, n. 53, p. 39-59, 2014.

ARAÚJO, M. G. S.; ARAÚJO, S. R.; SOUZA, L. S.; FREIRE, A. A. P. **NDVI como ferramenta de avaliação da expansão urbana em Área de Proteção Ambiental no município de Belém-PA**. In: *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 8, n. 4, p. 386-402, 2019.

DALAZOANA, K.; SILVA, M. A.; MORO, R. S. **Comparação de três fisionomias de campo natural no Parque Estadual de Vila Velha, Ponta Grossa, PR**. In: *Revista Brasileira de Biociências*, v. 5, n. supl. 1, p. 675-677, 2007.

ESTREIECHEN, L.; RITTER, L. M. O.; MAIA, D. C.; MORO, R. S. **Caracterização da vegetação da área do Buraco do Padre, Ponta Grossa, PR**. In: *Jornada Científica de Geografia*, 3, Ponta Grossa, 2001. Boletim de resumos... Ponta Grossa, UEPG, p. 73-75, 2001.

FERNANDES, P. J. F.; VICENS, R. S.; FURTADO, L. F. A. **Modelo automático de normalização radiométrica de série multitemporal Landsat-5 usando pontos pseudoinvariantes (PIF)**. In: Revista Brasileira de Cartografia, v. 69, n. 2, 2017.

FIRMINO, M. J. A. C. S. **Testes de hipóteses: uma abordagem não paramétrica**. 2015. 99 f. Dissertação (Mestrado em Matemática para Professores) – Universidade de Lisboa, Lisboa, 2015.

IAP - Instituto Ambiental do Paraná. **Plano de Manejo do Parque Estadual de Vila Velha**, 2004.

HUETE, A. R. **A soil-adjusted vegetation index (SAVI)**. In: Remote Sensing of Environment, v. 25, p. 295-309, 1988.

IAP - Instituto Ambiental do Paraná. **Coletânea de pesquisas: Parques Estaduais de Vila Velha, Cerrado e Guartelá**. (Orgs) CARPANEZZI, O. T. B.; CAMPOS, J. B. Curitiba: IAP, 2011.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

MAACK R. **Geografia física do Estado do Paraná**. 3ª ed. Curitiba: Imprensa Oficial, 2002. 440 p.

MALLMANN, C. L.; PRADO, D. A.; PEREIRA FILHO, W. P. **Índice de vegetação por diferença normalizada para caracterização da dinâmica florestal no parque estadual Quarta Colônia, estado do Rio Grande do Sul – Brasil**. In: Revista Brasileira de Geografia Física, v. 08, n. 05, p. 1454-1469, 2015.

MELO, M. S.; GIANNINI, P. C. F.; PESSEDA, L. C. R. **Gênese e evolução da Lagoa Dourada, Ponta Grossa, PR**. In: Revista do Instituto Geológico, v. 21, n. 1/2, p. 17-31, 2000.

MOREIRA, A. A.; FERNANDES, F. H. S.; ALMEIDA, R. P.; NERY, C. V. M. **Análise do Comportamento Espectral de Fitofisionomias no Parque Estadual Lapa Grande por meio de dados MODIS**. In: Revista Brasileira de Geografia Física, v. 6, n. 6, p. 1705-1718, 2013.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. Editora UFV, 2007.

MORO, R. S. **Interpretações paleológicas do Quaternário através da análise de diatomáceas (Bacillariophyta) nos sedimentos da Lagoa Dourada, Ponta Grossa, PR**. 1998. 141p. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Rio Claro, 1998.

MORO, R. S. **Biogeografia do Cerrado nos Campos Gerais**. Ponta Grossa: Ed. UEPG, 2012. 207 p.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações.** São Paulo: Edgar Blücher, 1992.

QUESADA, H. B.; REDONDO, G.; VERNASQUI, L. G.; MAGNONI, P. H. J.; ARANTES, E. J. **Análise da vegetação ripária em bacia hidrográfica utilizando Índice de Vegetação Normalizada (NDVI) no município de Maringá-PR.** In: Geo UERJ, n. 31, p. 439-455, 2017.

RÊGO, S. C. A.; LIMA, P. P. S.; LIMA, M. N. S.; MONTEIRO, T. R. R. **Análise comparativa dos índices de vegetação NDVI e SAVI no município de São Domingos do Cariri-PB.** In: Revista Geonorte, Edição Especial, v.2, n.4, p.1217-1229, 2012.

RESENDE, F. C.; SOARES, T. B. O.; SANTOS, P. R.; PEREIRA, G. **Análise de Índices Espectrais para Estimativa de Áreas de Regeneração Florestal no Parque Nacional Chapada Das Mesas.** In: Revista Territorium Terram, v. 3, n. 5, 2015.

ROSA, P. A.; BREUNIG, F. M.; BALBINOT, R.; GALVÃO, L. S. **Dinâmica da Floresta do Parque Estadual do Turvo com Índices de Vegetação.** In: Floresta e Ambiente, v. 20, n. 4, p. 487-499, 2013.

RITTER, L. M. O.; RIBEIRO, M. C.; MORO, R. S. **Composição florística e fitofisionomia de remanescentes disjuntos de Cerrado nos Campos Gerais, PR, Brasil-limite austral do bioma.** In: Biota Neotropica, v. 10, n. 3, p. 379-414, 2010.

SCHWARTSBURD, P. B. **Pteridófitas do Parque Estadual de Vila Velha, Paraná, Brasil.** 2006. 161p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Pós-Graduação em Botânica, Universidade Federal do Paraná, 2006.

SILVA, D. S.; RAMOS, J. A. S.; SILVEIRA, C. S.; GUEDES, A. G. **Utilização de imagem de NDVI para análise temporal da cobertura vegetal estudo de caso: Teresópolis/RJ.** In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009. Anais... Natal, INPE, p. 3071-3078, 2009.

TUCKER, C. J. **Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation.** In: Remote Sensing of Environment, v. 8, n. 2, p. 127-150, 1979.

SANTANA, A. C.; MELO, M. S. **Sumidouro do Rio Quebra-Perna, Ponta Grossa, PR: um complexo de informações geográficas.** In: JORNADA CIENTÍFICA DE GEOGRAFIA, 3, Ponta Grossa, 2001. Boletim de resumos... Ponta Grossa, UEPG, p. 70-72, 2001.

VELOSO, H. P.; GOES FILHO, L. **Fitogeografia brasileira – classificação fisionômico-ecológica da vegetação neotropical.** In: Boletim Técnico Projeto RADAMBRASIL, série vegetação, Salvador, n. 1, p. 1-80, 1982.

Data de recebimento: 08 de fevereiro de 2020.

Data de aceite: 30 de junho de 2020.