

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL POR MEIO DE NDVI NO MUNICÍPIO DE ATIBAIA-SP

Queiroz, Mateus. C.¹& De Zorzi, Vinicius. G.²

¹SIMBiOSE, Rua Lucas Siqueira Franco Neto, nº 170, Jardim Itaperi, Atibaia, SP - CEP 12941-171; ²SIMBiOSE, Rua Lucas Siqueira Franco Neto, nº 170, Jardim Itaperi, Atibaia, SP - CEP 12941-171; ¹Autor de correspondência: eng.mateuscqueiroz@gmail.com.

INTRODUÇÃO

A mata atlântica é o bioma brasileiro mais afetado pela fragmentação florestal e, segundo Gobbo *et al.* (2016), um dos principais motivos para esse quadro de degradação são a expansão urbana e os incêndios florestais. A ocorrência desses agentes pode ocasionar perdas ecológicas e econômicas, bem como causar consideráveis emissões de carbono, comparáveis à da queima de combustíveis fósseis (Bowman *et al.* 2009).

O Sistema de Informação Geográfica (SIG), segundo Xavier *et al.* (2010), é uma ferramenta utilizada na aquisição e tratamento de dados georreferenciados, auxiliando na gestão do território por meio de estudos e levantamentos de elementos condicionantes. Assim, permitem monitorar e identificar o uso e cobertura do solo e a cobertura vegetal ao longo do tempo com as transformações na paisagem (Morais *et al.* 2011).

Nesse contexto, o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) é um índice de vegetação pela diferença normalizada que auxilia no estudo dos dosséis por meio da observação de parâmetros espectrais da vegetação e parâmetros biofísicos da paisagem, conforme Chagas *et al.* (2008), possibilitando observar as mudanças na paisagem por meio das alterações na reflectância e nos índices vegetacionais.

Do exposto, e considerando as implicações das alterações dos tipos de uso e ocupação dos solos, o objetivo do presente trabalho é realizar uma análise espaço-temporal da cobertura vegetal do município de Atibaia-SP para os anos de 2017, 2018 e 2019, permitindo avaliar a dinâmica das pressões sofridas, além de contribuir para o planejamento, gestão e proteção de fragmentos florestais e áreas protegidas.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido no município de Atibaia-SP (Figura 1), uma estância hidromineral localizada na microrregião Bragantina, que possui um território de 48.280,80 ha e está inserido na mata atlântica, com predomínio de Floresta Ombrófila Densa Montana e pequenas manchas de Florestas Estacionais, condicionadas por solos rasos e bem drenados, e Cerrado, sendo considerado uma zona de ecótono com clima Cwa na classificação de Köppen, com chuvas concentradas entre novembro e março (Atibaia 2019).

Atibaia está inserida em uma região relativa à formação geológica do Complexo Varginha-Guaxupé, unidade paragnáissica migmatítica superior, abrangendo a maior parte da cidade, que possui predominância pedológica de Latossolo Amarelo com textura franco arenosa, e caracterizam-se os relevos fortes e ondulados, com declividades que variam de 10 a 30% (Carvalho *et al.* 1975, Ross & Moroz 1997). Dentre os cursos d'água que drenam no local de estudo, destaca-se o rio Atibaia, segundo Campos & Caneiro (2015), principal afluente do rio Piracicaba, ambos pertencentes à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 05.

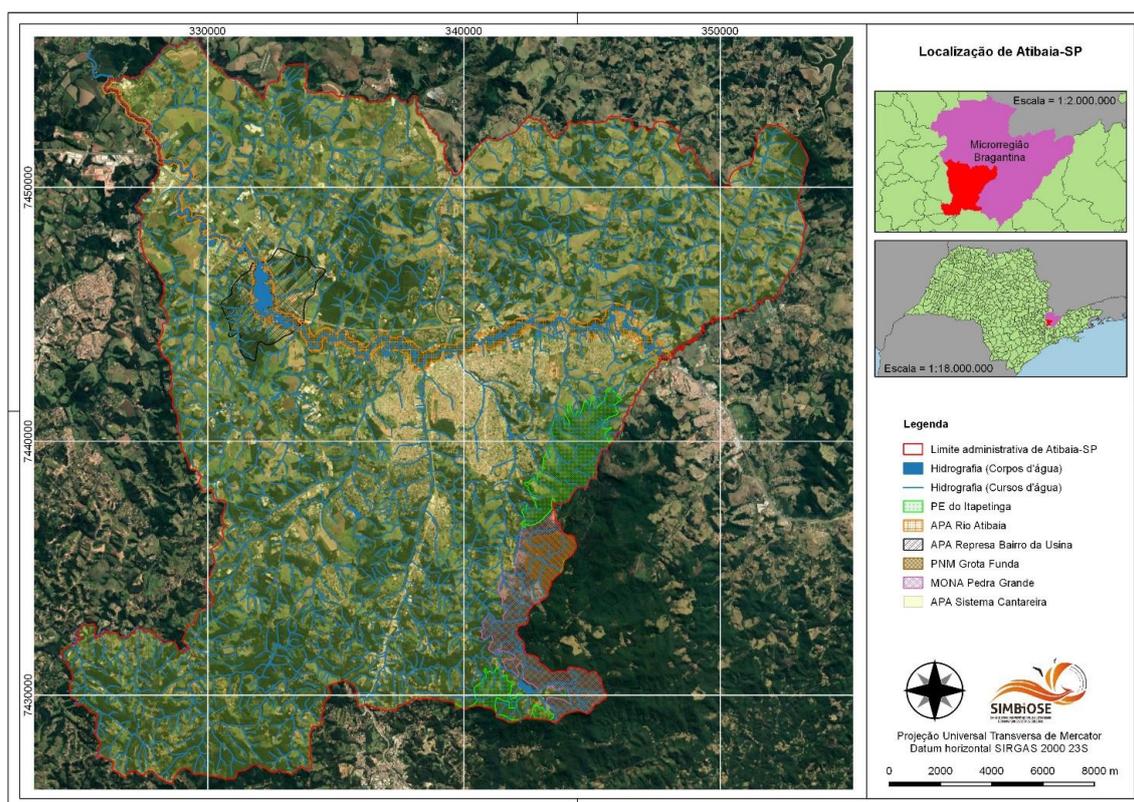


FIGURA 1 – Localização do município de Atibaia-SP e suas áreas protegidas. Fonte: Autor, 2020.

Predominam no município, conforme Atibaia (2019), as atividades econômicas de cunho industrial, comercial, de serviços e o turismo, sendo este, o que mais sofre com as pressões da especulação imobiliária, da expansão urbana e os incêndios florestais nos fragmentos e áreas protegidas, representando 100% da área municipal. Destacam-se em Atibaia como áreas protegidas, com a função estratégica de formar corredores e instituir um mosaico de ecossistemas de elevada relevância ecológica, as Unidades de Conservação (UC) públicas: Parque Estadual do Itapetinga (PEI)¹, Parque Natural Municipal da Grota Funda (PNMGF)², Monumento Natural Estadual da Pedra Grande (MNEPG)³, Área de Preservação Ambiental Sistema Cantareira (APASC)⁴, Área de Preservação do Rio Atibaia (APARA)⁵, Área de Preservação Ambiental Represa Bairro da Usina (APARBU)⁶ (Atibaia 2019).

Neste trabalho, foram utilizadas imagens de satélite Landsat 8 OLI, cujas datas de imageamento foram, respectivamente, 05/04/2017, 10/05/2018 e 29/05/2019, escolhidas por apresentarem pouca ou nenhuma nuvem e corresponderem a uma mesma estação (outono), no início da estiagem e do período de maior incidência de incêndios florestais em Atibaia, para

¹ Instituído pelo Decreto n° 54.746/2010, que cria áreas protegidas para a conservação do Contínuo Cantareira, com área de 10.193,85 ha.

² Instituído pela Lei Municipal n° 2.293/1988, criado para preservar os mananciais locais e garantir a qualidade da água de abastecimento regional, com área de 244,70 ha.

³ Instituído pelo Decreto n° 55.662/2010, com a função de preservar os atributos bióticos, abióticos e cênicos do maciço Pedra Grande (tombado pelo CONDEPHAAT em 1983), com área igual a 3.297,01 ha.

⁴ Instituído pela Lei Estadual n° 10.111/1998, criado para a proteção dos recursos hídricos regionais que compõe o Sistema Cantareira, abrangendo toda a área do município.

⁵ Instituído pela Lei Ordinária n° 4.328/2015, com o objetivo de ordenar o uso e ocupação do solo e assegurar condições adequadas de vazão e recarga hídrica do Rio Atibaia.

⁶ Instituído pela Lei Estadual n° 5.280/1986, que regulariza a vazão do Rio Atibaia, controle de enchentes e geração de energia, com área igual a 1.018 ha.

minimizar os efeitos de sazonalidade, sendo as imagens obtidas por meio do *United States Geological Survey* (USGS). Também foram analisados os índices pluviométricos dos anos em estudo, e dos anos anteriores, por meio do portal *Hidroweb* da Agência Nacional de Águas (ANA), permitindo comparar a relação das chuvas com a dinâmica espaço-temporal da cobertura vegetal.

Antes de realizar o cálculo dos índices de vegetação, as imagens passaram por calibração radiométrica, conforme Lima *et al.* (2017), em duas etapas. A primeira consistiu em reprojeter as imagens para o datum SIRGAS 2000 23S e em seguida a conversão do número digital (ND) de cada pixel em grandezas de reflectância no topo da atmosfera com correção para o ângulo solar, onde foram utilizadas as bandas 4 e 5, correspondente, respectivamente, as bandas do vermelho (0,64 a 0,67 μm) e infravermelho próximo (0,85 a 0,88 μm), com pixels de 30 metros, em escala de 1:25.000.

O NDVI, obtido através da razão entre a diferença da reflectância na banda do infravermelho próximo e vermelho pela soma das mesmas, foi realizado por meio do método proposto por Rouse *et al.* (1974), pela expressão:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

Onde, *NIR* = Reflectância na banda do infravermelho próximo e *Red* = Reflectância na banda do vermelho.

Todas as etapas de processamento e cálculo foram realizadas no software QGIS (versão 2.18.25.), onde os resultados do NDVI variam de valores entre -1,00 e 1,00, sendo, conforme Eduardo & Silva (2013), as áreas de vegetação rigorosa variando entre 0,5 e 1,0, as vegetações ralas entre 0,2 e 0,5, os solos expostos entre 0,1 e 0,2 e as nuvens e corpos d'água com valores negativos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise do índice de cobertura vegetal, conforme o NDVI para os anos analisados (Figuras 2, 3 e 4), foi possível observar que os valores encontrados corroboram com o considerado por Eduardo & Silva (2013), variando em média de -0,3778 a 0,3114. Notou-se que o índice apresentou algumas inconsistências, mesmo com a realização da calibração radiométrica, principalmente, nas encostas de face oeste a sudeste do município, onde a vegetação encontra-se sombreada e adquire valores menores que não representam a realidade, classificada como solo exposto.

Com base nos resultados obtidos, com a geração do NDVI, foi possível determinar os percentuais referentes a cada classes (Tabela 1), definidas conforme Eduardo & Silva (2013), do qual, a água apresentou valores até -1,000000, representando em média 0,34%, enquanto isso, o solo exposto também demonstrou valores negativos que variam de -1,000001 a 0,000000, e foram detectados em maior proporção nas regiões centrais urbanizadas e nos eixos industriais Fernão Dias e Dom Pedro I, sendo encontrados também ao sudeste devido aos afloramentos graníticos que formam o PE Itapetinga, MONA Pedra Grande e PNM Grotta Funda, com representatividade de 18,10%.

A vegetação, segmentada em três classes, segundo Eduardo & Silva (2013) aberta, transição e densa, representando em média 81,56% da área de estudo, foi o uso do solo com maior representatividade, onde a vegetação aberta varia de 0,000001 a 0,100000, classificada como vegetação mais herbácea e antropizada, podem também ser áreas de cerrado, com 20,01%, já a vegetação de transição, variando de 0,100001 a 0,200000, é aquela com caráter arbustivo e com espaçamento dos dosséis, foi a classe mais representativa com média de 35,22% da área do município para os três anos estudados, e a vegetação densa varia com valores

acima de 0,200001, de caráter arbóreo e com menor distância entre as espécies, com média de 26,33%, corroborando com os 23,70% de vegetação nativa descritos por Atibaia (2019).

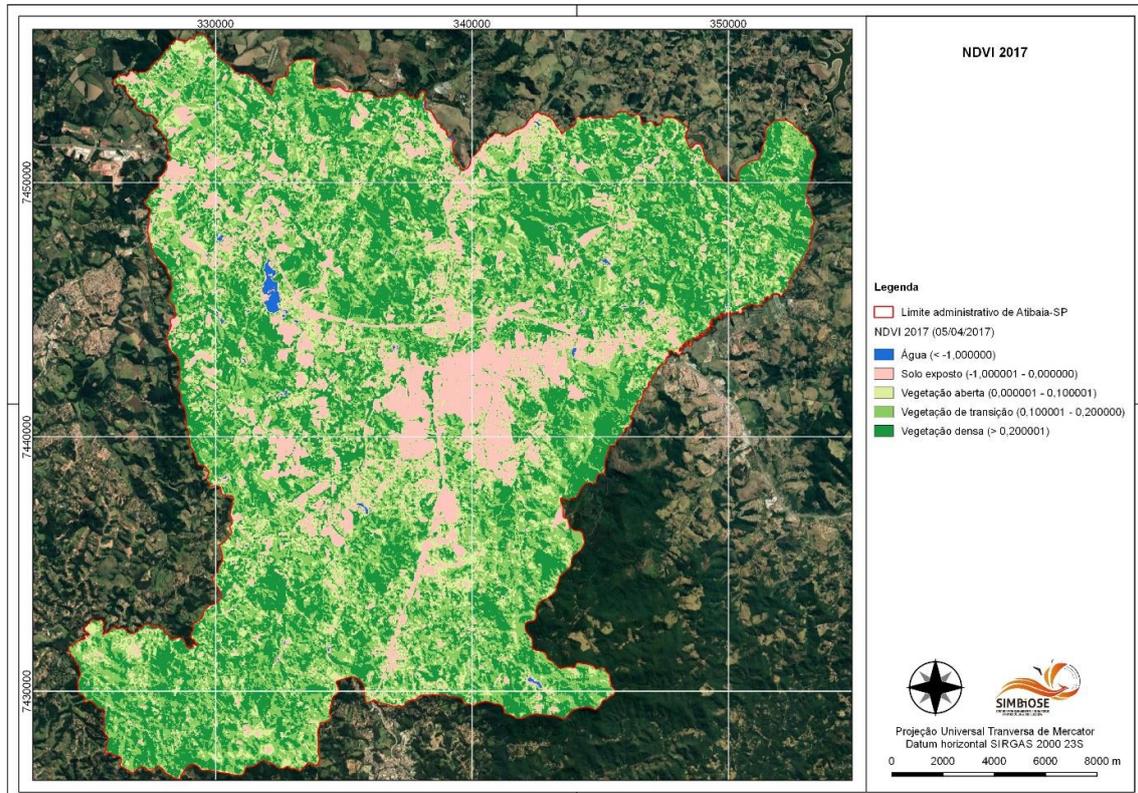


FIGURA 2 – Carta do Índice de cobertura vegetal NDVI do município de Atibaia para o ano de 2017.

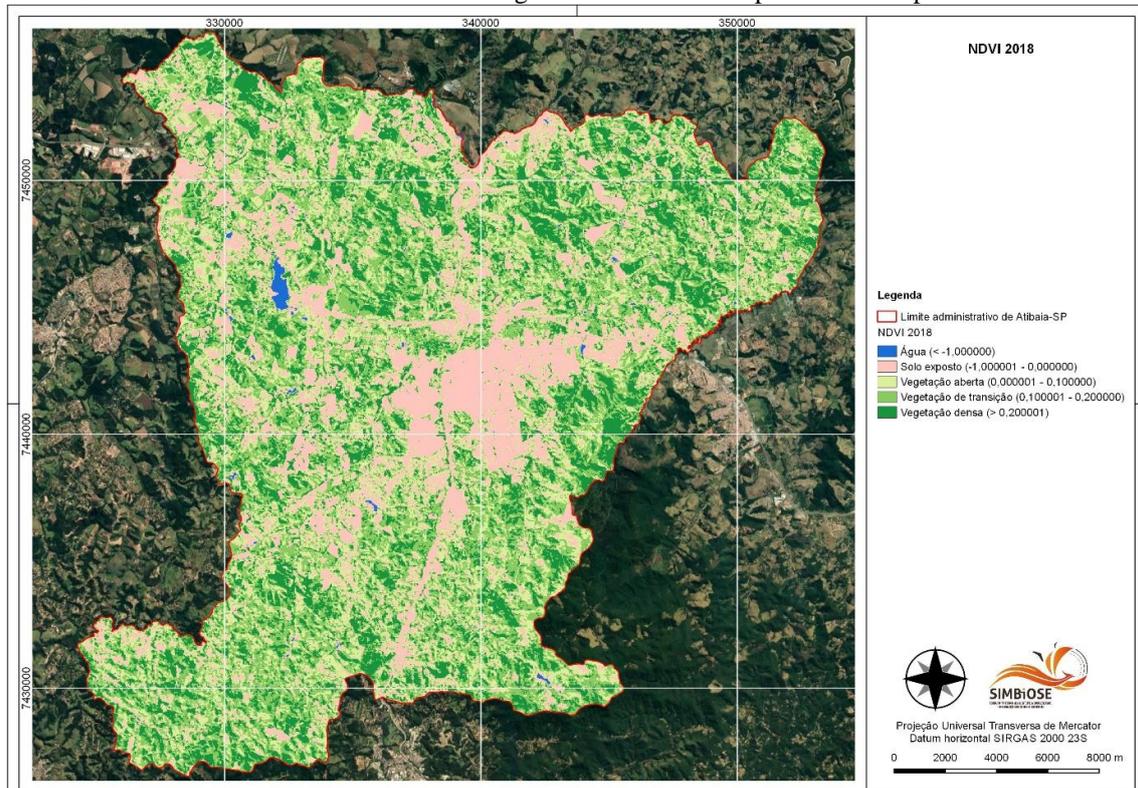


FIGURA 3 – Carta do Índice de cobertura vegetal NDVI do município de Atibaia para o ano de 2018.

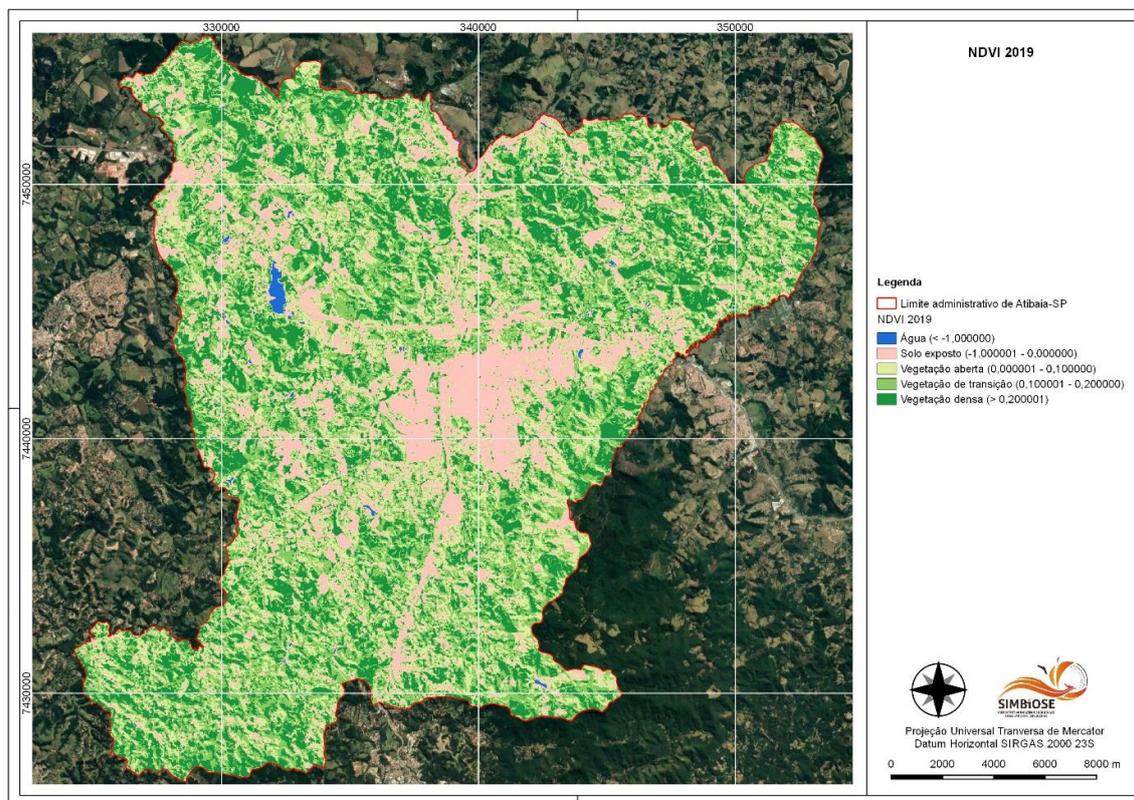


FIGURA 4 – Carta do Índice de cobertura vegetal NDVI do município de Atibaia para o ano de 2019.

TABELA 1 – Áreas correspondentes às classes de cobertura vegetal no município de Atibaia-SP.

Anos	2017		2018		2019		Média	
	Área (%)	Área (ha)						
Água	0,30	146,38	0,36	171,81	0,35	170,99	0,34	163,06
Solo exposto	14,45	6975,46	20,56	9926,22	19,29	9315,52	18,10	8739,07
Vegetação aberta	14,89	7188,54	23,67	11429,87	21,46	10360,02	20,01	9659,48
Vegetação de transição	36,08	17419,53	35,55	17164,85	34,03	16429,58	35,22	17004,65
Vegetação densa	34,28	16550,88	19,86	9588,05	24,86	12004,04	26,33	12714,33
Total	100,00	48280,80	100,00	48280,80	100,00	48280,80	100,00	48280,80
Valor NDVI	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.
	0,3253	-0,3269	0,2913	-0,3959	0,3175	-0,4105	0,3114	-0,3778

A análise dos índices pluviométricos dos anos 2016, 2017, 2018 e 2019 (Figura 5), que correspondem aos anos das imagens de satélite, e seus respectivos anos anteriores, mostra que o índice de cobertura vegetal do ano de 2017 (vegetação densa = 34,28%) se destacou devido ao alto acumulado de precipitação no ano de 2016, com grande volumes de chuva inclusive na estação seca (Jun/2017 = 161,55 mm), favorecendo o maior aporte de biomassa e área foliar e, conseqüentemente, a dominância desta classe no território. Em contrapartida, os anos de 2018 e 2019 apresentaram índices de cobertura com destaque para a vegetação de transição (35,55% e 34,03%), que foram influenciados pelos baixos acumulados pluviométricos de 2017 e 2018, contribuindo para a perda de biomassa, segundo Morais *et al.* (2011), além das imagens serem

de maio (outono) o que pode significar menos área foliar devido a deciduidade foliar de muitas espécies arbóreas do domínio florestal.

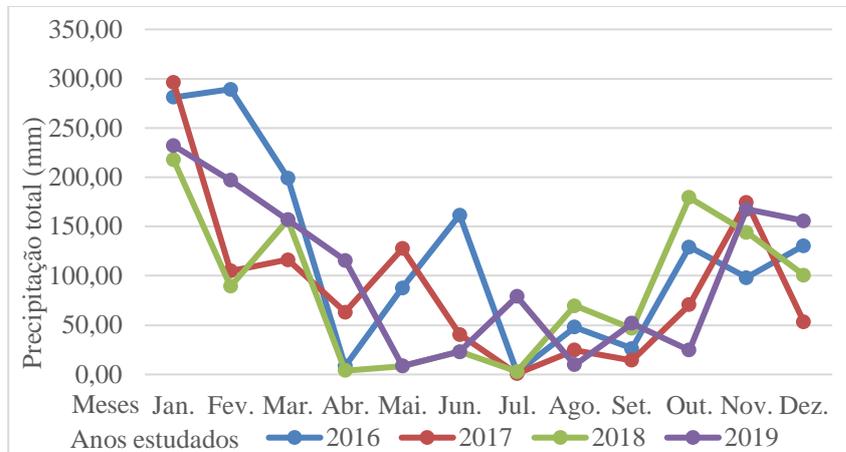


FIGURA 5 – Gráfico climograma dos anos em que foi realizado o NDVI e seus, respectivos, anos anteriores.

É interessante notar que a maior concentração espacial de vegetação densa se dá a sudeste de Atibaia, onde encontram-se as UCs PE Itapetinga, MONA Pedra Grande e PNM Grotta Funda, além de formarem a cabeceira da microbacia do Itapetinga, principal afluente do Rio Atibaia no município, área estratégica para a conservação de fragmentos e áreas protegidas. Ainda assim, grande parte das alterações mais abruptas de classes, como em locais antes de vegetação densa e depois solo exposto, ou vice-versa, podem ser representados, principalmente, por fatos humanos como plantios anuais, especulação imobiliária e incêndios florestais.

O índice NDVI mostrou-se eficiente na análise espaço-temporal da cobertura vegetal para os anos estudados, tanto quando demonstrou a influência dos índices pluviométricos e da sazonalidade na dinâmica da vegetação (Lobato *et al.* 2010). Assim, o NDVI não deve ser o único parâmetro utilizado em estudos sobre as variações na dinâmica da cobertura vegetal, e sim, conforme Silva *et al.* (2009), serem indicadores de alterações, que devem ser estudadas com maior detalhamento, principalmente por meio de validações em campo.

CONCLUSÃO

Com a realização do índice NDVI, foi possível avaliar a cobertura vegetal e a influência da sazonalidade e dos índices pluviométricos sobre os fragmentos e áreas protegidas. Nota-se que a vegetação com maior concentração é a vegetação de transição, encontrada nas áreas intermediárias entre a vegetação aberta e densa, principalmente, nas extremidades do município sujeitas à plantios anuais, especulação imobiliária e os incêndios florestais

Os dados gerados neste trabalho, apesar de terem apresentados algumas inconsistências, mesmo com a correção radiométrica, nas encostas de face oeste a sudeste do município onde a vegetação encontra-se sombreada, servirão para calibrar e embasar novos estudos e a aplicação de novas metodologias para a quantificação da cobertura vegetal. Sugere-se para trabalhos futuros o uso de índices como o SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*) e o IAF (Índice de Área Foliar), assim como métodos de campo para quantificar espacialmente a cobertura vegetal em biomassa e estoque de carbono florestal.

Por fim, pode-se concluir que a análise espaço-temporal do índice NDVI constitui uma ferramenta importante para o apontamento de indicadores de alteração da cobertura vegetal, como a especulação rural e urbana e os incêndios florestais, auxiliando na avaliação de fragmentos e áreas protegidas a serem conservados e na construção de políticas públicas, e práticas de conservação da vegetação nativa de Atibaia-SP.

REFERÊNCIAS

ATIBAIA. Lei nº 4.691, de 27 de setembro de 2019. Aprova o Plano Municipal de Controle de Erosão – PMCE do município da Estância de Atibaia, e dá outras providências. **Imprensa Oficial do Município**, Atibaia, SP, 28 set. 2019.

CAMPOS, R. S.; CARNEIRO, C. D. R. Geologia da região de Atibaia e possíveis causas das inundações de 2009 e 2010. **Revista Terrae**, Instituto de Geociências da Unicamp, Campinas, n. 10, p. 21-35, 2015. Disponível em: <ige.unicamp.br/terrae/V10/PDFv10/TD-10-4-Rafaela.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2020.

CARVALHO, A.; LEPSCH, J. B.; OLIVEIRA, B.; VALADARES, J.; ROTTA, C. L. Levantamento pedológico semidetalhado do município de Atibaia, SP. **Revista Bragantia**, São Paulo, v. 34, n. 1, 1975. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/brag/v34nunico/01.pdf>>. Acesso em: 13 ago. 2020.

BOWMAN, D. M. S. J.; BALCH, J. K.; ARTAXO, P.; BOND, W. J.; CARLSON, J. M.; COCHRANE, M. A.; D'ANTONIO, C. M.; DEFRIES, R. S.; DOYLE, J. C.; HARRISON, S. P.; JOHNSTON, F. H.; KEELEY, J. E.; KRAWCHUK, M. A.; KULL, C. A.; MARSTON, J. B.; MORITZ, M. A.; PRENTICE, I. C.; ROOS, C. I.; SCOTT, A. C.; SWETNAM, T. W.; VAN DER WEF, G. R.; PYNE, S. J. Fire in the Earth System. **Science**, Washington, v. 324, n. 1, p. 481 - 484, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1126/science.1163886>>. Acesso em: 12 ago. 2020.

CHAGAS, M. G. S.; GALVÍNCIO, J. D.; PIMENTEL, R. M. de M. Avaliação da dinâmica espectral da vegetação de caatinga em Arcoverde, Pernambuco. **Revista de Geografia**, UFPE/DCG-NAPA, Recife, v. 25, n. 2, 2008. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/228649/23071>>. Acesso em: 12 ago. 2020.

EDUARDO, B. F. S.; SILVA, A. J. F. M. Avaliação da influência da correção atmosférica no cálculo do índice de vegetação NDVI em imagens Landsat 5 e RapidEye. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO -SBSR, 16, 2013 Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. p. 1442-1449. Disponível em: <<http://marte2.sid.inpe.br/attachment.cgi/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.28.23.33.54/doc/p0525.pdf>>. Acesso em: 14 ago. 2020.

GOBBO, S. D. A.; GARCIA, R. F.; AMARAL, A. A.; EUGENIO, F. C.; ALVAREZ, C. R. S.; LUPPI, A. S. L. Uso da terra no entorno do PARNA-Caparaó: preocupação com incêndios florestais. **Revista Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 23, n. 3, p. 350-361, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.110114>>. Acesso em: 12 ago. 2020.

LIMA, A. A.; BARROS, A. C.; TAGLIARINI, F. S. N.; BARROS, Z. X. Correção atmosférica de imagens do Landsat 8 para análise comparativa de influência no cálculo de NDVI e SAVI. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18, 2017. Santos, SP. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2017. p. 2762-2769. Disponível em: <<http://marte2.sid.inpe.br/attachment.cgi/sid.inpe.br/marte2/2017/10.27.12.48.59/doc/59743.pdf>>. Acesso em: 01 jul. 2020.

LOBATO, R. B.; MENEZES, J.; LIMA, L. A.; SAPIENZA, J. A. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada para Análise da Redução da Mata Atlântica na Região Costeira do Distrito de Tamoios Cabo Frio/RJ. **Caderno de Estudos Geoambientais**, v. 1, n. 1, p. 14-23, 2010. Disponível em: <<http://www.cadegeo.uff.br/index.php/cadegeo/article/view/2/2>>. Acesso em: 15 out. 2020.

MORAIS, Y. C. B.; SANTOS, B. O.; LAURENTINO, M. L. S., SILVA; J. C. B.; GALVÍNCIO, J. D. Análise espaço-temporal e detecção de mudanças da cobertura vegetal no município de Floresta, PE – Brasil, utilizando o NDVI. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 15, 2011, Curitiba, PR. **Anais...** Brasília: Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE, 2011. p. 21-28. Disponível: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.14.17.49/doc/p1455.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2020.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. Mapa geomorfológico do estado de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 10, p. 41-58, 1997. Disponível em: <revistas.usp.br/rdg/article/view/53703/57666>. Acesso em: 13 ago. 2020.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3, Washington, 1973. **Anais...** Washington: NASA, 1974, v.1, p.309-317, 1973. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=e00CAAAAIAAJ&oi=fnd&pg=PA309&dq=ROUSE,+J.+W.+et+al.+Monitoring+vegetation+systems+in+the+great+plains+with+ERTS.+In:+Earth+Resources+Technology+Satellite+1+Symposium,+3,+Washington,+1973.+Proceedings...+Washington:+NASA,+1974,+v.1,+p.309317,+1973.&ots=JSVzhSAIzB&sig=2UR8H67Pg4z-wgbjEI7x-i95dY8&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 14 ago. 2020.

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: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 3071-3078. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. (INPE-15962-PRE/10571). Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr%4080/2008/11.18.01.26.42/doc/3071-3078.pdf>>. Acesso em: 7 jan. 2015.

XAVIER, F. V.; CUNHA, K. L.; SILVEIRA, A.; SALOMÃO, F. X. T. Análise da suscetibilidade à erosão laminar na bacia do Rio Manso, Chapada dos Guimarães-MT, utilizando sistemas de informações geográficas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Brasília, v. 11, n. 2. p. 10, 2010.