

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

Queiroz, Mateus. C.<sup>1</sup>& De Zorzi, Vinicius. G.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>SIMBiOSE, Rua Lucas Siqueira Franco Neto, nº 170, Jardim Itaperi, Atibaia, SP - CEP 12941-171; <sup>2</sup>SIMBiOSE, Rua Lucas Siqueira Franco Neto, nº 170, Jardim Itaperi, Atibaia, SP - CEP 12941-171; <sup>1</sup>Autor de correspondência: [eng.mateuscqueiroz@gmail.com](mailto: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.

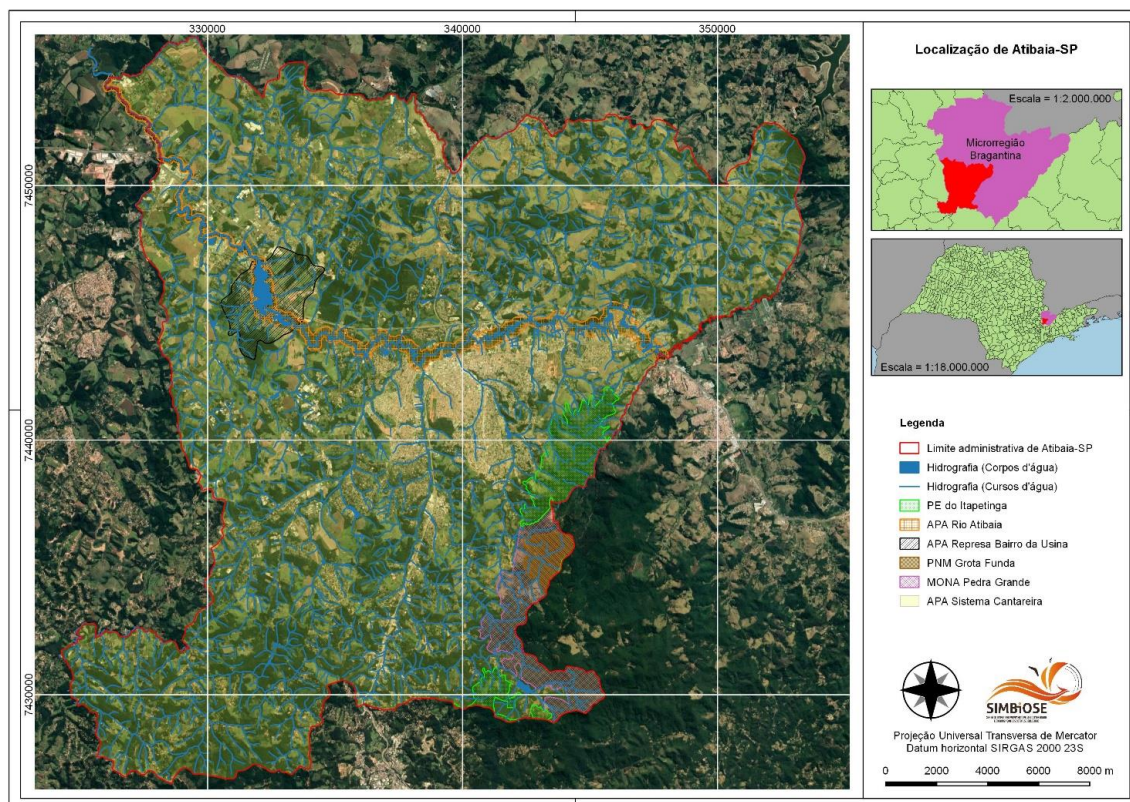


FIGURA 1 – Localização do município de Atibaia-SP e suas áreas protegidas. Fonte: Autor, 2020.

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)<sup>1</sup>, Parque Natural Municipal da Grota Funda (PNMGF)<sup>2</sup>, Monumento Natural Estadual da Pedra Grande (MNEPG)<sup>3</sup>, Área de Preservação Ambiental Sistema Cantareira (APASC)<sup>4</sup>, Área de Preservação do Rio Atibaia (APARA)<sup>5</sup>, Área de Preservação Ambiental Represa Bairro da Usina (APARBU)<sup>6</sup> (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

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

<sup>2</sup> 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.

<sup>3</sup> 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.

<sup>4</sup> 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.

<sup>5</sup> 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.

<sup>6</sup> 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  $\mu\text{m}$ ) e infravermelho próximo (0,85 a 0,88  $\mu\text{m}$ ), 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 Grota 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).

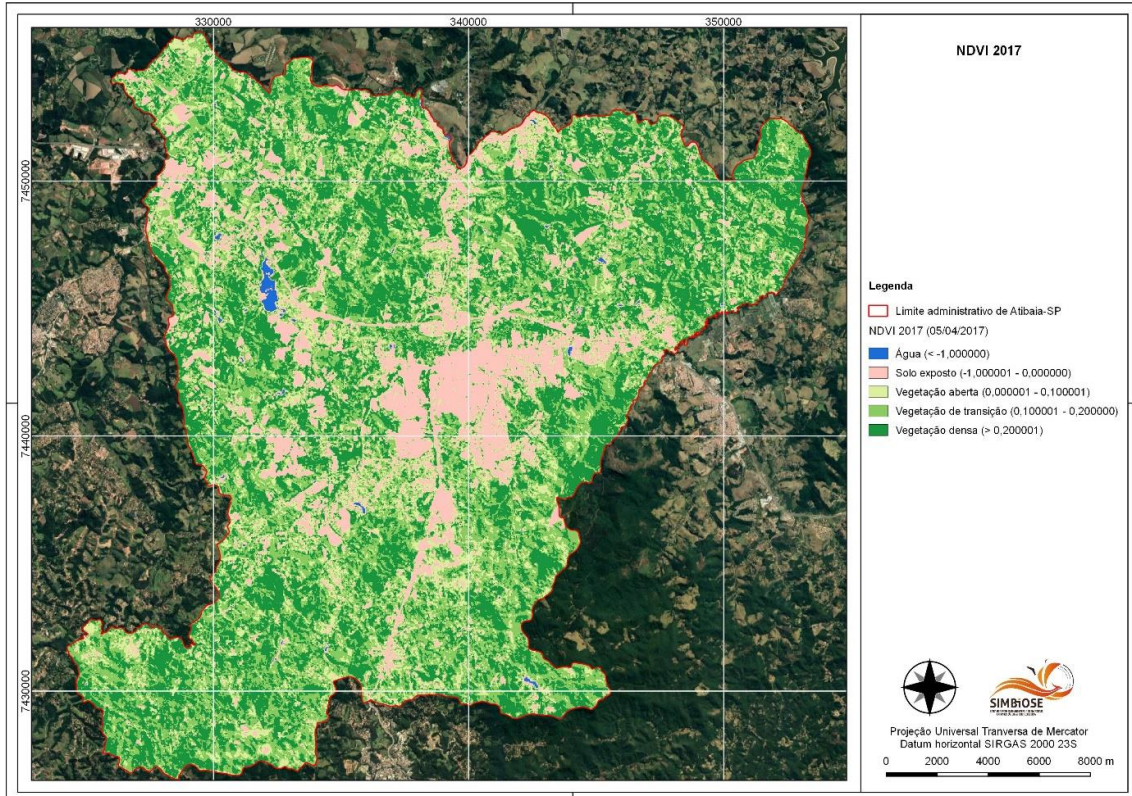


FIGURA 2 – Carta do Índice de cobertura vegetal NDVI do município de Atibaia para o ano de 2017.

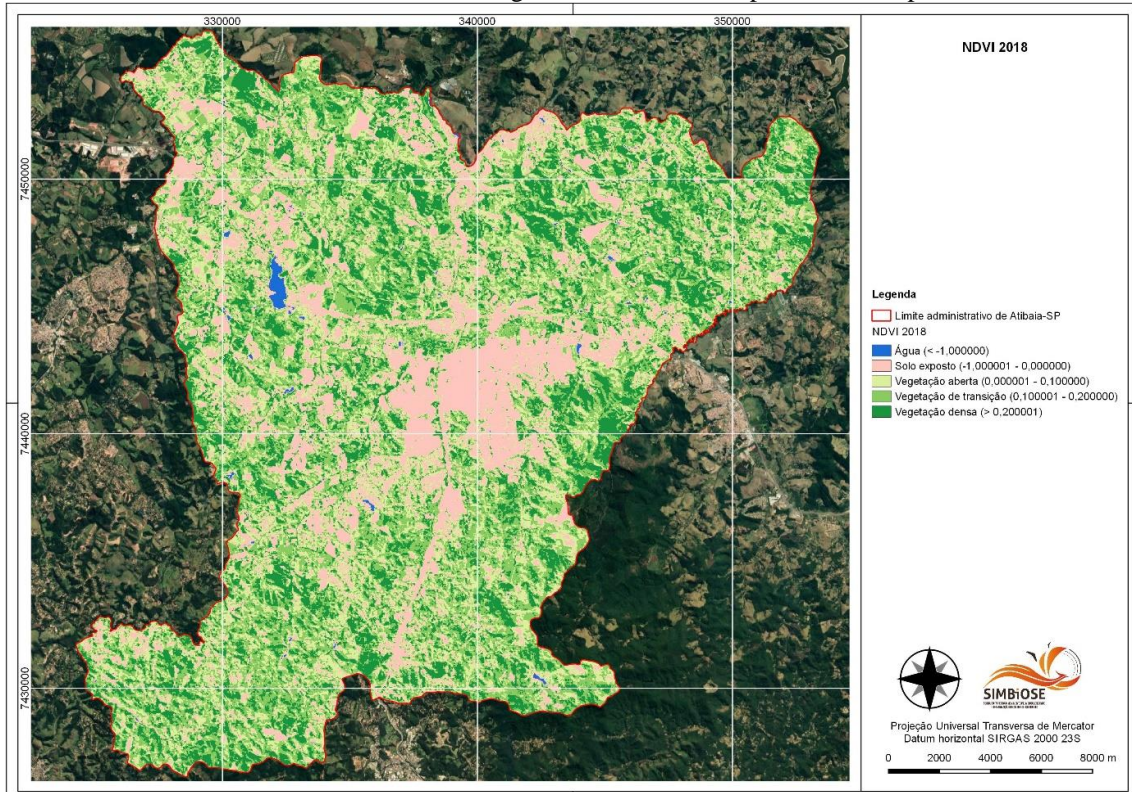


FIGURA 3 – Carta do Índice de cobertura vegetal NDVI do município de Atibaia para o ano de 2018.

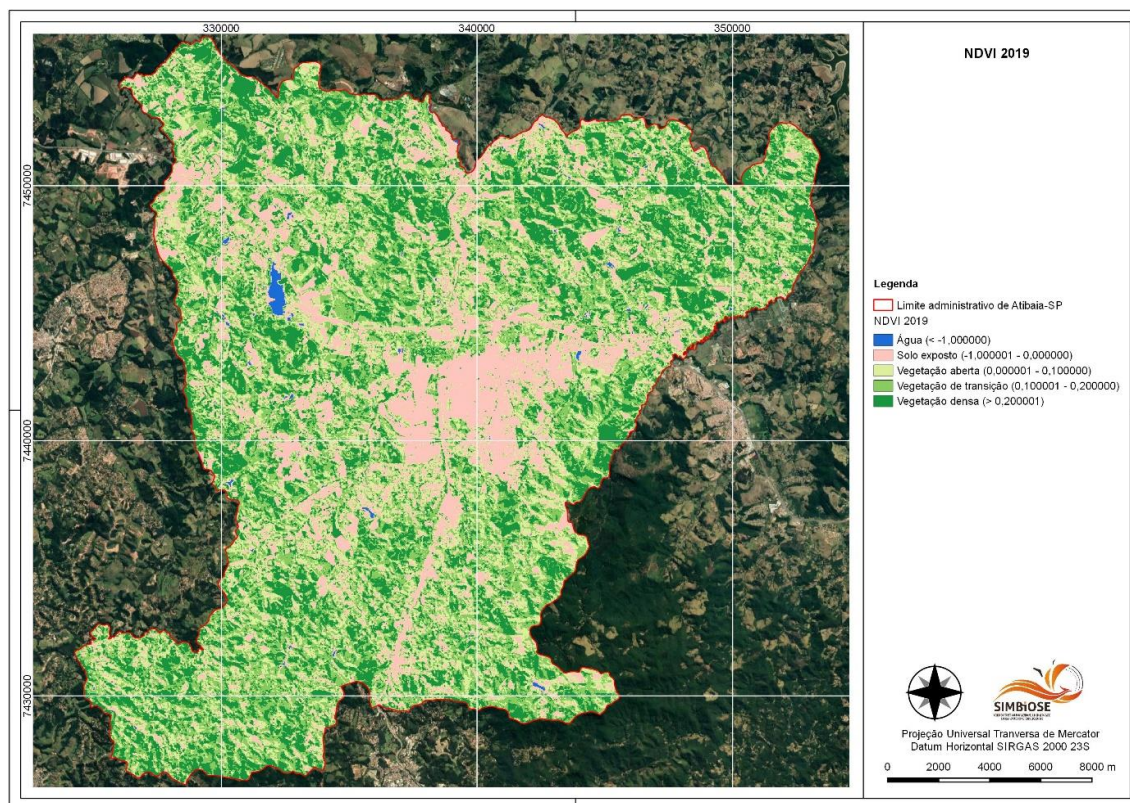


FIGURA 4 – Carta do Índice de cobertura vegetal NDVI do município de Atibaia para o ano de 2019.

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

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

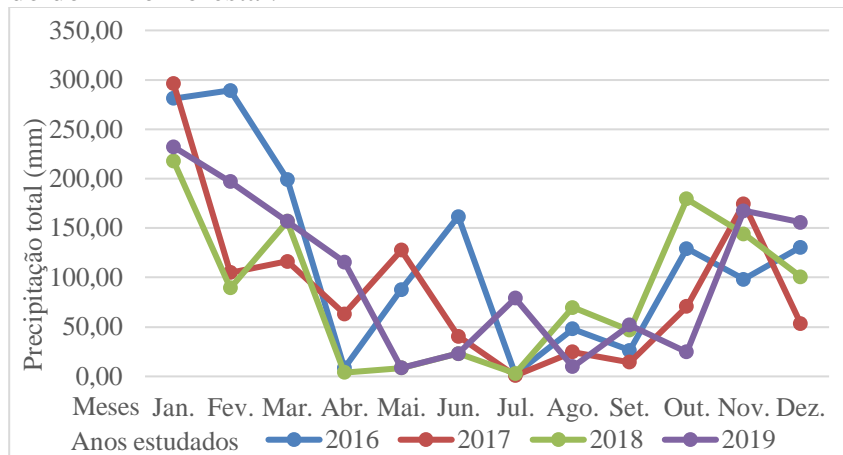


FIGURA 5 – Gráfico climograma dos anos em que foi realizado o NDVI e seus, respectivos, anos anteriores.

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](http://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.pd>>. 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](http://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](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.