

Geotecnologias aplicadas ao estudo de dinâmica florestal em remanescentes de Floresta Sazonal Subtropical

Jhonatan de Almeida ¹
Giovana Secretti Vendruscolo ²
Samuel Fernando Adami ²

¹ Universidade Federal da Integração Latino-Americana - UNILA
Caixa Postal 2044 – 85866-000 – Foz do Iguaçu - PR, Brasil
jhonatan.almeida@aluno.unila.edu.br

² Universidade Federal da Integração Latino-Americana - UNILA
Caixa Postal 2044 – 85866-000 – Foz do Iguaçu - PR, Brasil
giovana.vendruscolo@unila.edu.br, samuel.adami@unila.edu.br

Abstract. The goal of this paper was to identify the potential of vegetation indices obtained from orbital sensing data to discriminate leaf phenology of forest fragments and measure the effect of climatic variables in the characterization of vegetation. From Landsat 5 and 8 satellite data was determined Normalized Difference Vegetation Index for summer and winter seasons. Floristic data was also obtained for two Seasonal Forest fragments. Monthly averages for rainfall, global radiation and temperature were also obtained. The temperature and global radiation varies throughout the year, consistent with the seasonality recorded by NDVI. The NDVI values showed seasonality in both fragments, being more remarkable in the Deciduous Seasonal Forest. Also, the number of deciduous individuals was larger in the last forest type. Thus, NDVI can be regarded a good tool for indirect analysis of forest dynamics.

Palavras-chave: remote sensing, seasonal forest, Normalized Difference Vegetation Index, sensoriamento remoto, floresta estacional, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada.

1. Introdução

As geotecnologias compreendem um conjunto de métodos e técnicas para o tratamento e análise de informações geográficas, como os Sistemas de Informações Geográficas, a cartografia digital e o sensoriamento remoto. Estas técnicas podem ser importantes para o avanço do conhecimento científico em diferentes áreas do conhecimento (Rosa, 2005). Determinadas técnicas do sensoriamento remoto permitem a realização de inferência bruta de biomassa vegetal, sendo importantes ferramentas para o estudo da dinâmica florestal. Uma destas ferramentas, que está sendo amplamente utilizada atualmente, é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI).

O NDVI, de acordo com Ponzoni e Shimabukuro (2009), tem o objetivo de analisar a proporção entre a luz refletida e absorvida por componentes vegetais da superfície terrestre e pode ser utilizado em regiões em que a unidade de paisagem é floresta. Esta ferramenta trabalha com a diferença entre os espectros de ondas eletromagnéticas do vermelho e do infravermelho próximo. Estes espectros são absorvidos pelos pigmentos fotossintéticos e refletidos pelas estruturas celulares, sendo que o balanço entre a absorção e reflexão gera valores que podem variar de -1 (sem vegetação fotossintetizante) a 1 (vegetação com elevado teor de biomassa fotossintetizante) (Ponzoni e Shimabukuro, 2009).

As florestas sazonais são tipologias florestais, que de acordo com o IBGE (2012), possuem como característica principal a correlação entre deciduidade foliar e a estacionalidade. Em regiões tropicais, a deciduidade foliar é caracterizada pelo estresse hídrico que essa floresta passa por alguns meses durante o ano, como já constatada em estudos de fenologia foliar (Morellato et al. 1989, Morellato e Leitão-Filho 1992, Morellato 1995). Já, em regiões subtropicais, poucos são os estudos de fenologia realizados com estas

florestas e estes tem demonstrado que a deciduidade foliar está relacionada com mudanças na temperatura e no comprimento do dia (Athayde et al. 2009).

Estudos de fenologia foliar demandam um grande esforço amostral e de acompanhamento de campo, dificultado a compreensão da dinâmica destas florestas. Por isto, a utilização de técnicas indiretas que demonstrem a sazonalidade destas florestas, são importantes principalmente em regiões subtropicais. Desta forma, este trabalho tem como objetivo utilizar o NDVI como ferramenta para avaliar a dinâmica sazonal entre dois fragmentos florestais relacionando com variáveis ambientais.

2. Metodologia de Trabalho

Foram selecionados dois fragmentos florestais localizados no sul do Brasil, com remanescentes de floresta sazonal. Os fragmentos são classificados pelo IBGE (2012) como Floresta Estacional Decidual (FED) e Floresta Estacional Semidecidual (FES). O fragmento de FED está situado em São Miguel do Oeste-SC (26°45'07,3"S; 53°23'53,3"W); e o remanescente de FES em Santa Terezinha de Itaipu-PR (25°29'30,70"S 54°21'30,61"W), sendo este uma Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN), nas proximidades do Parque Nacional do Iguaçu.

Para análise foram utilizadas imagens dos satélites *Landsat 5* e *8*, correspondentes a 4 anos (2009, 2010, 2013 e 2014) para as estações de inverno e verão. Para cada fragmento foram selecionadas 8 imagens, sendo 4 imagens referente ao verão, estação quente (dezembro ou janeiro); e 4 imagens referente ao inverno, estação fria (julho ou agosto).

Após a delimitação do polígono da imagem, foi retirada uma área de 100 metros de borda de cada fragmento, pois desta forma espera-se eliminar o efeito de borda. Foi utilizado o *software* ILWIS 3,3 *academic* (Westen e Farifteh, 1997) para o processamento das imagens e a realização da análise de NDVI. Após a obtenção dos valores de NDVI de cada imagem anualmente, foi calculado um valor médio de NDVI para cada fragmento, para cada estação do ano.

Foi realizada a correção radiométrica nas imagens, para não ocorrer distorções nos dados captados pelos sensores dos satélites (Antunes et al., 2003). A correção radiométrica utilizada neste trabalho seguiu as instruções de Chander et al. (2009), e os valores usados para a correção das bandas do vermelho e infravermelho próximo foram retirados dos arquivos "metadata" que acompanham cada imagem.

Para comparação entre os fragmentos foram utilizados dados climáticos e florísticos. Foram utilizados dados climáticos (temperatura média mensal, radiação global mensal e precipitação média mensal) referentes ao período de 6 anos (2009 a 2014), obtidos com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As informações climáticas utilizadas correspondem a todo período de funcionamento das estações. Estes dados são provenientes de duas estações climáticas automáticas, localizada próximas aos fragmentos, São Miguel do Oeste-SC e Foz do Iguaçu-PR. Estes dados foram representados graficamente e avaliados de forma comparativa.

Para a análise florística foram utilizados levantamentos publicados, previamente, para estes fragmentos (Schneider e Rocha, 2014; Gris 2012; Gris et al. 2014), de onde foram obtidas as listas de espécies presentes, contendo abundância. Schneider e Rocha (2014) registraram 205 indivíduos, distribuídos em 54 espécies para o fragmento de Floresta Estacional Decidual. Gris (2012) e Gris et al. 2014 realizaram um levantamento na RPPN Fazenda Santa Maria, fragmento de Floresta Estacional Semidecidual, registrando 513 indivíduos pertencentes a 73 espécies. Para cada espécie foram obtidas informações sobre a fenologia foliar, sendo classificadas como caducifólias/semicaducifólias ou perenifólias, segundo bibliografia especializada.

3. Resultados e Discussão

A precipitação média anual (correspondente aos anos de 2009 a 2014) foi de 122,5mm para a região onde se localiza o fragmento de Floresta Estacional Semidecidual (FES) e 170,2mm para a região do fragmento de Floresta Estacional Decidual (FED). As chuvas foram bem distribuídas durante todos os meses do ano em ambas as regiões. De acordo com estes dados, pode-se observar um comportamento pluviométrico semelhante em ambas as regiões onde se localizam os fragmentos, sem a presença de estação seca, havendo maiores médias mensais de precipitação na região onde se localiza o fragmento de FED (Figura 1).

Para a região de FES, a maior média de precipitação ocorreu em janeiro, e o segundo maior valor médio em junho. Os menores valores médios de precipitação foram encontrados em agosto e novembro. Já na região de FED, os meses com maiores médias de pluviosidade foram setembro e dezembro e o mês com menor média foi agosto (Figura 1). Nota-se que, mesmo alguns meses apresentando menor pluviosidade durante o ano, estes não são contínuos. Este período curto (um mês) de seca não gera mudanças nos processos fisiológicos das florestas, sendo que o déficit hídrico somente seria gerado por uma seca prolongada (Bullock e Solís-Magallanes, 1990; Rosa et al. 2013).

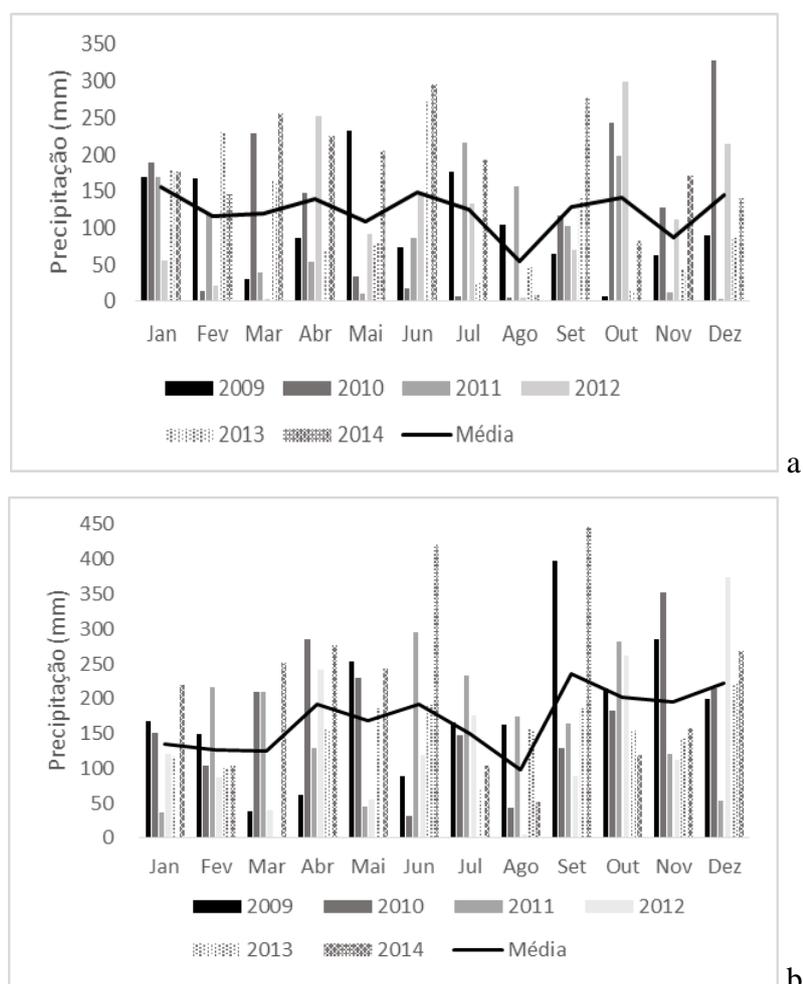


Figura 1: Série temporal da precipitação média mensal registrada na região de Floresta Estacional Semidecidual (a) e da Floresta Estacional Decidual (b). Fonte: INMET.

A média de temperatura mínima mensal para ambas as regiões esteve abaixo de 15°C durante 5 meses do ano (maio, junho, julho, agosto e setembro), sendo os meses mais frios, junho e julho (Figura 2). Os níveis mensais médios de radiação global (KJ/M²) também foram

mais baixos, em ambos os fragmentos, nos meses de maio, junho e julho (Figura 3). A inexistência de uma estação seca, o registro de temperaturas médias abaixo de 15°C e a diminuição da radiação global média reforçam o que é sugerido pela literatura, que na Região Subtropical brasileira, a queda das folhas não é controlada pelo estresse hídrico e sim pela temperatura e fotoperíodo (Athayde et al. 2009; Marques et al. 2004a,b; Marchioretto et al. 2007).

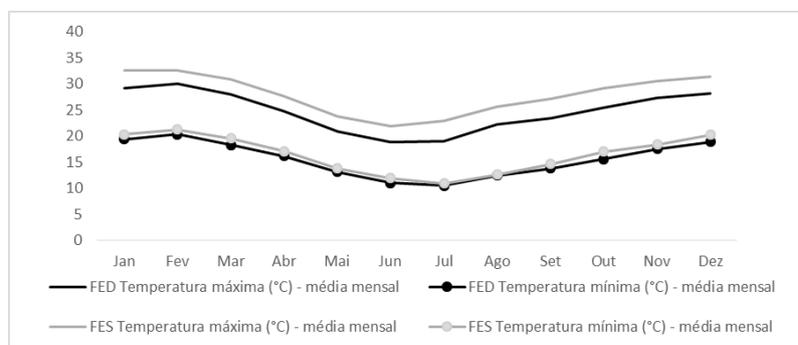


Figura 2. Média dos valores mensais máximos e mínimos de temperatura, registrados entre o período de 2009 a 2014, para a região de Floresta Estacional Semidecidual (FES) e Floresta Estacional Decidual (FED). Fonte: INMET.

O NDVI proporcionou a identificação de diferenças no dossel da floresta, referentes a fenologia foliar, entre os dois fragmentos e entre as diferentes estações do ano no mesmo fragmento. Quando comparada a sazonalidade dos valores médios de NDVI para cada fragmento, os valores para o fragmento da FES variaram entre 0,51 e 0,71 no verão e 0,41 e 0,61 no inverno. Já, no fragmento da FED a diferença nos valores médios de NDVI com a estacionalidade foi muito mais marcante, sendo que os intervalos médios variaram entre 0,66 e 0,91 no verão e 0,31 e 0,66 no inverno (Figura 4).

A variação sazonal dos valores médios de NDVI encontrado em cada fragmento era esperada, pois segundo Rosa et al. (2013), durante os meses frios, estação desfavorável para o desenvolvimento das plantas, parte dos indivíduos das florestas sazonais perdem as folhas, gerando ciclos anuais típicos de NDVI. Estes resultados estão de acordo com trabalhos sobre os padrões fenológicos foliares em florestas subtropicais no Brasil, onde a maior porcentagem de queda foliar foi detectada nos meses de julho, agosto e setembro, coincidindo ou logo após, os meses com menor temperatura e menor comprimento do dia (Athayde et al., 2009; Marchioretto et al., 2007; Andreis et al., 2005; Marques et al. 2004b).

Ambos os fragmentos apresentaram maior frequência relativa de valores médios de NDVI no verão quando comparadas com o inverno. Durante o verão, o fragmento de FED apresentou maior frequência relativa de valores médios de NDVI quando comparado com a mesma estação do fragmento de FES. Já, na estação do inverno o fragmento de FES apresentou maior frequência relativa de valores médios de NDVI quando comparado com a mesma estação do fragmento de FED. Com este resultado, pode-se inferir que o fragmento de FED possui maior quantidade de vegetação fotossintetizante no verão e o fragmento de FES no inverno (Figura 5).

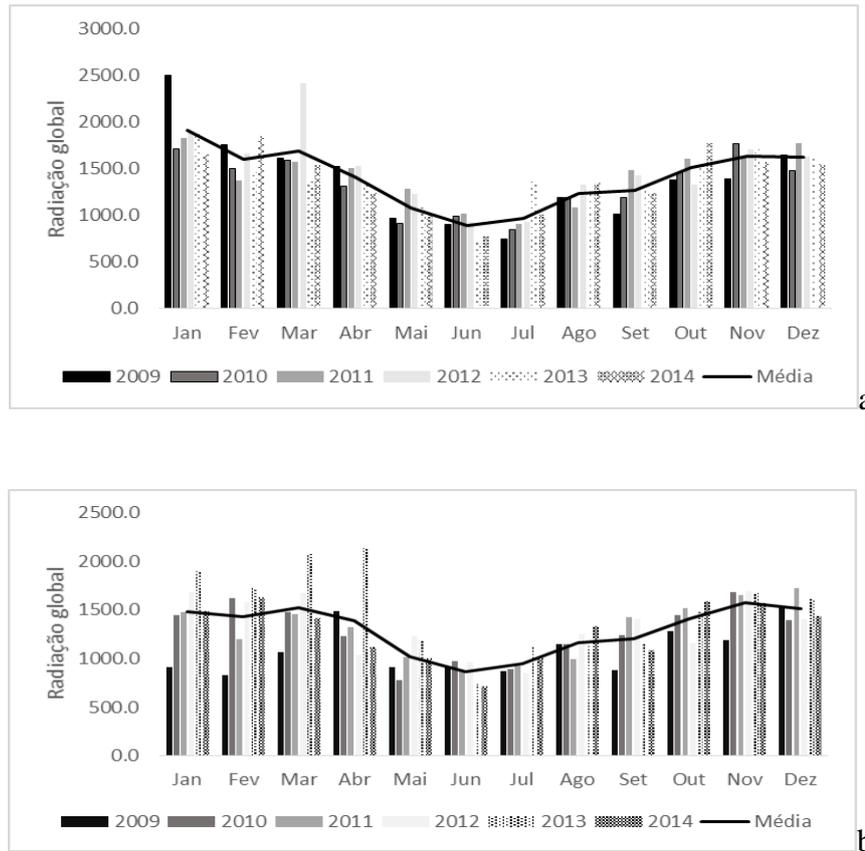


Figura 3: Série temporal da radiação global média mensal registrada na região de Floresta Estacional Semidecidual (a) e da Floresta Estacional Decidual (b). Fonte: INMET.

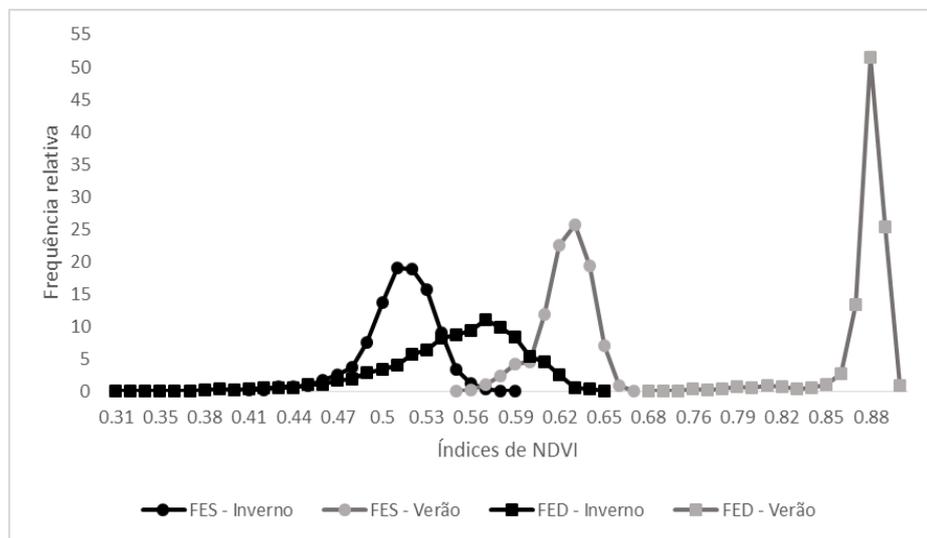


Figura 4: Frequência relativa sazonal dos valores médios de NDVI registrados para a região de Floresta Estacional Semidecidual (FES) e Floresta Estacional Decidual (FED).

Foram encontradas informações sobre fenologia foliar para 63 espécies, contendo 468 indivíduos, levantados por Gris (2012) e Gris et al. 2014 na FES, sendo que 45,3% dos indivíduos podem ser considerados semicaducifólios/caducifólios. Para a FED, foram encontradas informações de fenologia foliar para 48 espécies, contendo 198 indivíduos, registrados por Schneider e Rocha (2014), sendo que 63,6% dos indivíduos podem ser

considerados como semicaducifólios/caducifólios. Resultados semelhantes para uma FED subtropical foram encontrados por Athayde et al. (2009), que registrou 64% das espécies semicaducifólios/caducifólios e por Andreis et al. (2005), que observou que no inverno a quantidade total de folhas diminuía até 35%.

Os valores de indivíduos semicaducifólios/caducifólios registrados e o maior contraste encontrado entre a frequência relativa dos valores médios de NDVI no verão e inverno no fragmento de FED quando comparado com o fragmento de FES estão de acordo com os conceitos sugeridos no sistema de classificação da vegetação proposta por Oliveira-Filho (2009), que nas Florestas Estacionais Semidecíduais, 30 a 60% da massa foliar seca é liberada na estação fria ou seca, e nas Florestas Estacionais Deciduais, mais de 60% dos indivíduos perdem suas folhas nas estações frias e/ou secas.

4. Conclusões

A partir deste trabalho foi possível constatar que não existe estação seca para influenciar na queda das folhas na região subtropical brasileira e possivelmente o frio e comprimento do dia são os fatores que condicionam a perda de folhas nas florestas estacionais. Foi encontrada diferença nos índices de NDVI com a estacionalidade, verão e inverno, em cada fragmento estudado, sendo esta diferença muito mais marcante no fragmento de FED, que também apresentou maior porcentagem de indivíduos semicaducifólios/caducifólios. Quando comparado com trabalhos de fenologia foliar, constata-se que o NDVI pode ser considerado uma boa ferramenta de análise indireta da dinâmica florestal.

Com base neste estudo, o NDVI se mostrou uma ferramenta útil para caracterizar a dinâmica florestal e discriminar FES e FED, sendo os meses de julho e agosto bons indicadores para demonstrar a deciduidade foliar, causada logo após o maior período de frio e menor fotoperíodo, não sendo necessário levar em consideração a precipitação.

Agradecimentos

Agradecemos a Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA) por contribuir para que esse trabalho fosse realizado e ao CNPq (Processo n ° 446387/2014-2) pelo financiamento do projeto.

Referências Bibliográficas

- Andreis, C.; Longhi, S.J.; Brun, E.J.; Wojciechowski, J.C.; Machado, A.A.; Vaccaro, S.; Cassal, C.Z. Estudo fenológico em três fases sucessionais de uma Floresta Estacional Decidua no município de Santa Tereza, RS. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 1, p. 55-63. 2005.
- Antunes, M.A.H.; Freire, R.M.B.; Botelho, A.S.; Toniolli, L.H. 2016. Correções atmosféricas de imagens de satélites utilizando o modelo 6s. Disponível em: <www.researchgate.net> Acesso em: 11.Mar.2016.
- Athayde, E.A.; Giehl, E.L.H.; Budke, J.C.; Gesing, J.P.; Eisinger, S.M. Fenologia de espécies arbóreas em uma floresta ribeirinha em Santa Maria, sul do Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v.7, n.1, p.43-51. 2009.
- Bullock, S.H.; Solís-Magallanes, J.A. Phenology of canopy trees of a Tropical Deciduous Forest in Mexico. **Biotropica**, v. 22, p. 22-35. 1990.
- Gris, D. **Riqueza e similaridade da vegetação arbórea do Corredor de Biodiversidade Santa Maria, PR**. 2012. 56 p. Dissertação (Mestrado em Manejo e Conservação de Recursos Naturais) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel. 2012.
- Chander, G.; Markham, B.L.; Helder, D.L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, p. 893-903. 2009.
- Gris, D. Temponi, L.G.; Damasceno Jr., G.A. Structure and floristic diversity of remnant semideciduous forest under varying levels of disturbance. **Acta Botanica Brasilica**, v. 28, n.4, p. 569-576. 2014.
- IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Série Manuais Técnicos em Geociências 1, 2ª edição revista e ampliada. IBGE: Rio de Janeiro. 2012.
- Marchioretto, M.A., Mauhs, J.; Budke, J.C. Fenologia de espécies arbóreas zoocóricas em uma floresta psamófila no sul do Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v.21, p. 193-201. 2007.

- Marques, M.C.M.; Oliveira, P.E.A.M. Fenologia de espécies do dossel e do sub-bosque de duas Florestas de Restinga na Ilha do Mel, sul do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 27, p. 713-723. 2004a.
- Marques, M.C.M., Roper, J.J.; Salvalaggio, P.B. Phenological patterns among plant life-forms in a subtropical forest in southern Brazil. **Plant Ecology**, v. 173, p. 203-213. 2004b.
- Morellato, L.P.C., Rodrigues, R.R., Leitão-Filho, H.F.; Joly, C.A. Estudo fenológico comparativo de espécies arbóreas de floresta de altitude e floresta mesófila na Serra do Japi, Jundiá, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, v.12, p. 85-98. 1989.
- Morellato, L.P.C.; Leitão-Filho, H.F. Padrões de frutificação e dispersão na Serra do Japi. In: Morellato, L.P.C. (Org.). **História natural da Serra do Japi: ecologia e preservação de uma área florestal no Sudeste do Brasil**. Campinas: Editora da Unicamp/FAPESP. 1992. Pp: 112-140.
- Morellato, L.P.C. As estações do ano na floresta. In: MORELLATO, L. P. C.; Leitão-Filho, H.F (Orgs.). **Ecologia e preservação de uma floresta tropical urbana**. Campinas: Editora da Unicamp. 1995. Pp: 37-41.
- Oliveira-Filho, A.T. Classificação das fitofisionomias da América do Sul: cisandina tropical e subtropical: proposta de um novo sistema – prático e flexível – ou uma injeção a mais de caos? **Rodriguésia**, p. 237-258. 2009.
- Ponzoni, F.J.; Shimabukuro, Y.E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos-SP: Parêntese, 2009.
- Rosa, R. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, v.16, p. 81-90. 2005.
- Rosa, P.A.; Breunig, F.M.; Balbinot, R.; Galvão, L.S. Dinâmica da floresta do Parque Estadual do Turvo com índices de vegetação. **Floresta e ambiente**, v. 20, n. 4, p. 487-499. 2013
- Schneider, G.; Rocha, F.S. Levantamento florístico e fitossociológico do componente arbóreo de um fragmento de Floresta Estacional Decidual em São Miguel do Oeste, Santa Catarina. **Biotemas**, v. 27, n. 2, 43-55. 2014.
- Westen, C.; Farifteh, J. **ILWIS-Integrated Land and Water Information System**. User's Guide. Enschede: ITC-International Institute for Aerospace Survey & Earth Sciences. 1997.