

Uso do índice MPRI na avaliação de processos de Restauração Florestal (RF) utilizando sensor RGB a bordo de VANT quadricóptero

Rafael Walter de Albuquerque¹
Marcelo Oliveira da Costa²
Manuel Eduardo Ferreira¹
Lúcio André de Castro Jorge³
Lucas Henrique Sarracini³
Edegar de Oliveira Rosa²

¹ Universidade Federal de Goiás - UFG
Instituto de Estudos Sócioambientais - IESA
Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento - LAPIG
Campus II, Cx. Postal 131, CEP 74001-970, Goiânia - GO, Brasil
{r.w.albuquerque, mferreira.geo}@gmail.com

² World Wildlife Fund – WWF Brasil
Superintendência de Conservação
SGCV, Lote 15, Conjunto C, Ed. Jade Office, Salas 319 e 421 – Brasília – Brasil
{marcelo, edegaroliveira}@wwf.org.br

³ Embrapa Instrumentação Agropecuária / Labimagem
Rua XV de Novembro, 1452 – São Carlos – Brasil
lucio.jorge@embrapa.br; lucas.sarracini@gmail.com

Abstract. Forest Restoration (FR) processes demand proper monitoring, traditionally performed by technicians who do specific inspections on fieldwork. As an alternative to the traditional fieldwork inspection methodology, satellite images have been used to evaluate FR processes. In this context, Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) also emerge as an alternative to satellite images usage on FR monitoring, once they provide aerial images only on the area of interest, topographic data, ortomosaics without clouds and instantaneous temporal resolution. Nevertheless, many UAV models have high acquisition cost, suggesting that more studies should be done to evaluate and improve the information quality provided by low cost UAVs. Thus, this work aims to evaluate low cost UAVs' potential on monitoring the quality of FR processes. To reach this objective, MPRI index was used and applied to three different FR quality degrees: Unsuccessful FR, Successful FR and Preserved Vegetation, which is a reference for FR processes. MPRI index indicated that Unsuccessful FR, Successful FR and Preserved Vegetation respectively had 51%, 70% and 86% of their total area covered by healthy vegetation. Such values were considered consistent and showed good potential on low cost UAV usage for FR monitoring. Future work should then study statistic procedures that define numerical values capable of labelling the quality of FR processes on a specific Brazilian biome.

Palavras-chave: Unmanned Aerial Vehicle, Drone, MPRI, Forest Restoration, Veículo Aéreo Não Tripulado, Drone, MPRI, Restauração Florestal.

1. Introdução

Empreendimentos que geram impacto ambiental a ponto de alterar a capacidade de resiliência natural do meio ambiente alterado ou em áreas legalmente previstas para a preservação ambiental requerem a implementação de processos de Restauração Florestal (RF) (Aronson, 2011). A importância de processos de RF é tanta que o Brasil, em 2015, firmou no Pacto de Paris o compromisso de recuperar cerca de 12 milhões de hectares de florestas.

Os processos de RF exigem monitoramento adequado, tradicionalmente realizados por técnicos que se deslocam ao local para fazer inspeção (Martins, 2012). Como alternativa à tradicional metodologia de inspeção em campo, imagens de satélite já foram usadas para avaliar processos de RF, como nos trabalhos de Miranda et al. (2002) e Christakopoulos et al.

(2011), os quais usaram esta geotecnologia para fazer análise multi-temporal com índices de vegetação, visando estimar a biomassa da vegetação, obtendo assim um indicativo do sucesso da RF.

Imagens de satélite comerciais (com alta resolução espacial) só são comercializadas, em geral, a partir de 2.500 hectares (ha) a 10.000 ha, aumentando significativamente seu custo de aquisição. No entanto, no Brasil, a maior parte do compromisso de restauração envolve propriedades rurais, sendo 86% dessas com área menor que 100 hectares (DIEESE, 2011). Considerando que a legislação brasileira exige, em média, 20% de áreas ambientalmente preservadas nas propriedades rurais, urge uma necessidade de mapear áreas menores para avaliar processos de RF.

Nesse contexto, os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT), popularmente conhecidos como *drones*, surgem como uma boa alternativa às imagens de satélite (Aasen et al., 2015; d'Oleire-Oltmanns et al., 2012). Além de sobrevoarem somente a área de interesse, os VANT vêm ganhando notoriedade porque geram imagens de maior resolução espacial, em conjunto com informações topográficas, permitindo, dentre outras, estimar a biomassa vegetal (Zahawi et al., 2015). Além disso, as imagens geradas por VANT não são contaminadas por nuvens e nem possuem carência de resolução temporal (Berni et al., 2009).

Atualmente, diversos são os modelos de VANT e sensores acoplados aos mesmos, com uma ampla gama de equipamentos e preços. Alguns modelos de VANT possuem preços tão elevados que o custo de aquisição poderia inviabilizar sua utilização, pois nestes casos metodologias tradicionais podem ser mais compensatórias. Tal fato torna oportuno o estudo do potencial de aplicação de modelos de menor custo, que no caso deste trabalho são voltados à avaliação de processos de RF. Os VANT de menor custo carecem normalmente de sensores com alta resolução radiométrica (devido à sua baixa capacidade de carga, ou *payload*), o que sugere a realização de estudos para averiguar a possibilidade de serem usados na avaliação de processos de RF.

Neste contexto, a presente pesquisa tem por objetivo abordar a aplicação de um conjunto de VANT e sensores de menor custo na avaliação de processos de RF, empregando-se para tal um VANT modelo quadricóptero e um sensor RGB. A métrica nas áreas de RF a ser avaliada é o índice MPRI (Modified Photochemical Reflectance Index), com bom potencial para monitorar o padrão de vegetação nas bandas do espectro visível (Linhares, 2016).

2. Materiais e Métodos

2.1. Área de Estudo e Desenho experimental

O projeto de Restauração Florestal (RF) avaliado nesta pesquisa está localizado no município de Lençóis Paulista - SP, apoiado pelo programa Águas Brasil (bbaguabrasil.com.br); o mesmo foi implantado em 2009, com extensão de aproximadamente 1 hectare. A Figura 1 ilustra a localização dessa área no contexto nacional e estadual.

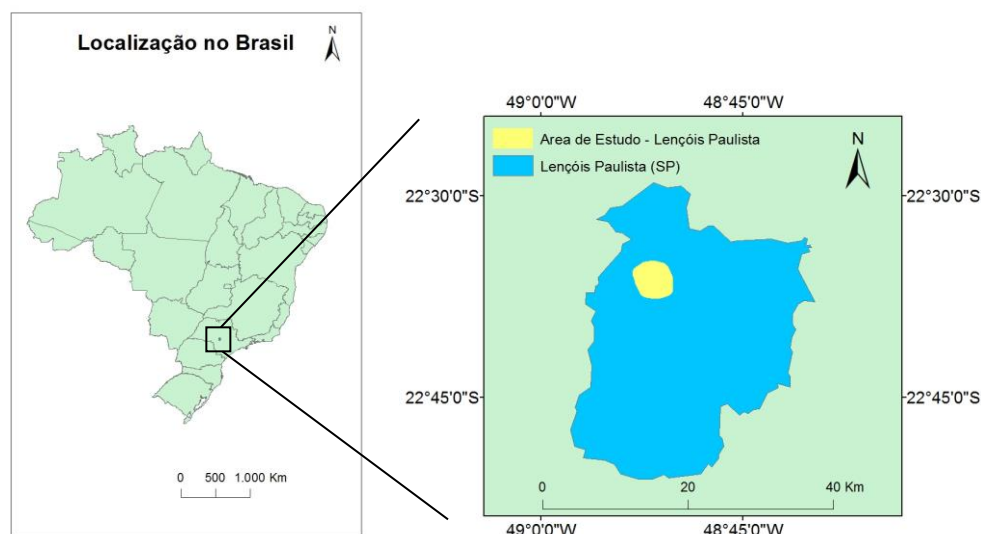


Figura 1. Localização do projeto de RF no município de Lençóis Paulista (SP).

2.2. Equipamentos

Considerando que este trabalho visa avaliar a qualidade de dados obtidos por VANT de custo relativamente baixo e de fácil logística, foi utilizado um modelo de asa-rotativa (multirotor quadricóptero), modelo Phantom 3 Professional da fabricante chinesa DJI (Figura 2), carregando consigo um sensor RGB Sony EXMOR 1/2.3" de 12 MP. Mais informações sobre esse modelo de VANT podem ser conferidas em: <http://doctordrone.com.br/dji-phantom-3/>.

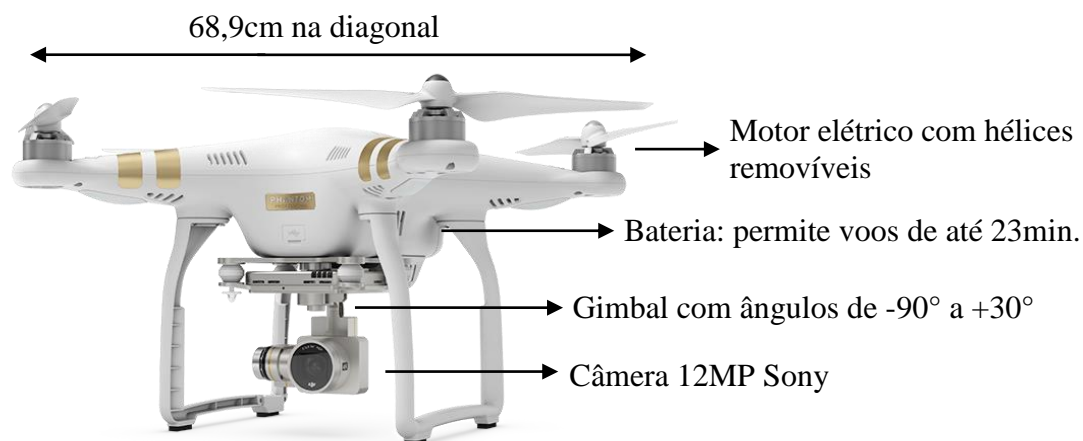


Figura 2. VANT quadricóptero Phantom 3 Professional (DJI) utilizado neste estudo.

A programação do voo e o processamento do mosaico foram feitos nos softwares DJI GO e Pix4D Capture, para controle aéreo e plano de voo, respectivamente, e Pix4D Mapper Pro, específico para extração de Modelo Digital de Superfície (MDS) e de mosaico ortorretificado. O processo de classificação de imagem foi realizado no software ENVI, enquanto os layouts foram gerados nos SIGs ArcGIS e QGIS. Todas as licenças dos softwares aqui mencionados são mantidas pelo Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG), da Universidade Federal de Goiás.

2.3. Procedimentos de análise

O voo foi realizado a uma altura de 120 metros, gerando um *Ground Sample Distance* (GSD) de 4 centímetros, com percentual de sobreposição das fotos longitudinal e lateral de 70%. Mais detalhes sobre definição de GSD podem ser conferidos em Alves Jr et al. (2015), enquanto que as implicações nas taxas de sobreposição das imagens aéreas podem ser verificadas em Turner et al. (2012).

Finalizado o voo e obtido o ortomosaico, foram mapeadas as áreas de restauração florestal, classificadas como mal e bem-sucedidas através de fotointerpretação e informações obtidas com técnicos de campo na área de estudo. A característica qualitativa da fotointerpretação (Moreira, 1997) pôde ser confirmada com os resultados do índice de vegetação MPRI (Linhares et al., 2013; Linhares, 2016); essa avaliação agora quantitativa permitiu checar se a alta resolução da imagem é capaz de visualmente transmitir noções de qualidade do processo de RF ao analista.

Também foi mapeada por fotointerpretação a área de remanescente de vegetação nativa, que é considerada como uma área referência para projetos de RF. Afinal, o objetivo de toda RF é atingir condições de ecossistema próximas às condições originais presentes antes da intervenção antrópica (Aronson, 2011).

Mapeadas as áreas de RF Referência, RF Bem-sucedida e RF Mal-sucedida, foi gerada uma análise da vegetação através do índice MPRI, descrito em Linhares (2016), e representado pela Equação (1).

$$MPRI = (G - R) / (G + R) \quad (1)$$

Segundo este autor, o referido índice de vegetação vem mostrando bom desempenho quando não se dispõe de bandas tradicionalmente usadas em análises de vegetação, como a do infravermelho próximo (*Near Infra-red*, ou NIR). Após o cálculo do MPRI, foi aplicado o filtro mediana 5x5 do software ENVI, visando amenizar a elevada variabilidade espacial na área (reforçada pela resolução espacial centimétrica do ortomosaico).

Obtidos os valores do MPRI para toda a área de estudo, verificou-se o percentual de valores considerados indicativos de vegetação saudável nas áreas de RF Referência, RF Bem-sucedida e RF Mal-sucedida. Os percentuais obtidos para cada área permitiram avaliar se o MPRI é um índice adequado na avaliação da qualidade destes processos de RF, onde espera-se uma ordem crescente deste percentual para RF Mal-sucedida, RF Bem-sucedida e RF Referência. Porém, o objetivo deste trabalho é uma análise inicial sobre a potencial de uso do MPRI em processos de RF, que se confirmado irá requerer análises estatísticas no futuro para se gerar padrões de informação com maior grau de confiabilidade.

Analisados os valores obtidos do índice de vegetação MPRI, verificou-se também o quão próxima uma área de RF está de uma área coberta por remanescente de vegetação. Ainda, os valores quantitativos do MPRI nas áreas de RF Referência, RF Bem-sucedida e RF Mal-sucedida também permitiram avaliar se a fotointerpretação separou adequadamente as áreas de RF consideradas bem-sucedidas ou mal-sucedidas.

3. Resultados e discussões

O ortomosaico obtido para a área de estudo, nas condições descritas na seção 2 deste trabalho, é ilustrado na Figura 3.



Figura 3. Mosaico obtido após processamento de imagens obtidas por sensor RGB a bordo do VANT.

A partir do mosaico ilustrado na Figura 3, foram mapeadas as áreas de RF Bem-sucedida e RF Mal-sucedida, bem como a área de RF Referência. Esses mapeamentos são ilustrados na Figura 4 abaixo.



Figura 4. Áreas de RF Bem-sucedida, RF Mal-sucedida e RF Referência na área de estudo.

Uma vez mapeadas as áreas de RF, foi então gerado o índice MPRI para a área de estudo. A Figura 5 ilustra a indicação de cobertura por vegetação saudável nas áreas de RF Bem-sucedida, RF Mal-sucedida e RF Referência.

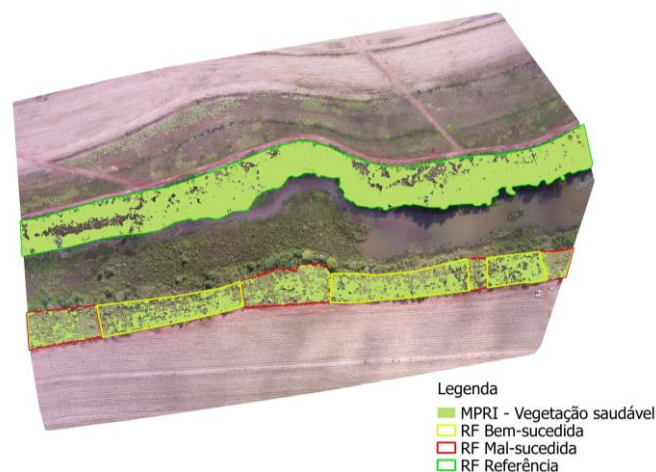


Figura 5. Indicação de locais cobertos por vegetação saudável, segundo o índice MPRI.

A Tabela 1 mostra os valores de cobertura de vegetação saudável indicados pelo índice MPRI e que foram visualizados na Figura 5. É possível notar ordem crescente nos valores sugeridos, conforme o grau de qualidade dos processos de RF.

Tabela 1. Relação da área total e da área coberta por vegetação saudável segundo o índice MPRI, com percentual coberto por vegetação saudável segundo o MPRI para as áreas de RF Referência, RF Bem-sucedida e RF Mal-sucedida.

Categoria de RF	Área Total	Área MPRI	Percentual Vegetação Saudável
RF Referência	1,55	1,33	0,86
RF Bem-sucedida	0,56	0,39	0,70
RF Mal-sucedida	0,40	0,21	0,51

Os valores da Tabela 1 sugerem que praticamente toda a área de remanescente de vegetação, que é uma referência a ser atingida em processos de RF, encontra-se coberta por vegetação saudável. Este valor pode ser considerado uma boa estimativa da área, afinal remanescentes de vegetação podem apresentar pequenas clareiras que são naturais dos processos ecossistêmicos (Tabarelli e Mantovani, 1996).

A área de RF Bem-sucedida apresentou um valor intermediário entre a RF Referência e a RF Mal-sucedida. Tal valor converge com o esperado de um processo de RF, afinal, quanto maior o sucesso da RF maior o percentual da área coberta por vegetação saudável. Em um processo de RF, inicialmente o percentual coberto pelo MPRI seria nulo numa área sem vegetação, e à medida que as árvores crescem, o percentual coberto pelo MPRI aumenta.

Diante de certa coerência dos dados apresentados pelo MPRI, notou-se um trecho de maior densidade vegetal em uma das áreas fotointerpretadas como RF Mal-sucedida, que é a segunda da esquerda para a direita na Figura 5. Essa constatação sugere que essa área seja incorporada na área de RF Bem-sucedida à sua direita, afinal a fotointerpretação possui elementos subjetivos que são individuais para cada analista. Se esse trecho fosse incorporado à área de RF Bem-sucedida, certamente o percentual de RF Mal-sucedida coberto por vegetação saudável sofreria redução em relação ao valor mostrado na Tabela 1.

Trabalhos futuros deverão acompanhar áreas de RF bem-sucedidas para checar se chegarão a apresentar valores mais próximos aos obtidos para a RF Referência. Como o plantio possuía, no momento de realização do voo, 7 anos de idade; voos em outras áreas de RF com mesmo tempo de implementação deverão futuramente ser realizados. Isso possibilitará a obtenção parâmetros estatísticos que analisarão com maior confiabilidade o grau de sucesso da RF.

O percentual do MPRI nas áreas de RF Mal-sucedida foi o menor encontrado, novamente sugerindo que esse índice pode ser utilizado para avaliar o grau de sucesso de uma RF. Apesar do foco deste trabalho ser uma verificação inicial do potencial do uso do VANT e MPRI na avaliação de processos de RF, foi identificada a necessidade de futuramente sobrevoar outras áreas de RF para se estimar o grau de sucesso do processo através de parâmetros estatísticos. Possivelmente tais parâmetros serão capazes de definir com maior confiabilidade se os valores do MPRI indicam se a RF está bem ou mal-sucedida.

Os resultados obtidos pelo índice MPRI sugerem, portanto, que um equipamento com baixo custo de aquisição pode gerar informações relevantes aos profissionais envolvidos com projetos de RF. Um novo potencial de aplicação de VANT de menor custo se abre no país. Além de mapas com alta qualidade visual, ausência de nuvens, informações topográficas, resolução temporal instantânea e geração de vídeos, o quadricóptero mostrou nova possibilidade de aplicação, que é voltada a políticas ambientais.

Os resultados sugeriram que projetos de RF poderão contar com uma alternativa a ser usada. Projetos como o Acordo de Paris, compromisso firmado pelo Brasil em recuperar a vegetação de 12 milhões de hectares, poderão ser geridos por ferramentas eficientes e de baixo custo. Logo, tanto os responsáveis pela implementação do RF quanto os responsáveis pela fiscalização do RF poderão imagear a área com um equipamento de baixo custo e gerar análises com base no índice MPRI para avaliar a qualidade de processos de RF.

4. Conclusões

O uso de imagens aéreas obtidas por VANT de baixo custo mostraram-se aptas a apresentar valores que indicam o grau de sucesso de processos de RF através do índice MPRI. Além de um complemento aos processos tradicionais de inspeção em campo, um VANT de baixo custo como o Phantom 3 (ou de seu sucessor, Phantom 4, ambos abaixo de US\$ 2500,00) mostra-se como uma alternativa viável também à tradicional tecnologia de imageamento oferecida por satélites ou levantamentos aéreos tripulados. Por sua vez, o VANT de baixo custo apresenta vantagens associadas à alta resolução espacial, geração de informações hipsométricas e imageamento apenas da área em processo de RF, além da capacidade de geração de filmagens em 4 K (ou Ultra High Definition).

Os valores apresentados pelo MPRI apresentaram coerência quanto ao percentual de cobertura de vegetação vigorosa, conforme o grau de sucesso da RF, sugerindo mais um potencial de aplicação dos VANT de menor custo. Uma vez verificado o potencial do uso do índice MPRI aliado ao uso de equipamentos de baixo custo, trabalhos futuros deverão estudar parâmetros estatísticos na definição de valores que definem se uma RF é classificada como bem-sucedida ou mal-sucedida, conferindo assim maior grau de confiabilidade no processo de avaliação de RF.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao WWF-Brasil pela viabilização desta pesquisa, no contexto da rede Ecodrones, ao apoio da Embrapa Instrumentação Agropecuária e da Universidade Federal de Goiás/LAPIG na disponibilização de equipamentos e softwares, à Pix4D pela cooperação técnica com o LAPIG-UFG, à ASCANA, pelo apoio nas atividades de campo, à Fundação Banco do Brasil no apoio às iniciativas de restauração florestal. O terceiro autor é bolsista de produtividade do CNPq.

Referências bibliográficas

Aasen, H.; Burkart, A.; Bolten, A.; Bareth, G. Generating 3D hyperspectral information with lightweight UAV snapshot cameras for vegetation monitoring: From camera calibration to quality assurance. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing** v. 108, p. 245-259, 2015.

Alves Júnior, L. R.; Côrtes, J. B. R.; Silva, J. R.; Ferreira, M. E. Validação de ortomosaicos e modelos digitais de terreno utilizando fotografias obtidas com câmera digital não métrica acoplada a um vant. **Revista Brasileira de Cartografia** v. 67, n. 7, p. 1453-1466, 2015.

Aronson, J.; Durigan, G.; Brancalion, P.H.S. Conceitos e definições correlatos à ciência e à prática da restauração ecológica. **Instituto Florestal: Série Registros** v. 44, p. 1-38, 2011. Disponível em: <<http://www.lerf.esalq.usp.br/divulgacao/recomendados/artigos/aronson2011.pdf>> Acesso em 31 out. 2016.

Berni, J. A. J.; P. J. Zarco-Tejada, L. Suarez and E. Fereres. Thermal and Narrowband Multispectral Remote Sensing for Vegetation Monitoring from an Unmanned Aerial Vehicle. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing** v. 47, n. 3, p. 722-738, 2009.

Christakopoulos, P.; Paronis, D.; Scarvelis, M.; Kalabokides, K.; Hatzopoulos, I. Comparative evaluation of restoration practices applied to mediterranean forest ecosystems using remote sensing and gis: natural regeneration versus reforestation. In: **Advances in Remote Sensing and GIS applications in Forest Fire Management From local to global assessments**. JRC Scientific and Technical Reports. p. 231-235. Disponível em:

<http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/42970133/Determination_of_the_Forest_Fire_Potenti20160223-5167-1fousvv.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAJ56TQJRTWSMTNPEA&Expires=1467053122&Signature=vkWH7%2BADgp2MdPD5Ke5T4fVGQ%2Fc%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DDetermination_of_the_Forest_Fire_Potenti.pdf#page=231> Acesso em 31 out. 2016.

d'Oleire-Oltmanns, S.; Marzloff, I.; Peter, K. D.; Ries, J. B. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Monitoring Soil Erosion in Morocco. **Remote Sens.** v. 4, p. 3390-3416, 2012.

DIEESE. **Estatísticas do meio rural 2010-2011**. 4.ed. Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos; Núcleo de Estudos Agrários e Desenvolvimento Rural; Ministério do Desenvolvimento Agrário. -- São Paulo: DIEESE; NEAD; MDA, 2011. 292p. ISBN 978-85-60548-84-2 (MDA). Disponível em: <http://bibspi.planejamento.gov.br/bitstream/handle/iditem/707/Estatisticas_Meio_Rural_2011.pdf?sequence=3> Acesso em 31 out. 2016.

Linhares, M. M. A. **Uso de Veículo Aéreo Não Tripulado Na Determinação De Índice De Vegetação Em Área De Pastagem Em Nova Mutum-MT**. Dissertação de Mestrado. 2016. 119p - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016. Disponível em <<http://repositorio.bc.ufg.br/tede/bitstream/tede/5956/5/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20Mayklvns%20Marcos%20de%20Almeida%20Linhares%20-%202016.pdf>> Acesso em 31 out. 2016.

Linhares, M. M.; Rocha, n. c. c.; Amaral, B. A. S. Análise do índice MPRI como indicador vegetativo através da correlação do mesmo com o índice NDVI. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. Artigos, p. 8254-8260. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00066-9. Disponível em: < <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p1190.pdf> >. Acesso em: 31 out. 2016.

Martins, S. V. **Restauração Ecológica de Ecossistemas Degradados**. Viçosa, MG : Ed. UFV, 2012, 293p. ISBN 978-85-7269-421-6

Miranda, E. E.; Guimarães, M.; Miranda, J. R. **Monitoramento do uso e cobertura das terras na região de Barrinhas, Jaboticabal e Sertãozinho**. Campinas: Embrapa – Relatórios Técnicos, 2002, 32 p. Disponível em <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/17132/1/1265.pdf>> Acesso em 31 out. 2016.

Moreira, M. A. **Déficit hídrico na cultura do trigo e o impacto na resposta espectral e em parâmetros agrônômicos**. 1997. 142p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1997.

Tabarelli, M.; Mantovani, W. Colonização de clareiras naturais na floresta atlântica no sudeste do Brasil. **Rev. bras. Bot.** v. 20 n. 1, 1997.

Turner, D.; Lucieer, A.; Watson, C. An Automated Technique for Generating Georectified Mosaics from Ultra-High Resolution Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery, Based on Structure from Motion (SfM) Point Clouds. **Remote Sensing** 2012, v. 4, n. 5, p. 1392-1410; doi:10.3390/rs4051392. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2072-4292/4/5/1392/htm>>, Acesso em 31 out. 2016.

Zahawi, R. A.; Dandois, J. P.; Holl, K. D.; Nadwodny, D.; Reid, J. L.; Ellis, E. C. Using lightweight unmanned aerial vehicles to monitor tropical forest recovery. **Biological Conservation**. v. 186, p. 287–295, 2015. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320715001421>>, Acesso em 31 out. 2016.