

Utilização da Análise de Imagens Orientada a Objetos para classificação de imagens de monitoramento da fenologia foliar na Amazônia Central

Julia Valentim Tavares¹
Raquel Fernandes de Araújo¹
Suelen Jorge Felizatto Marostica¹
Thales Korting²
Leila Maria Garcia Fonseca²
Dalton Morrison Valeriano²

¹Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA
Caixa Postal 69060-001 – Manaus – AM, Brasil
{tavares.juliav, veloziacea, sfeliza}@gmail.com

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{tkorting, leila, dalton}@dsr.inpe.br

Abstract. The seasonal leaf phenology of tropical forests has recently attracted the attention of researchers. This has been shown to be an excellent indicator of the effects of climate change, including the global warming trend. Unlike temperate forests, leaf phenology studies from fixed towers are just beginning in tropical forests. Cameras with bands only in the visible spectrum are best able to monitor subtle changes in leaf cover by detecting the amount of exposed woody branches in each image. This study tests five different combinations of original and transformed bands, and uses Object-Oriented Analysis to obtain the best classification. The objective was to measure the area occupied by illuminated branches in a single image of Central Amazon forest canopy, obtained near local noon under diffuse solar illumination (cloudy sky). Bands were extracted from the image using Spring version 5.1.5 software. Region-growing segmentation and a supervised classification using the decision tree algorithm release C4.5, were performed in the software Terraview 4.0.0 and the GeoDMA plugin, respectively. The best accuracy in a confusion matrix was obtained with a single transformed band -- the second principle component of the three visible bands -- to which we applied a 2% linear saturation prior to segmentation and classification.

Palavras-chave: Rainforest, Digital camera, GeoDMA. Phenological monitoring, Image analysis

1. Introdução

A fenologia foliar de florestas tropicais recentemente atraiu a atenção de pesquisadores porque esses eventos de ciclo de vida são importantes indicadores dos efeitos das mudanças climáticas, especialmente frente à tendência ao aquecimento global (Fitter e Fitter, 2002; Badeck et al., 2004; Chuine et al., 2004; White et al., 1997). Diversos são os modelos onde tenta-se prever as respostas ecossistêmicas às mudanças climáticas globais (Cox et al., 2004; Salazar et al., 2007; Huntingford e Lowe, 2007; Malhi et al., 2008). Segundo alguns destes modelos, o aumento da temperatura global ocasionará um aumento no número de eventos de seca extrema e diminuição da pluviosidade total anual.

Nesse sentido, compreender de que modo as florestas da Amazônia se comportam durante a estação seca é relevante na tentativa de estimar a resiliência dessas florestas diante de secas mais severas no futuro. Se diante de estações normais de seca, as florestas Amazônicas tornarem-se decíduas, acreditamos que as mesmas serão menos resilientes no contexto das previsões dos modelos de aquecimento global. Contudo, caso o dossel florestal apresente incremento de verde (*greenup*) na estação seca como sugerido por estudos de sensoriamento remoto (Huete et al., 2006; Saleska et al., 2007), acarretará em uma perspectiva mais positivista quanto aos modelos de mudança climática.

A abordagem através de câmeras digitais instaladas em torres oferece um meio barato de acompanhar as mudanças fenológicas quantitativas do dossel, de obtenção de dados de forma contínua e em alta resolução temporal (Richardson et al., 2007; Ahrends et al., 2009). Em florestas temperadas o dossel perde todas as folhas no inverno (Richardson et al., 2007; Richardson et al., 2009; Ahrends et al., 2009; Benton, 2009). Trata-se, então de uma mudança maciça, detectável mais facilmente quando comparada às modificações ocorridas nos dosséis de florestas tropicais. Estudos sobre a fenologia foliar em torres de plataforma ainda são incipientes em florestas tropicais. Na Amazônia Central, foi realizado um estudo sobre a fenologia foliar com uma câmera com resolução espectral apenas na região do visível (Marostica, 2011). Neste, foram analisados quatro meses de dados com imagens obtidas a partir de Setembro de 2010. As mudanças na fração verde do dossel foram sutis, com pico de incremento de folhas novas de 1,2%.

Com isso, o referido estudo propõe que para análise da fenologia foliar em florestas tropicais, a utilização de imagens apenas no espectro do visível é efetiva desde que seja acompanhada de avaliação da fração madeira. Essa é dada pela porcentagem da imagem ocupada por galhos expostos. Tendo em vista o exposto, o presente estudo tem por objetivo testar em imagens com diferentes processamentos a Análise de Imagens Orientada a Objetos (do inglês Object-Based Image Analysis – OBIA) visando obter uma melhor classificação dos galhos iluminados em imagens de monitoramento da fenologia foliar na Amazônia Central.

2. Material e Métodos

2.1 Área de Estudo

Analisaremos imagens obtidas mediante monitoramento intra-anual da fenologia foliar do dossel da floresta através de uma câmera de vídeo Stardot, modelo Netcam XL 3MP com bandas apenas no espectro do visível, instalada em uma torre de plataforma com altura de 53m na Reserva Biológica do Rio Cuieiras, a 60 km de Manaus, AM. A câmera foi fixada no topo da Torre K-34 (2.60907 deg S, 60.20913 deg W), a 54m acima da superfície, seu ângulo de visada foi centrado em 32° de depressão apontando para uma área de platô na direção sul, perpendicular ao trânsito solar. As imagens obtidas pela câmera cobrem 66° horizontalmente e 57° verticalmente, enquadrando o dossel da floresta sem incluir área de céu na imagem (MAROSTICA, 2011). A resolução utilizada foi a máxima disponível sem interpolação (1024 x 768 pixels) e lente varifocal zoom - grande angular (LEN-MV4510CS). Foi empregada a exposição automática, com abertura do diafragma fixa e pequena e com a compensação de cores desligada. As imagens multiespectrais têm resolução radiométrica de 8 bits em cada canal.

2.2 Coleta de dados

A Mineração de dados (*Data Mining*) consiste da busca, automática ou semi automática, de grande quantidade de dados com o objetivo de reconhecer padrões, utilizando algoritmos com eficiência computacional (Ester et al., 1999). O sistema GeoDMA (Geographic Data Mining Analyst), que funciona como um plugin para o software TerraView, é uma ferramenta para mineração de dados geoespaciais (Korting et al., 2009). Um dos procedimentos permitidos pelo aplicativo é a Análise de Imagens Orientada ao Objeto. A técnica OBIA usa a segmentação de imagens para obter regiões homogêneas, representadas por polígonos na imagem, e utiliza como objetos de interpretação cor, localização, tamanho, textura, forma, tonalidade, padrão. Como resultado, o polígono substitui o conjunto de pixels como unidade amostral (Gongalton e Green, 2008). Para o presente estudo, utilizamos essa análise porque essa extrai, para além de atributos espectrais, a informação espacial que envolve a relação entre os pixels e seus vizinhos e também extrai a informação das morfologias distintas dos alvos galho e folha. Sendo assim, a entrada do sistema GeoDMA é composta de imagens e objetos resultantes da segmentação.

2.3 Análise de Dados

Foram testados cinco tipos de processamentos para uma mesma imagem adquirida em 23 de Setembro de 2010, sendo esses:

- 1) Composição colorida das bandas brutas
- 2) Composição colorida com realce por decorrelação
- 3) Composição colorida com realce por decorrelação com contraste linear a 2% para os três canais
- 4) Banda I (IHS) com contraste linear a 2%
- 5) PC2 com contraste linear a 2% – Segundo componente da Análise das Componentes Principais das três bandas brutas

Utilizando-se o *software Spring* versão 5.1.5 realizamos a transformação do sistema RGB para o sistema IHS. Aplicamos um contraste linear a 2% na banda S, e depois retornamos ao sistema RGB, gerando a imagem 2. Inicialmente, a terceira imagem processada seria a banda S, visto que os galhos apresentam menor saturação que as folhas. Contudo, a referida banda não discriminou os galhos mesmo mediante aplicação de contraste. Observamos que a banda I destacou-os, por isso optamos por utilizá-la.

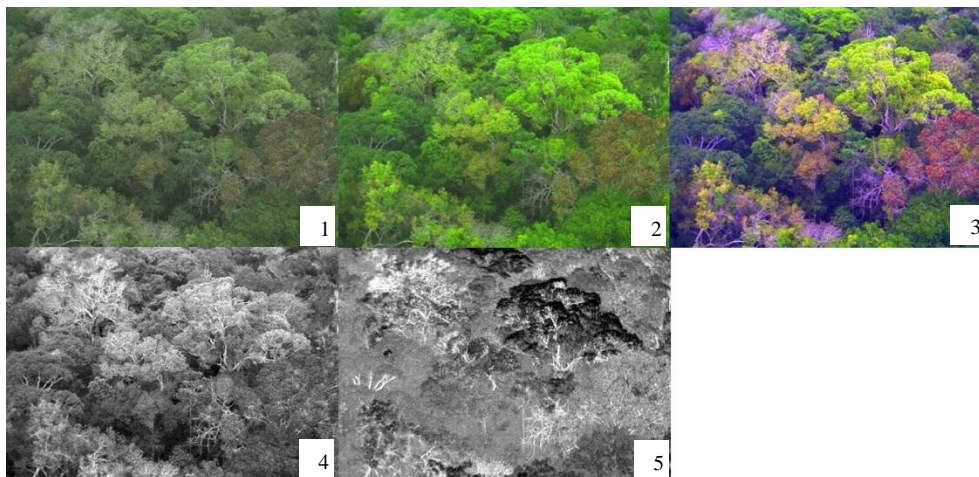


Figura 1. Imagens do cinco tipos de processamentos utilizados no estudo para uma imagem tomada em 23 de Setembro de 2010 na Amazônia Central. 1) Composição colorida das bandas brutas; 2) Composição colorida com realce por decorrelação; 3) Composição colorida com realce por decorrelação com contraste linear a 2% para os três canais; 4) Banda I (IHS) com contraste linear a 2% 5) PC2 com contraste linear a 2% – Segundo componente da Análise das Componentes Principais das três bandas brutas.

A partir da imagem da composição colorida com realce por decorrelação aplicamos um contraste linear a 2% para os três canais para gerar a imagem 3. Para o quarto tratamento foi realizada a transformação da composição colorida do sistema de cores RGB para o sistema IHS. A componente I gerada foi contrastada linearmente a 2% para melhor visualização. Também a partir da composição RGB, realizamos a Análise de Componentes Principais (PCA), gerando três principais componentes (PC_1 , PC_2 e PC_3). O primeiro componente está associado com diferentes níveis de sombreamento e com o brilho dos objetos. E o segundo componente está associado com um gradiente entre pixels puros de folhas e pixels puros de galhos expostos, onde os valores mais altos indicam área pixels de galhos. A imagem do segundo componente destacou os galhos e retirou o efeito de iluminação, sendo então aplicado um contraste linearmente a 2% (Imagem 5).

Em ambas as imagens fizemos a segmentação no software TerraView 4.0.0 plugin GeoDMA utilizando o algoritmo de crescimento por regiões e classificação supervisionada utilizando o algoritmo de árvore de decisão versão C4.5 (QUINLAN, 1993). Para tanto, adotamos para imagens monocromáticas os parâmetros 5 e 5, distância euclidiana e área mínima, respectivamente. O treinamento realizado para duas classes: Folhas e Galhos. Para o reconhecimento da assinatura espectral das classes nas cinco imagens, coletamos 200 amostras de polígonos de cada classe, procurando amostrar toda a heterogeneidade dentro de cada classe. A validação da classificação para cada imagem foi feita coletando-se aproximadamente 200 polígonos aleatórios de cada classe (Figura 1).

Na etapa pós-classificação selecionamos as duas imagens com processamentos que apresentaram índices Kappa mais altos, maior Acurácia do produtor e do usuário e melhor classificação pela análise visual (Tabela 1). Tais imagens foram utilizadas como base para o processamento de imagens de outras 3 datas: 1º de Março de 2011, 26 de Junho de 2011 e 12 de Setembro de 2011. Realizamos então mais seis segmentações com os mesmos parâmetros das imagens base. Dessas, foram extraídos apenas os atributos utilizados pela árvore de decisão de cada imagem base. Não foi necessária a etapa de treinamento, visto que a classificação das imagens foi gerada mediante o carregamento das árvores de decisão geradas

para as imagens base (Figura 2). Após processadas as seis classificações, realizamos a etapa de validação, selecionando para cada imagem, aleatoriamente, 200 polígonos de cada classe.

3. Resultados e Discussão

As imagens resultantes das segmentações geradas no sistema GeoDMA apresentaram, respectivamente, 14.903, 25.827, 33.237, 43.557, 40.174 polígonos totais para as imagens com processamentos de números 1, 2, 3, 4 e 5.

Tabela 1: Validação das classificações das cinco imagens de mesma data com diferentes processamentos

Imagem	índice Kappa	Acurácia global	AP. folhas	AP. Galhos	AU. Folhas	AU. Galhos
Bandas brutas	0.74	87%	83%	91%	91%	83%
Realce por decorrelação	0.84	92%	86%	98%	98%	87%
Realce por decorrelação contrastada	0.73	87%	82%	91%	90%	84%
banda I contrastada	0.51	75%	67%	84%	81%	71%
PC2 contratada	0.88	94%	97%	90%	91%	97%

onde: AP. folhas= Acurácia do produtor para a classe folhas AP. Galhos= Acurácia do produtor para a classe galhos AU. Folhas= Acurácia do usuário para a classe folhas AU. Galhos= Acurácia do usuário para a classe galhos E.O. Galhos= Erro de Omissão da classe galhos E.I. Galhos= Erro de Inclusão da classe galhos E.O. Folhas= Erro de Omissão da classe folhas E.I. Folhas= Erro de Inclusão da classe folhas

De acordo com a Tabela 1, a classificação da Composição colorida das bandas brutas gerou um índice Kappa de 0,74 e Acurácia Global de 87%. Já a classificação da Composição colorida com realce por decorrelação apresentou índice Kappa de 0,84 e Acurácia Global de 92%. Acreditamos que a informação contida na banda S, onde os galhos apresentam baixa saturação, foi bem explorada na composição, dado que essa apresentou maior Acurácia do produtor para a classe galhos. Tais resultados indicam que a partir dessa composição o algoritmo conseguiu extrair mais atributos que estabelecesse melhor a separabilidade da classe galhos.

A classificação da Composição colorida com realce por decorrelação com contraste linear a 2% para os três canais gerou um índice Kappa de 73% e Acurácia Global de 87%. Acreditamos que ao aplicar um contraste linear a 2% na banda S e posteriormente aplicar o mesmo contraste para os canais R, G e B foi produzido um *overflow*. Nesse sentido, ao darmos maior realce à porção central do histograma da imagem, incorremos em perda de informação, acarretando em uma classificação com qualidade inferior ao processamento anterior.

Acreditávamos que a transformação para o sistema IHS poderia ser promissora, dado que a banda I isolou e removeu das bandas H e S, o efeito de sombras no dossel. No entanto,

a classificação da Banda I (IHS) com contraste linear a 2% (Imagem 4) apresentou baixo índice Kappa de 0,51 (Tabela 1) e, comparativamente, pior validação visual. Apesar da Banda I ter discriminado os galhos, ela discriminou também as folhas com alta iluminação. Sendo assim, a classificação dessa imagem resultou em baixa Acurácia do produtor para a classe folhas e uma baixa Acurácia do usuário para a classe galhos, respectivamente, 67% e 71%.

A classificação da quinta imagem (PC2 com contraste linear a 2%) resultou no maior índice Kappa, (0,88) e maior Acurácia Global (94%). Além de apresentar, com relação à Composição colorida com realce por decorrelação, no geral, maiores acurácias. No entanto, como os valores entre os dois processamentos foram semelhantes, para avaliar a melhor composição utilizamos três imagens com datas distintas – 1º de Março de 2011, 26 de Junho de 2011 e 12 de Setembro de 2011. A Figura 2 ilustra as Árvores de Decisão geradas para cada composição.

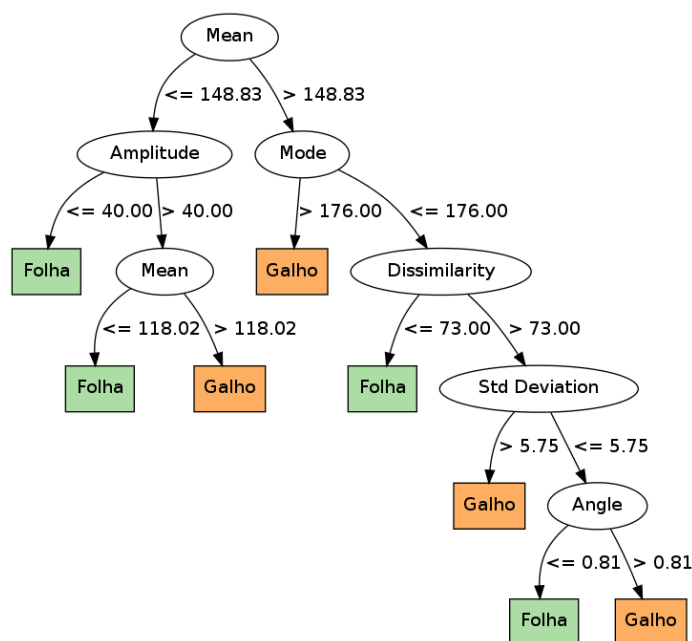


Figura 2 Árvore de decisão versão C4.5 geradas pelo sistema GeoDMA através da imagem PC2 com contraste linear a 2% pelo algoritmo de segmentação por Crescimento por regiões com parâmetros 5 e 5, respectivamente, para Distância Euclidiana e Área Mínima.

Para cada composição rodamos as três imagens, utilizando os mesmos parâmetros usados em cada composição e extraindo os atributos da imagem e carregando a árvore de decisão utilizada na classificação de cada composição. Os índices Kappa e valores de acurácia mantiveram-se semelhantes. No entanto, quanto ao fator o tempo de processamento, a PC2 com contraste linear a 2% apresenta melhores resultados. O gasto computacional para processar e extrair atributos da Composição colorida com realce por decorrelação é superior. Marostica e colaboradores (2011) também utilizaram a imagem da Segunda Componente da Análise de Componentes Principais. No entanto, para cada data, selecionaram um limiar de PC2 mais adequado, escolhido dentre quinze imagens booleanas (PC2 >= 20, 21, 22... 35). Tal metodologia forneceu resultados satisfatórios, mas com grande demanda de tempo.

4. Conclusões

O presente estudo propõe que, dentre as composições testadas, seja utilizada, para melhor classificação dos galhos iluminados em imagens de monitoramento da fenologia foliar, a aplicação da técnica OBIA sobre a imagem do Segundo componente da Análise das Componentes Principais das três bandas brutas com contraste linear a 2%. Este trabalho constitui um segundo passo, iniciado por Marostica e colaboradores (2011), no processo de isolamento de galhos iluminados para análise de imagens fenológica obtidas a partir de câmeras com resolução espectral apenas no visível. Estudos futuros são necessários na tentativa de automatizar ainda mais o processo e de diminuição da interferência subjetiva do intérprete. Visto que estudos fenológicos através da análise de imagens utilizam grande aporte de imagens, são necessárias, também, pesquisas sobre alternativas para diminuir o tempo gasto para o processamento de cada imagem.

5. Agradecimentos

Nossos sinceros agradecimentos aos Programas de Pós Graduação em Ecologia do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA- e Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Agradecemos especiais ao Dr. Flávio Ponzoni. Agradecemos também ao CNPq e a CAPES pelas bolsas de estudos concedidas, respectivamente, as duas primeiras autoras.

6. Bibliografia Citada

- Ahrends, H.E. et al. 2009. Tree phenology and carbon dioxide fluxes: use of digital photography for process-based interpretation at the ecosystem scale. *Climate Research*, 39: 261–274.
- Badeck F-W, et al. 2004. Responses of spring phenology to climate change. *New Phytologist*, 162: 295–309.
- Benton, L.M.L. 2009. *Automated repeat digital photography for continuous phenological monitoring: an analysis of flowering in a semiarid shrubland*. Dissertação de Mestrado, School of Natural Resources, University of Arizona. 77pp.
- Chuine, I. et al. 2004. Grape ripening as a past climate indicator. *Nature*, 432: 289–290.
- Cox, P. M. et al. 2004. Amazonian forest dieback under climate-carbon cycle projections for the 21st century. *Theoretical and Applied Climatology* 78: 137–156.
- ESTER, M. et al. 1999. Database primitives for Spatial Data Mining. *International Conference on Databases in Office, Engineering and Science*, Freiburg.
- Fitter AH, Fitter RSR (2002) Rapid changes in flower time in British plants. *Science* 296:1689–1691
- Gongalton, R.G.; Green, K. 2008. *Assessing the accuracy of remotely sensed data : principles and practices*. CRC Press, United States of America, 210pp.
- Huete, A.R. et al. 2006. Amazon raiforests green-up with sunlight in dry season. *Geophysical Research Letters*, 33: L06405
- Huntingford, C.; Lowe, J. 2007. Overshoot scenarios and climate change. *Science*, 316: 829.

KORTING, T. S. GeoDMA: a toolbox integrating data mining with object-based and multi-temporal analysis of satellite remotely sensed imagery. 2012. 119 p. (sid.inpe.br/mtc-m19/2012/07.31.18.22-TDI). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2012. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3CCH86S>>. Acesso em: 06 nov. 2012. Malhi, Y. et al. 2008. Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. *Science*, 319: 169–172.

Marostica, S.J.F. 2011. *Flush foliar na estação seca em floresta de terra firme na Amazônia Central via webcam*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 17pp.

Marostica, S.J.F.; Nelson, B.W.; Wu, J.; Saleska, S.R. 2011. Dry season leaf flush in a Central Amazon terra firme forest via optical method. disponível em: http://nature.berkeley.edu/biometlab/fluxnet2011/PDF_Posters/MAROSTICA,%20suellen.df Última visualização: 27/09/11

Quinlan, J. 1993. *C4. 5: Programs for Machine Learning*. [S.l.]: Morgan Kaufmann

Richardson, A.D. et al. 2007. Use of digital webcam images to track spring green-up in a deciduous broadleaf forest. *Oecologia*, 152: 323–334.

Salazar, L.F.; Nobre, C.A.; Oyama, M.D. 2007. Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. *Geophysical Research Letters*, 34: L09708.

Saleska, S.R.; Didan, K.; Huete, A.R. And da Rocha H.R. (2007). Amazon forests green-up during 2005 drought. *Science*, 318: 612.

White, M.A.; Thornton, P.E.; Running, S.W. 1997. A continental phenology model for monitoring vegetation responses to inter-annual climatic variability. *Global Biogeochem Cycles*, 11: 217–234.