

Técnicas de sensoriamento remoto e composição físico-química do solo para monitorar o desenvolvimento da cultura da Macaúba

FREDERICO CÁSSIO MOREIRA MARTINS¹; FRANCISCO DE ASSIS DE CARVALHO PINTO²; LUIS MANUEL GRACIA NAVAS³; ANDERSON GOMIDE COSTA⁴; FLORA MARIA DE MELO VILLAR⁵

¹Engo Agrônomo, professor do Núcleo de Ciências Agrárias, Instituto Federal do Sudeste de Minas/Campus Barbacena, (32) 84141371, frederico.martins@ifsudestemg.edu.br

²Engo Agrícola, professor associado, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, (31) 38991881, facpinto@ufv.br

³Engo Agrônomo, Prof. Doutor, Universidad Valladolid, Palencia, espanha.lmnavas@iaf.uva.es

⁴Engo Agrícola, Doutorando, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, (31) 93858778, anderson.costa@ufv.br

⁵Enga Agrícola, Doutoranda, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, (31) 38993463, florammv@yahoo.com.br

Apresentado no
XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014
27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil

RESUMO: Objetivou-se identificar e avaliar a relação entre o desenvolvimento de plantas de macaúba em diferentes estádios fenológicos por meio de imagens aéreas de câmeras não métricas e a composição físico-química do solo. Foram avaliadas plantas com idades de um, três e seis anos por um período de 9 meses. Para monitorar o desenvolvimento do dossel das plantas, classificou-se as imagens por meio do classificador Máxima verossimilhança e realizou-se amostragens de solo no mesmo período. No estágio inicial identificou-se um período adaptativo para o desenvolvimento do dossel, assim como a sensibilidade da cultura em relação à densidade do solo. As características químicas do solo influenciaram mais o desenvolvimento em dossel das plantas com um e seis anos de idade quando comparadas com aquelas de três anos.

PALAVRAS-CHAVE: Análise de imagens digitais, biodiesel, agricultura de precisão.

Remote sensing techniques and soil physicochemical characteristics to monitor the macaw palm development

ABSTRACT: This study aimed to identify and evaluate the relationship among the development of macaw plants at different growth stages and physicochemical soil composition. It was used aerial images acquired by non-metric cameras. Plants of one, three and six years old were monitored for a period of 9 months. To monitor the plant developments, it was used images classified through the Maximum Likelihood classifier and soil was sampled at the same period. In the initial stage, it was identified an adaptive period of canopy development, as well as the sensitivity of the crop related to soil density. The chemical characteristics of the soil influenced more the canopy development in plants with one and six years old than those with three years old.

KEYWORDS: Image analysis, biodiesel, precision farming.

INTRODUÇÃO: O crescimento da população e o avanço do desenvolvimento têm despertado a atenção mundial na utilização dos recursos naturais renováveis para a produção de energia. Este fato se respalda no interesse de promover a redução dos impactos ambientais e de garantir o suprimento das necessidades energéticas (SIVAKUMAR et al., 2010). Diante da expectativa crescente da demanda por biodiesel, a macaúba (*Acrocomia aculeata*) vem sendo investigada por apresentar vantagens sobre outras culturas oleaginosas, como a elevada produtividade, podendo alcançar 24 toneladas de frutos/ha, equivalente a aproximadamente 4,8 toneladas de óleo/ha (TEIXEIRA, 2005; DREHER, 2009). A variabilidade edafoclimática possivelmente influencia distribuição espacial da

macaúba. Sabe-se que populações nativas são heterogêneas e apresentam problemas como a sazonalidade climática (MOTTA, 2002). Contudo, surge a necessidade de desenvolver metodologias e técnicas para mensurar as variações e correlações da cultura com o ambiente de cultivo. O sensoriamento remoto para detecção de características morfológicas das plantas é uma opção para realizar inferências em sistemas agrícolas. Hosainpour et al. (2013) utilizaram um sistema remoto ultrassônico inteligente para estimar o volume do dossel de árvores e apontaram, entre as principais vantagens do método, a acurácia do sistema e o baixo custo dos equipamentos. Promover a identificação das características morfológicas da macaúba de maneira remota e correlacioná-la com os atributos físico-químicos do solo, contribuirá para sua exploração em âmbito comercial. Dessa forma, objetivou-se caracterizar o desenvolvimento de plantas de macaúba em diferentes estádios fenológicos por meio de imagens aéreas de câmeras não métricas e a respectiva composição físico-química do solo.

MATERIAL E MÉTODOS: O trabalho foi desenvolvido no banco de germoplasma de macaúba pertencente a Universidade Federal de Viçosa, com área de aproximadamente três hectares, localizada no município de Araponga-MG. O município de Araponga está situado no bioma Mata Atlântica e localizado a 20° 40' de latitude Sul e 42° 31' de longitude Oeste. A área de estudo foi dividida em três sub-áreas, em função da época de plantio. No início da coleta dos dados, as áreas intituladas “Área 1”, “Área 2” e “Área 3” possuíam indivíduos com idade média de seis, três e um ano, respectivamente. As amostragens e avaliações foram realizadas em três épocas: T0 (primeira coleta em setembro de 2012), T5 (cinco meses após a primeira coleta) e T9 (cinco meses após a segunda). Todos os indivíduos investigados tiveram suas referências espaciais determinadas por meio do GPS Topográfico (L1), Marca Magellan, Modelo Promark 3, com correção diferencial pós-processada. As características físicas e químicas do solo foram determinadas por meio da amostragem de quatro pontos circundantes à cada indivíduo. A distribuição das plantas foi relacionada aos acessos de origem de cada material genético, sendo assim, distribuídas por famílias. As famílias utilizadas na pesquisa possuíam uma população variando de três a cinco indivíduos. Os dados de cada indivíduo foram resumidos para o valor médio de sua respectiva família. Foram realizadas amostragens simples no perfil do solo na profundidade de 20 cm. A composição química do solo foi avaliada nas três épocas - T0, T5 e T9. Para isso, determinaram-se os teores disponíveis de fósforo (P), potássio (K), zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn) e cobre (Cu) extraídos por Mehlich 1; teores trocáveis de cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}) e alumínio (Al^{3+}), e calculada a saturação por bases (V) (EMBRAPA, 2011). Os resultados encontrados foram submetidos a análise estatística descritiva para os tempos de coleta, e, em seguida, correlacionados aos atributos da planta. A variável utilizada para a caracterização das plantas foi a área ocupada pelo dossel de cada família, determinada por meio de técnicas de sensoriamento remoto. O monitoramento do dossel ocorreu nas mesmas épocas, por meio de imagens digitais obtidas em sobrevôos de uma aeronave do tipo ultraleve avançado (avião leve) modelo Bravo 700. Para obtenção destas imagens, utilizou-se uma câmera digital não métrica, modelo Sony Cyber-shot DSC-TX20/DC com resolução espacial de 16,2 MP. As imagens digitais foram georreferenciadas a partir da localização geográfica de referências de campo (alvos) facilmente detectáveis na cena. Foram analisados os respectivos erros quadráticos médios (RMSE) a partir das coordenadas espaciais reais e da tela dos pontos de controle para garantir a qualidade do registro das coordenadas. Determinou-se a área aparente ocupada pelo dossel das plantas selecionadas após a classificação das imagens digitais em duas classes - “Solo” e “Dossel”. Placas com dimensões 1X1 m foram dispostas nas áreas experimentais e utilizadas para o ajuste das resoluções espaciais das cenas. Testaram-se dois classificadores do programa ArcGIS® e um do programa Matlab® - o Isocluster, a Máxima verossimilhança e o *Otsu*, nesta ordem. Uma imagem de toda a área experimental foi classificada, e posteriormente analisada por meio do índice *Kappa* e do teste *Z*. Após a definição do melhor classificador, contabilizou-se o número de pixels classificados como planta (**Figura 1**), e então, por meio da multiplicação da resolução espacial proveniente das dimensões da placa na imagem georreferenciada, determinou-se a área aparentemente ocupada pelo dossel das plantas. Utilizaram-se análises de correlação linear de Pearson para identificar quais os fatores investigados se correlacionam fortemente com o desenvolvimento das plantas. Foram analisadas apenas os atributos do solo que apresentaram o coeficiente de correlação, qualitativamente avaliado como forte e correlação linear

muito forte (CALLEGARI-JACQUES, 2003). Todos os dados referentes a dimensões encontradas para os dosséis das plantas foram determinados em m^2 e, em seguida, padronizados. Para a padronização, as áreas ocupadas pelos dosséis das famílias em cada tempo foram divididas pelo valor máximo encontrado nos três tempos. A escala utilizada variou, na respectiva família do menor resultado - representando a menor área - até um - representando a maior área. Utilizaram-se apenas os valores referentes ao incremento de cada família ao longo dos três tempos de investigação assim como os três tempos de coleta e três estádios de desenvolvimento para a determinação da curva de evolução do dossel das plantas.

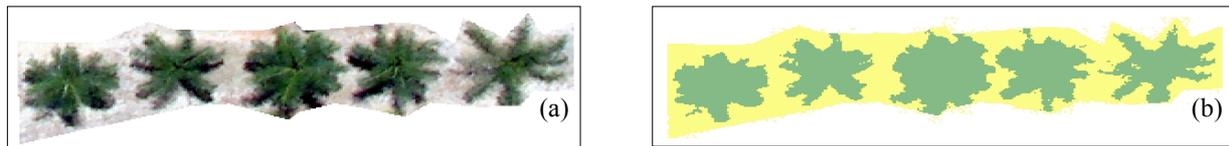


Figura 1. Imagem aérea das plantas (a) e a classificação (b) - “Solo” (amarelo) e “Dossel” (verde).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Após a detecção de significância por meio do teste $Z(\alpha = 0,05)$, o classificador da Máxima verossimilhança apresentou o maior Kappa (0,98), seguido do Isocluster (0,92) e do Ostu (0,82). O desenvolvimento do dossel foi marcado pelo processo adaptativo das plantas mais jovens (Área 3/1 ano). Durante o período inicial de avaliação, as áreas com plantas mais desenvolvidas (Áreas 1 e 2) apresentaram maior incremento da característica (incrementos médios de 0,15 e 0,29, respectivamente). Observou-se que após o primeiro período (T0-T5), as plantas da Área 3 apresentaram desenvolvimento em dossel mais intenso que as demais (**Figura 2**). Portanto, o dossel da macaúba foi influenciado diretamente por momentos fenológicos, uma vez que a fenologia abrange o comportamento das plantas sobre os padrões estacionais de floração, frutificação e folhagem (RUIZ e ALENCAR, 2004).

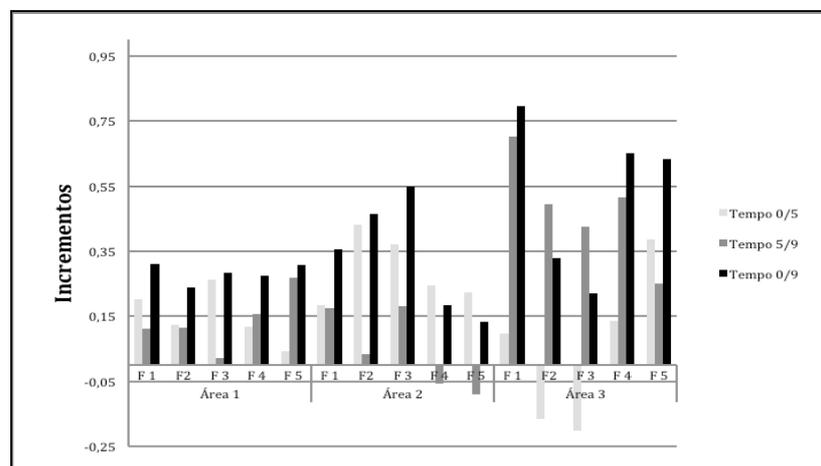


Figura 2. Variabilidade espaço-temporal dos incrementos em dossel. F1, F2, F3, F4 e F5 correspondem às famílias.

A densidade do solo das áreas de estudo não foi considerada restritiva ao desenvolvimento da macaúba. O solo possui textura média e apresentou densidades média e máxima de $0,99 \text{ g cm}^{-3}$ e $1,21 \text{ g cm}^{-3}$, respectivamente. Os maiores ganhos em dossel para a área contendo plantas mais jovens aconteceram apenas no segundo período de avaliação (pós-chuvas), portanto, é possível inferir que as plantas mais desenvolvidas são menos influenciadas pela estrutura física do solo, uma vez que a Área 1 não apresentou correlação significativa entre a área ocupada pelo dossel e a estrutura física do solo. No que se refere a fenologia e estratégias reprodutivas de espécies arbóreas, a periodicidade existente no crescimento pode ser influenciada diretamente pela aparente sincronia entre a atividade e disponibilidade de água no ambiente, quando se considera a seca sazonal (FIGUEIREDO, 2008). A suscetibilidade da cultura à compactação do solo foi evidenciada e comprovada pelas correlações

fortes e negativas entre os incrementos em dossel e a densidade do solo nas áreas com idade menos avançada, ou seja, a Área 3 ($\rho = -0,72$) sofreu mais influência que a Área 2 ($\rho = -0,69$). As alterações da área ocupada pelo dossel apresentaram relações com a composição química do solo. Os macronutrientes P e K e os micronutrientes Zn e Mn influenciaram positivamente o desenvolvimento do dossel em plantas com idade superior a seis anos (Área 1). Tal fato foi observado ao analisar o incremento gerado no último período de avaliação (T5/T9) com o teor final dos respectivos elementos (T9). Analisando o desenvolvimento das plantas da Área 2 (três anos de idade) perante as características do solo, foi identificada correlação forte e negativa da saturação por bases com o desenvolvimento em dossel. Tal fato é compreendido pela tolerância da macaúba à acidez (ARES et al., 2003; CORLEY e TINKER, 2003). A Área 3, contendo plantas com um ano de idade, apresentou correlações fortes e positivas com os macronutrientes K, P, Ca e Mg e com os micronutrientes Zn e Mn. Como as plantas com idade pouco avançada passam por um período de adaptação, o reduzido crescimento inicial fez com que as correlações fossem identificadas apenas quando correlacionaram-se os incrementos totais com os teores finais dos elementos mencionados.

CONCLUSÕES: O classificador da Máxima verossimilhança apresentou melhor performance para a classificação do dossel da macaúba. A macaúba apresentou um período adaptativo para o desenvolvimento em dossel, bem como sensibilidade à densidade do solo no seu estágio inicial. Plantas com um e seis anos de idade apresentaram relações mais específicas com as características químicas do solo sobre o desenvolvimento em dossel que plantas de três anos.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem: à UFV, à CAPES, ao CNPq, FAPEMIG e ao IFSudeste-MG/Campus Barbacena pelo apoio financeiro e bolsas fornecidas para a elaboração do estudo.

REFERÊNCIAS

- ARES, A.; FALCÃO, N.; YUYAMA, K.; YOST, R. S.; CLEMENT, C. R. **Response to fertilization and nutrient deficiency diagnostics in peach palm in Central Amazonia.** Nutrient Cycling in Agroecosystems, v.66, p.221-232. 2003.
- CALLEGARI-JACQUES, Sídia M. **Bioestatística: princípios e aplicações.** Porto Alegre: Artemed, 2003. 255p.
- CORLEY, R. H. V.; TINKER, P. B. **The Oil Palm** (4nd ed). Oxford/EUA: Blackwell Science, 562 p., 2003.
- DREHER, F. **Promising South American Oil Palm *Acrocomia totai* Mart.: Current Status and Future Prospects.** Thesis (Doctor Science in Agricultural Economics) – Hochschule fur Wirtschaft und Umwelt, Fakultat 2, Nürtinger-Geislinger, Germany, 62 p, 2009.
- FIGUEIREDO, P. S., **Fenologia e estratégias reprodutivas das espécies arbóreas em uma área marginal de cerrado, na transição para o semi-árido no nordeste do Maranhão, Brasil.** Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas v. 2, n. 2, p. 8, 2008.
- HOSAINPOUR, A., ESKANDARI, M., GHAMARY, B. **Intelligent estimation of trees canopy size using ultrasonic sensors.** International Journal of Agriculture and Crop Sciences, V. 6, p. 641-647, 2013.
- MOTTA, P.E.F.; CURTI, N.; OLIVEIRA-FILHO, A.T. & GOMES, J.B.V. **Ocorrência de macaúba em Minas Gerais: Relação com atributos climáticos, pedológicos e vegetacionais.** Pesquisa Agropecuária Brasileira., v.37 p.1023-1031, 2002.
- RUIZ, R. R.; ALENCAR, J. C. Comportamento fenológico da palmeira patauá (*Oenocarpus bataua*) na Reserva Florestal Adolpho Duke, Manaus, Amazonas, Brasil. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 34, n. 4, p. 443-448, 2004.
- SIVAKUMAR, G.; VAIL D. R.; XU, J.; BURNER, D. M.; Jr., J. O. L.; GE, X.; WEATHERS, P. J. Bioethanol and Biodiesel: Alternative liquidfuels for future generations. **Engineering in Life Sciences**, v. 10, n.1, p.8-18, 2010.
- TEIXEIRA, L. C. **Produção de biodiesel.** Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 26, n. 229, p.79-86, 2005.