

## VOLUMETRIA DE MOGNO AFRICANO POR MEIO DE SENSORIAMENTO REMOTO

VICTÓRIA VIÉDES FERREIRA<sup>1</sup>, ALLAN MOTTA COUTO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Engenheira Agrônoma, mestranda em Agronomia UEMS, Aquidauana-MS, viviedes@hotmail.com

<sup>2</sup>Dr. em Ciência e Tecnologia da Madeira, Prof. Adj. UEMS, Aquidauana-MS, allan@uems.br

**RESUMO:** O presente trabalho tem como objetivo a criação de mapas de produtividade madeireira de *Khaya ivorensis*, a partir de assinatura multiespectral extraída do satélite Sentinel-2. O plantio florestal foco do estudo localiza-se no município de Rio Verde Mato Grosso – MS. As parcelas foram distribuídas sistematicamente em uma área de 122,22 ha, com espaçamento entre plantas de 5x4m. Alocaram-se 85 parcelas, com uma área de 360 m<sup>2</sup> cada, representando aproximadamente 2,5% da área florestal total. Foi mensurado o volume em madeira com casca por unidade de área, por meio da coleta dos dados de: diâmetro a 1,30m do solo de todos os indivíduos, da altura total de 10% e da cubagem rigorosa de 5% dos indivíduos. A partir dos dados coletados ajustou-se equações hipsométrica e volumétrica para estimar a altura e volume individual e total da parcela. Para obtenção de informações de reflectância espectral nas bandas do vermelho, verde, azul e infravermelho próximo e distante foram adquiridas imagens tipo raster provenientes do sensor Sentinel 2 e com estas informações determinou-se índices de vegetação NDVI, ARVI, RGI e SR. Por meio dos dados analisados pode-se concluir que as variáveis espectrais apresentam correlações com as variáveis dendrométricas. A técnica estatística multivariada apresentou boa precisão de estimação e permitiu a produção de mapa de produtividade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Análise multivariada, inventário florestal, NDVI, PLS, variável espectral.

### AFRICAN MAHOGANY VOLUMETRY THROUGH REMOTE SENSING

**ABSTRACT:** The aim of this study is to create maps of *Khaya ivorensis* timber productivity, based on the multispectral signature extracted from the Sentinel-2 satellite. The forest plantation that is the focus of the study is located in the municipality of Rio Verde Mato Grosso - MS. The plots were systematically distributed over an area of 122.22 ha, with plant spacing of 5x4m. 85 plots were allocated, with an area of 360 m<sup>2</sup> each, representing approximately 2.5% of the total forest area. The volume of wood with bark per unit area was measured by collecting data on the diameter at 1.30m from the ground of all the individuals, the total height of 10% and rigorous cubing of 5% of the individuals. Based on the data collected, hypsometric and volumetric equations were adjusted to estimate the individual and total height and volume of the plot. In order to obtain spectral reflectance information in the red, green, blue and near and far infrared bands, raster images were acquired from the Sentinel 2A sensor and this information was used to determine the NDVI, ARVI, RGI and SR vegetation indices. From the data analyzed, it can be concluded that the spectral variables correlate with the dendrometric variables. The multivariate statistical technique showed good estimation accuracy and enabled the production of a productivity map.

**KEYWORDS:** Multivariate analysis, forest inventory, NDVI, PLS, spectral variable.

### INTRODUÇÃO

*Khaya ivorensis*, comumente conhecida como mogno africano, é uma espécie produtora de madeira de elevado valor de mercado. A madeira desta espécie apresenta densidade básica variando 0,430 a 0,490 g/cm<sup>3</sup> em idades de corte, moderada estabilidade dimensional e boa trabalhabilidade, sendo utilizada de forma preferencial para movelaria, laminação, produção de instrumentos musicais, construção naval e arquitetura de interiores (Pinheiro et al., 2011). Em virtude das características apresentadas e utilizações possíveis, a madeira é altamente valorizada no mercado, sendo adquirida por indústrias com uma elevada exigência em qualidade e padronização (Ribeiro et al, 2017).

A mensuração e inventário florestal são processos de elevado custo que exige longos períodos para coleta de dados a campo e processamento de dados. Sua precisão depende diretamente da experiência do profissional desde a amostragem até a redação de relatório. Assim sendo a utilização de ferramentas e informações que mitiguem algum tipo de imprecisão deve ser

aplicada para correta inferência de atributos florestais. Recentemente, sensoriamento remoto e geoprocessamento, têm sido empregados em planejamento de mensuração florestal, objetivando maior precisão e exatidão na estimativa de atributos florestais como volume (Mauya, et al, 2019) e biomassa (Askar et al, 2018; Macedo et al, 2018) a exemplo.

Assim por meio de imagens é possível realizar inferências sobre a qualidade fisiológica e quantitativo, com a maior precisão de informação auxilia de sobremaneira as decisões de manejo visando o máximo de rentabilidade. A produção de mapas de produtividade, neste sentido, proporciona informações pontuais detalhadas da floresta, possibilitando assim o manejo florestal diferenciado nas mais diversas localidades no interior do talhão. Diante do exposto, este estudo tem por objetivo a criação de mapas de produtividade madeireira de *Khaya ivorensis*, a partir de assinatura multiespectral possibilitada pelo satélite Sentinel-2.

## MATERIAL E MÉTODOS

O plantio florestal de *Khaya ivorensis* localiza-se no município de Rio Verde Mato Grosso–MS cujas coordenadas são 19°2'24'' Sul, 54°55'55'' Oeste com altitude de 320 metros. Segundo a classificação de Koppen, o clima local é caracterizado como Aw com temperatura superior a 20°C. Os invernos são secos e os verões chuvosos com pluviosidade média anual de 1636 mm.

O talhão apresenta 122,22ha de área é composto por indivíduos de mogno africano estão espacialmente arranjados 5x4m na linha e entrelinha respectivamente. O plantio apresenta, visualmente, elevada variabilidade necessitando assim em um maior número e parcelas alocadas. Foram sistematicamente alocadas 85 parcelas de 360m<sup>2</sup> em toda a extensão do talhão, perfazendo uma representatividade aproximada de 2,5% da área florestal total.

Delimitadas as parcelas, as árvores nelas contidas foram mensuradas para estimativa do volume de madeira com casca por unidade de área. Para tal, foram determinados o diâmetro a 1,30m do solo de todos os indivíduos, altura total de 10% e cubagem rigorosa de 5% dos indivíduos. Assim serão ajustadas equações hipsométrica e volumétrica visando a estimativa da altura e volume individual, respectivamente.

Atos seguintes foram adquiridas imagens tipo raster oriundas do sensor Sentinel 2 para obtenção de informações de reflectância espectral nas bandas do vermelho, verde, azul e infravermelho próximo. Com estas informações serão determinados índices de vegetação comumente utilizados para inferência da qualidade de plantios florestais/agronômicas.

As variáveis independentes foram normalizadas de modo a ficarem em escala variando de 0 a 1. Foi realizada a estatística descritiva dos dados bem como análise da relação e correlação entre as variáveis de interesse.

Foi realizada a estatística descritiva dos dados bem como ajuste de modelos hipsométrico e volumétrico para estimativa de altura e volume individual por árvore, sendo este resultado utilizado para determinar o volume de madeira por unidade de área (m<sup>3</sup>/ha). Foi ainda realizada análise de interrelações entre as variáveis em estudo por meio de Correlação linear de Pearson e Análise de componentes principais (PCA).

Utilizando aos valores normalizados de reflectância das bandas oriundas do satélite Sentinel 2 e IVs como variáveis independentes e o volume por unidade de área como variável dependente, foi realizado ajustes por meio da técnica análise de Regressão por Mínimos Quadrados Parciais (Partial Least Square Regression - PLSR) para calibração de modelo preditivo de volume, em m<sup>3</sup>/ha. Foram utilizadas 50 parcelas para o processo de calibração e 35 para validação do modelo. Foram ainda avaliadas a precisão dos modelos ajustados por meio da Raiz Quadrada do erro médio da predição (RMSEP), coeficiente de determinação e normalidade residual. Para todo processamento e produção de imagens foi utilizado software Qgis e a linguagem R com os pacotes pls, raster e ggplot2.

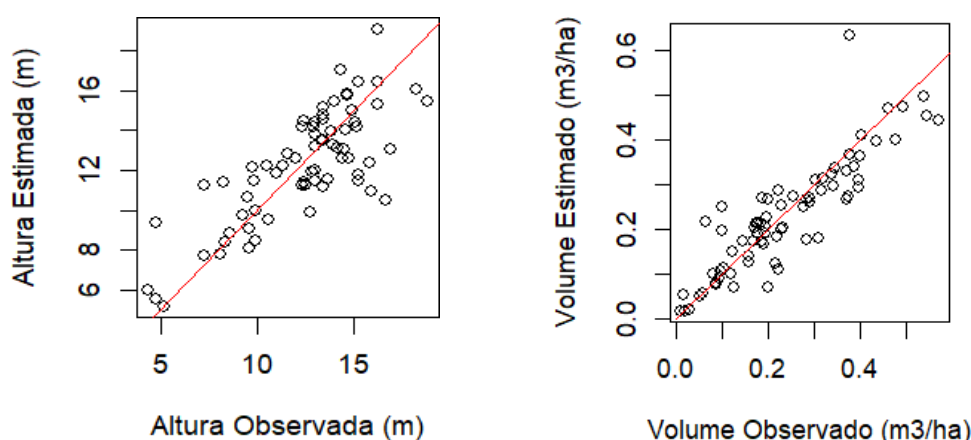
Selecionado o melhor modelo foi confeccionado mapa de produção do talhão.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram ajustados modelos hipsométrico e volumétrico para estimativa da altura e volume das árvores, respectivamente. A tabela 1 apresenta a equação ajustada, significância destas e coeficiente de determinação ajustado. É possível observar que as equações foram estatisticamente significativas a 99,9% de probabilidade e apresentam elevada acuracidade. Ainda na tabela é possível observar a relação entre os valores de altura e volume estimados em relação aos observados.

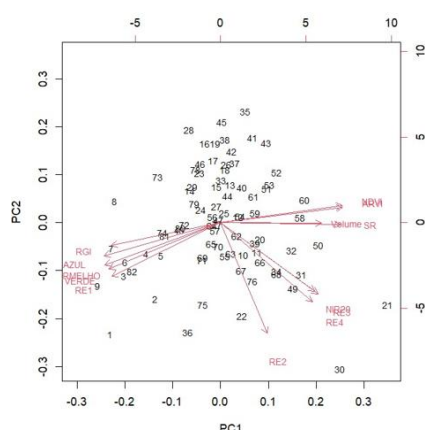
**Tabela 1:** Modelo hipsométrico e volumétricos ajustados.

Hipsométrico	Volumétrico
$\text{Ln}(\text{Altura})=0,17972+0,88030\text{Ln}(\text{DAP})$	$\text{Ln}(\text{Volume})= 8,4060+1,753\text{Ln}(\text{DAP})+0,875\text{Ln}(\text{Altura})$
$R^2 = 0,67$	$R^2 = 0,79$
$F_c= 145,9^{***}$	$F_c=141,6^{***}$

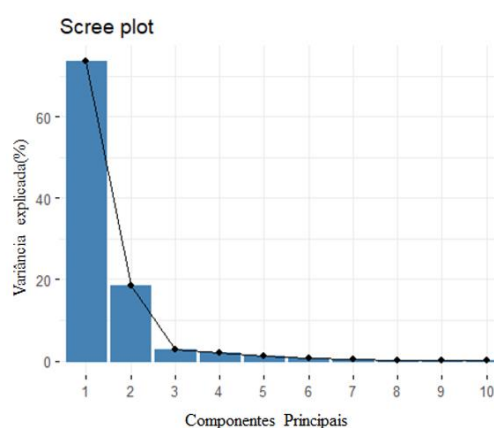


DAP: Diâmetro a 1,30, Ln: Logaritmos Neperiano;  $R^2$ : Coeficiente de determinação ajustado;  $^{***}$ : Equação significativa a 99,9% de certeza estatística.

Observando a Figura 1 é possível concluir que o volume de madeira com casca está forte e positivamente correlacionada com ARVI, NDVI e SR, negativamente com o RGI, Azul, Verde, vermelho e RE1. Foram ainda observadas correlações menos expressivas entre o volume de madeira com casca e as variáveis espectrais RE2, RE3, RE4 e NIR. Observando a figura 2 nota-se que apenas a componente principal 1 é responsável por captar 73,4% de toda a variabilidade das variáveis originais. A soma das três primeiras componentes principais resulta em 95,2% de variação original explicada.



**Figura 1:** Biplot PCA

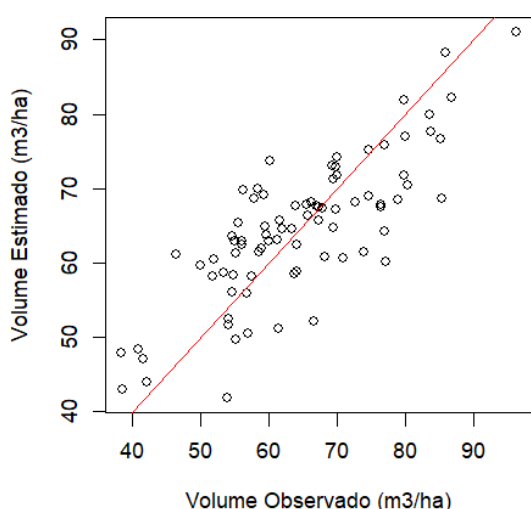


**Figura 2:** Variância explicada

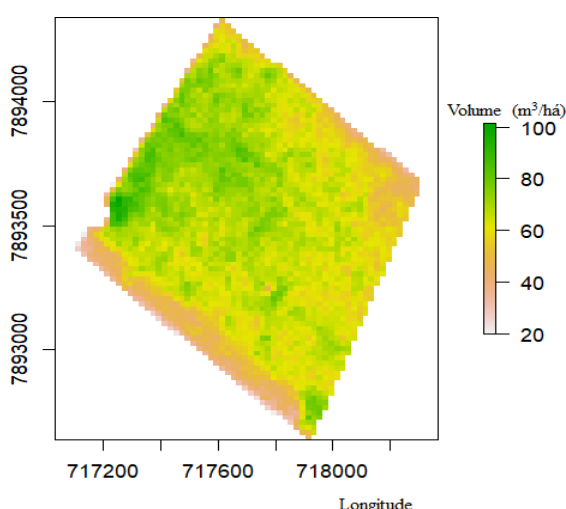
Realizando a análise de Mínimos quadrados parciais (Partial least square – PLS) foi ajustado um modelo utilizando apenas as três primeiras componentes principais. O modelo resultou em menor raiz quadrada dos erros médios de previsão (RMSEP), sendo este 7,64 m<sup>3</sup>/ha.

A Figura 3 apresenta os valores de volume de madeira estimado em função do volume de madeira observado. A reta vermelha é a diagonal perfeita, indicando assim elevada reação entre os valores observados e preditos. O coeficiente de determinação entre os valores preditos e observados utilizando o modelo ajustado foi de 0.59, ou seja, 59% da variação do volume de madeira com casca foi explicado pelo modelo ajustado. Os desvios originados pelo modelo apresentaram normalidade e homocedasticidade pelo teste de Shapiro-Wilk e Goldfeld-Quandt, respectivamente a 95% de probabilidade estatística.

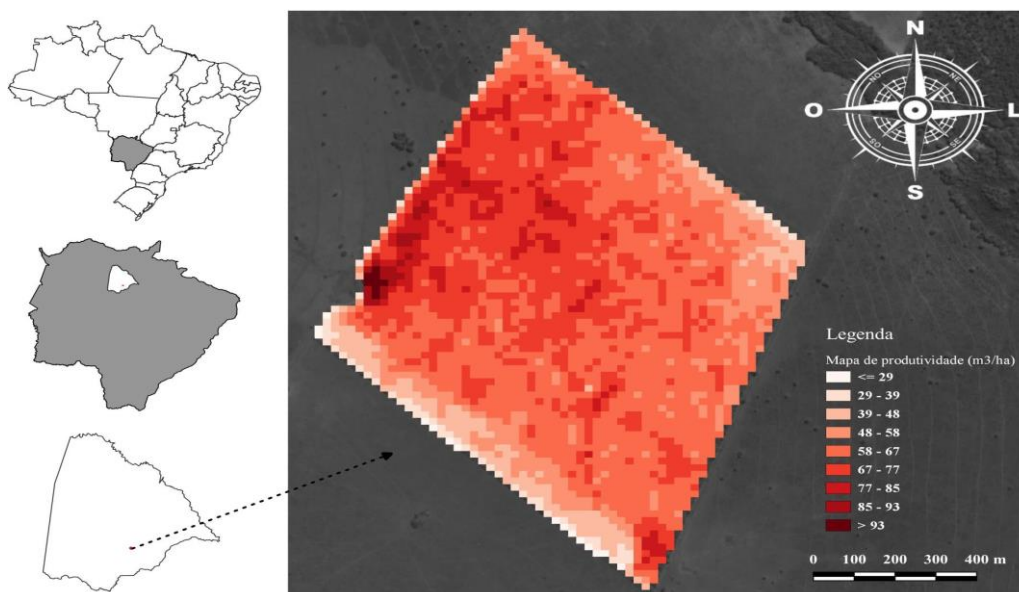
Com o modelo ajustado foi então aplicado para produção de mapa de produtividade (Figura 5), em volume de madeira por hectare, do talhão mensurado. Este resultado é especialmente importante, pois, permite o manejo pontual do talhão florestal. A detecção de regiões com menor produção e produtividade é possível a partir da imagem raster produzida (Figura 4), sendo perfeitamente utilizável para outros tipos de processamentos e tomadas de decisão.



**Figura 3:** Valores preditos em função dos observados.



**Figura 4:** Imagem raster do modelo PLS ajustado.



**Figura 5:** Mapa de produtividade em volume de madeira de mogno no talhão em estudo.

## CONCLUSÃO

Diante do exposto conclui-se que as variáveis espectrais apresentam correlações com as variáveis dendrométricas variando de moderada a forte ( $r > 0,6$  e  $r < -0,6$ ), sendo todas estatisticamente diferente de zero a 99,9% de probabilidade estatística.

O processamento proposto apresentou resultado extremamente útil para tomada de decisão durante o manejo de talhões florestais.

## REFERÊNCIAS

- Askar, A., Nuthammachot, N., Phairuang, W., Wicaksono, P., & Sayektiningsih, T. (2018). Estimating aboveground biomass on private forest using Sentinel-2 imagery. *Journal of Sensors*, 2018, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2018/6745629>.
- H. Wickham. *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York, 2016.
- Jørn-Helge Mevik, Ron Wehrens and Kristian Hovde Liland (2020). *pls: Partial Least Squares and Principal Component Regression*. R package version 2.7-3. <https://CRAN.R-project.org/package=pls>
- Macedo, F. L., Souza, A. M. O., Gonçalves, A. C., Silva, H. R., Rodruigues, R. A. F. Biomass allometric function with satellite images of high spatial resolution. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 28, n. 3, p. 960-969, jul.- set., 2018. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509833368>
- Mauya, E. W., Koskinen, J., Tegel, K., Hämäläinen, J., Kauranne, T., Käyhkö, N. Modelling and Predicting the Growing Stock Volume in Small-Scale Plantation Forests of Tanzania Using Multi-Sensor Image Synergy, *Forests*, 2019, 10, 279; doi:10.3390/f10030279.
- Pinheiro, A. L., Couto, L., Pinheiro, D., T., Brunetta, J., M., F., C. Ecologia, silvicultura e tecnologia de utilizações dos mognos-africanos (*Khaya* spp.). Viçosa: Sociedade Brasileira de Agrossilvicultura; 2011.
- R Core Team (2020). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Ribeiro, A.; Ferraz Filho, A. C.; Scolforo, J. R. S. Cultivo do Mogno Africano (*Khaya* spp.) e o Crescimento da Atividade no Brasil. *Floresta e Ambiente*, v.24, e00076814, p.1-11, 2017.