



Viabilidade econômica dos sortimentos de madeira de um povoamento de mogno africano (*khaya* spp.) Não desbastado

Economic viability of wood assortment from an unthinning african mahogany (*khaya* spp.) Stand

DOI: 10.55905/rdelosv16.n50-002

Recebimento dos originais: 06/11/2023

Aceitação para publicação: 11/12/2023

Mayra Souza Costa

Graduanda em Engenharia Florestal
Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais
Endereço: Montes Claros – MG, Brasil
E-mail: mayrascosta@hotmail.com

Christian Dias Cabacinha

Doutor em Ciências Ambientais
Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais
Endereço: Montes Claros – MG, Brasil
E-mail: cabacinha@ufmg.br

Stanley Schettino

Doutor em Ciência Florestal
Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais
Endereço: Montes Claros – MG, Brasil
E-mail: schettino@ufmg.br

Maria Fernanda Vieira Fonseca

Mestranda em Ciências Florestais
Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais
Endereço: Montes Claros – MG, Brasil
E-mail: mariafernandafonseca7@gmail.com

RESUMO

O estudo consistiu no ajuste de *taper* para descrever o afilamento do fuste de um povoamento de mogno africano (*Khaya* spp.) não desbastado, localizado no norte de Minas Gerais, com o objetivo de realizar a otimização de corte das árvores para múltiplos produtos da madeira para três sítios, com a idade de corte de 15 e 20 anos. Foi ajustado a uma base de cubagem rigorosa de 469 árvores, o modelo de Kozak para cada sítio e através da integral deste modelo realizou-se a determinação do volume a partir da prognose da estrutura diamétrica de cada sítio para ambas as idades analisadas. Após esta etapa, simulou-se o corte das árvores para múltiplos produtos (laminado, compensado, madeira serrada, madeira roliça e resíduos). A partir da estimativa dos sortimentos, com valores de volume, número de toras e preço médio dos produtos realizou-se a análise financeira através do cálculo do Valor Presente Líquido Infinito (VPL_{∞}) para as taxas de

desconto de 6%, 10% e 14% ao ano. Deste modo foi possível concluir que o sítio 1 apresentou os cenários mais atrativos, sendo viável em todas as idades e taxas de desconto avaliadas. O cenário mais viável economicamente, foi o corte aos 15 anos par a taxa de 6%, com o VPL de US\$ 11.511,97. Já o sítio 2 em ambas idades simuladas apresentou-se inviável economicamente somente à uma taxa de 14% ao ano. Por fim o sítio 3 apresentou VPL negativo aos 15 e 20 anos nas simulações com as taxas de 10% e 14% ao ano.

Palavras-chave: *taper*, múltiplos produtos, análise econômica.

ABSTRACT

The study consisted of taper adjustment to describe the tapering of the stem of a non-thinned stand of African mahogany (*Khaya* spp.), located in the north of Minas Gerais, with the objective of optimizing tree cutting for multiple wood products to three sites, with a cut-off age of 15 and 20 years. Kozak model was adjusted to a rigorous cubing base of 469 trees for each site and through the integral of this model the volume was determined based on the prognosis of the diametric structure of each site for both ages analyzed. After this stage, the cutting of trees for multiple products (laminated, plywood, sawn wood, round wood and waste) was simulated. From the estimation of the assortments, with volume values, number of logs and average price of the products, a financial analysis was carried out by calculating the Infinite Net Present Value (NPV_{∞}) for the discount rates of 6%, 10% and 14% per year. In this way, it was possible to conclude that site 1 presented the most attractive scenarios, being viable at all ages and discount rates evaluated. The most economically viable scenario was the cut at 15 years at a rate of 6%, with a NPV of US\$11,511.97. Site 2, in both simulated ages, was economically unviable only at a rate of 14% per year. Finally, site 3 presented a negative NPV at 15 and 20 years in simulations with rates of 10% and 14% per year.

Keywords: taper, multiple products, economic analysis.

1 INTRODUÇÃO

Em um contexto histórico observamos a redução da pressão sobre as florestas naturais através de um crescente suprimento de matéria prima proveniente de florestas plantadas em relação a extração vegetal de origem nativa (MOREIRA *et al.*, 2017).

Assim, o Brasil se destaca por ser um dos maiores produtores de florestas plantadas do mundo. A indústria de base florestal conta atualmente com 9,55 milhões de hectares para cultivos industriais e 6 milhões de hectares para conservação. No ano de 2020 obteve-se uma produção estimada de 116,6 bilhões de reais, isto é, um crescimento de 17,6% em relação ao ano de 2019 (IBÁ, 2021).

O ano de 2020, marcado pela a chegada da pandemia provocada pelo vírus COVID-19 no Brasil, representa também um ano de crise de saúde, sanitária e econômica. Medidas como



distanciamento social e o uso de máscaras foram adotadas. Diante deste contexto o setor florestal foi capaz de mostrar sua plasticidade, adaptando-se às novas demandas e paradigmas. Diante deste cenário observa-se o aumento da demanda de embalagens de papel, utilizadas no *delivery*; papéis para fins sanitários; celulose solúvel para fabricação de materiais de proteção de profissionais da saúde; carvão vegetal como biorredutor para produzir aço, utilizado em instrumentos cirúrgicos e com a intensificação do *home office* o volume de vendas domésticas de painéis de madeira subiu 3,9%. Já a exportação de madeira serrada aumentou aproximadamente 2% quando comparado com o ano anterior (IBÁ, 2021).

Diante do cenário florestal brasileiro e a demanda do mercado por madeira nobre, o cultivo do mogno africano (*Khaya* spp.) tem crescido significativamente no país. Os primeiros plantios se instalaram na região norte no ano de 1976 (RIBEIRO; FERRAZ; SCOLFORO 2017), em 2018 ultrapassou 37 mil hectares, fazendo com que o Brasil possua a maior área plantada do gênero. A madeira do mogno africano tem sido mundialmente reconhecida como nobre, possuindo muitas utilizações como: fabricação de móveis, adornos, entalhes, instrumentos musicais, faqueados, laminados, construção civil e naval. Este possui a madeira com propriedades físicas e mecânicas, aparência e trabalhabilidade similares ao mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla* King), sendo então seu principal substituto, apresentando também rápido crescimento, resistência à broca de ponteiro (*Hypsipyla grandella* Zeller) que inviabiliza o mogno brasileiro, madeira consolidada e de elevada cotação no mercado internacional (REIS *et al.*, 2019).

Atualmente o mercado de madeira está cada vez mais competitivo, havendo a necessidade de desenvolver técnicas e ferramentas com o objetivo de reduzir custos e desperdícios nos processos de produção (CAMPOS *et al.*, 2014). Autores apontam que plantios de *Khaya* spp. já foram implantados na Austrália, Ásia e América tropical. Entretanto há poucos estudos publicados discutindo o crescimento, a produtividade, análises econômicas, resultados dos sistemas silviculturais adotados, isto é, existe necessidade de estudos que forneçam informações para a tomada de decisão na condução do gênero (RIBEIRO; FERRAZ; SCOLFORO 2017).

Campos *et al.* (2014), afirma que a aplicação de técnicas associadas ao inventário florestal é fundamental para quantificação e classificação dos produtos madeireiros da floresta. Técnicas de otimização para definição de estratégias adequadas são necessárias para maximizar o rendimento econômico de um empreendimento florestal. A conversão de árvores em múltiplos



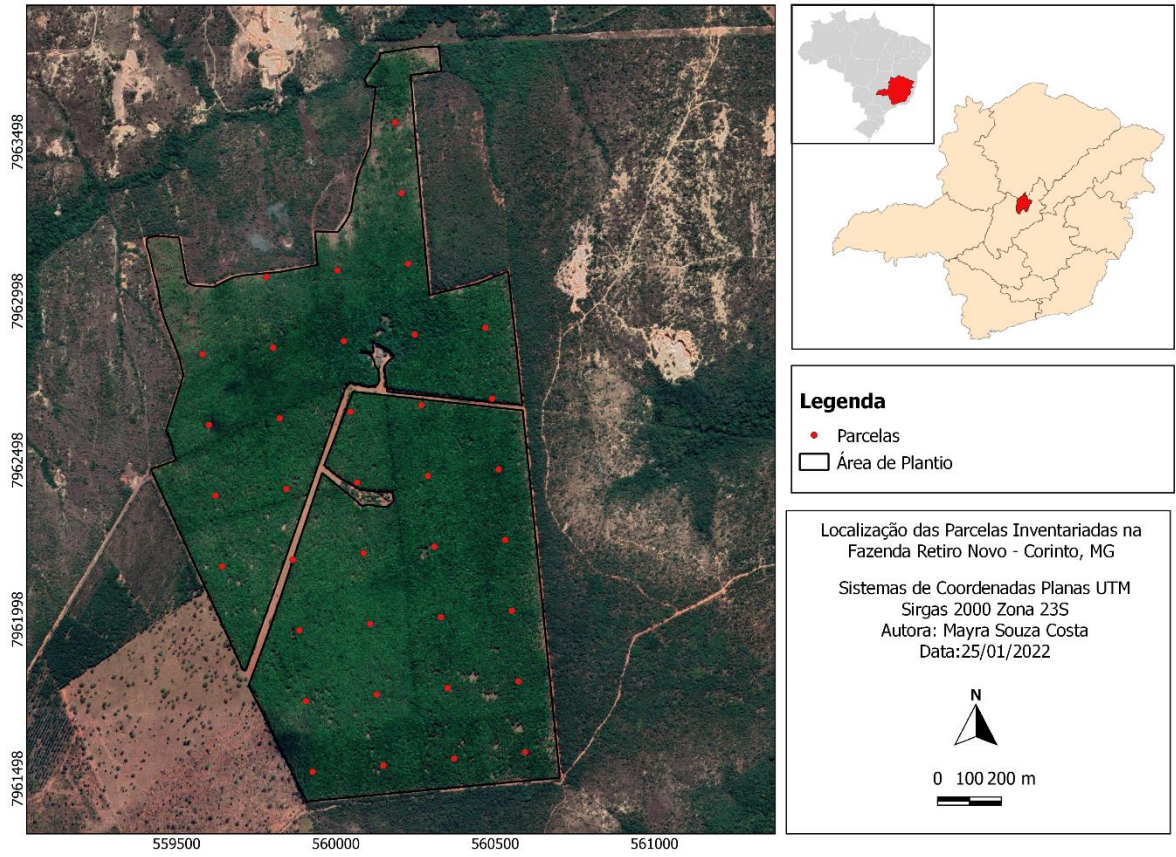
produtos é uma alternativa que vem sendo muito empregada, possibilitando um aumento significativo da receita proveniente de um povoamento florestal. Os modelos de afilamento, também conhecidos como função *taper*, descrevem o perfil do fuste das árvores e são fundamentais para realização desses estudos, sendo uma ferramenta de estimativa de múltiplos produtos.

Considerando a importância e crescimento do cultivo do mogno africano no Brasil, quantificar o estoque de toras e conhecer suas distintas possibilidades de uso torna-se fundamental para o manejo adequado dos plantios. Deste modo os objetivos deste trabalho foram ajustar e avaliar a acurácia do modelo de Kozat *et al.* (1969) para um povoamento de *Khaya* spp. no norte de Minas Gerais, realizar as estimativas de sortimentos e analisar a viabilidade econômica dos produtos em diferentes cenários.

2 METODOLOGIA

Os dados utilizados foram coletados em um povoamento seminal de mogno africano (*Khaya* spp.) que pertence à Fazenda Retiro Novo. Esta, localiza-se no município de Corinto, Minas Gerais (latitude 18°25'74'' e longitude 44°25'71'') (Figura 1). De acordo com a classificação de Köppen e Geiger, Corinto é classificado como AW, clima tropical com estação seca, com temperatura média anual de 24°C e precipitação que oscila entre 800 e 1200 milímetros por ano.

Figura 1 - Mapa da área de estudo.



Fonte: Da autora, 2022.

O povoamento possui uma área de 172,16 hectares, dividida em 9 talhões com diferentes idades e diferentes espaçamentos (Tabela 1). Os dados são provenientes de inventários florestais contínuos (IFC) de 37 parcelas circulares com 1.018 m², distribuídas de forma sistemática com a distância de 212 metros entre parcelas.

Tabela 1 - Informações dos talhões inventariados.

Talhão	Área Talhão (ha)	Idade (anos)	Espaçamento (m)	Número de árvore
1	5,5	9,83	5,0 X 4,0	83
2	11,25	9,83	4,5 X 5,0	82
3	32,04	9,42	6,5 X 4,0	288
4	13,86	9,33	5,0 X 4,5	81
5	19,22	9,33	5,0 X 4,0	169
6	30,72	9,25	6,0 X 4,0	301
7	17,82	9,17	5,0 X 4,0	185
8	3,22	9,17	5,0 X 4,0	44
9	38,53	9,08	5,5 X 4,5	369



Foram realizados três inventários, portanto três medições de parcelas nos anos de 2018, 2019 e 2020. Amostrou-se de 45 a 55 indivíduos por parcelas, assim todos os DAP (diâmetro à 1,30 m do solo) foram mensurados com fita diamétrica, apenas as árvores das fileiras centrais de cada parcela tiveram suas alturas totais (HT) mensuradas com dendrômetro de medição a laser, o Criterion RD 1000.

Os indivíduos de *Khaya* spp. selecionadas para a medição de altura também foram no ano de 2021 submetidos a uma cubagem indireta com o uso do dendrômetro CRITERION RD 1000. O método utilizado para a cubagem foi o de Smalian, onde o volume de cada seção cubada é obtido pela seguinte equação (1) (SCOLFORO & THIERSCH, 2004):

$$v = \left(\frac{g_i + g_{i+1}}{2} \right) \cdot l \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

v = volume do torete (m^3); l = comprimento do torete; g_i = área seccional do extremo da seção; g_{int} = área seccional tomada no meio da seção; g_{i+1} = área seccional do outro extremo da seção.

As medidas de diâmetro foram tomadas 0,3 m; 0,7 m; 1,3 m com a fita diamétrica e após 1,3 m tomou-se a medida de 2,0 m e de 1,0 m em 1,0 m até atingir a altura comercial do fuste ou o diâmetro mínimo de 6 cm. Foram cubadas 469 árvores no total.

Após a cubagem os dados foram organizados em planilhas eletrônicas utilizando o *software* Microsoft Excel 2019, onde o volume de cada seção foi calculado com a Eq. 1 e posteriormente foram somados para obtenção do volume total de cada indivíduo.

Para estimativa de múltiplos produtos (sortimentos) o modelo de Kozak *et al.* (1969) foi ajustado por sítio. Este é bem difundido na literatura florestal devido a facilidade de ajuste e bons resultados. O modelo de Kozak *et al.* (1969) pode ser expresso através da equação 2 e por meio da integral da equação (3) é possível calcular o volume.

$$d_i = D \sqrt{\beta_0 + \beta_1 \left(\frac{h_i}{ht} \right) + \beta_2 \left(\frac{h_i}{ht} \right)^2} + \varepsilon_i \quad (\text{Eq. 2})$$



$$V = K \cdot D^2 \left(\beta_0 \cdot (h_2 - h_1) + \frac{\beta_1}{2 \cdot ht} \cdot (h_2^2 + h_1^2) + \frac{\beta_2}{3 \cdot ht} \cdot (h_2^3 + h_1^3) \right) \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

β_{is} = parâmetros a serem estimados; d_i = diâmetro localizado a uma altura i do fuste (cm); ht = altura total; h_i = altura localizada a um diâmetro i do fuste; ε_i = erro de estimativa; D = diâmetro a 1,30 m de altura; $K = \pi / 40000$.

O ajuste do modelo de afilamento foi realizado para cada sítio a partir do *software* R versão 4.1.2 (Bird Hippie, 2021).

A qualidade dos ajustes foi avaliada por estatística de precisão. Isto permitiu observar se o ajuste foi satisfatório para estimar o diâmetro em porções específicas da árvore e no geral. Assim se calculou a média das diferenças absolutas (MDA, Eq. 4), o coeficiente de correlação entre valores observados e valores estimados da variável dependente ($r_{Y\hat{Y}}$, Eq. 5), a raiz quadrada do erro médio (RQEM, Eq. 6), viés em porcentagem (*viés%*, Eq. 7) e a análise gráfica dos resíduos, obtida a partir dos valores do resíduo em porcentagem (*erro%*, Eq. 8) (LUSTOSA *et al.*, 2017; LOPES *et al.*, 2018) obtidos da seguinte forma:

$$MDA = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \hat{Y}_i|}{n} \quad (\text{Eq. 4})$$

$$r_{Y\hat{Y}} = \frac{cov(Y, \hat{Y})}{\sqrt{s^2(Y) \cdot s^2(\hat{Y})}} \quad (\text{Eq. 5})$$

$$RQEM_{\%} = \frac{100}{\bar{Y}} * \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}} \quad (\text{Eq. 6})$$

$$viés_{\%} = 100 \cdot \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{\hat{Y}_i - Y_i}{Y_i} \right) \quad (\text{Eq. 7})$$



$$erro_{\%} = \frac{(Y_i - \hat{Y}_i)}{Y_i} * 100 \quad (\text{Eq. 8})$$

Em que:

Y_i = valor observado; \hat{Y}_i = valor estimado; \bar{Y} = média dos valores observados; n = número de observações; s^2 = variância; cov = covariância.

Para o desenvolvimento da análise econômica foi utilizado como base o trabalho realizado por Ribeiro *et al.* (2017) intitulado *Financial and risk analysis of African mahogany plantations in Brazil*. A partir deste trabalho os sortimentos foram divididos em 5 categorias: laminado, compensado, madeira serrada, madeira roliça para fins industriais e resíduos.

Os preços médios por metro cúbico (m³) dos produtos foram obtidos no *Annual Review Statistics Database of International Tropical Timber Organization* (Tabela 2). Já os custos de produção, presentes na Tabela 3, foram adaptados dos apresentados por Ribeiro *et al.* (2017) e por Lustosa *et al.* (2017). O custo de implantação representa o combate à formiga, limpeza de área total, preparo de solo, coveamento e adubação. Já os custos de manutenção fazem referência à adubação de cobertura, combate à formiga e controle de mato competição. No valor de administração estão inclusos custos com funcionários como técnicos e engenheiro florestais. A licença, que são custos com taxas e impostos. Por fim o custo da colheita definido R\$ 19,00 m³ (LUSTOSA *et al.*, 2017) e o da terra fixado em R\$ 2.800 por hectare para o ano de 2021, de acordo com a tabela de valor da terra nua (VTN) divulgado pela Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais (EMATER) para a cidade de Corinto-MG (EMATER, 2022).

Tabela 2 - Especificações de sortimentos de madeira e preços de venda por metro cúbico para mogno africano.

Produto	Diâmetro (cm)	Comprimento (m)	Preço* (US\$)	Preço* (BRL)
Laminado	$d \geq 35$	2,22	257,92	1436,61
Compensado	$25 \leq d < 35$	2,22	389,49	2169,46
Madeira Serrada	$18 \leq d < 25$	2,22	210,00	1169,70
Madeira roliça para fins industriais	$8 \leq d < 18$	2,22	108,00	601,56
Resíduos	$d < 8$	-	5,73	31,94

*Os valores médios das vendas de madeira tropical são do *Annual Review Statistics Database of International Tropical Timber Organization* (ITTO, 2022) com base no ano de 2020, fornecidos em dólares americanos (US\$) e convertidos para reais (BRL) por uma taxa de câmbio média de 5,57 em Jan/2022 (BC, 2022).

Fonte: Ribeiro (2017 – modificada)



Tabela 1 - Custos gerais para plantio e manutenção de um hectare de *Khaya spp.*

Ano	Atividade	Custo (US\$)*	Custo (BRL)
0	Implantação	421,54	2.348,00
0	Mudas	305,03	1.699,00
0	Manutenção	121,72	678,00
1	Manutenção	92,01	512,50
2	Manutenção	17,95	100,00
3 n	Manutenção	14,36	80,00
1 n	Administração	17,95	100,00
0 n	Licença	17,95	100,00
n	Roçada pré-corte	16,16	90,00

*Os custos por atividade fornecidos em dólares americanos (US\$) e convertidos para reais (BRL) por uma taxa de câmbio média de 5,57 em Jan/2022 (BC, 2022).

Fonte: Da autora, 2022.

Após a configuração dos sortimentos e inserção dos valores dos respectivos produtos, preços e modelo de afilamento, buscou-se selecionar o cenário que oferecesse o maior retorno financeiro por sítio. Para isso utilizou-se a distribuição diamétrica fruto de um estudo anterior intitulado “Crescimento e produção de um povoamento de *Khaya spp.* no norte de Minas Gerais” (OLIVEIRA, 2021) realizado na mesma população e a otimização dos produtos foi feita em relação ao diâmetro mínimo e comprimento da tora.

Para avaliar a sensibilidade dos cenários, realizou-se a análise do VPL (Eq. 9) e este foi recalculado para o infinito (Eq. 9), o que permite a comparação de cenários com diferentes horizontes de planejamento. Para análise da sensibilidade dos cenários estudados, variou-se a taxa de desconto em 6%, 10% e 14% ao ano.

$$VPL = \sum_{i=0}^n R_j(1+i)^{-j} - \sum_{i=0}^n C_j(1+i)^{-j} \tag{9}$$

$$VPL_{\infty} = \frac{VPL \cdot (1+i)^t}{(1+i)^t + 1} \tag{10}$$

Em que:

R_j = receita no final do ano j ou do período de tempo considerado;



C_j = custo no final do ano j ou do período de tempo considerado;
 i = taxa de desconto;
 n = duração do projeto, em anos, ou em número de períodos de tempo;
 t = número de períodos de capitalização.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do ajuste do modelo de Kozak para os três sítios estudados, obteve-se os valores dos parâmetros apresentados na Tabela 4 e as estatísticas de precisão da Tabela 5. O MDA apresenta a média das diferenças absolutas entre o diâmetro observado e o diâmetro estimado, o RQEM% expressa a média quadrática dos desvios entre os valores observados e os valores estimados. Deste modo quanto menor o valor destas medidas de precisão, mais acurada será a estimativa. O coeficiente de correlação aponta o grau associativo entre duas variáveis. Assim quanto mais próximos de 1 (um) esta medida, maior a correlação entre as variáveis. Já o viés% evidencia a tendência que cada modelo pode apresentar, possuindo isto em vista, quanto mais próximo de 0 (zero) maior a acurácia do modelo e menor a tendenciosidade das estimativas.

Assim pode-se observar através da Tabela 4, que as estatísticas de precisão dos modelos para os três sítios foram parecidas. Entretanto o sítio 1 apresentou menor viés% e maior coeficiente de correlação. Em um estudo realizado por Lopes *et al.* (2018) com *K. ivorensis* em dois sistemas agroflorestais o autor testou o modelo de Kozak *et al.*, Ormerod e Demaerschalk. Para os dois sistemas o Polinômio de Segundo Grau apresentou melhor qualidade de ajuste com o R^2 igual a 0,83 e coeficiente de correlação igual a 0,88 para o local 1 e 0,96 para o local 2.

Tabela 4 - Estimativa dos parâmetros por sítio para o modelo de Kozak et al.

	β_0	β_1	β_2
Sítio 1	1,1909	-1,9082	0,7323
Sítio 2	1,2022	-1,8447	0,6682
Sítio 3	1,2513	-1,8593	0,6377

Onde: β 's = valores dos parâmetros para o modelo testado.

Fonte: Da autora, 2022.

Tabela 5 - Estimativa de precisão para o modelo de Kozak et al. por sítio.

	MDA (cm)	$r_{Y\hat{Y}}$	RQEM%	viés%
Sítio 1	1,477	0,98	9,01	- 3,35
Sítio 2	1,284	0,97	10,42	- 3,51
Sítio 3	1,330	0,97	10,91	- 3,56

Onde: MDA = média das diferenças absolutas; $r_{Y\hat{Y}}$ = coeficiente de correlação entre valores observados e valores estimados da variável dependente; RQEM = a raiz quadrada do erro médio, viés% = viés em porcentagem e R^2 = coeficiente de determinação ajustado.

Fonte: Da autora, 2022.

Através da análise dos gráficos de resíduo, Figura 2, observa-se uma tendenciosidade na estimativa dos diâmetros, que no caso significa que o modelo apresenta tendência em subestimar os diâmetros. Esse mesmo aspecto também foi revelado pelo *viés%* que apresentou sinal negativo para todos os sítios. Essa subestimativa em todos os sítios, tende a diminuir para árvores maiores e observa-se ainda que os maiores erros são nos menores diâmetros do fuste. Contudo quando se observa os gráficos de diâmetro estimado *versus* diâmetro observado, uma forte relação linear também é observada, o que indica estimativas satisfatórias.

Em um estudo realizado por Favalessa *et al.* (2012) com *Pinus taeda* o autor aponta que o modelo de Kozak não foi capaz de descrever as extremidades superior e inferior da árvore, ou seja, não é um modelo flexível para essas partes da árvore.

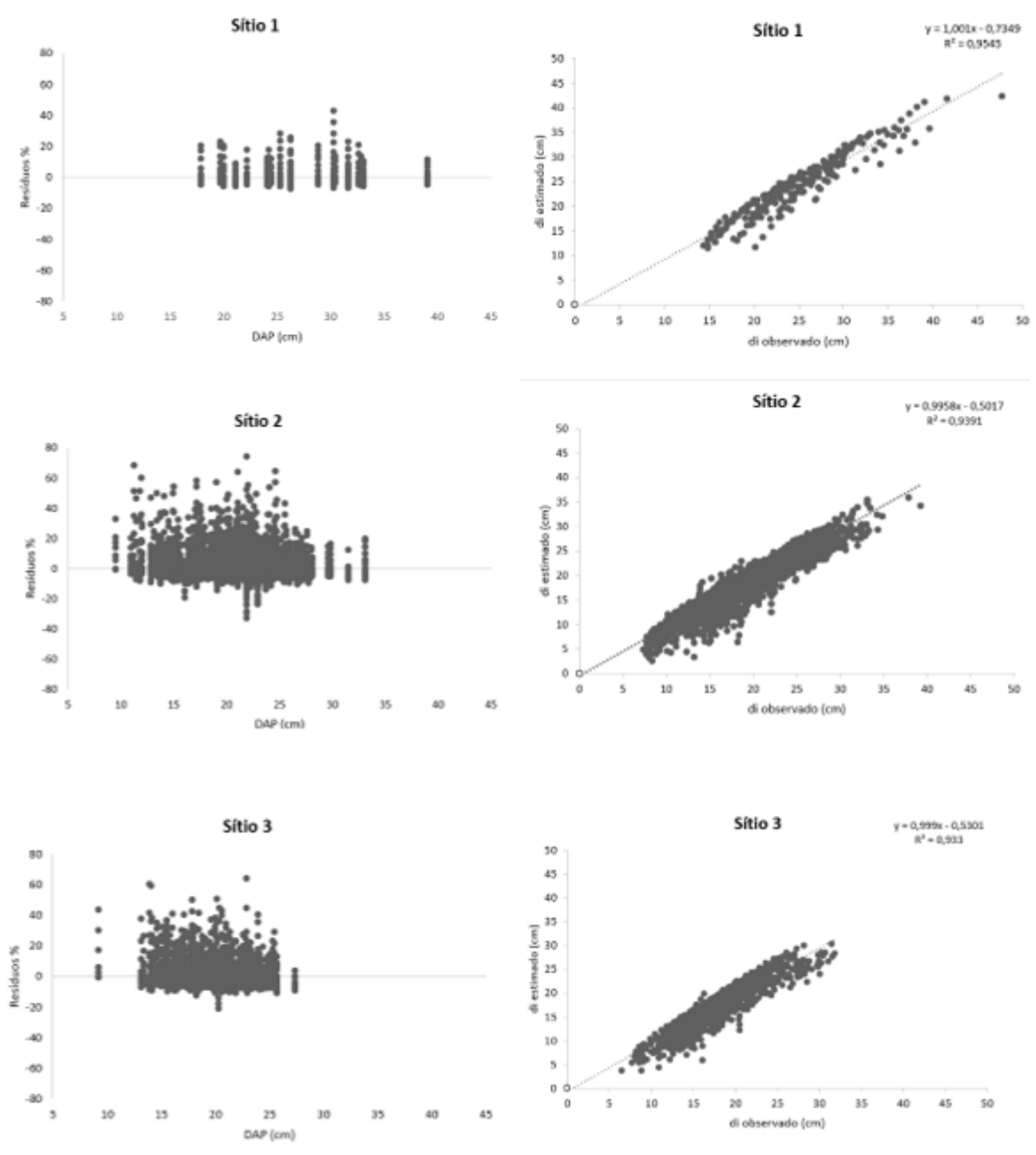
No estudo intitulado “Modelos de afilamento e otimização de multiprodutos de um povoamento de *eucalyptus* não desbastado” os modelos testados foram: Kozak, Demaerschalk, Ormerod, Prodan e Garay. Neste estudo os dois primeiros modelos não foram eficientes quando comparados com os demais. O modelo de Kozak apresentou tendenciosidade na estimativa de diâmetros menores, raiz quadrada do erro médio de 6,07% e o modelo de Demaerschalk apresentou tendenciosidade negativa para estimativa de diâmetros menores e RQEM de 28,60% (LUSTOSA *et al.*, 2017)

Contudo, neste estudo não foram avaliados outros modelos, pois o objetivo era avaliar as estimativas de sortimento a partir do modelo de Kozak, por sua flexibilidade e facilidade de ajuste, e ao avaliar as medidas de precisão estatística da modelagem, observa-se que em todos os sítios o MDA foi inferior a 1,5 cm e a RQME% aproximadamente igual a 10%.

Considerando ainda que os dados de cubagem do presente estudo foram obtidos de forma indireta (cubagem em pé), portanto pode haver muito ruído nas medições de diâmetro, que os dados foram coletados em um plantio seminal com grande variação de formas, mesmo com uma tendência em subestimar os diâmetros, o modelo de Kozak foi considerado satisfatório e por isso foi usado nas estimativas de sortimento.



Figura 2 - Gráficos de resíduos e relação diâmetro estimado e diâmetro observado ao longo do fuste por sítio.



Fonte: Da autora, 2022.

Após o ajuste do modelo de Kozak realizou-se a otimização de múltiplos produtos de acordo com o diâmetro mínimo e comprimento exigido de cada produto. Através do número de toras e volume de cada produto calculou-se a receita total para cada sítio. A otimização foi realizada de acordo com a distribuição diamétrica (Anexo I) e nas Tabelas de 6 a 11 estão



representados o número de toras para cada produto, o volume e os valores totais das receitas de cada sítio com idade de colheita de 15 e 20 anos.

Pode-se observar que o sítio 1 apresentou maior receita em comparação com os demais. Tal fato ocorre devido a produtividade de cada sítio. Assim sítios mais produtivos possuem maior incremento e conseqüentemente maiores diâmetros, alturas e volumes, enquanto sítios menos produtivos possuem árvores menores e geram menos sortimentos.

Tabela 6 – Receita total do Sítio 1 com 15 anos.

Produto	Nº de toras	Volume (m ³ .ha ⁻¹)	US\$	BRL
Laminação	115	10,35	2.668,43	14.863,14
Compensado	852	71,82	27.974,05	15.5815,48
Serraria	1763	148,51	31.188,12	173.717,82
Roliça	884	55,38	5.980,84	33.313,28
Resíduo		17,14	98,27	547,34
Total	3614	303,20	67.909,71	378.257,06

Fonte: Da autora, 2022.

Tabela 7 - Receita total do Sítio 1 com 20 anos.

Produto	Nº de toras	Volume (m ³ .ha ⁻¹)	US\$	BRL
Laminação	265	26,75	6.898,19	38.422,93
Compensado	1001	98,23	38.260,50	213.110,96
Serraria	1830	179,61	37.718,20	210.090,35
Roliça	518	37,47	4.046,28	2.2537,79
Resíduo		18,48	105,98	590,31
Total	3614	360,54	87.029,15	484.752,35

Fonte: Da autora, 2022.

Tabela 8 - Receita total do Sítio 2 com 15 anos.

Produto	Nº de toras	Volume (m ³ .ha ⁻¹)	US\$	BRL
Laminação	1	0,08	19,39	108,00
Compensado	339	21,60	84.11,99	46.854,80
Serraria	1171	73,11	15.354,15	85.522,60
Roliça	1313	65,51	7.074,97	39.407,56
Resíduo		12,35	70,84	394,56
Total	2824	172,65	30.931,33	172.287,51

Fonte: Da autora, 2022.

Tabela 9 - Receita total do Sítio 2 com 20 anos.

Produto	Nº de toras	Volume (m ³ .ha ⁻¹)	US\$	BRL
Laminação	13	1,00	258,84	1.441,72
Aglomerado	599	43,15	16806,75	93.613,59
Serraria	1431	106,39	22341,18	12.4440,36
Roliça	851	50,02	5401,75	3.0087,77
Resíduo		13,02	74,66	415,87
Total	2894	213,58	44883,18	249.999,31

Fonte: Da autora, 2022.



Tabela 10 - Receita total do Sítio 3 com 15 anos.

Produto	Nº de toras	Volume (m ³ .ha ⁻¹)	US\$	BRL
Laminação	0	0,00	0,00	0,00
Compensado	151	9,10	3.543,30	19.736,19
Serraria	781	44,40	9.323,79	51.933,48
Roliça	1357	63,36	6.843,19	38.116,59
Resíduo		12,50	71,65	399,12
Total	2289	129,35	19.781,93	110.185,38

Fonte: Da autora, 2022.

Tabela 11 - Receita total do Sítio 3 com 20 anos.

Produto	Nº de toras	Volume (m ³ .ha ⁻¹)	US\$	BRL
Laminação	1	0,08	20,76	115,65
Compensado	315	20,72	8.069,97	44.949,75
Serraria	1003	66,65	13.996,17	77.958,68
Roliça	984	49,51	5.347,01	29.782,84
Resíduo		10,39	59,58	331,86
Total	2303	147,35	27.493,50	153.138,77

Fonte: Da autora, 2022.

Através das receitas e dos custos foi realizado o fluxo de caixa e então o VPL_{∞} foi utilizado para análise de viabilidade econômica (Tabela 12). Os valores de VPL_{∞} para o sítio 1 foram todos positivos para ambas as idades, apresentando a viabilidade econômica para as taxas de desconto de 6 a 14%. Para o uso múltiplo da madeira, com as taxas de juros simuladas, o sítio 2 se apresentou viável para as taxas de 6 e 10%, sendo inviável em ambas as idades para taxa de 14%. Já o sítio 3 não apresentou viabilidade econômica para a taxa de juros de 10% e de 14%, apresentando então VPL_{∞} negativo. O cenário mais atrativo diante das condições avaliadas foi a colheita no sítio 1 aos 15 anos para a taxa de 6% a.a., pois proporcionou maior VPL_{∞} .

De acordo com Lutosa (2017) a diversificação de usos da produção de madeira gera maior retorno financeiro quando comparado a apenas um uso, pois possibilita maior flexibilidade e menores riscos na comercialização, além de maior aproveitamento da árvore.

Tabela 12 – Valor Presente Líquido para diferentes cenários e taxas de juros.

Cenário		VPL_{∞} US\$		
		6% a.a.	10% a.a.	14% a.a.
Sítio 1	15 anos	11.511,97	5.901,59	2.758,85
	20 anos	10.722,18	4.093,05	1.038,30
Sítio 2	15 anos	3.530,37	1.240,13	-\$15,48
	20 anos	3.960,15	811,52	-\$95,32
Sítio 3	15 anos	1.305,81	-\$9,07	-\$788,71
	20 anos	1.170,09	-\$42,46	-\$1.269,36

Em que: *Cálculo foi realizado em dólares americanos; a.a. = ao ano.

Fonte: Da autora, 2022.



4 CONCLUSÃO

Nas condições em que o presente estudo foi conduzido as seguintes conclusões foram formuladas:

- O modelo de Kozak, descreve de maneira satisfatória o afileamento das árvores de *Khaya* spp.
- Nos cenários apresentados, o sítio mais produtivo (sítio 1) se apresenta como o mais atrativo financeiramente com a idade de colheita de 15 anos, com o maior VPL_{∞} .
- Todos os sítios apresentam VPL_{∞} positivos para a taxa de desconto de 6% ao ano em ambas as idades de colheita.
- O sítio 3, menos produtivo, não é viável economicamente para as duas idades de colheita considerando as taxas de desconto de 10% e 14% ao ano.



REFERÊNCIAS

ASSIS, A. L. de. Avaliação de Modelos Polinômios Segmentados e Não-segmentados na Estimativa de Diâmetros e Volumes Comerciais de *Pinus taeda*. 2000. 189p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2000.

ANDRADE, Valdir Carlos de Lima. Modelos de Taper do Tipo Expoente-Forma para Descrever o Perfil do Fuste de Árvores. Pesquisa Florestal Brasileira, **Brazilian Journal of Forestry Research**, Colombo, v. 34, n. 80, p. 271-283, out./dez. 2014.

ANDRADE, Valdir Carlos Lima de & SCHMITT, Thaís. Modelos de *Taper* Empregados em Florestas Brasileiras Nativas e em Plantações Florestais sem Eucalipto e *Pinus*. **Advances in Forestry Science**. Cuiabá, v.4, n.1, p.89-92, 2017.

BCB - Banco Central do Brasil. Cotações, 2022. Disponível em <<https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/fechamentodolar>> Acesso em:23/01/2022.

CAMPOS, B. P. F *et al.* Efeito do Modelo de Afilamento Utilizado sobre a Conversão de Fustes de Árvores em Multiprodutos. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 104, p. 513-520, dez. 2014.

EMATER – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais. Valores da Terra Nua 2022. Disponível em: <https://www.emater.mg.gov.br/portal.do?flagweb=novosite_pagina_interna&id=19167>. Acesso em: 27/01/2022.

FALESI, I. C., BAENA, A. R. C. **Mogno-africano *Khaya ivorensis* A. Chev. em Sistema Silvopastoril com Leguminosa e Revestimento Natural do Solo**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 52p.

FAVALESSA, C. M. C. *et al.* Funções de Afilamento não Segmentadas e Segmentadas para *Tectona grandis* na Região Centro-Sul **Matogrossense**. **Brazilian Journal of Forestry Research**, Colombo, v. 32, n. 72, p. 373-387, out./dez. 2012.

FIGUEIREDO FILHO, A.; BORDERS, B. E.; HITCH, K. L. Taper equations for *Pinus taeda* in Southern Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 83, n. 1, p. 39-46, 1996.

IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores. Anuário... **Relatório da Indústria Brasileira de Árvores**. São Paulo; 2021. 176 p.

ITTO - **Annual Review Statistics Database of International Tropical Timber Organization**, 2020. Disponível em <https://www.itto.int/biennial_review/?mode=searchdata> Acesso em: 23/01/2022.

OLIVEIRA, Roberta Rodrigues. Crescimento e Produção de um Povoamento de *Khaya* spp. no Norte de Minas Gerais. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Florestais). Instituto de Ciências Agrárias – ICA/UFMG, 2017.



LOPES, S. S. L. *et al.* Ajuste de Modelos de Taper e Sortimento de Toras de Mogno Africano em Sistemas Agroflorestais em Belterra, Pará. **Agroecossistemas**, v. 10, n. 1, p. 18 - 28, 2018, ISSN 2318-0188.

LUSTOSA JÚNIOR, I. M.; LIMA, M. B. O.; NASCIMENTO, B. G.; MEIRA JÚNIOR, M. S.; CASTRO, R. V. O. Modelos de Afilamento e Otimização de Multiprodutos de um Povoamento de Eucalyptus não Desbastado. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia-MS, v. 4, Suplemento 1, p. 59-65, dez. 2017. ISSN 2358-6303

MIRANDA, R. O. V. *et al.* Métodos da Curva Guia e Equação das Diferenças na Classificação de Sítio e sua Relação na Descrição da Altura em *Pinus taeda* L. **Scientia Forestalis**, v. 49, n. 131, abr. 2021. Disponível em <<https://doi.org/10.18671/scifor>>. Acesso em: 23/01/2022.

MOREIRA, J. M. M. Á. P. *et al.* Importância e Desempenho das Florestas Plantadas no Contexto do Agronegócio Brasileiro. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 47, n. 1, p. 85 - 94, jan. / mar. 2017.

POKORNY, B.; FERREIRA C. P.; STEINBRENNER, M.. **Custos de Operações Florestais: Noções e Conceitos**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2011. 80 p.

PRODAN, M. *et al.* **Mensura Forestal**. San José, CR: IICA, 1997. 586 p.

Queiroz D. *et al.* Identidade de Modelos em Funções de Afilamento para *Mimosa scabrella* Benth em Povoamentos Nativos da Região Metropolitana de Curitiba/PR. **Floresta**, v. 38, n. 2, 2008.

REIS C. F. *et al.* Caracterização das Espécies Pertencentes ao Gênero *Khaya* de interesse no Brasil. In. REIS, C. F.; OLIVEIRA, E. B. de; SANTOS, A. M. **Mogno-africano (*Khaya* spp.): Atualidades e Perspectivas do Cultivo no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. Cap. 1, p.12-49.

REZENDE, J. L. P. de; OLIVEIRA, A. D. de. **Análise Econômica e Social de Projetos Florestais**. 1ª. Edição. Viçosa, UFV, 2013. 385p.

RIBEIRO, A. *et al.* *Financial and Risk Analysis of African Mahogany Plantations in Brazil*. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 2, n. 42, p. 148-158, mar- abr. 2018.

Ribeiro A.; Ferraz A. C. F.; Scolforo J.R. O Cultivo do Mogno Africano (*Khaya* spp.) e o Crescimento da Atividade no Brasil. **Floresta e Ambiente** 2017. ISSN 2179-8087. Disponível:<<http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.076814>> Acesso em: 23/01/2022.

SANTOS, M. A. *et al.* Modelagem da Distribuição Diamétrica para Eucalipto Seminal na Região Centro Oeste de Mato Grosso. **Advances in Forestry Science**, Cuiabá, v.6, n.2, p.639-643, 2019. ISSN: 2357-8181.

SCOLFORO, J. R. S. & THIERSCH, C. R. **Biometria Florestal: Medição, Volumetria e Gravimetria**. Lavras: UFLA/FAEP, 2004.

SCOLFORO, J. R. S. Biometria Florestal: Modelos de crescimento e produção florestal. Lavras. UFLA/FAEP, Lavras, 2006, 393p.

SILVA *et al.* Qualidade da Madeira de Mogno Africano para a Produção de Serrados. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 109, p. 181-190, mar. 2016.

SOUZA, Carlos Alberto Martinelli de. **Avaliação de Modelos de Taper Não Segmentados e Segmentados na Estimação da Altura e Volume Comercial de Fustes de Eucalyptus sp.** Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, 2007.

TÉO, S. J. *et al.* Dinâmica de Distribuição Diamétrica de Povoamentos de *Pinus taeda*, na Região de Caçador, SC. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.31, n. 67, p. 183 - 192, jul./set. 2011.

VITALE, V.; MIRANDA, G. de M. Análise Comparativa da Viabilidade Econômica de Plantios de *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii* na Região Centro-Sul do Paranáfloresta. **Floresta**, Curitiba, PR. v. 40, n. 3, p. 469-476, jul./set. 2010.