

Modelagem matemática para otimização do rendimento de madeira serrada de *Pinus*Eraldo Antonio Bonfatti Júnior ¹; Elaine Cristina Lengowski ²; Tamires de Almeida Sfeir ¹; Bruno GruberNisponginski ³; Kaio Fanes ³; Kauana Melissa Cunha Dickow ³¹ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal / Universidade Federal do Paraná; ² Faculdade de Engenharia Florestal / Universidade Federal do Mato Grosso; ³ Universidade do Contestado

Resumo: No Brasil, apenas 4% dos 7,84 milhões de hectares de florestas plantadas é destinado a produção de madeira serrada, sendo que no estado de Santa Catarina a maior parte da madeira para este fim é do gênero *Pinus*. Esse trabalho teve como objetivo estimar o máximo aproveitamento de toras em função da produção de tábuas na cidade de Canoinhas, Santa Catarina. Para isso foi consultada uma serraria da região e verificadas as dimensões das peças produzidas. Também foram levantadas as dimensões e classes de toras comumente comercializadas na região. Em função disto, foram criados 82 modelos de padrões de corte no software MaxiTora em formato de diagrama. Com os modelos de padrões a serraria teve seu rendimento otimizado com o uso de técnicas de pesquisa operacional. Criou-se um modelo de programação linear inteira, para uma demanda estimada da quantidade de cada uma das peças produzidas. Os resultados demonstraram que são necessários apenas cinco modelos para suprir tal demanda, de modo que o rendimento seja de 43,18%.

Palavras-chave: Programação linear. Pesquisa Operacional. Demanda. Serraria.

Mathematical modeling for optimization of the yield of sawed wood of *Pinus*

Abstract: In Brazil, only 4% of the 7.84 million hectares of planted forests is devoted to the production of sawn wood, being in Santa Catarina state most of the wood used for this purpose is of the genus *Pinus*. This work aims to estimate the maximum utilization of logs due to the production of boards in the city of Canoinhas, Santa Catarina. For that, a sawmill of the region were consulted and the dimensions of the pieces produced were verified. The dimensions and classes of logs commonly traded in the region were also raised. As a result, 82 models were created in Maxitara software in diagram format. With the standards models the sawmill had its performance optimized with the use of techniques of operational research. The whole linear programming technique was used for an estimated demand for the quantity of each of the pieces produced. The results showed that only five models are required to meet such demand, so the yield is 43.18%.

Keywords: Linear Programming. Operational research. Demand. Sawmill.

1. INTRODUÇÃO

O interesse pelo emprego de espécies de rápido crescimento, como fonte de matéria prima para a obtenção de madeira serrada, tem aumentado de maneira significativa. As restrições impostas ao uso de madeiras provenientes de florestas nativas têm sido apontadas como um dos principais fatores que levaram à busca de espécies de rápido crescimento para atender à demanda da indústria madeireira (Tomaselli, 2000). Entre os gêneros que apresentam rápido crescimento estão o *Eucalyptus* e o *Pinus* (IBÁ, 2017).

No Brasil, apenas 4% dos 7,84 milhões de hectares de floresta plantada são destinados a produtos de madeira sólida, onde o consumo de madeira em toras foi de 33,58 milhões de m³ para produção de madeira serrada, sendo 27,37 milhões de m³ de *Pinus* (IBÁ, 2017). Devido as condições favoráveis de crescimento e por apresentar toras de boa trabalhabilidade no desdobro, a indústria de madeira sólida catarinense é baseada na utilização da madeira do gênero *Pinus* (Murara Junior et al., 2013). Santa Catarina é um dos estados com grande destaque na exportação de madeira serrada de *Pinus* com 44% do total nacional. (ACR, 2016).

O rendimento em madeira serrada é influenciado por diversos fatores, tais como características da espécie, produtos, maquinário, mão de obra e, principalmente, pelo diâmetro das toras. Além desses fatores, o tratamento que é dado às toras ainda no pátio da serraria e outras decisões de como desdobrá-las são fatores fundamentais para que se atinjam bons níveis de rendimento (Vital, 2008; Murara Júnior et al., 2013). Nesse contexto, a modelagem e o planejamento operacional são ferramentas que auxiliam na escolha da melhor técnica de desdobro e aumento do rendimento das toras (Murara Júnior et al., 2005; Heinrich, 2010).

Um software que auxilia na definição do padrão de corte na serraria e uma visualização prévia dos produtos e rendimentos obtidos para as várias classes diamétricas processadas é o MaxiTora (Lengowski et al., 2017). Já a pesquisa operacional é uma área interdisciplinar cujo interesse contemporâneo é o estudo de métodos analíticos para tomada de decisão, num sentido amplo (Hillier & Lieberman, 2012). Dentre os vários tópicos de interesses em pesquisa operacional a programação linear exerce um papel central em função de sua vasta aplicabilidade em situações reais e da existência de métodos eficientes para solução de problemas de grande porte (Arenales & Armentano, 2015).

Nesse contexto o objetivo desse trabalho é otimizar o desdobro das toras de *Pinus* buscando maximizar o rendimento da serraria em função das peças produzidas na região de Canoinhas por meio de modelos matemáticos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Levantamento de peças a serem produzidas

O interesse pelo emprego de espécies de rápido crescimento, como fonte de matéria prima para a obtenção de madeira serrada, tem aumentado de maneira significativa. As restrições impostas ao uso de madeiras provenientes de florestas nativas têm sido apontadas como um dos principais fatores que levaram à busca de espécies de rápido crescimento para atender à demanda da indústria madeireira (Tomaselli, 2000). Entre os gêneros que apresentam rápido crescimento estão o Eucalyptus e o Pinus (IBÁ, 2017).

Tabela 1. Principais dimensões de peças produzidas e suas demandas mensais.

Peça	Largura (mm)	Espessura (mm)	Comprimento (mm)	Demanda (nº de peças)
1	77	27	2130	1500
2	85	27	2130	2700
3	125	27	2130	4500
4	125	37	2130	2000

2.2 Classes diamétricas e custo de toras

As classes diamétricas foram definidas em função da disponibilidade de toras ofertadas na região, descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Classes diamétricas e preço das toras ofertadas na região de estudo.

Classe	Diâmetro (cm)	Preço da tonelada de cada classe de tora (R\$)
A	13,0-17,0	85
B	17,1-21,0	118
C	21,1-25,0	118
D	25,1-29,0	141
E	29,1-32,0	141
F	32,1- 35	141
G	35,1-40	200

2.3 Desdobro otimizado

A simulação de otimização no desdobro foi realizada com o software MaxiTora. Foram cadastrados os quatro tipos de peças (Tabela 1) considerando as sete classes de toras (Tabela 2). As considerações adotadas foram 2 mm de espessura da serra vertical e 2 mm na serra horizontal, e um percentual de 5% de casca, obedecendo a otimização livre feita para aumentar o rendimento. Em função disto foram criados 82 modelos diagramais no software MaxiTora.

2.4 Modelagem matemática

Com o desempenho de cada desdobro obtido pelo software MaxiTora foi otimizado o rendimento da serraria a partir da pesquisa operacional para encontrar os modelos que possibilitassem obter as peças demandadas com a maximização do rendimento. Um modelo de programação linear inteira foi criado, o qual consiste na definição da função objetivo e de restrições técnicas. Para resolução do modelo foi utilizado o software LINGO 17.0.

A seguir é apresentada a terminologia utilizada para definir matematicamente as expressões do modelo.

Conjuntos e parâmetros utilizados.

$I = \{1, \dots, i \}$	Conjunto de modelos de desdobro
$J = \{1, \dots, j \}$	Conjunto de peças
V_i	Rendimento do modelo de desdobro i
D_j	Demanda pela peça j
q_{ji}	Quantidade de peças j produzidas pelo modelo de desdobro i
Descritos os conjuntos e os parâmetros é definida a variável de decisão.	
x_i	Quantidade processada do modelo i

Em seguida o modelo matemático é definido.

(Equação 1)

(Equação 2)

(Equação 3)

Em que a função objetivo (Equação 1) maximiza o rendimento da serraria, obtido pela multiplicação do rendimento de cada modelo de desdobro pelo número de vezes que cada modelo será cortado. A função objetivo está sujeita a satisfação do conjunto de restrições (Equação 2) que têm por objetivo suprir a demanda de cada tipo de peça.

Atuando junto a essas restrições estão as restrições de não negatividade e integridade (Equação 3), assim o sistema deve apresentar valores maiores ou iguais a zero e inteiros.

3. RESULTADOS

De acordo com o resultado da programação linear inteira para atingir a demanda através das restrições impostas foram selecionados cinco modelos de corte: 1, 9, 10, 58 e 71, as representações diagramais são demonstradas na Figura 1 e os rendimentos e números de peças de cada modelo são demonstrados na Tabela 3. O rendimento ótimo dado pela função objetivo (Max



(Z)) foi de 43,18%, valor em linha com os rendimentos típicos de uma serraria de Pinus spp. na região (Lengowski et al., 2017).

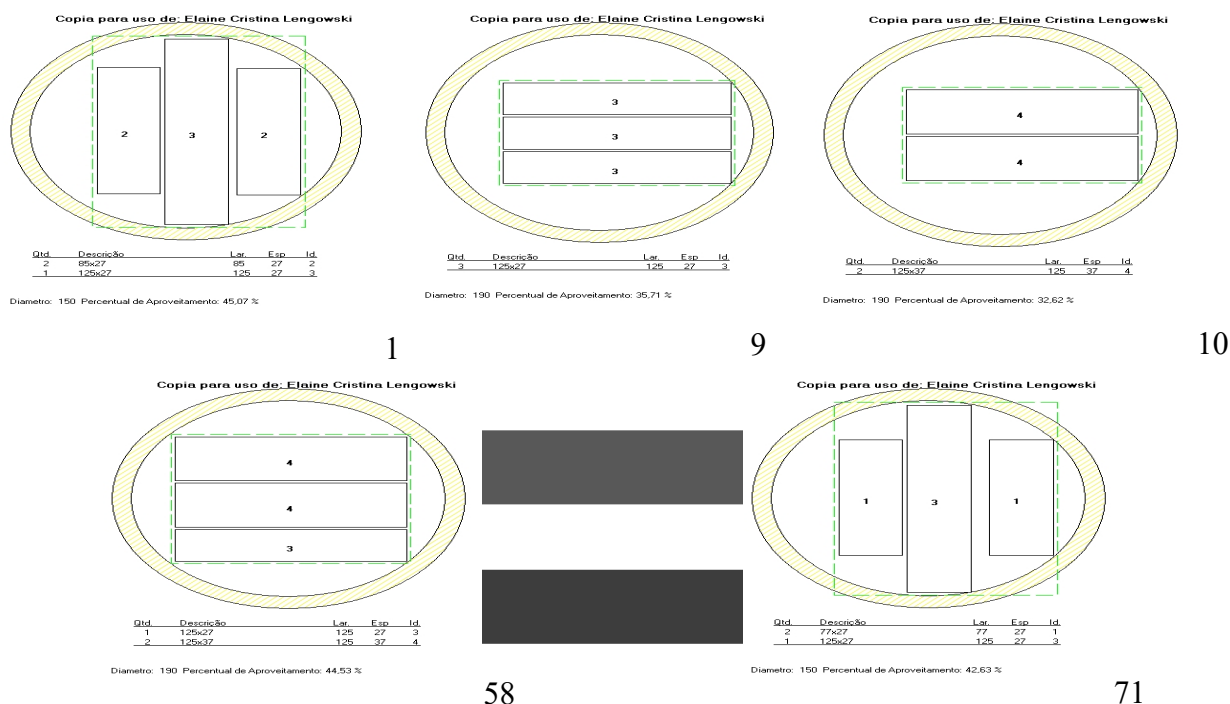


Figura 1. Diagramas dos modelos selecionados.

Tabela 3. Os modelos selecionados com os respectivos rendimentos, peças geradas e as classes diamétricas.

Modelos	Rendimento	Peças Geradas				Classe Diamétrica
		1	2	3	4	
Modelo 1	45,07%	0	2	1	0	A
Modelo 9	35,71%	0	0	3	0	B
Modelo 10	32,62%	0	0	0	2	B
Modelo 58	44,53%	0	0	1	2	B
Modelo 71	42,63%	2	0	1	0	A

Cada modelo será repetido por determinado número de vezes, ou seja, os números de toras

a serem processadas para atingir a demanda exigida são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Número de toras processadas por modelo e os respectivos números de peças.

Modelos	Número de toras	Número de peças			
		Peça 1	Peça 2	Peça 3	Peça 4
Modelo 1	1350	0	2700	1350	0
Modelo 9	467	0	0	1401	0
Modelo 10	1	0	0	0	2
Modelo 58	999	0	0	999	1998
Modelo 71	750	1500	0	750	0
Soma	3567	1500	2700	4500	2000

4. DISCUSSÃO

Todas as classes diamétricas apresentaram rendimentos satisfatórios, contudo as classes A e classe B foram selecionadas para produção, sendo 2100 toras da classe A e 1467 da classe B. A seleção do Modelo 10 para ser executado apenas uma vez é devida a necessidade de apenas duas peças do tipo 4 para completar a demanda desse tipo de peça, situação comum em situações de otimização de processos de corte (Ulbrich & Ribeiro, 2010).

Estas toras, por terem um diâmetro menor comparado as outras, tem um menor custo por tonelada no mercado, conforme Tabela 2. Como o produto possui um baixo valor agregado e sem utilização estrutural, o uso de toras de menor diâmetro, e que consequentemente apresentaram maior percentual de lenho juvenil, não implicará em problemas de qualidade.

As ferramentas da pesquisa operacional, especialmente problemas de programação linear são eficazes em problemas complexos de otimização (Ulbrich & Ribeiro, 2010). No presente estudo, a serraria não teria só melhor rendimento como a minimização de seus custos pois o modelo de programação linear indicou a utilização das classes de toras de menores custos. Outro aspecto é que quando a serraria também for possuidora dos maciços florestais pode-se antecipar o período de colheita, pois ao utilizar toras menores opta-se por abater árvores mais jovens.

5. CONCLUSÕES

Pode concluir-se através dos modelos matemáticos que:

- O rendimento ótimo será alcançado com as toras de 150mm (classe A) e 190mm (classe B) deixando menos resíduos, consequentemente aumentando a produção e tendo um menor custo considerando a compra das toras de terceiros.

- Com o rendimento de 43,18% o modelo definido foi capaz de atender todas as restrições impostas, além de encontrar a opção ótima de desdobro.

6. REFERÊNCIAS

Arenales M, Armentano V. Pesquisa Operacional para cursos de engenharia. São Paulo: Elsevier, 2015.

Associação Catarinense de Empresas Florestais - ACR. Anuário estatístico de Base florestal para o estado de Santa Catarina 2016 (ano base 2015). Florianópolis: ACR, 2016.

Heinrich D. Simulação da produção de madeira serrada [dissertação]. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

Hillier FS, Lieberman GJ. Introdução à pesquisa operacional. 9. ed., São Paulo: Mac Graw Hill, 2012.

Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ. Relatório 2017. Brasília: IBÁ, 2017.

Lengowski EC, Fuck SC, Bonfatti Junior EA. Estimativa do ganho em rendimento no desdobro da madeira de *Pinus* spp. utilizando modelagem. In: III CBCTEM, 2017, Florianópolis.

Murara Júnior MI, Rocha MP, Trugilho PF. Estimativa do Rendimento em Madeira Serrada de *Pinus* para Duas Metodologias de Desdobro. *Floresta e Ambiente* 2013; 20(4):556-563.

Murara Júnior MI; Pereira MR, Romano TJ. Rendimento em madeira serrada de *Pinus taeda* para duas metodologias de desdobro. *Revista Floresta* 2005; 35(3):473-483.

Tomaselli I. Tecnologia da madeira no Brasil - Evolução e Perspectiva. *Revista Ciência e Ambiente* 2000; 20:101-112.

Ulbricj G, Ribeiro R. Otimização de produtividade em prensas de alta frequência utilizando ferramentas da programação linear – um estudo de caso. *Ágora* 2010; 17(1):171-183.

Vital BR. Planejamento e operações de serrarias. Viçosa: Editora UFV, 2008.

de Viçosa; 2013.

