

CalcMadeira – valoração de madeira roliça e serrada em florestas plantadas

CalcMadeira - valuation of round wood and sawn wood in planted forests

CalcMadeira - valoración de madera en rollo y madera aserrada en bosques plantados

DOI: 10.54033/cadpedv21n8-044

Originals received: 07/01/2024

Acceptance for publication: 07/22/2024

Thomaz Correa e Castro da Costa

Doutor em Ciência Florestal

Instituição: Embrapa

Endereço: Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil

E-mail: thomaz.costa@embrapa.br

Luiz Fernando França

Engenheiro de Software

Instituição: SIG Informática Ltda

Endereço: Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil

E-mail: luiz@siginformatica.com.br

RESUMO

O setor florestal valora a madeira em volume (metros cúbicos ou estéreo) para comercialização. Nestas condições, o produtor florestal não sabe quais e quantos produtos podem ser beneficiados ao vender a floresta em pé. A maioria das aplicações que oferecem uma solução para esse problema abordam a tora ao invés da árvore e geralmente usam técnicas de otimização, não usam modelos de padrões de corte, no caso de desdobro em madeira serrada. O software apresentado foi desenvolvido na linguagem Python em ambiente Web, e utiliza funções dendrométricas e regras trigonométricas. Neste trabalho foram aplicados os padrões de corte: quadrado circunscrito (bloco), longitudinal (ou tangencial) e o radial. Uma das lógicas adotadas é a prioridade da maior dimensão em largura e espessura. Sua finalidade é auxiliar o usuário a vender ou comprar florestas em função das peças estimadas, incluindo o cálculo de receita bruta. São mostrados resultados do módulo que calcula peças roliças e serradas simultaneamente. Os potenciais usuários são produtores rurais, empresas florestais, que compram florestas para desdobro de madeira (serrarias) e para imunização de madeira roliça.

Palavras-chave: Mensuração Florestal. Serrarias. Multiprodutos Florestais. Eucalipto.

ABSTRACT

The forestry sector values wood in volume (cubic meters or stereo) for commercialization. Under these conditions, the forest farmer does not know which and how many products can be obtained when selling the forest. Most applications that offer a solution to this problem address the log rather than the tree and generally use optimization techniques, not cutting pattern models, in case of sawwood. The software presented was developed in the Python language in a Web environment, and uses dendrometric functions and trigonometric rules, with the application in this work of the cutting patterns: circumscribed square (block), longitudinal (or tangential) and radial. One of the logics adopted is the priority of the largest dimension in width and thickness. Its purpose is to help the user sell or buy forests based on estimated pieces, including calculating gross revenue from pieces. This work shows results from the module that calculates rounded and sawn pieces simultaneously. Potential users are rural producers, forestry companies, that buy forests for sawwood (sawmills) and immunization of roundwood.

Keywords: Forest Measurement. Sawmills. Forest Multiproducts. Eucalyptus.

RESUMEN

El sector forestal valora la madera en volumen (metros cúbicos o estéreo) para comercialización. En estas condiciones, el agricultor forestal no sé cuáles y cuántos productos podrá obtener al vender el bosque. La mayoría de las aplicaciones que ofrecen una solución a este problema abordan el tronco en lugar del árbol y generalmente utilizan técnicas de optimización, no modelos de patrones de corte, en el caso de partir madera aserrada. El software presentado fue desarrollado en lenguaje Python en ambiente Web, y utiliza funciones dendrométricas y reglas trigonométricas, con la aplicación en este trabajo de los patrones de corte: cuadrado circunscrito (bloque), longitudinal (o tangencial) y radial. Una de las lógicas adoptadas es la prioridad de la mayor dimensión en ancho y espesor. Su propósito es ayudar al usuario a vender o comprar bosques en base a piezas estimadas, incluido el cálculo de los ingresos brutos de las piezas. Este trabajo muestra resultados del módulo que calcula piezas redondeadas y aserradas simultáneamente. Los usuarios potenciales son productores rurales, empresas que plantan bosques, procesadoras de madera (aserraderos) e para la inmunización de madera em rollo.

Palabras clave: Medición forestal. Aserraderos. Multiprodutos Forestales. Eucalipto.

1 INTRODUÇÃO

A oferta de florestas plantadas com espécies de eucaliptos, pinus, mogno africano, cedro australiano, teca, dentre outras, apresentam dimensões homogêneas, que favorecem a criação de regras de negócio para apoiar o manejo e o processamento da madeira. Um exemplo são os diferentes produtos de madeira serrada e roliça que podem ser estimados por árvore ou tora (número, volume e receita bruta), permitindo aos negociadores avaliar o valor da floresta de forma a obter maior rentabilidade (Costa *et al.*, 2016).

Quando se pensa na modelagem dos povoamentos, com intenção de simplificar o trabalho de campo, sem a mensuração de árvores por meio de amostragem, esbarra-se em casos que divergem das distribuições esperadas, como os povoamentos mal manejados, com ataque de formiga, alta mortalidade, retirada não sistemática de árvores etc. Neste caso é provável que modelos não consigam simula-los com precisão.

Assim, existem nichos diferentes para cada aplicação, que vão do planejamento até a quantificação mais exata de multiprodutos, da complexidade até a praticidade do acesso à informação, e do custo benefício para se obtê-la. Nesta perspectiva o software CalcMadeira têm a finalidade de suprir uma lacuna na quantificação de multiprodutos da madeira. Algumas funcionalidades da aplicação podem ser consultadas no referencial teórico.

O módulo mais recente quantifica a floresta em dois produtos madeireiros simultaneamente, roliço e serrado. Ou seja, na mesma área e nas mesmas árvores, são estimadas as quantidades de peças roliças e serradas nas dimensões escolhidas pelo usuário. O objetivo deste trabalho foi o de obter avaliações de aproveitamento de madeira e financeiras na aplicação de tres modelos de padrão de corte por meio do módulo simultâneo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Ferramentas computacionais abordando múltiplos produtos arbóreos não são uma novidade. A maioria dessas ferramentas é usada para otimizar o volume

de madeira para lenha, celulose e madeira serrada (Leite, 1994; Chichorro *et al.*, 2003; Soares *et al.*, 2003; Oliveira, 2011; Oliveira *et al.*, 2011; Binoti, 2012). Exemplos incluem os softwares Saw Model (Leite, 1994; Nunes, 2013), Família Sis, com modelagem e simulação, que inclui desbastes, multiprodutos e projeções futuras (Oliveira, 2011; Oliveira *et al.*, 2011) e o RPF (Binoti, 2012). Existem também métodos que avaliam ou simulam processos de serraria (Baesler *et al.*, 2004; Heinrich, 2010; Maturana *et al.*, 2010; Voronin *et al.*, 2012; Murara Júnior *et al.*, 2013; Vergara *et al.*, 2015).

As aplicações comerciais, que propõe o desdobramento da madeira com fins industriais, mais divulgadas são: MaxiTora (Serpe *et al.*, 2018; OpTimber, 2020), CutLog (Tekl Studio, 2018), TimberLOG (Timber Vision, 2020), e o Pitago Optimizers (2020). A lógica de solução na maioria das aplicações é por pesquisa operacional, técnica para otimização das dimensões de peças selecionadas em uma seção do tronco.

As aplicações comerciais objetivam a otimização em serrarias automatizadas, tendo como objeto a tora, não a árvore ou a floresta. Como a maioria das serrarias brasileiras não estão neste estágio tecnológico, sua aplicação ainda é restrita. No caso do software apresentado são aplicados os métodos de desdobro convencionais mais usuais nas serrarias a partir de relações trigonométricas, ou seja, conceitos de flecha, corda, seno e cosseno, em vez de técnicas de otimização (Costa *et al.*, 2019a, 2019b; Costa *et al.*, 2020). A abordagem é a floresta, com módulos para modelagem das árvores, com a seleção das peças por dimensões em intervalo, usando a ordem de maiores dimensões para menores dimensões (diâmetros e comprimento para madeira roliça, e comprimento, largura e espessura para madeira serrada).

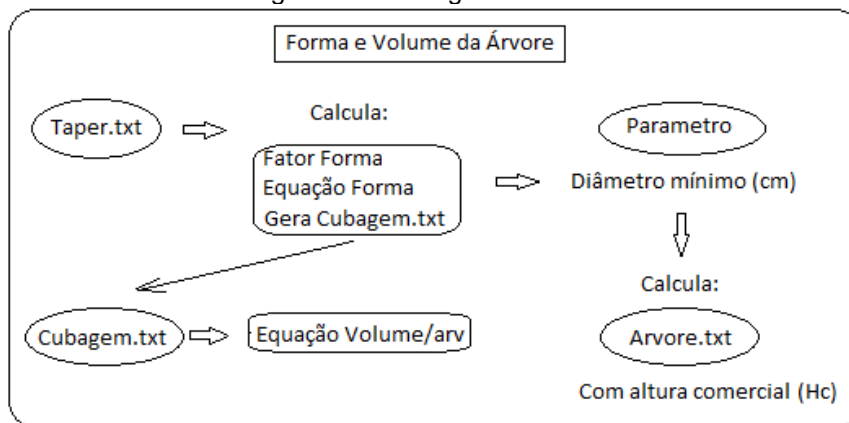
Com esta abordagem compradores de floresta ou produtores florestais podem obter uma avaliação antecipada da colheita referente aos produtos potenciais e a sua previsão de receita.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O software calcula internamente funções de Taper (Kozak *et al.*, 1969) e

de volumetria (Schumacher; Hall, 1973), conforme o diagrama da Figura 1. Por meio da função de taper, o sistema inicia calculando peças serradas até um diâmetro limite do fuste, seguindo posteriormente com o cálculo de peças roliças. Árvores que não atendem ao diâmetro mínimo para serrar são traçadas com peças roliças.

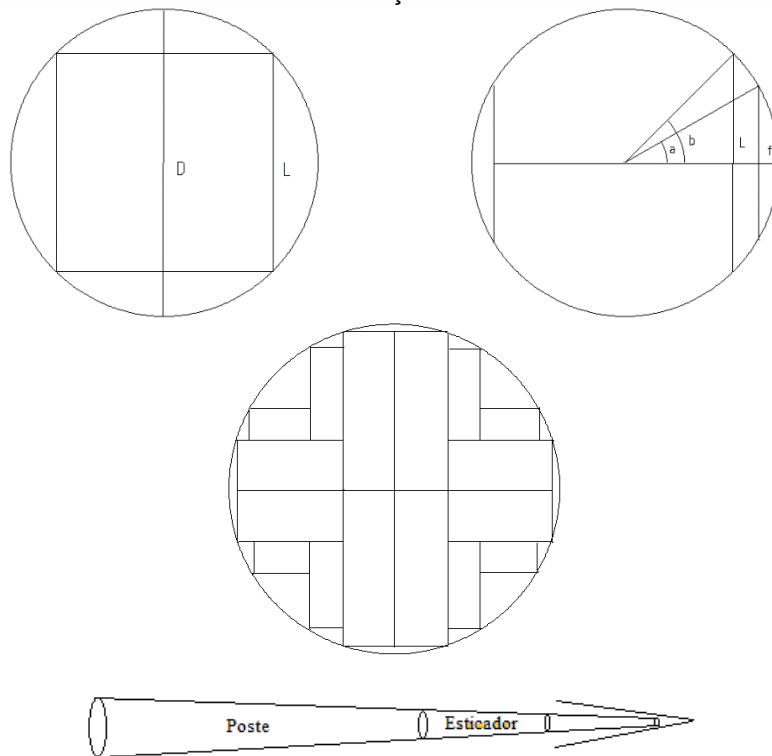
Figura 1. Modelagem da árvore.



Fonte: Thomaz Costa

Para as peças serradas, foram desenvolvidos modelos de padrão de corte a partir de relações trigonométricas considerando a menor face da tora como um círculo (Figura 2) e, para peças roliças, é aplicado um algoritmo de fatiamento do fuste.

Figura 2 Padrão de corte do quadrado circunscrito, longitudinal, radial, e fatiamento da madeira roliça.



Fonte: Thomaz Costa

No modelo “quadrado circunscrito”, quatro costaneiras são retirados na circunferência, sobrando o bloco para corte das peças, com o lado calculado pela Equação 1. No corte longitudinal, a serra inicia cortando a costaneira lateral, depois os cortes paralelos até o outro lado com o último corte da costaneira.

No modelo longitudinal, o primeiro corte é definido por um ângulo a para a costaneira (Figura 2). A corda é a largura (L) disponível para a peça a ser serrada e é calculada pelas Equações 2, 3 e 4, onde D é o diâmetro da tora, a flecha (f) é um parâmetro que aumenta à medida que as peças são selecionadas, e b é o ângulo calculado a partir da espessura das peças mais o gasto da serra.

$$L = D / \sqrt{2} \quad (1)$$

$$\cos(180 - b) = (f - D/2) / (\frac{D}{2}) \quad (2)$$

$$b = 180 - \arccos[(f - D/2) / (\frac{D}{2})] \quad (3)$$

$$L = D * \sin(\alpha) \quad \alpha = a, b... \quad (4)$$

Onde:

a, b, \dots = ângulos calculados a partir do incremento de f

D = diâmetro menor da tora

f = flecha, segmento horizontal sobre o diâmetro

L = corda ou largura da peça

A costaneira é definida para encontrar a menor largura da peça. O ângulo gerado no corte da costaneira é proporcional ao diâmetro da tora na operação de desdobro. Toras menores terão ângulos de costaneiras maiores, enquanto toras maiores terão ângulos de costaneiras menores. Na primeira versão do software foi considerado o parâmetro “ângulo médio da costaneira” que é definido pelo usuário.

Com esse parâmetro, toras com diâmetros menores apresentam largura inicial subdimensionada, o que não resultará em erros, pois o algoritmo aumentará a largura da costaneira até atingir a largura da peça. No contrário, toras com diâmetros maiores podem sofrer perda no número de peças com larguras menores, devido à estimativa de costaneiras com larguras maiores que as executadas na serraria.

O modelo de corte radial (Figura 2) divide a tora em quadrantes, e o quadrante em duas fatias separadas pelo ângulo de 45° . O corte das peças é feito alternando as bordas dentro do quadrante, nos sentidos horizontal (fatia inferior) e vertical (fatia superior). Todos os modelos foram validados com desenhos digitais utilizando o software LibreCAD (2020) e em serrarias (Costa *et al.*, 2022).

As etapas para a quantificação de peças de madeira roliça e serrada são:

- a) um arquivo com dados de parcelas do inventário florestal do povoamento, que correspondem as medidas de DAP em cm e altura total em metros de cada árvore, incluindo falhas e árvores mortas;
- b) a informação de parâmetros como altura do toco, espessura de casca, espessura da serra, ângulo para costaneira, comprimento da peça serrada e diâmetro limite para peças serradas;
- c) os arquivos de peças roliças e serradas com os parâmetros:

- Para a madeira roliça: diâmetro menor, diâmetro maior da seção da tora, comprimento da peça, e valor da peça;
 - Para madeira serrada: amplitudes da largura e espessura da peça, e o valor da peça de referência;
- d) por fim escolher a rotina de cálculo: “Calcula Peças Roliças e Serradas”, optando pelos modelos: Quadrado Circunscrito (Bloco), Longitudinal, ou Radial.

Ao executar cada modelo o relatório informa a partição de peças, volumes roliços e serrados, e respectivas receitas (R\$), assim como o resíduo das pontas das árvores e o resíduo de aparas e serragem. Os resultados gerados foram utilizados em uma análise comparativa para avaliar a melhor opção de receita bruta potencial de uma colheita florestal.

3.1 DADOS

Os dados são de uma parcela circular com raio de 10 metros obtidos de um pequeno povoamento de eucalipto sem manejo (Tabela 1, Figura 3), situação frequente em diversas propriedades rurais onde a atividade não é florestal, ou seja, o produtor foi incentivado a implantar a floresta em uma gleba da fazenda.

Tabela 1. Identificações de Talhão, parcela e árvore, Diâmetro a altura do peito (Dap), altura total (Ht), altura comercial (m) e defeitos nas árvores.

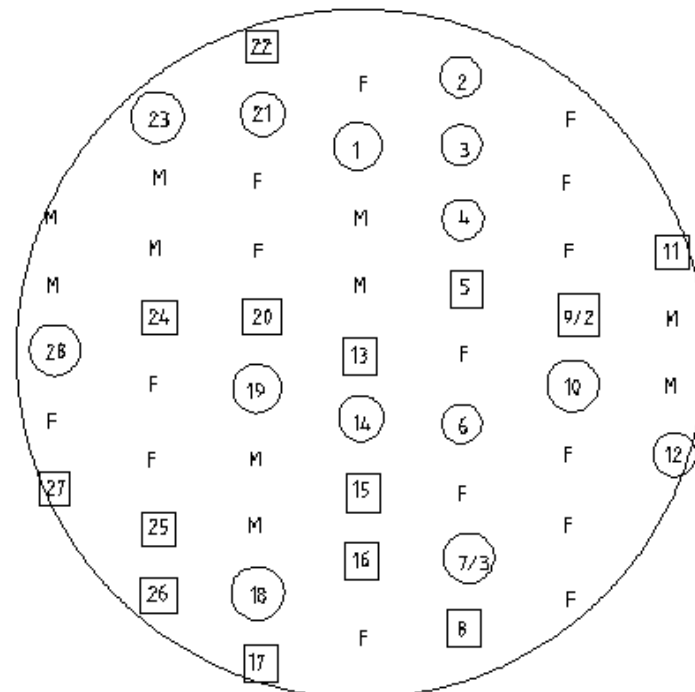
Talh	Parc	Arv	Dap(cm)	Ht(m)	Hc(m)	Obs
1	1	M			0	
1	1	M			0	
1	1	1	13.8	18	18	galh 3 m
1	1	F			0	
1	1	2	13.3	17.7	17.7	
1	1	3	15.7	17.1	17.1	galh 6.8 m
1	1	4	14.7	9.5	9.5	galh 1.3 m
1	1	5	32.6	29	23.8	galh 12.1 m
1	1	F			0	
1	1	6	15.1	20	4.6	
1	1	F			0	
1	1	7	13.7	22	22	bifurc
1	1	7	5.6	22	22	bifurc
1	1	7	18.5	22	6.9	bifurc
1	1	8	26.7	24	16.3	galh 11.3 m
...
1	1	F			0	
1	1	F			0	

1	1	25	28.5	25.8	18.1
1	1	26	23.9	25.6	14.5
1	1	27	23.7	22.8	12.7
1	1	F			0
1	1	28	16.6	17.3	17.3
1	1	M			0
1	1	M			0

Fonte: Thomaz Costa

A parcela contém 27 árvores vivas (não existe a árvore 21) + 3 bifurcações e 25 perdas (falhas e árvores mortas). Com a definição do diâmetro limite de 18 cm para serrar, algumas árvores serão aproveitadas para madeira serrada (números contidos em retângulos), e para madeira roliça e resíduo (ponta de árvores). As demais árvores vivas, circuladas, serão traçadas somente para madeira roliça.

Figura 3. Parcela de 10 metros de raio, com 27 árvores vivas + 3 bifurcações, de eucalipto urograndis seminal, 10 mortas e 15 falhas (52 mudas plantadas), no espaçamento 3 x 2 m, com 19 anos, sem manejo (desuniforme, ataque de formigas, alta mortalidade). Números circulados: árvores que enquadram somente para madeira roliça; números com retângulo: árvores em que se retira madeira roliça e serrada.



Fonte: Thomaz Costa

Na Tabela 2 são apresentados dados parciais de taper de oito árvores que, por meio da modelagem dos fustes, gera uma função que informa o

diâmetro ao longo do tronco para o traçamento de toras.

Tabela 2. Dados parciais de taper: identificação da parcela e da árvore, altura ao longo do tronco (hi), diâmetro ao longo do tronco (di), altura total (Ht).

Parc	Arv	hi (cm)	di (cm)	Ht (m)
1	1	0.3	18	
1	1	0.7	15.4	
1	1	1.3	13.8	
1	1	2.3	12.4	
1	1	3.3	11.8	
1	1	4.3	10.9	
1	1	5.3	9.7	18
1	2	0.3	19.3	
1	2	0.7	15	
1	2	1.3	13.3	
1	2	2.3	12.9	
1	2	3.3	12.3	
1	2	4.3	12.6	
1	2	5.3	12	
1	2	6.3	11.2	17.7
...
1	8	0.3	31.7	
1	8	0.7	29.3	
1	8	1.3	26.7	
1	8	2.3	23.8	
1	8	3.3	23.6	
1	8	4.3	23	
1	8	5.3	22.5	
1	8	6.3	21.7	
1	8	7.3	20.8	
1	8	8.3	19.8	
1	8	9.3	18.8	
1	8	10.3	18.1	24

Fonte: Thomaz Costa

Nas Tabelas 3, 4 e 5 são informados os parâmetros para seleção de peças roliças e serradas, respectivamente.

Tabela 3. Parâmetros definidos pelo usuário para madeira roliça: diâmetros mínimo e máximo (di_min, di_max), comprimento(L), e preço(R\$).

codpeca	Peca	di_min(cm)	di_max(cm)	L(cm)	Prior	Preco(R\$)
3	Poste	16	40	6	1	50
4	EsticadorCanto	13	16	3.2	2	15
5	EsticadorCanto2	10	13	3.2	3	15
6	Escoramento	13	16	2.5	4	6
7	Escoramento2	10	13	2.5	5	6
8	Mourao	12	15	2.2	6	5
9	Mourao2	9	12	2.2	7	5
10	Mourao3	6	9	2.2	8	5

Fonte: Thomaz Costa

Tabela 4. Parametros definidos para madeira serrada: espessura mínima e máxima (es_min, es_max), largura mínima e máxima (l_min, l_max) e prioridade de corte da peça (Prior).

codpeca	Peca	es_min (cm)	es_max (cm)	l_min (cm)	l_max (cm)	Prior
1	Prancha	80	80	120	500	1
2	Tabua	40	40	120	500	2

Fonte: Thomaz Costa

Tabela 5. Preços definidos para peças de madeira serrada de referência

codpeca	Peca	es(mm)	l(mm)	Preco(R\$)
1	Prancha	40	160	15
2	Tabua	30	100	12

Fonte: Thomaz Costa

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 6 é apresentado o relatório sintético da parcela e por hectare para cada padrão de corte. A maior quantidade de peças foi obtida no modelo longitudinal (92 peças) porque as dimensões de largura iniciam com 12 cm. No modelo radial foi possível obter somente 4 tábuas, sendo o restante de madeira quase que totalmente para madeira roliça. O maior rendimento serrado foi no modelo longitudinal, com 37% (CRV), ainda assim um coeficiente baixo, devido a maior dimensão das peças e poucas árvores com dap acima de 30 cm, pois o rendimento aumenta com a classe diamétrica (Murara Júnior *et al.*, 2013; Juizo *et al.*, 2014) e com o padrão de corte (Cunha *et al.*, 2015).

Este exercício mostra a combinação entre os produtos de interesse e o padrão de corte. Se a opção fosse por peças de pequenas larguras e espessuras, em que compensasse as movimentações da tora, em uma serraria semi-automatizada por exemplo, o modelo radial poderia apresentar bom rendimento.

Outra observação é que o corte pelo quadrado circunscrito, que apresentou CRV de 32%, é mais indicado do que o corte longitudinal, devido as tensões de crescimento do eucalipto. Na comparação, obter metade das peças (46) poderia ser viável se considerarmos as perdas por empenamento e rachaduras no corte longitudinal associadas a receita obtida com a madeira roliça. São exemplos que podem ajudar a definir o padrão de corte antes da operação.

Referente a madeira roliça, o software pode informar o perfil da floresta em relação aos produtos mais demandados. Mouros para cerca, com diâmetros até 12 cm, são geralmente os mais vendidos, mas foram estimados nas menores quantidades. Isto ocorre porque são peças que estão situadas próximas das pontas das árvores em um povoamento com 19 anos, mesmo com algumas árvores com menor diâmetro. Uma floresta bem manejada na idade entre 6 e 8 anos seria de maior aproveitamento que uma floresta mais velha para peças mais demandadas pelo mercado.

Na valoração dos produtos, verificou-se que o padrão de corte longitudinal gerou a maior receita por hectare (R\$ 87802), com maior proporção da madeira serrada (R\$ 74020). Valores intermediários foram obtidos com o padrão de corte do quadrado circunscrito. A menor receita ficou com o padrão radial (R\$ 60461), com predominância da madeira roliça (R\$ 57692).

Estes valores representam uma estimativa potencial, ou seja, não consideram perdas de madeira por defeitos, como tortuosidade, deterioração por insetos, rachaduras, inserção de galhos grossos, retração após a secagem, dentre outros. E referem-se a receita bruta, onde devem ser descontados os custos até o beneficiamento final, que incluem a colheita, transporte, custos fixos e variáveis de uma empresa, aparelhamento, no caso da madeira serrada, e descascamento e imunização no caso da madeira tratada.

Tabela 6. Número de peças roliças e serradas (n.pecas), volume serrado(v), volume de toras para serrar e volume de peças roliças (vr), receita bruta na parcela e por hectare, e o coeficiente de rendimento volumétrico para peças serradas (CRV), para os tres modelos de corte.

Q. Circunscrito						
codpeca	peca	n.pecas	v(m3)	vr(m ³)	receita(R\$)	CRV(v/vr)
1	Prancha	29	1.059		801	
2	Tabua	17	0.302		390	
SubTotal		46	1.361	4.228	1190	0.32
3	Poste	5		0.909	250	
4	EsticadorCanto	30		2.456	450	
5	EsticadorCanto2	23		1.052	345	
9	Mourao2	7		0.150	35	
10	Mourao3	7		0.114	35	
SubTotal		72		4.682	1115	
Total		118		8.910	2305	
Serrada/ha			43.6	135.5	38148	
Roliça/ha				150.0	35737	
Total/ha				285.5	73885	

Longitudinal						
1	Prancha	69	2.336		1766	
2	Tabua	23	0.421		543	
SubTotal		92	2.757	7.427	2309	0.37
4	EsticadorCanto	2		0.139	30	
5	EsticadorCanto2	22		0.995	330	
9	Mourao2	7		0.151	35	
10	Mourao3	7		0.114	35	
SubTotal		38		1.398	430	
Total		130		8.824	2739	
Serrada/ha			88.36	238.0	74020	
Roliça/ha				44.8	13782	
Total/ha				282.8	87802	
Radial						
1	Prancha	0				
2	Tabua	4	0.067	0.302	86	
SubTotal		4	0.067	0.302	86	0.22
3	Poste	19		5.413	950	
4	EsticadorCanto	29		2.280	435	
5	EsticadorCanto2	23		1.052	345	
9	Mourao2	7		0.150	35	
10	Mourao3	7		0.114	35	
SubTotal		85		9.009	1800	
Total		89		9.311	1886	
Serrada/ha			2.1	9.7	2769	
Roliça/ha				288.7	57692	
Total/ha			2.1	298.4	60461	

Fonte: Thomaz Costa

Na Tabela 7 são informadas partições do volume total do povoamento, 302 m³/ha. Os maiores volumes de ponta ocorreram nos cortes do quadrado circunscrito e longitudinal, com menor aproveitamento de peças roliças, representando 5 e 6% do volume total. O volume serrado obteve bom aproveitamento no corte longitudinal, de 29%, sendo que o resíduo em aparas e serragem alcançou 50% do volume total. Adicionado ao resíduo de pontas, alcançou 56%. Ou seja, mais da metade do volume de madeira transforma-se em resíduo no beneficiamento da madeira serrada. No caso do aproveitamento quase que total em madeira roliça, que ocorreu no corte radial, o resíduo total foi de 4%.

Tabela 7. Partição do volume total em volume aproveitável e resíduo (volume de pontas, aparas e serragem), por hectare

	Q. Circuns.		Longitud.		Radial	
	m ³ /ha	%	m ³ /ha	%	m ³ /ha	%
vt(arvores)	302	100	302	100	302	100
vr(roliça+serrada)	286	95	283	94	298	99
vpona (vt-vr)	16	5	19	6	3	1
v(peças serradas)	44	14	88	29	2	1
[vr(serrada)-v]	92	30	150	50	8	2
Resid. {vpona + [vr(serrad)-v]}	108	36	168	56	11	4

Fonte: Thomaz Costa

Na Tabela 8 são informadas as receitas por volume de árvores, toras e peças (roliças + serradas), mostrando, de outra forma, que a maior receita foi obtida com o corte longitudinal, com volume por peças de R\$ 556.

Desta forma, com o cálculo de dois produtos simultaneamente (serrados e roliços), é possível obter cenários de receita contracenando dimensões das peças de interesse com padrões de corte, buscando o aproveitamento máximo da floresta.

Tabela 8. Receita considerando o volume de árvores, o volume de toras e o volume de peças roliças e serradas

Componente florestal	Q. Circuns.	R\$/m ³	
		Longitud.	Radial
Arvore (vt)	245	245	200
Tora (vr)	259	262	203
Peça [v + vr(roliça)]	382	556	208

Fonte: Thomaz Costa

5 CONCLUSÃO

O módulo analisado permite aos usuários fazerem simulações comparando as dimensões da floresta com padrões de corte de madeira serrada e as demandas de produtos madeireiros (serrados e roliços) de forma a agregar maior valor a madeira de florestas plantadas, ou seja, um suporte de informações na fase de comercialização.

Produtores florestais podem aumentar suas oportunidades de negociação, ofertando produtos, e não somente metros cúbicos por meio desta aplicação.

Indústrias podem prever a obtenção de produtos madeireiros antecipadamente a compra de florestas, conforme sua expectativa de demanda em serrarias, na construção civil ou moveleira.

A aplicação apresentada pode motivar desenvolvimentos que podem agregar outras metodologias, utilizando técnicas de otimização e de aprendizado de máquina, assim como módulos de projeção de crescimento de florestas, e de análise econômica de projetos florestais.

A etapa de validação, ainda não executada para este módulo, mas realizada nos módulos anteriores, é a maior limitação desta pesquisa, pelo custo operacional, envolvendo operações de inventário florestal, monitoramento na colheita, transporte e beneficiamento da madeira.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento deste trabalho está inserido no Acordo de cooperação técnica Nº 21189.001651/2021-79 para validação e desenvolvimento mercadológico de software CalcMadeira cumulado com licença para o uso da marca “tecnologia Embrapa” que entre si celebram a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa e a Empresa SIG Informática Ltda.

Patente: Certificado de Registro de Software INPI, No.: BR512018001002-4 e No.: BR512020002607-9, CalcMadeira

REFERÊNCIAS

BAESLER, F. F.; SEPULVEDA, J. A.; ARAYA, E.; RAMIS, F. J. The use of simulation and design of experiments for productivity improvement in the sawmill industry. In: WINTER SIMULATIONS CONFERENCE, 2004, Washington. **Proceedings...** Washington: IEEE, 2004. p. 1218-1221.

BINOTI, D. H. B. **Sistemas computacionais aplicados ao manejo florestal**. 2012. 113 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

CHICHORRO, J. F.; RESENDE, J. L. P.; LEITE, H. G. Equações de volume e de taper para quantificar multiprodutos da madeira em floresta atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p. 799-809, 2003.

COSTA, T. C. e C. da; CAMPANHA, M. M.; ALBERNAZ, W.; PINTO, E.; CASTRO, R.; FRANÇA, L. CalcMadeira: validation of sawn timber calculation by the Circumscript square (Block) and Longitudinal Methods. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, e201902043, p. 419, 2019a. Edição especial dos resumos do IUFRO World Congress, 25., 2019, Curitiba

COSTA, T. C. C.; CAMPANHA, M. M.; FRANÇA, L. F. M. **Primeira validação do CalcMadeira, software para estimativa de peças de madeira roliça e serrada**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2019b. 24 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 194).

COSTA, T. C. C.; FRANÇA, L. F.; SANTOS, T. H. P. **Segunda validação do CalcMadeira: estimativa de peças serradas de desdobros empíricos**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 31 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 214).

COSTA, T. C. C.; FRANÇA, L. F.; SANTOS, T.; RAMOS, L. B.; CAMPANHA, M. M. CalcMadeira: software for estimating lumber production. **Global Journal of Science Frontier Research: I Interdisciplinary**, Framingham, v. 22, n. 2, p. 1-17, 2022.

COSTA, T. C. e C. da; CAMPANHA, M. M.; GONTIJO NETO, M. M. **Quantificação de madeira roliça de eucalipto comparada a valoração em metro cúbico e lenha: opções de renda em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF)**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016. 16 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica).

CUNHA, A. B. da; FRANÇA, M. C.; ALMEIDA, C. C. F. de; GORSKI, L.; CRUZ, R. C. da; SANTOS, D. Avaliação do rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus benthamii* e de *Eucalyptus grandis* por meio do desdobro tangencial e radial. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 2, p. 241-250, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v45i2.32570>

HEINRICH, D. **Simulação da produção da madeira serrada**. 2010. 157 f. 2010, 157 f. (Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

JUIZO, C. G.; ROCH, M. P.; BILA, N. F. Avaliação do rendimento em madeira serrada de eucalipto para dois modelos de desdobro numa serraria portátil. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 4, p. 543-550, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.062213>.

KOZAK, A.; MUNRO, D. D.; SMITH, J. G. H. Taper functions and their applications in forest inventory. **Forest Chronicle**, v. 45, n. 4, p. 278-283, 1969. DOI: <https://doi.org/10.5558/tfc45278-4>.

LEITE, H. G. **Conversão de troncos em multiprodutos de madeira, utilizando programação dinâmica**. 1994. 230 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1994.

LIBRECAD: open source 2D-CAD. Disponível em: <https://librecad.org/>. Acesso em: 11 dez. 2020.

MATURANA, S.; ENZO PIZANI, E.; VERA, J. Scheduling production for a sawmill: a comparison of a mathematical model versus a heuristic. **Computers & Industrial Engineering**, v. 59, n. 4, p. 667-674, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2010.07.016>.

MURARA JÚNIOR, M. I.; ROCHA, M. P.; TRUGILHO, P. F. Estimativa do rendimento em madeira serrada de pinus para duas metodologias de desdobro. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 4, p. 556-563, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2013.037>.

NUNES, G. V. P. **Algoritmos para geração de padrões de corte paralelo e radial no processo de toras de madeira**. 2013. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013.

OLIVEIRA, E. B. de; HALISKI, M.; NAKAJIMA, N. Y.; CHANG, M. **Determinação da quantidade de madeira, carbono e renda da plantação florestal**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 37 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 220). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/898993>. Acesso em: 11 dez. 2020.

OLIVEIRA, E. B. **Softwares para manejo e análise econômica de plantações florestais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 70 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 216). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/898050>. Acesso em: 11 dez. 2020.

OPTIMBER: otimização do desdobro de toras. Disponível em: <https://optimber.com.br/otimizacao-do-desdobro-de-toras>. Acesso em: 10 dez. 2020.

PITAGO OPTIMIZERS. Disponível em: <https://pitago.eu/log-cut-en.php>. Acesso em: 10 dez. 2020.

SCHUMACHER, F. X.; HALL, F. S. Logarithmic expression of timber-tree volume. **Journal of Agricultural Research**, Washington, v. 47, n. 9, p. 719-734, 1933.

SERPE, E. L.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARCE, J. E. Rendimento do desdobro de madeira em serraria convencional e diferentes simulações utilizando otimizador computacional. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 3, p. 103-108, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/biofix.v3i1.58058>.

SOARES, T. S.; VALE, A. B.; LEITE, H. G.; MACHADO, C. C. Otimização de multiprodutos em povoamentos florestais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 6, p. 811-820, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622003000600007>.

TEKL STUDIO. **CultLog software download**. Detva, 2018. Disponível em: <https://www.cutlog.com/index.php/downloads>. Acesso em: 21 ago. 2018.

TIMBER VISION. **TimberLOG**: log-and log class simulator 2017. Disponível em: http://www.timbervision.fi/timberlog_en.html. Acesso em: 10 dez. 2020.

VERGARA, F. P.; PALMA, C. D.; SEPULVEDA, H. A comparison of optimization models for lumber production planning. **Bosque**, Valdivia, v. 36, n. 2, p. 239-246, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-92002015000200009>.

VORONIN, A.; KUZNETSOV, V.; ARKHIPOV, I.; SHABAEV, A. Software system for sawmill operation planning. In: CONFERENCE OF FRUCT ASSOCIATION, 12., 2012, Helsinki. **Proceedings...** Helsinki: Fruct Oy, 2012. p. 165-171.