**Potencial energético da madeira de *Tectona grandis* proveniente de desbaste florestal**

**João Victor de Almeida Guimarães 1; João Marcos Rebessi de Sousa 2; Renan Speranza Mangialardo 3; Humberto de Jesus Eufrade Junior 4**

**Resumo**

Na obtenção de um produto de maior valor agregado, o manejo silvicultural dos plantios de teca faz o uso de desbastes ao longo do seu ciclo e os produtos desta operação florestal podem ser destinados à produção de energia. Este estudo teve como objetivo determinar a produção e o potencial energético oriundos da madeira de desbaste de um povoamento de Teca (*Tectona grandis*) localizado em Botucatu, região Centro-Sul do Estado de São Paulo. A determinação da biomassa e do potencial energético foram feitos por meio do produto entre o volume de madeira (m³ ha-1) e a densidade básica (kg m-3), e do poder calorífico superior (MJ kg-1) e a biomassa seca (kg ha-1), respectivamente. O desbaste por baixo da espécie produziu 8,39 t ha-1 de biomassa lenhosa e um potencial energético de 167,4 GJ ha-1.

PALAVRAS-CHAVE: mensuração florestal, densidade básica, energia da biomassa.

1.Graduando em Engenharia Florestal – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA), Botucatu, São Paulo, Brasil, almeidaguiimaraes@gmail.com

2.Graduando em Engenharia Florestal – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA), Botucatu, São Paulo, Brasil, joaomrds@outlook.com

3.Graduando em Engenharia Florestal – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA), Botucatu, São Paulo, Brasil, rsmangialardo@gmail.com

4.Doutor em Ciência Florestal – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA), Botucatu, São Paulo, Brasil, e-mail: h.eufrade@unesp.br

**Introdução**

A teca (*Tectona grandis* Linn F.), espécie da família Verbenaceae é originária da região peninsular do sul e sudeste da Ásia (VIEIRA et al., 2019), conhecida por apresentar clima de monções com inverno seco e verão úmido (COIMBRA et al., 2014), tornou-se uma das árvores mais cultivadas ao longo dos anos no Brasil, com 93.957 hectares em 2018 (IBÁ, 2019).

Devido as características como durabilidade e resistência mecânica, é atualmente uma das madeiras com maior valor de mercado, com preços superiores aos de madeiras nobres (BONDUELLE et al., 2015), podendo ser utilizados, sobretudo na fabricação de móveis finos, esquadrias, pisos, construção naval, painéis, lâminas faqueadas e lambris (COIMBRA et al., 2014). Em sua região de origem, a madeira ainda é utilizada como lenha e carvão vegetal para a produção de energia (LAMPRECHT, 1990).

Pelissari et al. (2014), ao revisarem diferentes trabalhos sobre a espécie na literatura, constataram que, no continente africano, a produtividade variava entre 5 e 16 m³ ha-1 ano-1 para rotações de 35 a 55 anos e, nas Américas do Central e Sul, em rotações de 20 a 25 anos, a variação era entre 10 e 20 m³ ha-1 ano-1.

O manejo silvicultural adotado na floresta é fundamental para o aumento da produção madeireira (GOMES DE OLIVEIRA et al., 2020), utilizam-se espaçamentos de plantio de 3,5 m × 3,0 m ou 4,0 m × 2,5 m, sendo que o desbaste é iniciado a partir do quarto ano de idade (PELISSARI et al., 2014). Entre os métodos de desbaste, um dos mais utilizados, é o desbaste por baixo, que consiste na retirada de árvores com copas menores, eliminando parte da classe dos indivíduos inferiores e mantendo os mais desenvolvidos (RIBEIRO et al., 2002).

As árvores desbastadas podem ser utilizadas como biomassa para produção de energia, na forma de lenha. Além disso, os resíduos oriundos do processamento da madeira de teca podem ser utilizados para a produção de briquetes (OHANA, 2012).

Na produção de energia, destaque para a biomassa lenhosa oriunda das plantações florestais, que têm incentivado diferentes pesquisas sobre o tema (SILVA et al., 2014; SILVA et al., 2015). Contudo, ainda existem dúvidas em relação à quantificação da biomassa de desbaste de Teca (*Tectona grandis*), bem como suas características energéticas como combustível sólido.

Desta forma, o presente estudo teve como objetivo estimar a biomassa proveniente de desbaste de um plantio de *Tectona grandis* e analisar o potencial energético da madeira.

**Metodologia**

A área experimental está localizada na Fazenda Lageado pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP), campus de Botucatu, Estado de São Paulo. O local, situado nas coordenadas - longitude 48°25'46.42" W e latitude 22°50'52.06" S, possui 775 m de altitude, precipitação média anual de 1501,4 mm e temperatura média anual de 20,3 ºC.

No presente trabalho, foram utilizados indivíduos de Teca (*Tectona grandis*) de uma parcela experimental abandonada de 430 m². Atualmente, o plantio está com aproximadamente quinze anos de idade e foi implantado no espaçamento 3 m × 2 m (1666 árvores ha-1).

Para a coleta dos dados, mediram-se todas as árvores do local, sendo que as alturas totais das árvores (h) foram aferidas por meio de um clinômetro digital (marca Haglöf), e para os diâmetros à 1,30 m do solo (DAP) foi utilizada uma suta mecânica de alumínio (marca Haglöf).

Com base na equação proposta por Sturges, gerou-se a distribuição diamétrica do plantio. Por meio da fórmula de Smalian (SOARES et al. 2012), foram cubadas cinco árvores para retirada de discos de madeira em secções pré-definidas (a 0,3 m; 1,3 m; 3,3 m e a cada 2 metros ao longo do fuste), até a altura total.

Os discos foram levados para laboratório para a obtenção da densidade básica da madeira de acordo com a norma NBR 11941(ABNT, 2003). Posteriormente, foi obtida a densidade básica média ponderada do tronco comercial utilizando-se a Equação 1.

|  |  |
| --- | --- |
| $$DB\_{tronco}=\frac{\sum\_{i=1}^{n}v\_{seção}\*DB\_{tronco}}{\sum\_{i=1}^{n}v\_{seção}}$$ |  (1) |

Em que:

DBseção = densidade básica da seção em (kg m-3);

DBtronco = densidade básica média ponderada do tronco comercial (kg m-3);

vseção = volume sem casca da seção (m³).

Os dados da cubagem rigorosa foram utilizados para determinar o fator de forma do fuste com casca das árvores (Equação 2).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | $$f= \frac{v\_{r}}{v\_{cil}}$$ | (2) |

Em que:

$f$ = fator de forma absoluto (adimensional);

$v\_{r}$= volume real obtido pela cubagem (m³);

$v\_{cil}$ = volume do cilindro (m³)

Considerou-se um diâmetro mínimo para o uso da madeira como lenha de 8 cm (SIMIONE et al., 2018), e utilizou-se este critério para a seleção das classes de diâmetro suprimidas para a simulação de um desbaste por baixo.

Para o cálculo de volume de madeira das árvores, foi utilizada a Equação 3, de acordo com os trabalhos de Loestsch et al. (1973) e SILVA et al. (2015).

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | $$Vm=\frac{πd²}{40000}\*H\* f$$ | (3) |

Em que:

Vm = volume de madeira (m³)

d = diâmetro das árvores de desbaste medidos à 1,30 m de solo (DAP);

$f$ = fator de forma absoluto (adimensional);

H = altura das árvores do desbaste (m);

O cálculo da biomassa seca de madeira foi obtido com a Equação 4, conforme realizado por RIBEIRO et. al (2009).

|  |  |
| --- | --- |
| $$B\_{s}=V\*DB\_{tronco}$$Em que: | (4) |

Bs = biomassa seca de madeira (ton ha-1);

V = volume de madeira (m³ ha-1);

DBtronco = densidade básica (kg m-3).

O potencial energético foi obtido através da Equação 5, conforme por Eufrade Junior et. al (2016).

|  |  |
| --- | --- |
| $$PE=PCS\*B\_{s}$$Em que: | (5) |

PE = potencial energético (GJ ha-1);

PCS = poder calorífico superior (MJ kg-1);

Bs = biomassa seca (kg ha-1)

**Resultados e Discussões**

O diâmetro à altura do peito no plantio varia de 5,95 cm a 30,11 cm, sendo a maior altura de 14,3 m e a menor de 8,9 m.

A Figura 1 apresenta a quantidade de árvores por hectare por classe diamétrica.

Figura 1. Distribuição diamétrica do plantio de *Tectona grandis*.

A Tabela 1 sumariza as características dendrométricas calculadas para o plantio. Vale ressaltar que aos 25 anos de cultivo, a teca quando manejada, pode atingir um DAP médio de 50 cm ao final do ciclo (Cáceres Florestal, 2006). O diâmetro médio do plantio estudado foi de 15,54 cm, valor pouco expressivo em relação ao potencial de crescimento da espécie, resultado em função da inexistência de manejo na área experimental.

 O fator de forma calculado foi de 0,57, próximo ao obtido por Tonini et al. (2009), onde o fator de forma para esta espécie aos 6,5 anos de idade foi de 0,56 em árvores com casca.

Tabela 1. As variáveis quantitativas do plantio de *Tectona grandis*, Botucatu (SP).

|  |
| --- |
| Características dendrométrias |
| Indivíduos (árvores há-1) | 1.651 |
| DAP médio (cm) | 15,54 |
| Dg (cm) | 16,21 |
| Altura dominante – HD (m) | 11,60 |
| Fator de forma | 0,57 |

DAP: diâmetro à altura do peito (1,30 m do solo); Dg: diâmetro quadrático médio; Fator de forma: é uma medida adimensional.

Para as árvores do desbaste, encontrou-se um diâmetro médio à altura do peito de 10,00 ±1,72 cm e altura média de 11,47 ±1,60 m, com um total de indivíduos desbastados de 349 árvores ha-1.

 Em relação a densidade básica da madeira, a média foi de 453 (± 69) kg m-3, este valor é inferior ao valor de 650 kg m-3 obtidos por Ohana (2012) e Pelissari et al. (2014). Sabe-se que a densidade básica varia em função do ambiente, genótipo, espaçamento e manejo adotado (EMBRAPA, 2017).

Na Tabela 2 está reportado o volume a biomassa de tronco das árvores provenientes de um desbaste por baixo. O peso do desbaste foi de 21%.

Tabela 2. Volume e biomassa seca das árvores na simulação de desbaste no plantio de *Tectona grandis.*

|  |  |
| --- | --- |
| Vol. de madeira (m³ ha-1) | 18,523 |
| Biomassa seca (ton ha-1) | 8,39 |

De acordo com Vital et al. 2010 a *Tectona grandis* possui um poder calorífico superior médio de 19,91 MJ kg-1. Este valor é corroborado por Flórez (2012) que pesquisando sobre essa espécie obteve um PCS médio de 19,95 MJ kg-1, que concluiu que a espécie apresenta boas características para geração de energia. Ohana (2012) salienta ainda que as espécies comumente utilizadas para fins energéticos possuem valores de poder calorífico superior próximo aos apresentados.

Após a realização do desbaste a biomassa seca de tronco remanescente no plantio seria de 93,96 t ha-1, produção superior ao obtido em estudo realizado por Rondom (2006) em um plantio localizado no estado de Mato Grosso aos 6,3 anos de idade, disposto em um espaçamento de 3 m × 2 m, no qual calculou uma produção de 41,38 t ha-1.

Considerando o poder calorífico superior médio de 19,95 MJ kg-1, mesmo utilizado por Flórez (2012), o potencial energético encontrado do desbaste de teca do presente trabalho foi de 167,38 GJ ha-1. Eufrade Junior (2016) estudou o PCS para clones híbridos de *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus grandis* e obteve o valor de 743.3 GJ ha-1, superior ao da teca.

**Conclusões**

Na simulação de desbaste por baixo ao plantio *Tectona grandis* aos 15 anos de idade em Botucatu-SP, a espécie tem capacidade de gerar 8,39 t ha-1 de biomassa para lenha e um potencial energético de 167,38 GJ ha-1.

**Agradecimentos**

Os autores agradecem à Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP) e ao Laboratório de Biomassa e Bioenergia (LABB/IPBEN).

**Referências**

[1] VIEIRA, Cristiane Ramos et al. *Canonical Correlation Analysis Between Growth and Nutrition in Teak Seedlings*. Floresta Ambiente., Seropédica, v. 26, n. 2, e20170814, 2019.

[2] COIMBRA EC, VAZQUEZ GH, NOGUEIRA TO. *Superação de dormência e o uso de fungicida em diásporos de teca*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 2014;

[3] Indústria Brasileira de Árvores – IBÁ. *Relatório 2019*. Brasília: IBÁ; 2019. 80 p.

[4] BONDUELLE GM, IWAKIRI S, TRIANOSKI R, PRATA JG, ROCHA VY. *Análise da massa específica e da retrabilidade da madeira de Tectona grandis nos sentidos axial e radial do tronco*. Floresta 2015;

[5] LAMPRECHT, H. *Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas, Possibilidade e métodos de aproveitamento sustentado.* Eschborn: Dt Ges. Für Techn. Zusammenarbeit (GTZ). GmbH. 343p. 1990.

[6] PELISSARI, A. L.; GUIMARÃES, P. P.; BEHLING, A.; EBLING, A. A. *Cultivo da teca: características da espécie para implantação e condução de povoamentos florestais*. Agrarian Academy, v. 1, n. 1, p. 127–145, 2014.

[7] GOMES DE OLIVEIRA, Pedro Paulo et al. *Influência da época e do número de desrama sobre o desenvolvimento inicial de Tectona grandis l. F. no sistema silvipastoril*. Investig. Agrar., San Lorenzo, v. 22, n. 1, p. 39-45, Junho 2020.

[8] RIBEIRO, N.; SITOE, A.A.; GUEDES, B. S.; STAISS, C. Manual de silvicultura tropical. Maputo: UEM, 2002. 125p.

[9] OHANA, C. C. et al. *Utilização de resíduos do processamento de teca (Tectona grandis Lf) na produção de briquetes.* 2012. 65p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Rio de Janeiro.

[10] SILVA, D. A.; CARON, B. O.; SANQUETTA, C. R.; BEHLING, A.; SCHMIDT, D.; BAMBERG, R.; ELOY, E.; CORTE, A. P. D. *Equations for estimating gross calorific value of wood from four tree species*. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, v. 20, n. 2, p. 177-186, abr. 2014b.

[11] SILVA, D. A.; et al. *Potencial e qualidade da madeira de desbaste de teca para produção de biocombustível*. Pesq. flor. bras., Colombo, v. 35, n. 83, p. 299-305, jul./set. 2015.

[12] SOARES, C. P. B.; NETO, F. P.; SOUZA, A. L. *Dendrometria e inventário florestal*. 2. ed. Viçosa MG: Editora UFV, 2012. 272 p.

[13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 11941: madeira – determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6p

[14] SIMIONI, F. J. et al. *Cadeia produtiva de energia de biomassa florestal: o caso da lenha de eucalipto no polo produtivo de Itapeva-SP.*Ciência Florestal, v. 28, n. 1, p. 310-323, 2018.

[15] LOETSCH, P.; ZÖHRER, P.; HALLER, K.E. *Forest inventory*. Munich: BLV, 1973. v. 2. 469 p.

[16] RIBEIRO, S. C. et al. *Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma floresta madura no município de Viçosa, Minas Gerais.* Revista Àrvore, Viçosa, MG, v. 33, n. 5, p. 917-926, 2009.

[17] EUFRADE JUNIOR, H. J.; MELO, R. X.; SARTORI, M. M. P.; GUERRA, S. P. S.; BALLARIN, A. W. *Sustainable use of eucalypt biomass grown on short rotation coppice for bioenergy*. Elsevier. Biomass and Bioenergy, v. 90, p. 15-21, 2016.

[18] CÁCERES FLORESTAL. *Manual do cultivo da teca* 2006. 16p.

[19] TONINI, H.; COSTA, M. C. G.; SCWENGBER, L. A. M. *Crescimento de Teca (Tectona grandis) em reflorestamento na Amazônia Setentrional.* Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v. 4, n. 59, p. 5-14, 2009.

[20] SCANAVACA JUNIOR, L.; GARCIA, J. N. *Densidade básica da madeira de eucalipto.* Embrapa 2017

[21] VITAL, B.R. et al. *Poder calorífico superior da madeira de Tectona grandis em função da idade e das condições edáficas.* XII EBRAMEM. Anais. Lavras-MG. 2010.

[22] FLÓREZ, J. B. *Caracterização tecnológica da madeira jovem de teca (Tectona grandis Lf).* Disertação para título de Mestrado em ciência e tecnologia da madeira. UFLA, 2012.

[23] RONDON, E. V. *Estudo de biomassa de Tectona grandis Lf sob diferentes espaçamentos no estado de Mato Grosso*. Revista Árvore, v. 30, n. 03, p. 337-341, 2006.