



1º Congresso Brasileiro sobre Florestas Energéticas, 02 a 05 de junho, Belo Horizonte, Minas Gerais

## INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE NO PODER CALORÍFICO EM DIFERENTES IDADES E COMPONENTES DE ÁRVORES DE *Pinus taeda*.

JULIANA C. FERREIRA<sup>1</sup>, THIELLY S. FURTADO<sup>1</sup>, MARCIO DAIAN NEVES<sup>1</sup>, MARTHA A. BRAND<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Avenida Luís de Camões 2090, Bairro Conta Dinheiro, 88520-000, Lages, SC  
e-mail: mana.juli@yahoo.com.br

### RESUMO

O controle de propriedades como o teor de umidade e poder calorífico são fundamentais para elevar o potencial energético da biomassa florestal. Neste contexto, o presente trabalho buscou avaliar a variação do teor de umidade e poder calorífico de acículas, copas, galhos e cascas de *Pinus taeda*, em diferentes idades, e verificar a influência do teor de umidade sobre o poder calorífico líquido destes componentes. Para a análise foi aplicado um delineamento experimental inteiramente casualizado, com sistema fatorial contendo quatro componentes de árvores em quatro idades de *Pinus taeda*. Os resultados demonstraram que existe elevada correlação negativa entre teor de umidade e poder calorífico líquido, além de diferença significativa de teor de umidade e poder calorífico líquido para galhos em diferentes idades. Galhos de 24 anos juntamente com as cascas, são os componentes mais indicados para geração de energia.

### INTRODUÇÃO

Atualmente, com a otimização das florestas plantadas e a necessidade de maior fornecimento de energia para suprir o crescente consumo das novas indústrias, o uso da biomassa florestal torna-se uma alternativa viável do ponto de vista econômico e ambiental.

Entretanto, devido à sua heterogeneidade (granulometria, densidade, teor de umidade, poder calorífico), algumas limitações são impostas ao seu aproveitamento energético. (MÜLLER, 2005). Em muitos casos, mesmo havendo diferenciação no potencial energético dos diferentes constituintes das árvores, ainda não é feita a separação e seleção dos mesmos, anterior a sua destinação às geradoras, acarretando em perdas na suficiência energética.

Para elevar a eficiência do material e torná-lo competitivo frente a outras fontes de energia, suas propriedades energéticas precisam ser controladas. Este controle é feito através da análise e acompanhamento de variáveis como teor de umidade (TU), teor de cinzas (TC), densidade e poder calorífico (BRAND, 2007).

O poder calorífico refere-se à quantidade de energia liberada na forma de calor pela combustão de uma unidade de massa de madeira, sendo expresso em calorias por gramas (cal/g) ou quilocaloria/quilograma (kcal/kg). Divide-se em poder calorífico superior (PCS), inferior (PCI) e líquido (PCL).

No PCS a combustão se efetua a volume constante e a água formada durante a combustão é condensada, recuperando o calor derivado desta condensação (BRIANE & DOAT, apud QUIRINO et al, 2005). Considera condições de queima ideais, nas quais o material está absolutamente seco, sendo altamente influenciado pela constituição química da madeira, principalmente pela lignina e extrativos (resinas, óleos-resinas, matérias graxas, óleos), que elevam o seu potencial (QUIRINO et al., 2005)

A partir do PCS, desconta-se a energia gasta para evaporar o hidrogênio de constituição do combustível, na forma de água, obtendo-se o PCI (NASCIMENTO, 2006).

□

<sup>1</sup> Trabalho de pesquisa pertencente ao Projeto de Pesquisa “Avaliação da potencialidade de uso da biomassa florestal para a geração de energia como contribuição para o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL”, patrocinado pela Empresa Tractebel Energia S.A. e apoio da Empresa Flobasa S.A (Projeto Aneel 003-2007).



## 1º Congresso Brasileiro sobre Florestas Energéticas, 02 a 05 de junho, Belo Horizonte, Minas Gerais

O PCL provém do PCI, descontando a energia consumida para evaporar a água presente no material recém cortado, e que se mantém aproximadamente estável até sua destinação às caldeiras. Representa a energia efetiva disponível ao sistema, sendo também influenciado pelo teor de inorgânicos no material, que reduzem o seu potencial.

O TU, dado em porcentagem (%), indica a quantidade de água presente na madeira, devendo estar em torno de 65% a 70% em base úmida, quando considera o material recém cortado. Acima deste limite, calorias externas são necessárias para secar o material e permitir a combustão (QUIRINO et al., 2005).

Sua determinação é de grande importância, primeiramente por apresentar grande variação quando se relaciona às diferentes espécies, clima e armazenamento, dificultando o controle do processo de combustão. E, a segunda razão, pelo fato de que a água apresenta um poder calorífico negativo, uma vez que necessita de calor para evaporá-la (BRITO & BARRICHELO, 1979).

Diante do exposto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar a influência do teor de umidade recém chegado sobre o poder calorífico, e verificar se há diferença significativa desse para os diferentes componentes da árvore (acículas, copas, galhos e cascas). A partir destas correlações é possível definir se é compensável fazer a seleção dos materiais antes de seu uso nas caldeiras, garantindo maior rendimento ao processo de geração de energia.

### MATERIAIS E MÉTODOS

O material analisado é proveniente de povoamentos homogêneos de *Pinus taeda*, pertencentes à empresa Flobasa, pertencentes ao conglomerado Battistella, em Bocaina do Sul, SC. Para os povoamentos de 10, 12, 14 e 24 anos foram sorteadas cinco árvores por parcela de 10 x 10 m montada para cada idade. Com a derrubada das árvores, coletou-se separadamente acículas, galhos, copa (parte da copa com diâmetro inferior a 8 cm) e discos, para remoção da casca, os quais passaram por análise laboratorial, efetuada no laboratório de Química da Madeira da Universidade do Planalto Catarinense (UNIPLAC), em Lages, SC. Primeiramente efetuou-se a picagem do material e determinação do TU recém chegado através da norma NBR 14929; e do poder calorífico superior e líquido, com o uso da bomba calorimétrica, segundo a norma DIN 51900. Em seguida, tendo um experimento fatorial 4 x 4 com vinte repetições, realizou-se análise estatística dos dados, através do software Statistica.

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

Considerando os quatro componentes analisados em diferentes idades, as variáveis TU, PCS e PCL apresentaram variações de 27-68%, 4393-5369 kcal/kg e 1077-3146 kcal/kg respectivamente.

De acordo com a tabela 1, através da análise de variância dos dados, foi possível detectar diferenças significativas destas variáveis em função dos componentes das árvores, das diferentes idades e da interação existente entre componentes e idades. Considerando isoladamente a fonte de variação Componente e Idade, para a primeira todas as variáveis apresentaram diferença significativa, o que não ocorreu para a segunda, na qual as diferenças não foram significativas. Porém, ao considerar a interação Componente x Idade, os efeitos tornaram-se significativos para as variáveis estudadas, indicando que, conforme o componente da árvore e a idade que ele possui, ocorrem alterações no TU, assim como na proporção de extrativos, lignina e no acúmulo de compostos inorgânicos, que atuam sobre o PCS e PCL.

Tabela 1. Análise de variância para o teor de umidade do material recém chegado (TU), poder calorífico superior (PCS) e poder calorífico líquido (PCL) para os diferentes componentes das árvores em diferentes idades para a espécie de *Pinus taeda*.

FV	Quadrados Médios		
	TU	PCS	PCL
Componente (C)	550.1*	346228.7*	1786633.5*
Idade (I)	159.1 <sup>NS</sup>	63638.4 <sup>NS</sup>	458208.2 <sup>NS</sup>



## 1º Congresso Brasileiro sobre Florestas Energéticas, 02 a 05 de junho, Belo Horizonte, Minas Gerais

C x I	167.4*	88748.7*	546149.4*
Resíduo	110.5	50827.2	345614.7

\* diferença significativa pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade de erro.

<sup>NS</sup> diferença não significativa.

Em seguida, na tabela 2 foi aplicado o teste de médias de Tukey para as variáveis estudadas, considerando as fontes de variação Componentes e Idades das árvores.

Tabela 2. Teste de médias de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro, para teor de umidade (TU), poder calorífico superior (PCS) e poder calorífico líquido (PCL), considerando os componentes das árvores em diferentes idades para a espécie de *Pinus taeda*.

FV	Componente	Idade	Médias		
			TU	PCS	PCL
Acícula		10 anos	63 a	5096 a	1424 a
		12 anos	60 a	5121 a	1592 a
		14 anos	60 a	5116 a	1728 a
		24 anos	56 a	5258 a	1812 a
Galho		10 anos	62 a	4812 a	1428 bc
		12 anos	50 bc	4976 a	2029 ab
		14 anos	59 ab	4844 a	1410 c
		24 anos	48 c	4977 a	2138 a
Copa		10 anos	62 a	4898 a	1361 a
		12 anos	63 a	4931 a	1305 a
		14 anos	65 a	4810 a	1266 a
		24 anos	62 a	4935 a	1375 a
Casca		10 anos	46 a	5112 a	2323 a
		12 anos	43 a	5116 a	2487 a
		14 anos	44 a	5263 a	2502 a
		24 anos	41 a	5369 a	2801 a

Médias seguidas pela mesma letra dentro de cada componente não diferem significativamente pelo teste de Tukey.

Para os componentes acícula, copa e casca, as variáveis TU, PCS e PCL não apresentaram diferença significativa ao nível de 95% de probabilidade de acerto.

Para os galhos, observou-se diferença significativa para TU e PCL entre as diferentes idades. Porém esta diferença não foi significativa para o PCS.

Os galhos de 10 anos apresentaram o maior TU, equivalendo-se aos de 14 anos e diferindo dos de 12 e 24 anos. Estes, por sua vez, obtiveram o menor TU, não diferindo dos galhos de 12 anos. Isto se deve ao fato de que, as árvores mais jovens, com elevada atividade fisiológica exigem um maior TU, o qual reduz em árvores adultas, com menor metabolismo.

Em relação ao PCL calculado para os galhos, o maior valor foi encontrado para a idade de 24 anos, que não diferiu significativamente da de 12 anos e foi superior às de 10 e 14 anos. Já os galhos de 14 anos apresentaram o menor PCL, juntamente com os de 10 anos. Entre as possíveis causas, pode-se citar a influência do TU sobre o PCL, ou seja, quanto maior o TU, menor o PCL. Outro fator está relacionado ao teor de cinzas (compostos inorgânicos) presente no material, que também possui influência negativa sobre o PCL, o que explicaria as variações de TU e PCL encontradas nas idades intermediárias de 10 a 24 anos. Porém este não foi o objeto de estudo neste experimento.

Posteriormente calculou-se o coeficiente de correlação de Pearson para as variáveis TU e PCL buscando determinar a real influência da primeira sobre a segunda. Para todos os componentes foi encontrada uma correlação negativa superior a 0.87, indicando alta correlação entre as variáveis, ou seja, quanto maior o TU, menor o PCL, sendo que o inverso também é verdadeiro.



## 1º Congresso Brasileiro sobre Florestas Energéticas, 02 a 05 de junho, Belo Horizonte, Minas Gerais

Por fim, pode-se definir, para efeitos práticos, que cascas em diferentes idades e galhos na idade de 24 anos são os mais indicados para a geração de energia, por apresentarem um dos menores TU e os maiores PCL.

### CONCLUSÕES

- Existe diferença significativa das variáveis para diferentes partes e idades das árvores;
- Observa-se elevada correlação negativa entre as variáveis TU e PCL;
- Cascas em diferentes idades e galhos na idade de 24 anos apresentam maior potencial energético.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa Battistella pelo fornecimento do material, e à UNIPLAC por disponibilizar o laboratório para a possível efetuação das análises.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRAND, M. A. **Qualidade da biomassa florestal para o uso na geração de energia em função da estocagem**. 2007. 168p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná, Brasil, 2007. Disponível em:

<<http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/1884/10397/1/Tese-vers%c3%a3o%20final%20-%20Martha%20Andreia%20Brand.pdf>>  
<<http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/1884/10397/1/Tese-vers%c3%a3o%20final%20-%20Martha%20Andreia%20Brand.pdf>>  
<<http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/1884/10397/1/Tese-vers%c3%a3o%20final%20-%20Martha%20Andreia%20Brand.pdf>>

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Usos diretos e propriedades da madeira para geração de energia. **IPEF**, São Paulo, Circular Técnica, n. 52, PBP/3.1.8, 7p. jun. 1979. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr052.pdf>>

MARCELO DIAS MÜLLER, M. D. **Produção de madeira para geração de energia elétrica numa plantação clonal de eucalipto em Itamarandiba, MG**. 2005. 108 p. Tese (*Doctor Science*) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2005. Disponível em: <[http://www.cefetcampos.br/observatorioambiental/publicacoes-cientificas/artigos-sobre-biocombustiveis-energia-renovaveis-e-indicadores-ambientais/tese\\_madeira.pdf/view](http://www.cefetcampos.br/observatorioambiental/publicacoes-cientificas/artigos-sobre-biocombustiveis-energia-renovaveis-e-indicadores-ambientais/tese_madeira.pdf/view)>

NASCIMENTO, S. M. et al. Resíduos de indústria madeireira: caracterização, conseqüências sobre o meio ambiente e opções de uso. **HOLOS Environment**, v. 6, n. 1, 2006, p. 8-21. Disponível em: <<http://cecemca.rc.unesp.br/ojs/index.php/holos/article/view/177/161>>

QUIRINO, W. F. et al. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira**, n. 89, abr. 2005, p. 100-106. Disponível em: <<http://www.funtecg.org.br/arquivos/podercalorifico.pdf>>