

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

CÂMPUS DOIS VIZINHOS

MAYCO JHOMM CALDATO

**AVALIAÇÃO DE PERDA DE ENERGIA EM FUNÇÃO DO TEOR DE
UMIDADE EM CAVACOS DE *Pinus* sp.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

DOIS VIZINHOS

2015

MAYCO JHOMM CALDATO

**AVALIAÇÃO DE PERDA DE ENERGIA EM FUNÇÃO DO TEOR DE
UMIDADE EM CAVACOS DE *Pinus* sp.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso Superior de Engenharia Florestal, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Orientadora: Prof.^a Msc Cilene Cristina Borges.

DOIS VIZINHOS

2015

C145a Caldato, Mayco Jhomm
Avaliação de perda de energia em função do teor de umidade em cavacos de *pinus sp.* / Mayco Jhomm Caldato – Dois Vizinhos: [s.n], 2015. 36 f.:il.

Orientador: Cilene Cristina Borges.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação)
Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curso de Engenharia Florestal. Dois Vizinhos, 2015.
Bibliografia p.25-28

1.*Pinus sp.* 2.Biomassa.3.Umidade I.Borges, Cilene Cristina, orient. II.Universidade Tecnológica Federal do Paraná– Dois Vizinhos.III.Título

CDD: 634.9

Ficha catalográfica elaborada por Keli Rodrigues do Amaral CRB: 9/1559

Biblioteca da UTFPR-Dois Vizinhos



TERMO DE APROVAÇÃO

AVALIAÇÃO DE PERDA DE ENERGIA EM FUNÇÃO DO TEOR DE UMIDADE EM
CAVACOS DE *Pinus* sp.

por

MAYCO JHOMM CALDATO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 23 de junho de 2015 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Msc. Cilene Cristina Borges
Orientadora

Prof. Dr.^a Flávia Alves Pereira
Membro titular (UTFPR)

Prof. Dr. Marcos Aurélio Mathias de Souza
Membro titular (UTFPR)

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus que iluminou o meu caminho durante esta caminhada.

Aos meus pais, Ivo e Marilete, minha irmã Eloisa, por todo amor, toda preocupação, toda a dedicação e todo o apoio dados a mim. Não dedico a vocês apenas esse trabalho, mas todos os momentos de felicidade e conquista que tive e terei.

A minha namorada e grande amor, Danieli, por todos os momentos de atenção, ajuda, tolerância, paciência e principalmente amor e carinho.

Agradeço, com muito carinho, a minha orientadora Cilene, pelo apoio, pela compreensão, pela amizade e pelos conhecimentos transmitidos no decorrer desse trabalho.

Aos professores que aqui me ajudaram, Professora Flávia e Professor Marcos, mas também a todos que de alguma forma contribuíram para minha formação.

A todos os meus colegas do curso, que de alguma maneira tornaram minha vida acadêmica cada dia mais desafiante. Peço a Deus que os abençoe grandemente, preenchendo seus caminhos com muita paz, amor, saúde e prosperidade.

Que os vossos esforços desafiem as
impossibilidades, lembrai-vos de que as
grandes coisas do homem foram
conquistadas do que parecia impossível.

Charles Chaplin

RESUMO

CALDATO, Mayco, J. **Avaliação da perda de energia em função do teor de umidade em cavacos de *Pinus sp*** 2015. 36p. Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2015.

Após anos de exploração, a escassez madeireira começou a se tornar preocupante no Brasil, o que gerou uma série de incentivos fiscais dando origem aos primeiros plantios comerciais, em sua maioria, de espécies dos gêneros *Pinnus* e *Eucalyptus*. Atualmente, segundo a ABRAF (2013), o Brasil possui aproximadamente 7 milhões de hectares de florestas plantadas com finalidade comercial, as quais podem ser utilizadas sob diferentes formas. O uso direto da madeira como material combustível pode, no entanto, apresentar eficiência reduzida, estando o poder calorífico da madeira inversamente relacionado ao seu teor de umidade. Para que ocorra uma boa combustão, a madeira deve ser utilizada com teores de umidade abaixo de 25%. Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a perda de energia devido à variação do teor de umidade dos cavacos de madeira em uma empresa do ramo agroindustrial. Para isso realizou-se, em parceria com a empresa, a análise do teor de umidade dos cavacos conforme a metodologia descrita na norma da ABNT/NBR 14929/2003, calculando a perda de energia para a evaporação da água de formação da madeira, e também a água que compõem o teor de umidade. O teor de umidade médio encontrado foi de 34,87% em base úmida, obtendo-se um poder calorífico efetivo de 2.703,87Kcal/Kg, A queima da madeira com alto teor de umidade aumenta os custos de aquisição de matéria prima e diminui a eficiência energética da mesma. A quantidade de energia disponível está relacionada com a quantidade de água presente na madeira, quanto maior a quantidade de água, menor o seu poder calorífico efetivo.

Palavras-chave: *Pinus sp*. Biomassa. Umidade. Poder calorífico. Combustão.

ABSTRACT

CALDATO, Mayco, J. **Energy loss assessment due to the moisture content in *Pinus sp* chips** . 2015. 36p. Work End of Course – Degree in Forestry, Federal Technological University of Paraná. Dois Vizinhos, 2015.

After years of exploration, the timber shortage started to become worrying in Brazil, which led to a series of tax incentives giving rise to the first commercial plantations, mostly species of *Pinus* and *Eucalyptus*. Currently, according to ABRAF (2013), Brazil has about 7 million hectares of forests planted for commercial purposes, which can be used in different ways. The direct use of wood as fuel material can, however, have reduced efficiency, with the calorific value of wood inversely related to its moisture content. For good combustion to occur, the wood should be used with moisture content below 25%. Therefore, the aim of this study is to evaluate the energy loss due to changes in the moisture content of the wood chips in a company's agribusiness sector. For it was held in partnership with a company, analysis of the chips of the moisture content according to the methodology described in ABNT / NBR 14929/2003, calculating the loss of power to the evaporation of water formation of the timber, and also the water that make up the moisture content. The average moisture content was found to be 34.87% on a wet basis, resulting in an effective calorific value of 2.703,87Kcal / kg. Burning wood with high moisture content increases acquisition costs of raw materials and decrease the energy efficiency thereof. The amount of available energy is related to the amount of water present in the timber, the greater the quantity of water, effectively lower its calorific value.

Keywords: *Pinus sp*. Biomass. Moisture content. Calorific value. Combustion.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Balanço energético.....	22
Tabela 2: Variação da energia líquida disponível e PCE em função do teor de umidade.....	23
Tabela 3: Variação do Consumo mensal de cavacos em função do teor de umidade	24
Tabela 4: Variação do custo Mensal e Economia com secagem artificial.....	25

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Variação do teor de umidade em relação à média.	21
--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.2 OBJETIVO GERAL	11
1.2.2 Objetivos específicos.....	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 PINUS	12
2.2 TEOR DE UMIDADE	13
2.3 PODER CALORÍFICO.....	14
2.4 BIOMASSA.....	14
2.4.1 Biomassa Florestal.....	15
2.5 CALOR ESPECÍFICO E CALOR LATENTE.....	16
3 MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	17
3.2 COLETA DO MATERIAL.....	17
3.3 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE.....	18
3.4 CÁLCULO DAS PERDAS DE ENERGIA	18
3.5 ANÁLISES DOS RESULTADOS.....	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
REFERÊNCIAS.....	27
ANEXO A – Dados e cálculos de energia.....	31

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um País de grande vocação florestal, carregando esta informação até no próprio nome, o qual refere-se a uma espécie nativa que os colonizadores portugueses encontraram por aqui. Após anos de exploração, a escassez madeireira começou a se tornar preocupante no País, o que gerou uma série de incentivos fiscais que deram origem aos primeiros plantios comerciais, em sua maioria de espécies dos gêneros *Pinnus* e *Eucalyptus*.

Com o passar dos anos, o setor florestal passou por grandes mudanças, tornando-se expressivo para a economia nacional. Desta forma, nos últimos anos, as florestas vêm contribuindo de forma expressiva para o desenvolvimento da economia brasileira e produto interno bruto - PIB nacional, reforçando a vocação florestal do País.

Segundo a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas - ABRAF, (2013) há aproximadamente 7.185.943 hectares de florestas plantadas com finalidade comercial, as quais podem ser utilizadas sob diferentes formas, como: madeira serrada, painéis, lâminas, celulose, biomassa, entre outras.

Atualmente, a busca por energias limpas obtidas a partir de fontes renováveis tem sido bastante incentivada, fazendo com que fontes de energia como as energias solares, eólicas, hidráulicas, mareotrizes, biomassa e geotérmicas ganhem cada vez mais importância no cenário mundial. Tais energias são caracterizadas como renováveis por utilizar recursos naturais considerados abundantes pela sua capacidade de se regenerar.

A energia de biomassa vem sendo utilizada principalmente em indústrias do gênero alimentício, siderúrgico e agropecuário. Uma das principais vantagens da biomassa é que, embora de eficiência reduzida, seu aproveitamento pode ser feito diretamente, por intermédio da combustão em fornos, caldeiras, etc.

Segundo Soares *et al.* (2006), a utilização da biomassa florestal como fonte de energia é uma alternativa que contempla a vocação natural do Brasil. Diante da atual crise de energia, os baixos custos de produção da biomassa florestal, decorrentes da alta produtividade, mostram que é necessário repensar o uso da madeira como fonte de energia.

O poder calorífico da madeira está diretamente relacionado com o seu teor de umidade. Segundo Pereira *et al.* (2000), a queima da madeira úmida proporciona menos energia devido ao consumo no aquecimento e vaporização da água. Para que ocorra uma boa combustão, a madeira deve ser utilizada com teores de umidade abaixo de 25%. Com isso, quanto mais úmida maior será a quantidade de energia para secar e iniciar a queima.

O presente trabalho avaliou as perdas de energia relacionadas ao teor de umidade dos cavacos de madeira destinados a queima em caldeira para geração de energia em uma empresa do ramo agroindustrial.

1.2 OBJETIVO GERAL

Avaliar a perda de energia devido a variação do teor de umidade dos cavacos de madeira.

1.2.2 Objetivos específicos

- ✓ Avaliar a influência do teor de umidade dos cavacos no poder calorífico efetivo, sob as condições normais de utilização.
- ✓ Discutir a dispersão do teor de umidade dos cavacos, durante o período de coleta, em relação ao teor de umidade médio.
- ✓ Calcular a influência da variação do teor de umidade dos cavacos no consumo mensal da empresa.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PINUS

Com o aumento da exploração dos recursos florestais e o ciclo longo de produção das espécies nativas encontradas no Brasil, as espécies exóticas vêm se consolidando como uma ótima alternativa para quem espera uma alta produtividade em ciclo de produção relativamente curto. Segundo Vasquez *et.al* (2007), a silvicultura do gênero *Pinnus* no Brasil tem seu ponto inicial marcado pelo advento do incentivo fiscal, uma diretriz estratégica dos anos 60 e 70 para o desenvolvimento do País, sendo este gênero um dos mais importantes para a silvicultura de espécies exóticas atualmente no Brasil.

Introduzido no Brasil por imigrantes europeus, o gênero *Pinnus* representa um grupo de aproximadamente 90 espécies de árvores da família Pináceae (MARCHIORI, 1996), originárias do hemisfério norte, sendo nativas na Europa, Ásia e América do Norte e Central. Muitas espécies são intensivamente plantadas e manejadas para produção comercial de madeira, especialmente no Hemisfério Sul, em países como Nova Zelândia, Brasil, Colômbia, Chile, Argentina, Uruguai, África do Sul, Austrália, entre outros (SHIMIZU; SEBBENN, 2008).

O Pinus é uma espécie lenhosa, em geral arborescente, podendo atingir grandes alturas. Caracteristicamente, tem um tronco retilíneo que sustenta a copa. Possui crescimento secundário, apresentando traqueóides e canais resiníferos (SUASSUMA, 1977). A polinização ocorre por anemofilia e possui sementes com aproximadamente 5 mm de comprimento, com alas de até 25 mm. (BOGNOLA et al., 2008). Apresenta acículas de cor verde-escura, com 15 a 20 cm de comprimento e seus cones femininos ovado-oblongos, sésseis ou subsésseis, muito persistentes e dotados de escamas espinhosas (LORENZI et al., 2003).

As espécies mais plantadas no Brasil são: *Pinus taeda*, *Pinus elliotti*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, *Pinus oocarpa*, e apresentam diferentes exigências quanto à fertilidade, textura e profundidade do solo. Devido à sua grande versatilidade possibilita o plantio em diferentes condições de ambiente, sendo a maior parte dos plantios nos Estados da região Sul do país (CIFLORESTAS, 2014).

A madeira maciça de pinus é usada na construção civil, remanufaturados, molduras, produtos beneficiados e pré-acabados (portas, janelas e torneados), armários e gabinetes, semiacabados (cozinhas, tampos, etc.), móveis (domésticos, comerciais e jardim), pallets, containers, estruturas e casas pré-fabricadas (ABIMCI, 2007).

O pinus possui uma densidade de média a baixa, o que embora não afete diretamente o poder calorífico, faz com que para a produção de uma dada quantidade de energia, seja necessário um maior volume de material, se comparado com espécies que apresentam maiores densidades (BRAND, 2008). Algumas espécies de pinus possuem resinas (extrativos), que faz com que seu poder calorífico aumente em relação a madeiras com menor quantidade de resina.

Na região sul e sudeste do Brasil, grande parte da indústria madeireira consiste na utilização de espécies do gênero pinus. Este fato aliado ao grande volume de resíduos proveniente da indústria madeireira, fazem dela um material com alto potencial para o uso energético (BRAND, 2008).

2.2 TEOR DE UMIDADE

Segundo Quirino et al. (2005), o teor de umidade em porcentagem (%) indica a quantidade de água presente na madeira, devendo estar entre 65% a 70% em base úmida quando se considera a árvore recém abatida. Acima deste limite, fontes externas de calor são necessárias para secar o material e permitir a combustão.

O teor de umidade é inversamente proporcional à massa específica da madeira, ou seja, quanto maior a quantidade de água, menor a quantidade dos outros elementos químicos da madeira, como celulose, hemicelulose e lignina (FOELKEL et al. 1971).

Segundo Brito (1986), um dos fatores de maior importância que influencia o uso da madeira como energia é o teor de umidade, sendo que este deve apresentar baixos teores, com o intuito de aumentar a eficiência do combustível e diminuir custos com o manejo e o transporte. Normalmente as madeiras de coníferas

apresentam maior facilidade para o processo de secagem, o que está relacionado diretamente com sua anatomia (OLIVEIRA et al, 2007).

2.3 PODER CALORÍFICO

Uma das mais importantes propriedades do combustível é o seu poder calorífico. Usualmente é obtido pela queima de uma quantidade conhecida de combustível, medindo-se o calor libertado (BRITO; BARRICHELO, 1979).

O poder calorífico divide-se em superior e inferior, sendo que poder calorífico superior (PCS) é aquele em que a combustão se efetua a volume constante e no qual a água formada durante a combustão é condensada e o calor que é obtido desta condensação é recuperado (BRIANE; DOAT, 1985). No caso da madeira seria o poder calórico fornecido se o material estivesse completamente seco.

Já o poder calorífico inferior (PCI) é a energia efetivamente disponível por unidade de massa de combustível após diminuir as perdas com a evaporação da água (JARA, 1989), ou seja, a energia efetiva fornecida pela madeira, deduzidas as perdas relativas a evaporação da água contida no material.

O poder calorífico superior de espécies de pinus tem apresentado valores entre 4100 Kcal/Kg e 4800Kcal/kg (BRAND, 2008).

2.4 BIOMASSA

Segundo Coelho (1982), a energia de biomassa é aquela fornecida por materiais de origem vegetal renovável ou obtido pela decomposição de dejetos, tendo como objetivo principal a produção de energia limpa, renovável, e geradora de empregos. Assim como a energia hidráulica e outras fontes renováveis, a biomassa é uma forma indireta de energia solar.

Uma das principais vantagens da biomassa é que, embora de eficiência reduzida, seu aproveitamento pode ser feito diretamente, por intermédio da

combustão em fornos, caldeiras etc. Para aumentar a eficiência do processo e reduzir impactos socioambientais, tem-se desenvolvido e aperfeiçoado tecnologias de conversão mais eficientes, como a gaseificação e a pirólise, também sendo comum a co-geração em sistemas que utilizam a biomassa como fonte energética (ANEEL, 2014).

A biomassa, no Brasil, é representada em grande parte pela madeira, onde o uso se divide em produção de carvão vegetal e consumo direto na forma de lenha. Também são conhecidas outras fontes renováveis de biomassa como: babaçu, óleos vegetais, resíduos vegetais, sisal, biogás, casca de arroz, cana de açúcar (MMA, 2014).

O potencial energético da biomassa é enorme, tanto em escala mundial como no Brasil, sendo que o país tem desenvolvido tecnologia há vários anos para a utilização da biomassa como fonte geradora de energia, gerando empregos e com muito pouco recurso financeiro (LORA; ANDRADE, 2004).

2.4.1 Biomassa Florestal

Ao que diz respeito às florestas plantadas para produção de energia, Soares Filho et al., (2002) destacam que a biomassa florestal pode ser utilizada como fonte de energia limpa, renovável, equilibrada com o meio ambiente rural e urbano, geradora de empregos e criadora de tecnologia própria. Além disso, permite a sua utilização como fonte alternativa de energia, seja pela queima de madeira, como o carvão, aproveitamento de resíduos da exploração e aproveitamento de alcatrão, ácido pirolenhoso e outros produtos derivados (COUTO et al., 2000).

Segundo a International Energy Agency (2014), a biomassa de madeira responde por aproximadamente 10% da matriz energética mundial, e 13,9% da matriz brasileira. A oferta de biomassa pode ser obtida por resíduos (florestais, indústrias ou urbanos), ou provenientes de florestas caracterizadas para a produção de biomassa energética (REMADE, 2014).

O Brasil, embora possua desenvolvida capacitação tecnológica para exploração dos recursos florestais além de possuir extensas áreas, relevo, clima e condições biológicas excelentes para a produção da biomassa florestal, o elevado

custo de produção talvez seja a explicação para o não aproveitamento da biomassa florestal na geração de eletricidade (SOARES FILHO et al., 2002).

2.5 CALOR ESPECÍFICO E CALOR LATENTE

Segundo Silva (2015), o calor específico de um material representa a quantidade de energia (calor) necessária para elevar a temperatura de um grama de água em um grau celsius. A unidade de medida do calor específico é J/K ou cal/g. A água possui calor específico de 1,0 (cal/g.°C), o que é considerado um valor elevado. Isso faz com que ela possa tanto ceder como absorver muita quantidade de calor sem que haja alteração no seu estado físico (GONÇALVES, 2015).

Denomina-se calor latente a quantidade de calor necessária que uma substância precisa receber para que ela entre em ebulição, ou seja a mudança do estado líquido para o estado gasoso. O calor latente de vaporização da água é 539,6 cal/g, e também é um valor muito elevado, e isso é um mecanismo muito importante para os seres vivos evitarem que suas células superaqueçam e causem reações em seus organismos. Devido a estrutura molecular da água ser muito coesa e com a presença de pontes de hidrogênio, faz com que a água possua um alto calor latente de vaporização. Para que haja mudança de estado, essas pontes de hidrogênio precisam ser rompidas, e esse processo tem um alto custo energético (TIPLER; MOSCA, 2009).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O trabalho foi desenvolvido na Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Câmpus Dois Vizinhos, em parceria com uma empresa do ramo agroindustrial, localizada na cidade de Dois Vizinhos, estado do Paraná. O município se encontra no sudoeste do Paraná, o clima é do tipo Cfa de acordo com a classificação de Koppen, com as quatro estações do ano bem definidas, apresentando temperatura média do mês mais frio menor que 18°C e temperatura média do mês mais quente maior que 22°C, com temperaturas médias anuais entre 19°C e 20°C (IAPAR, 2008).

O experimento foi conduzido no Laboratório de Tecnologia da Madeira, do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

3.2 COLETA DO MATERIAL

Realizou-se a coleta do material na esteira transportadora de cavacos, logo após o silo de armazenamento que alimenta a caldeira, nas dependências da empresa. A quantidade do material amostrado foi de 20 gramas de biomassa por amostra, sendo retirada duas amostras por dia, de segunda a sábado durante um período de 22 dias.

O material coletado ficou armazenado em sacos plásticos, e aclimatados em um refrigerador de modo a reduzir a perda de umidade até serem transportadas ao laboratório onde foram realizadas as análises.

3.3 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE

O teor de umidade dos cavacos foi determinado segundo a metodologia descrita na norma da ABNT/NBR 14929/2003 (ABNT, 2003).

O peso úmido do material se obteve por meio de balança de precisão, com sensibilidade de 0,01g e, posteriormente, seco em estufa com ventilação forçada a $103\pm 2^{\circ}\text{C}$, até obter peso constante. O teor de umidade foi determinado conforme a equação 1:

$$U(\%) = \frac{P_u - P_s}{P_u} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

U (%)= Teor de umidade em base seca, em %;

P_u= Peso da amostra úmida, em g;

P_s= Peso da amostra seca, em g.

3.4 CÁLCULO DAS PERDAS DE ENERGIA

Para compreender as perdas de energia foi seguido a metodologia conforme Calegari et al. (2005), que recomendou em seu estudo na qual a total remoção da água presente na madeira, se dá pela energia consumida para evaporar a água de formação e a energia total gasta para evaporar a água presente na biomassa, representada pelo teor de umidade.

A quantidade de energia necessária para evaporação da água que compõem o teor de umidade presente na madeira foi calculada pelo somatório dos resultados das equações 2, 3 e 4:

$$\Delta Q = c \times m \times \Delta T \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

ΔQ = Quantidade de calor, para elevar a temperatura da água contida em uma unidade de volume, em Kcal;

C = Calor específico da água, em Kcal/Kg;

m = massa da água (PU-PS), em Kg

ΔT = Variação da temperatura (da temperatura média anual de Dois Vizinhos 19,5°C até 100 °C).

$$QL = m \times L \quad \text{(Equação 3)}$$

Onde:

QL = Quantidade de calor necessária para a água mudar do estado líquido para o gasoso, em Kcal;

m = massa de água, em kcal;

L = Calor Latente da água, em Kcal/Kg;

$$Q\Delta H = \Delta H \times m \quad \text{(Equação 4)}$$

Onde:

$Q\Delta H$ = Quantidade de energia necessária para o vapor d'água sair pela chaminé, em Kcal m⁻³

m = massa de água, em g.

ΔH = Variação da entalpia, estabelecida em 17 Kcal kg⁻¹

A energia consumida para evaporar a água de formação foi calculada através da equação 5.

$$Ec = Ev . (9. ((teor de hidrogênio \%)/100)) \quad \text{(Equação 5)}$$

Em que:

Ec = energia consumida para evaporar a água de formação (kcal);

Ev = energia de evaporação da água, estabelecida em 560 kcal kg;

ρ = Constante de fórmula;

Teor de Hidrogênio % = Foram utilizados os valores médios para cavacos de pinus, para o teor de hidrogênio obtido de biomassas analisadas pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT/SP) e CIENTEC/RS, que apresentaram valores de 6,1% para os cavacos de Pinus spp.

Assim, a quantidade de energia necessária para evaporar a água presente nos cavacos de madeira foi determinada pela energia necessária para aquecer a água até 100 °C (equação 2), somada a quantidade de energia necessária para mudança do estado líquido para o gasoso (equação 3), somado com a energia necessária para o vapor d'água passar de 100 para 150°C na saída da chaminé (equação 4), adicionada a quantidade de energia necessária para evaporar a água de formação presente na madeira (equação 5).

Obtido o somatório dos valores de energia necessária para completa evaporação da água de formação presente nos cavacos de madeira, a energia efetiva disponível (poder calorífico efetivo) pode ser obtida pela subtração destes valores do poder calorífico superior.

3.5 ANÁLISES DOS RESULTADOS

Para compreender a variação dos valores obtidos no experimento foi realizada a análise dos mesmos por meio da elaboração de planilhas e gráficos com o uso de pacotes estatísticos do software Excel®, com a finalidade de avaliar os resultados e comparar as médias dos valores encontrados para os aspectos energéticos e do teor de umidade dos cavacos de madeira.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente trabalho possibilitou avaliar a quantidade de energia perdida em relação ao seu teor de umidade e a água de formação da madeira. Devido essas perdas foi possível calcular o poder calorífico efetivo, em função do poder calorífico teórico.

O teor de umidade foi analisado por ser uma das características que influenciam diretamente no poder calorífico da madeira, pois este diminui o calor liberado na combustão. Os resultados da análise de teor de umidade, bem como a descrição dos cálculos estão apresentados no anexo A, na qual o teor de umidade em base úmida médio encontrado nas análises foi de 34,87%, apresentando seu máximo teor de umidade com 42,64% de umidade, e o menor valor de teor de umidade encontrado durante a pesquisa foi de 22,23%, apresentando uma variância de 21,1% em relação à média.

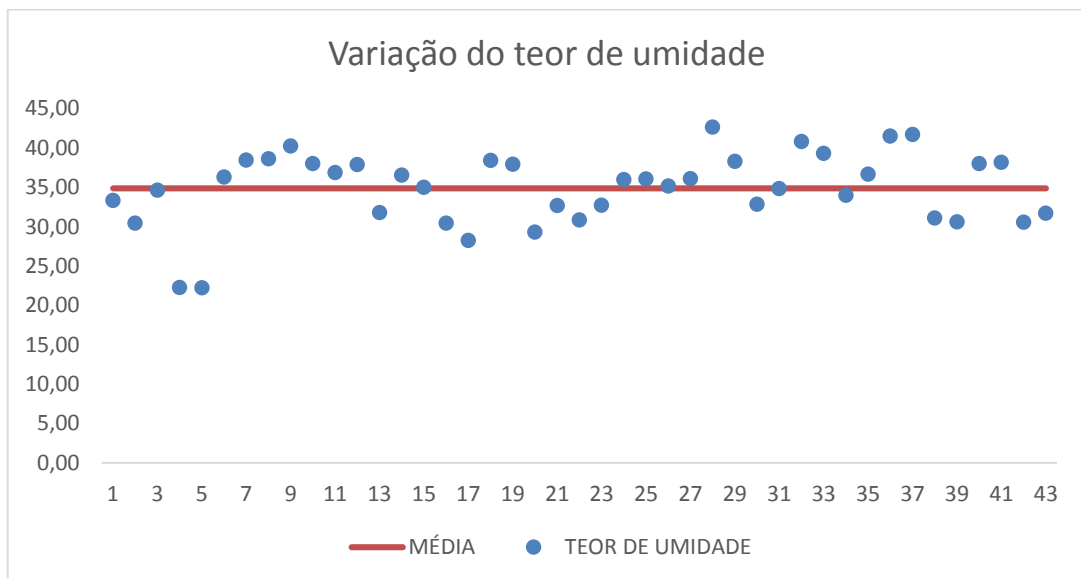


Gráfico 1: Variação do teor de umidade em relação à média
Fonte: O Autor (2015).

Essa variação do teor de umidade pode ser explicada pelo fato que a biomassa vem sendo armazenada em local descoberto, estando submetido a variações climáticas, podendo vir a absorver umidade do ambiente. De acordo com

Barboza (2003), as madeiras destinadas para produção de energia devem ser armazenadas em ambiente coberto para evitar a influência das precipitações (absorção de umidade).

De acordo com Precci et. al (2001), os valores ideais do teor de umidade para caracterizar o uso da madeira como energética devem apresentar teores de umidade inferior a 30% em base seca. Para Farinhaque (1981), um bom aproveitamento da combustão da madeira se dá com teores de umidade abaixo de 25% em base seca. Já para Quirino (2005), o conteúdo de umidade máximo que uma madeira pode ser queimada está em torno de 65% a 70% em base úmida.

Segundo Brito (1986), o fator de maior relevância o qual influencia no uso da madeira como energia talvez seja a umidade, visto que uma parte da energia liberada é consumida na vaporização.

Em relação ao poder calorífico efetivo médio, o valor encontrado foi de 2.703,87 Kcal/kg, apresentando uma variação de 43,67% em relação ao poder calorífico teórico, conforme representado na tabela 1. Este valor se aproxima com os valores obtidos por Brito e Barrichelo (1982), Brito (1986), que obtiveram valores de 2200 a 2500 kcal/kg, para 40 % de umidade em base úmida, enquanto que Lehtovaara (2004) obteve poder calorífico líquido de 1910 a 2508 kcal/kg para material com 45 % de umidade em base úmida.

Tabela 1: Balanço energético

Perdas ($\Delta Q + Q_L + Q_{\Delta H}$) (Kcal/kg)	EC (1) (kcal/kg)	PCS teórico (2) (Kcal/kg)	PCE médio (3) (Kcal/kg)	Variação Percentual média (%)
636,70	307,44	4800,00	2703,87	43,67

Fonte: O Autor (2015).

Notas:

- (1) Obtido através da equação 5, energia consumida para evaporar a água de formação.
- (2) Poder calorífico superior, estabelecido na literatura em 4800 Kcal/Kg.
- (3) Poder calorífico efetivo médio encontrado na tabela 1.

Essa variação se dá pela quantidade de água presente na madeira, que se refere a água existente na composição da biomassa mais a água de formação, pois quanto maior a quantidade de água presente na madeira, menor será o seu poder

calorífico efetivo, em função da perda de energia para aquecer e evaporar a água para posteriormente liberar a energia disponível durante o processo de combustão.

Na tabela 2 é possível observar a variação da energia líquida disponível e o poder calorífico efetivo em função do teor de umidade, sendo que com um consumo médio de 6.000 toneladas de cavaco com 34,87% de umidade tem-se um poder calorífico efetivo de 2.703,87 Kcal/kg.

Tabela 2: Variação da energia líquida disponível e PCE em função do teor de umidade

Teor de umidade Médio (%)	EC (1) (kcal/kg)	Perdas de água Média (Kcal/Kg)	Consumo Mensal (toneladas)	Massa de água (toneladas)	Perdas Energia Totais (Kcal)	Energia Líquida Gerada (Kcal)	PCE (3) (Kcal/kg)	Perda Percentual (%)
34,87	307,44	636,70	6000,00	2092,34	2,53E+09	1,62E+10	2703,87	13,51
30,00	307,44	636,70	5582,38	1674,71	2,27E+09	1,65E+10	2953,78	12,09
25,00 (2)	307,44	636,70	5210,22	1302,55	2,03E+09	1,67E+10	3210,25	10,83
20,00	307,44	636,70	4884,58	976,92	1,82E+09	1,69E+10	3466,71	9,72
15,00	307,44	636,70	4597,25	689,59	1,64E+09	1,71E+10	3723,17	8,74
10,00	307,44	636,70	4341,85	434,18	1,48E+09	1,73E+10	3979,63	7,88
5,00	307,44	636,70	4113,33	205,67	1,33E+09	1,74E+10	4236,10	7,10
0,00	307,44	636,70	3907,66	0,00	1,20E+09	1,76E+10	4492,56	6,40

Fonte: O Autor (2015).

Notas:

- (1) obtido através da equação 5, energia consumida para evaporar a água de formação.
 (2) teor de umidade recomendado na literatura para geração de energia.
 (3) poder calorífico efetivo, calculado a partir do referencial teórico de 4800 kcal/kg.

A quantidade de água presente na madeira está diretamente relacionada com o consumo mensal devido ao seu teor de umidade, como é observado na tabela 3. A partir do momento em que o teor de umidade é reduzido, há um menor consumo de matéria prima para a geração de energia, devido a redução da massa de água encontrada na madeira e um maior aproveitamento da mesma. De acordo com Cunha et. al (1989) quanto maior o conteúdo de umidade da madeira, menor é o seu poder calorífico, devido ao processo de evaporação da massa de água que absorve energia em combustão.

Mesmo com um teor de umidade elevado, a oferta energética da empresa é suficiente para suprir os processos que utilizam essa energia. Mantendo a quantidade de energia líquida gerada e reduzindo o teor de umidade observou-se (tabela 3) que houve uma redução significativa no consumo médio mensal de cavacos de madeira úmido. Se a matéria prima para geração de energia estivesse com um teor de umidade de 25% em base seca, de acordo com Farinhaque (1981), Pereira *et al.* (2000), possibilitaria uma redução de 946,42 toneladas de cavaco úmido por mês e 117,48 toneladas de cavaco seco.

Tabela 3: Variação do Consumo mensal de cavacos em função do teor de umidade

Teor de umidade (%)	PCE (1) (Kcal/kg)	Energia Líquida gerada (2) (Kcal)	Consumo Mensal úmido (toneladas)	Consumo Mensal seco (toneladas)
34,87	2703,87	1,62E+10	6000,00	3907,66
30,00	2953,78	1,62E+10	5492,36	3844,65
25,00 (3)	3210,25	1,62E+10	5053,58	3790,18
20,00	3466,71	1,62E+10	4679,72	3743,78
15,00	3723,17	1,62E+10	4357,37	3703,76
10,00	3979,63	1,62E+10	4076,56	3668,91
5,00	4236,10	1,62E+10	3829,76	3638,27
0,00	4492,56	1,62E+10	3611,13	3611,13

Fonte: O Autor (2015).

Notas:

- (1) Poder calorífico efetivo.
- (2) mantendo a energia líquida disponível.
- (3) teor de umidade indicado em literatura.

Devido à grande oferta e ao preço praticado deste combustível na região, os resíduos de pinus tornam-se uma alternativa que proporciona um grande potencial energético associado a outras espécies. Segundo Bichel (2014), o preço do cavaco de pinus é de aproximadamente 40 reais por tonelada posta no pátio, no sudoeste do Paraná.

Tabela 4: Variação do custo Mensal e Economia com secagem artificial

Teor de Umidade (%)	Consumo Mensal seco (toneladas)	Consumo mensal %U médio (1) (toneladas)	Custo Mensal (R\$)	Economia no uso de cavaco seco (R\$)
34,87	3907,66	6000,00	240.000,00	0 (2)
30,00	3844,65	5903,25	236.129,82	3.870,18
25,00 (3)	3790,18	5819,62	232.784,64	7.215,36
20,00	3743,78	5748,36	229.934,40	10.065,60
15,00	3703,76	5686,92	227.476,83	12.523,17
10,00	3668,91	5633,40	225.336,01	14.663,99
5,00	3638,27	5586,36	223.454,41	16.545,59
0,00	3611,13	5544,69	221.787,64	18.212,36

Fonte: O Autor (2015).

Notas:

(1) consumo de cavacos comprados com 34,87 % de umidade, na base úmida, para serem secos.

(2) valor de economia sem a realização de processo de secagem dos cavacos.

(3) teor de umidade indicado em literatura.

Ao analisar a tabela 4 é plausível perceber que com um consumo mensal de 6.000 toneladas há um custo de 240.000,00 reais com a aquisição de cavacos. Com a redução do teor de umidade dos cavacos de 34,87% para 25% há uma economia de 7.215,36 reais por mês. o simples fato de secar esse material combustível proporciona uma economia considerável relacionada ao custo com a aquisição de cavacos. Tornando-se assim, viável a implantação de um sistema de secagem artificial, o que proporciona uma redução na quantidade de matéria-prima necessária para atender a demanda energética.

5 CONCLUSÃO

Baseado nos resultados obtidos no presente trabalho pode-se concluir que:

- ✓ O teor de umidade influencia diretamente o poder calorífico, logo quanto mais seca estiver a madeira, maior será o poder calorífico.
- ✓ O teor de umidade médio encontrado em base umidade foi de 34,87%.
- ✓ O poder calorífico efetivo encontrado devido ao teor de umidade presente nas amostras foi de 2.703,87 Kcal/kg.
- ✓ A perda percentual média do poder calorífico efetivo devido ao teor de umidade encontrado foi de 43,67%, em relação ao poder calorífico teórico.
- ✓ A queima da madeira com alto teor de umidade aumenta os custos de aquisição de matéria prima e diminui a eficiência energética da mesma.
- ✓ Com a redução da massa de água encontrada na madeira há um menor consumo de matéria-prima necessária para geração de energia e um maior aproveitamento da mesma.
- ✓ Devido a redução do teor de umidade encontrado nos cavacos de 34,87% para 25% há uma economia de 7.215,36 reais por mês, no custo para a aquisição de cavacos para a empresa.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Biomassa**. Brasília, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECÂNICAMENTE – ABIMCI. **Estudo setorial 2007**: ano base 2006. Curitiba, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14929**. Madeira: determinação do teor de umidade. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF**: ano base 2012. Brasília, 2013.

BARBOZA, M. F.; GATTO, D. A.; MÜLLER; M. T. **Estimativa de energia pela da região da quarta colônia de imigração italiana do rio grande do sul no ano de 1999**. UFPEL. Rio Grande do Sul, 2003.

BICHEL, Anathan. Diagnóstico e indicadores da cadeia produtiva do setor florestal madeireiro de Dois Vizinhos – Paraná. Dois Vizinhos, 2014. 96 f.

BOGNOLA, Itamar. A.; RIBEIRO Jr., Paulo. J.; SILVA, Edson. A. A.; LINGNAU, Christel.; HIGA, Antonio. R. Modelagem uni e bivariada da variabilidade espacial de rendimento de *Pinus taeda* L. **Revista Floresta**. Curitiba, v.38, n.2, p.373-385, 2008.

BRAND, Marta Andréia. A madeira de pinus e a geração de energia. **Revista da Madeira**, n.83, ago. 2008.

BRIANE, D.; DOAT, J. **Guide technique de la carbonisation**: la fabrication du charbon de bois. ÉDISUD, 1985. 180p.

BRITO, José O.; BARRICHELO, Luis. E. G. Usos diretos e propriedades da madeira para a geração de energia. Piracicaba: IPEF, junho 1979. **Circular Técnica**. n.52. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr052.pdf>. Acesso em 10 dez. 2014.

BRITO, José O.; BARRICHELO, Luis E.G. Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis. In: SEMINÁRIO DE ABASTECIMENTO ENERGÉTICO INDUSTRIAL COM RECURSOS FLORESTAIS, 2., 1982, São Paulo. **Anais...**São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, 1982. p.101-137.

BRITO, José. O. Madeira para a floresta: a verdadeira realidade do uso de recursos florestais. **Sivicultura**, v. 11, n. 41, p. 188-193, 1986.

CALEGARI, Leandro; FOELKEL, Celso Edmundo Bochetti; HASALEIN, Clovis Roberto; ANDRADE, José Luis Silva de; SILVEIRA, Paulo; SANTINI, Elio José. Características de algumas biomassas usadas na geração de energia no sul do Brasil. **Biomassa & Energia**. v.2, n.1, p. 37-46. Santa Maria – RS, 2005.

CENTRO DE INTELIGÊNCIAS EM FLORESTAS. **Pinus: Aspectos botânicos**. Disponível em: <http://www.ciflorestas.com.br/texto.php?p=pinus>. Acesso em: 14 dez. 2014.

COELHO, Jorge Cals. **Biomassa - Biocombustíveis - Bioenergia**. Ministério das Minas e Energia. Brasília, p. 100, 1982.

COUTO, Laércio; FONSECA, Ênio Marcus Brandão; MULLER, Marcelo Dias. BARCELLOS, Daniel Camara; TSUKAMOTO, Antonio de Arruda; CORRÊA, Márcio Rodrigues. **O Estado da arte das plantações de florestas de rápido crescimento para produção de biomassa para energia em Minas Gerais**: aspectos técnicos, econômicos, sociais e ambientais. **Biomassa e Energia**. Belo Horizonte, 2000. p. 44.

CUNHA, M.P.S.C.; PONTES, C.L.F.; CRUZ, I. A.; CABRAL, M. T. F. D.; CUNHA NETO, Z.B.; BARBOSA, A.P.R. **Estudo químico de 55 espécies lenhosas para geração de energia em caldeiras**. In: 3º encontro Brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira: **Anais**, v.2, p. 93-121, São Carlos, 1989.

FARINHAQUE, R. **Influência da umidade no poder calorífico da madeira de Bracatinga (*Mimosa scrabella*, Benth) e aspectos gerais de combustão**. Curitiba: FUPEF, 1981. 14p. (Série Técnica).

FOELKEL, Celso Edmundo Bochetti; BRASIL, Maria Aparecida Mourão; BARRICHELO, Luiz Ernesto George. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, São Paulo, n.2/3, p.65-74, 1971.

GONÇALVES, Fabiana Santos. **Água: moderadora de temperatura**. 2015. Disponível em: <http://www.infoescola.com/termodinamica/agua-moderadora-de-temperatura/>. Acesso em: 03 abr. 2015.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **World Energy Outlook**. Paris, 2014.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Sistema de Monitoramento Agroclimático do Paraná**. 2008.

JANKOWSI, I.P. Equipamentos e processos para secagem de madeira. In: SEMINARIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DE MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA,1., São Paulo,1995. **Anais...** São Paulo: IPEF;IPT, 1995. P. 109-118.

JARA, E.R.P. **O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. São Paulo, 1989.

LEHTOVAARA, J. Calorific value – Status of the standardisation. In: INTERNATIONAL CONFERENCE “STANDARDISATION OF SOLID BIOFUELS, 6-7.,2004, Leipzig, Germany. **Anais eletrônicos....** Disponível em: <<http://www.energetik-leipzig.de/BioNorm/conference.htm>> Acesso em: 07 jul. 2015.

LORA, Electo Eduardo Silva; ANDRADE, Rubenildo Vieira. Geração de energia e gaseificação de biomassa. **Biomassa & Energia**, Viçosa, v. 1, n. 3, p. 311-320, 2004.

LORENZI, Harri.; SOUZA, H. M.; TORRES, M. A. V.; BASHER, L. B. **Árvores Exóticas no Brasil – madeireiras, ornamentais e aromáticas**. Instituto Plantarum, Nova Odessa, 2003, 368 p.

MARCHIORI, José Newton Cardoso. **Dendrologia das gimnospermas**. 1. ed. Santa Maria:UFSM, 1996. p. 158.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Biomassa**. Brasília, 2014.

OLIVEIRA, José Tarcísio da Silva; FIEDLER, Nilton César; NOGUEIRA, Marcelo. **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro II**. Vitória: Aquarius, 2007. 302 p.

PEREIRA, José Carlos Duarte; STURION, José Alfredo; HIGA, Antonio Royei; HIGA, Rosana Clara Victória; SHIMIZU, Jarbas Yukio. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Embrapa Florestas. Colombo, 2000.

PRECCI, R. L.; SOBRINHO, J. V.; SILVA, J. S.; SILVA, J. N. **Fontes de energia para secagem de café**. Boletim Técnico n. 03. Viçosa – MG, 2001.

QUIRINO, Waldir. F. Poder calorífico da madeira e materiais lignocelulósicos. **Revista da Madeira**, n.89, p.100-106, 2005.

REMADE. Biomassa. **Revista da Madeira**, n.183, jan. 2014.

SHIMIZU, Jarbas Yukio; SEBBENN, Alexandre Magno. **Pínus na Silvicultura Brasileira: Espécies de Pinus na Silvicultura Brasileira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. p 49.

SILVA, Angelus. **Estrutura e Propriedades de Materiais Cerâmicos**. Capítulo VIII: Propriedades Térmicas. 2015.

SOARES FILHO, Secundino; OVEREND, Ralph; MACEDO, Isaias; COUTO, Laércio; FREITAS, Marcos. **Sustentabilidade na geração e uso de energia no Brasil: os próximos 20 anos**. UNICAMP, São Paulo, 2002.

SOARES, Thelma Shirlen; CARNEIRO, Angélica de Cássia Oliveira; GONÇALVES, Elzimar de Oliveira; LELLES, José Gabriel. Uso da biomassa florestal na geração de energia. **Revista científica eletrônica de engenharia florestal**. Viçosa (MG). n.8, p. 7, ago. 2006.

SUASSUNA, João. A CULTURA DO PINUS: uma perspectiva e uma preocupação. **Revista Brasil Florestal**, n. 29, mar. 1977.

TIPLER, Paul.; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros**. v 1. Rio de Janeiro, 2009.

VASQUEZ, André Germano; NOGUEIRA, Alex Sandro; KIRCHNER, Flávio Felipe; BERGER, Ricardo. Uma síntese da contribuição do gênero *Pinus* para o desenvolvimento sustentável no sul do Brasil. **Revista Floresta**, Curitiba (PR), v. 37, n. 3, set. 2007.

ANEXO A - Dados e cálculos de energia

Anexo A: Dados e cálculos de energia

(continua)

Data de Amostragem	Identificação da Amostra	Peso do Béquer (g)	Peso cavaco úmido (g)	Peso do cavaco seco mais béquer (g)	Peso cavaco seco (g)	Massa de água (g)	Teor de umidade base úmida (%)	EC (1) (kcal/kg)	ΔQ (2) (Kcal)	QL (3) (kcal)	Q ΔH (4) (Kcal)
01/05/2015	01/05_02	52,19	20,56	65,90	13,70	6,85	33,34	307,44	0,55	3,70	0,11
02/05/2015	02/05_01	50,58	20,53	64,87	14,28	6,25	30,44	307,44	0,50	3,37	0,10
02/05/2015	02/05_02	51,59	20,78	65,17	13,58	7,20	34,64	307,44	0,58	3,88	0,12
04/05/2015	04/05_01	50,54	20,91	66,79	16,25	4,66	22,27	307,44	0,37	2,51	0,08
04/05/2015	04/05_02	51,06	20,47	66,99	15,92	4,55	22,23	307,44	0,37	2,46	0,08
05/05/2015	05/05_01	51,05	20,67	64,21	13,16	7,50	36,30	307,44	0,60	4,05	0,12
05/05/2015	05/05_02	50,74	20,90	63,60	12,86	8,04	38,47	307,44	0,65	4,34	0,13
06/05/2015	06/05_01	49,43	20,97	62,30	12,88	8,10	38,61	307,44	0,65	4,37	0,13
06/05/2015	06/05_02	164,53	20,64	176,86	12,33	8,31	40,25	307,44	0,67	4,48	0,14
07/05/2015	07/05_01	158,50	20,35	171,12	12,62	7,73	38,00	307,44	0,62	4,17	0,13
07/05/2015	07/05_02	104,88	20,82	118,02	13,14	7,68	36,89	307,44	0,62	4,14	0,13
08/05/2015	08/05_01	108,14	20,31	120,76	12,61	7,69	37,88	307,44	0,62	4,15	0,13
08/05/2015	08/05_02	103,51	20,99	117,82	14,32	6,67	31,79	307,44	0,54	3,60	0,11
09/05/2015	09/05_01	107,83	20,60	120,90	13,07	7,53	36,56	307,44	0,61	4,06	0,13
09/05/2015	09/05_02	108,82	20,15	121,91	13,10	7,06	35,02	307,44	0,57	3,81	0,12
11/05/2015	11/05_01	104,55	20,30	118,66	14,12	6,18	30,46	307,44	0,50	3,34	0,10
11/05/2015	11/05_02	164,04	20,33	178,63	14,59	5,75	28,26	307,44	0,46	3,10	0,10
12/05/2015	12/05_01	194,13	20,65	206,85	12,72	7,93	38,41	307,44	0,64	4,28	0,13
12/05/2015	12/05_02	160,19	20,13	172,68	12,49	7,63	37,92	307,44	0,61	4,12	0,13
13/05/2015	13/05_01	185,59	20,52	200,09	14,50	6,02	29,32	307,44	0,48	3,25	0,10
13/05/2015	13/05_02	43,52	20,41	57,26	13,74	6,67	32,69	307,44	0,54	3,60	0,11
14/05/2015	14/05_01	40,94	20,81	55,33	14,39	6,43	30,87	307,44	0,52	3,47	0,11

Anexo A: Dados e cálculos de energia

(conclusão)

Data de Amostragem	Identificação da Amostra	Peso do Béquer (g)	Peso cavaco úmido (g)	Peso do cavaco seco mais béquer (g)	Peso cavaco seco (g)	Massa de água (g)	Teor de umidade base úmida (%)	EC (1) (kcal/kg)	ΔQ (2) (Kcal)	QL (3) (kcal)	Q ΔH (4) (Kcal)
14/05/2015	14/05_02	44,72	20,53	58,53	13,81	6,72	32,74	307,44	0,54	3,63	0,11
15/05/2015	15/05_01	53,22	20,61	66,41	13,19	7,42	35,99	307,44	0,60	4,00	0,12
15/05/2015	15/05_02	43,38	20,98	56,79	13,42	7,57	36,06	307,44	0,61	4,08	0,13
16/05/2015	16/05_01	35,39	20,75	48,84	13,45	7,30	35,18	307,44	0,59	3,94	0,12
16/05/2015	16/05_02	49,53	20,16	62,41	12,88	7,28	36,11	307,44	0,59	3,93	0,12
18/05/2015	18/05_01	43,54	20,21	55,14	11,59	8,62	42,64	307,44	0,69	4,65	0,14
18/05/2015	18/05_02	40,78	20,53	53,45	12,67	7,86	38,30	307,44	0,63	4,24	0,13
19/05/2015	19/05_01	46,31	20,80	60,28	13,97	6,83	32,83	307,44	0,55	3,68	0,11
19/05/2015	19/05_02	46,32	20,31	59,55	13,24	7,07	34,82	307,44	0,57	3,82	0,12
20/05/2015	20/05_01	72,58	20,71	84,84	12,26	8,45	40,81	307,44	0,68	4,56	0,14
20/05/2015	20/05_02	59,26	20,47	71,68	12,42	8,04	39,30	307,44	0,65	4,34	0,13
21/05/2015	21/05_01	62,27	20,61	75,88	13,60	7,01	34,00	307,44	0,56	3,78	0,12
21/05/2015	21/05_02	56,37	20,28	69,21	12,85	7,44	36,66	307,44	0,60	4,01	0,12
22/05/2015	22/05_01	69,49	20,44	81,44	11,96	8,49	41,51	307,44	0,68	4,58	0,14
22/05/2015	22/05_02	62,61	20,70	74,68	12,07	8,63	41,69	307,44	0,69	4,66	0,14
23/05/2015	23/05_01	79,32	20,54	93,47	14,15	6,39	31,11	307,44	0,51	3,45	0,11
23/05/2015	23/05_02	57,55	20,05	71,46	13,91	6,14	30,62	307,44	0,49	3,31	0,10
25/05/2015	25/05_01	76,86	20,70	89,68	12,83	7,87	38,02	307,44	0,63	4,25	0,13
25/05/2015	25/05_02	59,22	20,74	72,05	12,82	7,92	38,18	307,44	0,64	4,27	0,13
26/05/2015	26/05_01	59,60	20,76	74,02	14,42	6,34	30,56	307,44	0,51	3,42	0,11
26/05/2015	26/05_02	62,43	20,35	76,32	13,89	6,45	31,72	307,44	0,52	3,48	0,11
MÉDIAS		77,61	20,56	91,00	13,39	7,17	34,87	307,44	0,58	3,87	0,12
VARIÂNCIA (%)		NA	NA	NA	NA	NA	48,25	2148,17	0,01	0,60	0,00

Fonte: O Autor (2015).

Notas:

- (1) obtido através da equação 5, energia consumida para evaporar a água de formação.
 (2) obtido através da equação 2, Quantidade de calor, para elevar a temperatura da água contida em uma unidade de volume.
 (3) obtido através da equação 3, Quantidade de calor necessária para a água mudar do estado líquido para o gasoso.
 (4) obtido através da equação 4, Quantidade de energia necessária para o vapor d'água sair pela chaminé.
 (NA) não se aplica.

Anexo A: Dados e cálculos de energia - Continuação**(continua)**

Data de Amostragem	Identificação da Amostra	Σ Das perdas de água presente na biomassa (Kcal)	Perdas ($\Delta Q + Q_L + Q_{\Delta H}$) (Kcal/kg)	PCS (5) (Kcal/Kg)	PCS para 1 kg amostra úmida (Kcal/kg)	Perda Total por amostra (Kcal/kg)	PCE (6) (Kcal/kg)	Perda percentual (%)
01/05/2015	01/05_02	4,36	636,70	4800,00	3199,73	417,21	2782,52	42,03
02/05/2015	02/05_01	3,98	636,70	4800,00	3338,68	407,68	2931,00	38,94
02/05/2015	02/05_02	4,58	636,70	4800,00	3137,23	421,50	2715,73	43,42
04/05/2015	04/05_01	2,96	636,70	4800,00	3730,90	380,78	3350,12	30,21
04/05/2015	04/05_02	2,90	636,70	4800,00	3733,12	380,62	3352,50	30,16
05/05/2015	05/05_01	4,78	636,70	4800,00	3057,40	426,97	2630,43	45,20
05/05/2015	05/05_02	5,12	636,70	4800,00	2953,51	434,10	2519,41	47,51
06/05/2015	06/05_01	5,16	636,70	4800,00	2946,92	434,55	2512,36	47,66
06/05/2015	06/05_02	5,29	636,70	4800,00	2867,89	439,97	2427,92	49,42
07/05/2015	07/05_01	4,92	636,70	4800,00	2975,92	432,56	2543,35	47,01
07/05/2015	07/05_02	4,89	636,70	4800,00	3029,30	428,90	2600,40	45,82
08/05/2015	08/05_01	4,90	636,70	4800,00	2981,65	432,17	2549,48	46,89

Anexo A: Dados e cálculos de energia – Continuação

(continua)

Data de Amostragem	Identificação da Amostra	Σ Das perdas de água presente na biomassa (Kcal)	Perdas ($\Delta Q + QL + Q\Delta H$) (Kcal/kg)	PCS (5) (Kcal/Kg)	PCS para 1 kg amostra úmida (Kcal/kg)	Perda Total por amostra (Kcal/kg)	PCE (6) (Kcal/kg)	Perda percentual (%)
08/05/2015	08/05_02	4,25	636,70	4800,00	3273,97	412,12	2861,85	40,38
09/05/2015	09/05_01	4,79	636,70	4800,00	3045,22	427,81	2617,41	45,47
09/05/2015	09/05_02	4,49	636,70	4800,00	3118,89	422,76	2696,14	43,83
11/05/2015	11/05_01	3,94	636,70	4800,00	3337,71	407,75	2929,97	38,96
11/05/2015	11/05_02	3,66	636,70	4800,00	3443,64	400,48	3043,15	36,60
12/05/2015	12/05_01	5,05	636,70	4800,00	2956,17	433,92	2522,26	47,45
12/05/2015	12/05_02	4,86	636,70	4800,00	2979,70	432,31	2547,39	46,93
13/05/2015	13/05_01	3,83	636,70	4800,00	3392,56	403,98	2988,58	37,74
13/05/2015	13/05_02	4,25	636,70	4800,00	3230,66	415,09	2815,57	41,34
14/05/2015	14/05_01	4,09	636,70	4800,00	3318,25	409,08	2909,17	39,39
14/05/2015	14/05_02	4,28	636,70	4800,00	3228,35	415,25	2813,10	41,39
15/05/2015	15/05_01	4,72	636,70	4800,00	3072,47	425,94	2646,53	44,86
15/05/2015	15/05_02	4,82	636,70	4800,00	3069,08	426,17	2642,90	44,94
16/05/2015	16/05_01	4,65	636,70	4800,00	3111,20	423,28	2687,92	44,00
16/05/2015	16/05_02	4,63	636,70	4800,00	3066,52	426,35	2640,17	45,00
18/05/2015	18/05_01	5,49	636,70	4800,00	2753,51	447,82	2305,69	51,96
18/05/2015	18/05_02	5,01	636,70	4800,00	2961,58	433,55	2528,03	47,33
19/05/2015	19/05_01	4,35	636,70	4800,00	3224,09	415,54	2808,55	41,49
19/05/2015	19/05_02	4,50	636,70	4800,00	3128,51	422,10	2706,41	43,62
20/05/2015	20/05_01	5,38	636,70	4800,00	2841,36	441,79	2399,56	50,01
20/05/2015	20/05_02	5,12	636,70	4800,00	2913,63	436,84	2476,80	48,40
21/05/2015	21/05_01	4,46	636,70	4800,00	3168,13	419,38	2748,75	42,73
21/05/2015	21/05_02	4,73	636,70	4800,00	3040,41	428,14	2612,27	45,58
22/05/2015	22/05_01	5,40	636,70	4800,00	2807,29	444,13	2363,16	50,77
22/05/2015	22/05_02	5,49	636,70	4800,00	2798,65	444,72	2353,92	50,96

Anexo A: Dados e cálculos de energia – Continuação

(conclusão)

Data de Amostragem	Identificação da Amostra	Σ Das perdas de água presente na biomassa (Kcal)	Perdas ($\Delta Q + Q_L + Q_{\Delta H}$) (Kcal/kg)	PCS (5) (Kcal/Kg)	PCS para 1 kg amostra úmida (Kcal/kg)	Perda Total por amostra (Kcal/kg)	PCE (6) (Kcal/kg)	Perda percentual (%)
23/05/2015	23/05_01	4,07	636,70	4800,00	3306,74	409,87	2896,87	39,65
23/05/2015	23/05_02	3,91	636,70	4800,00	3330,11	408,27	2921,84	39,13
25/05/2015	25/05_01	5,01	636,70	4800,00	2975,13	432,62	2542,51	47,03
25/05/2015	25/05_02	5,04	636,70	4800,00	2967,29	433,16	2534,13	47,21
26/05/2015	26/05_01	4,04	636,70	4800,00	3333,26	408,05	2925,21	39,06
26/05/2015	26/05_02	4,11	636,70	4800,00	3277,33	411,89	2865,45	40,30
MÉDIAS		4,56	636,70	4800,00	3126,13	422,26	2703,87	43,67
VARIÂNCIA (%)		1,25	17607,71	1000727,27	470888,73	7962,92	370549,53	105,84

Fonte: O Autor (2015).

Notas:

(5) Poder calorífico superior, estabelecido na literatura em 4800 Kcal/Kg.

(6) Poder calorífico efetivo.