

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

SUELI ZMINKO KURCHAIT

CURITIBA

2014

SUELI ZMINKO KURCHAITD

Potencial energético da biomassa de pinus e misturas para a indústria de papel.

Dissertação apresentada ao programa de Pós- Graduação em rede Interdisciplinar em Bioenergia, com sede na Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Bioenergia.

Orientadora:
Dra. Graciela Inês Bolzon de Muniz

Co-orientadora
Dra. Martha Andreia Brand

CURITIBA
2014



Universidade Federal do Paraná
Setor de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em
BIOENERGIA



**MESTRADO EM
BIOENERGIA**

PARECER

Defesa n°. 011

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em BIOENERGIA, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, após arguir a mestranda **Sueli Zminko Kurchaidt** em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado **"POTENCIAL ENERGÉTICO DA BIOMASSA DE PINUS E MISTURAS PARA A INDÚSTRIA DE PAPEL"**, é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** da acadêmica, habilitando-a ao título de **Mestra** em BIOENERGIA, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

Pesq. Dr. Washington Luiz Esteves Magalhães
EMBRAPA - FLORESTAS
Primeiro examinador

Prof. Dr. Paulo Rogério Pinto Rodrigues
Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO
Segundo examinador

Profa. Dra. Mayara Elita Carneiro
Universidade Federal do Paraná
Terceira examinadora

Profa. Dra. Silvana Nisgoski
Universidade Federal do Paraná
Quarta examinadora

Profa. Dra. Graziela Ines Bolzon de Muniz
Universidade Federal do Paraná
Orientadora e presidente da banca examinadora

Curitiba, 02 de dezembro de 2014.

Dedico este trabalho à ciência, para que possa servir de subsídio técnico à novas pesquisas.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que me proporcionou saúde durante todas as etapas desse trabalho.

De modo especial as minhas filhas Marina e Sabrina, que nos momentos difíceis, de angústias, sempre me incentivaram com seu amor e carinho a não desistir.

Ao meu esposo João Kurchaidt Jr. pelo apoio financeiro.

A minha orientadora, professora Dra. Graciela Ines Bolzõn de Muniz, pelas conversas de encorajamento, pelos sábios conselhos, acompanhamento e amizade.

A minha co-orientadora, professora Dra. Martha Andreia Brand, pela estrutura fornecida para as análises e pela paciência e dedicação.

Ao professor Luciano Farinha Watzlawick por ceder o laboratório, onde realizei parte das análises e também pelas trocas de ideias em relação a pesquisa.

À Indústria Santa Maria Cia. de Papel e Celulose, principalmente aos funcionários da Caldeira que com muita gentileza e bom humor forneceram a biomassa para a pesquisa.

À professora Dra. Sonia Kurchaidt pela ajuda nas suas análises estatísticas.

À CAPES pela concessão da bolsa durante o desenvolvimento desta pesquisa.

E a todos aqueles (as) que de uma forma ou de outra colaboraram para a realização deste trabalho.

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”. *Albert Einstein*

ZMINKO, S. K. **Potencial energético da biomassa de pinus e misturas para a indústria de papel.** 2014. p. 75. Dissertação (Mestrado Interdisciplinar em Bioenergia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

RESUMO

Cada vez mais difundido, seja por razões econômicas ou ambientais, entre os diversos setores está o uso das energias renováveis. Dentre essas, no Brasil a biomassa florestal do *Pinus* e do *Eucalyptus* são as que mais se evidenciam, pelo fato de seu manejo ser fácil e de não competirem com a cadeia alimentar, além de colaborarem na diminuição da disposição inadequada de resíduos. Para melhorar sua competitividade perante outras fontes de energia, a biomassa florestal precisa ter potencial energético. O presente trabalho buscou trazer informações bibliográficas e qualitativas, através de análises e testes de média, sobre a biomassa do *Pinus* e misturas com eucalipto (*Eucalyptus* spp.), com a finalidade de fornecer subsídios técnicos para uma melhor escolha da biomassa a ser utilizada como fonte de energia. Foram analisadas quatro misturas sendo: (pinus), (pinus + eucalipto), (pinus + lodo) e (pinus + eucalipto + lodo), sendo o lodo primário oriundo da produção de uma indústria de papel, situada às margens da BR 277 no município de Guarapuava no Paraná. As análises imediatas realizadas permitiram identificar as amostras das diferentes misturas. Visando avaliar o potencial energético analisou-se as seguintes variáveis: umidade, densidade, granulometria, teor de cinzas e poder calorífico superior. Com base nos resultados obtidos, conclui-se que: a) a biomassa que contém somente *Pinus* apresentou melhor qualidade em poder calorífico superior; b) o teor de cinzas foi baixo para ambas as misturas analisadas; c) dentro da granulometria, a variável pó, que é um problema para o entupimento das caldeiras, se mostrou com menor porcentagem na mistura Pinus + eucalipto + lodo. Com relação a mistura que contém lodo, constatou-se que sua inclusão não se torna um impedimento para queima, pois nos testes de média, seus resultados não diferem estatisticamente, no entanto, deve-se levar em conta a questão econômica e logística que justifique a utilização. Tais dados, evidenciaram a sustentabilidade do uso da biomassa do *Pinus* como fonte de energia renovável.

Palavras-chave: Bioenergia, *Eucalyptus*, lodo.

ZMINKO, S. K. **Energy potential of biomass of pine and mixtures for the paper industry.** 2014. p . 75. Thesis (Interdisciplinary Master in Bioenergy) - Federal University of Paraná , Curitiba, 2014.

ABSTRACT

Increasingly widespread, either for economic or environmental reasons, among different sectors is the use of renewable energy . Among these, in Brazil, forest biomass of pine and eucalyptus are the ones more evident, because its handling is easy and does not compete with the food chain, as well as collaborate in reducing improper disposal of waste. To improve its competitiveness against other energy sources, forest biomass must have an energy potential. The present study aimed to bring literature and qualitative information through analysis and average tests on the biomass of *Pinus* and mixtures with eucalyptus (*Eucalyptus spp.*), for the purpose of providing technical subsidy for choosing the best biomass to be used as an energy source . Four mixtures were analyzed: (*Pinus*), (*Pinus* + eucalyptus) , (*Pinus* + sludge) and (*Pinus* + eucalyptus + sludge), being the primary sludge derived from the production of a paper industry, situated on the side of Br 277 in Guarapuava, Paraná. Immediate analyzes allowed the identification of samples of different mixtures. Aiming to evaluate the energy potential, we analyzed the following variables: moisture, density, particle size, ash content and higher calorific value. Based on these results, it is concluded that: a) biomass that contains only *Pinus* showed better quality in higher calorific value; b) the ash content was low for both analyzed mixtures; c) within the grain size, the variable dust, which is a problem for clogging the boiler, showed a lower percentage in the mix *Pinus* + eucalyptus + sludge. Regarding the mixture containing sludge, it was found that its inclusion does not become an obstacle to the burn, since the average tests results did not differ statistically. However, the economic and logistical issue should be taken into account to justify its use. These data highlighted the sustainable use of biomass in *Pinus* as a renewable energy source .

Keyword: bioenergy, Eucalyptus, sludge.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Balanço energético de energias renováveis do ano de 2012.....	23
Figura 2. Evolução da oferta interna de energia.....	25
Figura 3. Lodo gerado por indústria papeleira e utilizado como combustível. ...	30
Figura 4. Biomassa picada e estocada a céu aberto, recebendo umidade do tempo.	34
Figura 5. Relação entre teor de umidade (%) na base seca e na base úmida de diferentes tipos de resíduos de Pinus e Eucalyptus.	35
Figura 6. Dispersão dos dados de massa específica aparente da biomassa avaliada por Brand (2007).	38
Figura 7. Correlação entre o teor de umidade e a massa específica de diferentes tipos de biomassa avaliados por Brand (2007).	39
Figura 8. Cinzas provenientes da queima em caldeira.....	48
Figura 9. Sistema multiclone gravitacional de cinzas (a) sacos coletores (b).49	
Figura 10. Mapa da localização da área de estudo.	50
Figura 11. Biomassa estocada a céu aberto.	51
Figura 12. Modelo de um gerador de vapor tipo aquatubular.	52
Figura 13. Fluxograma da entrada da biomassa no picador até a caldeira.	54
Figura 14. Lodo gerado na produção de papel.....	55
Figura 15. Análises do teor de umidade.	57
Figura 16. Equipamento para determinação granulométrica.....	58
Figura 17. Foto da granulometria analisada.	59
Figura 18. Equipamento utilizado para a moagem das amostras.....	60
Figura 19. Amostras etiquetadas.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Dados da Matriz Energética brasileira no período de 2011 e 2012...	22
Tabela 2. Espécies de florestas plantadas para fontes de energia.....	24
Tabela 3. Vantagens e desvantagens do uso de resíduos florestais como fonte de energia.	26
Tabela 4. Composição química elementar de diferentes tipos de biomassa utilizados para a geração de energia.	32
Tabela 5. Composição química imediata de diferentes tipos de biomassa na base seca (0% de teor de umidade).....	33
Tabela 6. Teor de umidade (%) na base úmida de toras de casca de Pinus e Eucalyptus e costaneira de Pinus em função da época de colheita.....	36
Tabela 7. Granulometria recomendada para grelha em queimadores.....	40
Tabela 8. Dimensões das partículas de madeira segundo a sua nomenclatura comercial.....	40
Tabela 9. Poder calorífico superior da biomassa (base seca).	41
Tabela 10. Poder calorífico superior (Kcal/kg) de componentes de árvores de diferentes espécies florestais.	43
Tabela 11. Constituição química da madeira dos grupos vegetais gimnospermas e angiospermas dicotiledôneas.....	44
Tabela 12. Relação entre o poder calorífico líquido determinado em bomba calorimétrica e calculado, em diferentes teores de umidade, para Pinus e Eucalyptus com casca.....	44
Tabela 13. Relação da umidade do lodo com o poder calorífico.	45
Tabela 14. Poder calorífico líquido de biomassa florestal e agrícola em diferentes teores de umidade.....	45
Tabela 15. Relação entre o teor de cinzas e o poder calorífico para diferentes tipos de resíduos de biomassa florestal e industrial de madeira.	47
Tabela 16. Comparação entre diversos materiais em relação ao teor de cinzas e o poder calorífico.....	47
Tabela 17. Condições climáticas da região de Guarapuava-Pr no período de estudo.	50
Tabela 18. Consumo de vapor pela Indústria em 2012.	53
Tabela 19. Classificação das amostras conforme sua classificação.	56
Tabela 20. Dimensões das partículas de madeira segundo sua nomenclatura comercial.....	59
Tabela 21. Teor de umidade médio dos tratamentos analisados.....	63
Tabela 22. Densidade média dos tratamentos analisados	64
Tabela 23. Porcentagem média de cavaco para os tratamentos analisados....	64
Tabela 24. Porcentagem média de Serragem para os tratamentos analisados.	65

Tabela 25. Porcentagem média de Pó para os tratamentos analisados.....	65
Tabela 26. Média do poder calorífico superior para os tratamentos analisados.	66
Tabela 27. Média do teor de cinzas para os tratamentos analisados.	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT/NBR- Associação Brasileira de Normas Técnicas/Norma Brasileira.

ABRACAVE- Associação Brasileira de Carvão Vegetal.

ABRAF- Associação Brasileira de Florestas.

ANEEL- Agencia Nacional de Energia Elétrica.

BEN- Balanço energético nacional.

BPF- Baixo ponto de fluidez.

BRACELPA- Associação Brasileira de Celulose e Papel.

CENBIO- Centro Nacional de Referência em Biomassa.

CEDETEG- Centro de Desenvolvimento Educacional e Tecnológico de Guarapuava.

CO- Monóxido de carbono.

CO²- Dióxido de carbono.

CV- Coeficiente de variação.

ELETROBRAS- Centrais Elétricas Brasileira.

EPE- Empresa de Pesquisas Energéticas.

IEA- Agência Internacional de Energia.

Kcal/Kg- Kilocaloria por kilograma.

Kg/m³- Kilograma por metro cúbico.

Mj/Kg- Megajoule por kilograma.

MME- Ministério das Minas e Energias.

ONU- Organização das Nações Unidas.

PCS- Poder calorífico superior.

SBS- Sociedade Brasileira de Silvicultura.

SNIF- Sistema Nacional de Informação Florestal.

UNICENTRO- Universidade Estadual do Centro Oeste.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO-----	16
2.	OBJETIVOS -----	19
2.1	Geral-----	19
2.2	Específicos -----	19
3.	REVISÃO DE LITERATURA-----	20
3.1	Uso da Biomassa florestal para geração de energia renovável. -----	20
3.2	Utilização de Caldeiras para obtenção de energia-----	27
3.3	Geração de energia a partir do lodo -----	28
3.4	Fatores que influenciam no processo de combustão da biomassa ---	31
3.4.1	Teor de umidade -----	34
3.4.2	Densidade-----	37
3.4.3	Granulometria -----	39
3.4.4	Poder calorífico -----	41
3.4.5	Teor de Cinzas -----	46
4.	MATERIAIS E MÉTODOS-----	50
4.1	Local de estudo-----	50
4.2.	Procedimentos da coleta de dados. -----	55
4.2.1	Classificação das amostras -----	55
4.3	Procedimentos das análises físicas e químicas das amostras -----	56
4.3.1	Teor de Umidade-----	56
4.3.2	Determinação da Densidade-----	57
4.3.3	Determinação granulométrica -----	58
4.3.4	Moagem das amostras -----	60

4.3.5	Poder calorífico superior -----	61
4.3.6	Teor de Cinzas -----	61
4.3.7	Delineamento estatístico -----	62
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES -----	63
6.	CONCLUSÕES -----	68
	REFERÊNCIAS-----	69

1. INTRODUÇÃO

Indagações e constatações começaram a surgir no início da década de 90 dando origem ao conceito de desenvolvimento sustentável. A cristalização dos conceitos de desenvolvimento sustentável passou a ter como consequência, a prioridade do desenvolvimento qualitativo versus o quantitativo... (KLABIN, 2003).

A crise mundial de energia é uma realidade vivenciada e é impreterível a busca por fontes renováveis. Devido às questões sociais ambientais e também econômicas, várias formas de se obter essa energia estão sendo implantadas, como por exemplo o uso da biomassa proveniente de origem vegetal que, apesar de sua queima, não emite CO₂, pois este é absorvido previamente pela planta. O setor florestal pode ser uma estratégia para a obtenção dessa energia.

Perante o paradigma exposto foi criado no ano de 1997 o Protocolo de Kyoto, o qual estabelece normas de redução da emissão de gases efeito estufa. Entre esses gases, o consumo de madeira nativa e os combustíveis fósseis (gasolina, óleo diesel, querosone, etc.) parecem ser o maior problema. Apesar dos moderados percentuais de redução de emissões estabelecidos no citado Protocolo, essa é evidentemente uma das alternativas para a conservação de energia, reduzindo assim, os impactos sobre o meio ambiente (Zminko, 2009).

Os combustíveis precisam ter determinadas características que os tornam aptos para a geração de energia, sendo necessárias análises e conhecimento da sua composição química. Estudos e análises, visando não somente a preservação de florestas nativas como também a qualidade da biomassa produzida tem se tornado cada vez mais importantes, para implementação de tecnologias que as tornem mais eficientes na geração de energia nos mais variados setores industriais.

Nos processos de conversão energética, estes estudos sempre visam o aumento do ganho energético do material.

Existem diversas espécies de oleaginosas no Brasil que podem ser utilizadas para a produção de biocombustíveis, entre elas a soja, o girassol, a cana de açúcar que estas também são usadas na alimentação humana, o que acaba concorrendo e elevando seu preço. Sendo assim, e sabendo que o Brasil é rico em diversidade de biomassa, constata-se que matérias primas que não irão competir com a cadeia alimentar humana, devem ser o foco de pesquisas, para utilização como fonte de energia. Estudos demonstram que as espécies *Eucalyptus* sp. e *Pinus* sp. são as mais utilizadas para produção de biocombustível e geração de energia renovável. (COUTO, *et al*, 2004).

No cenário mundial das indústrias, a área papeleira se apresenta como uma das mais importantes. Porém, seus processos de produção demandam grande quantidade de energia. No entanto, para diminuir a dependência do consumo dos combustíveis fósseis, para suprir essa necessidade, muitas indústrias utilizam os resíduos florestais e até mesmo o subproduto do processo como o lodo primário. Segundo a BRACELPA (2011), apesar da queima do lodo não ser um processo comum utilizado por indústrias brasileiras, o mesmo pode ser queimado juntamente com a biomassa, pois estará contribuindo para a diminuição da deposição dos aterros.

Para Hollanda (2003), a madeira é uma importante fonte dentro da cadeia energética do Brasil e apesar de ser a energia menos compreendida é a que tem um potencial de grandes ganhos no futuro próximo. Conforme Brand (2010), devido a alta produtividade das florestas brasileiras e o grande volume de resíduos gerados na indústria de base florestal, o Brasil faz uso de tecnologias modernas para a conversão desta biomassa em energia elétrica através de termelétricas ou nos sistemas de cogeração.

Porém, alguns pontos concernentes à qualificação energética ainda são pouco estudados e desenvolvidos. Na década de 70, Vargas (1979), já citava que o desenvolvimento de estudos na área de qualificação da biomassa

florestal para o uso energético deve ser um dos pontos importantes de pesquisa no Brasil e no mundo.

De fato tem-se procurado amenizar os danos causados pelas transformações socioeconômicas do século XX, através do uso da energia obtida pela transformação química da biomassa, a qual pode ser chamada de bioenergia e conseqüentemente tem o biocombustível como seu símbolo. Assim, conforme Brand (2010), as principais características que definem se a biomassa é um combustível eficiente são: rápida secagem, baixas temperaturas de ignição, alta taxa de combustão e um alto poder calorífico presentes nesta.

Dentro deste contexto, para Antunes (2003), citado por Lopes (2012), somente a alteração da fonte não garante aumento de ganhos energéticos no processo. O baixo poder calorífico e massa específica, altos teores de umidade, custos de exploração e transporte elevados, necessidade de preparação e dificuldade de manuseio, devido à variação granulométrica, são algumas das desvantagens da biomassa florestal. Estas variáveis precisam ser controladas para aumentar a eficiência de utilização e competitividade desta fonte.

Portanto, através da análise das propriedades energéticas da biomassa florestal, este estudo pretendeu evidenciar qual biomassa fornecerá melhor potencial energético.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

O objetivo deste trabalho é fornecer por meio da análise da qualidade energética da biomassa florestal do *Pinus*, *Eucalyptus* e lodo subsídios técnicos para a escolha da biomassa a ser utilizada na queima como fonte de energia em uma indústria de papel.

2.2 Específicos

* Analisar a qualidade energética de quatro misturas de biomassa: *Pinus*; *Pinus + Eucalyptus*; *Pinus + Lodo* e *Pinus + Eucalyptus + lodo*, utilizadas para geração de energia em caldeiras.

* Comparar por meio de análises e teste de médias, a qualidade energética de três diferentes lotes de biomassa.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Uso da Biomassa florestal para geração de energia renovável.

O tema Biomassa é extremamente amplo, ainda que muitos autores o utilizem de uma forma genérica, devido à enorme abrangência das fontes existentes. Do ponto de vista energético, o Centro Nacional de Referência em Biomassa define como todo material renovável de origem orgânica (animal ou vegetal), excluindo-se os de origem fóssil, que pode ser utilizado para produzir energia. (CENBIO, 2010a)

As plantas capturam energia do sol através da fotossíntese e transformam em energia química, que poderá ser convertida em eletricidade, calor ou combustível. Conforme Brown (1997), as fontes orgânicas usadas para produzirem energia aplicando este processo são chamadas de biomassa.

De acordo com Martinelli et. al. (1994) citado por Silveira (2010), biomassa é a quantidade expressa em massa do material vegetal disponível em uma floresta, sendo que seus componentes geralmente estabelecidos são a biomassa morta acima do solo, formada pela serrapilheira e troncos caídos sob o solo, formada pelas raízes.

Em suma, desde que haja água suficiente e fotossíntese, aí existirá a biomassa a qual poderá ser usada como fonte de energia, sendo esta considerada uma forma indireta de energia solar.

O Centro Nacional de Referência em Biomassa CENBIO (2010b) aborda que a utilização da madeira para fins energéticos na cocção de alimentos, industrial, comercial, agropecuários e para aquecimento do frio, data de milhares de anos a.C. Percebe-se, portanto, que a lenha foi o produto energético básico que impulsionou o progresso, apesar de ser vista de forma depreciativa, como sendo uma fonte de energia usada por países subdesenvolvidos.

Apesar da complexidade cada realidade ambiental exige uma prática singular, e nem sempre os objetivos são alcançados. No entanto, muitos pesquisadores apontam que as boas ações do ser humano com os recursos do

planeta, são as principais formas de atuação que podem obter resultados práticos e significativos, contribuindo para a sustentabilidade da sociedade.

Segundo Moreira (2007), a bioenergia é a expressão direta da bioengenharia, epicentro da terceira Revolução Industrial, e o veículo mais contundente do avanço da biorrevolução.

Trata-se então de fazer uma mudança em um paradigma de base material já esgotado implementando relações de equilíbrio entre o homem e seu meio procurando vertentes holísticas, priorizando o desenvolvimento qualitativo versus o quantitativo (ZMINKO, 2009).

Desse modo, as ações para um desenvolvimento sustentável estão cada vez mais presentes nos vários segmentos que permeiam nossa sociedade e sabendo-se que o Brasil é dependente do petróleo convém ressaltar que ele possui a matriz energética mais diversificada entre os países industriais, sendo que atualmente cerca de 45% é formada por fontes renováveis (MME, 2012).

Até o início da década de 70, as indústrias que produziam celulose e as siderúrgicas tinham como seu principal combustível, o carvão oriundo da queima da madeira nativa, principalmente a Araucária, contudo essa situação já estava se mostrando insustentável (ABRAF, 2012).

As primeiras mudas de eucalipto (*Eucalyptus* spp.) foram plantadas no Brasil no começo do século XX, com a finalidade de fornecer madeira para dormentes das estradas de ferro e no ano de 1947 foi a vez do pinus (*Pinus* spp.), sendo que essas duas espécies se adaptaram muito bem. O eucalipto nos cerrados paulistas e o pinus no sul do Brasil, consolidando deste modo, seu uso para fins comerciais. (SNIF, 2013)

Embora o governo brasileiro percebesse na época, a importância das florestas industriais e tivesse o intuito de gerar empregos e renda, através de incentivos fiscais ao reflorestamento, os quais duraram 20 anos, foram as pesquisas desenvolvidas pelas indústrias de celulose e ferro que deram início ao desenvolvimento florestal brasileiro. O cerrado, até então fadado a queimadas anuais para o uso como pastagem extensiva do gado, foi “descoberto” para o reflorestamento (ALVES, 2013).

Nesse período a celulose brasileira proveniente do eucalipto, chegava a várias partes do planeta, sendo reconhecida como um instrumento de desenvolvimento limpo, pelo Protocolo de Kyoto (ABTCP, 2009).

Atualmente além da madeira de reflorestamento, várias fontes de energia renovável como: óleos vegetais, resíduos vegetais, carvão vegetal, biogás, casca de arroz, cana de açúcar, álcool, energia solar, eólica, marés entre outras, são ofertadas agregando potencial junto à matriz energética Brasileira (MME, 2012).

A lenha junto com o carvão vegetal tem uma participação importante ficando na terceira posição da oferta interna de energia renovável brasileira conforme demonstra a Tabela 1.

em Mtep		
Fonte	2012	2011
RENOVÁVEIS	120,2	119,8
Energia hidráulica e eletricidade	39,2	39,9
Biomassa da cana	43,6	42,8
Lenha e Carvão Vegetal	25,7	26,0
Outras renováveis	11,8	11,1
NÃO RENOVÁVEIS	163,4	152,5
Petróleo	111,2	105,2
Gás natural	32,6	27,7
Carvão mineral	15,3	15,5
Urânio (U ₂ O ₃)	4,3	4,2

Tabela 1. Dados da Matriz Energética brasileira no período de 2011 e 2012.

Fonte: Empresa de Pesquisas Energéticas – EPE, 2013.

Já que o carvão vegetal é considerado um subproduto florestal, chama-se a atenção para a biomassa proveniente da madeira reflorestada, a qual fez com que houvesse uma expansão da silvicultura em áreas de florestas plantadas em todo o país (ABRACAVE, 2002).

Como consequência, o Brasil no ano de 2000, possuía cerca de 4.800.000 ha, sendo desses 60% pinus e os outros 40% de eucalipto (SBS, 2002).

Entretanto, o Balanço Energético Nacional com ano base de 2012, do MME mostra na Figura 1, uma queda nas renováveis, contudo essa participação se manteve elevada em 42%, significativamente acima da média mundial.

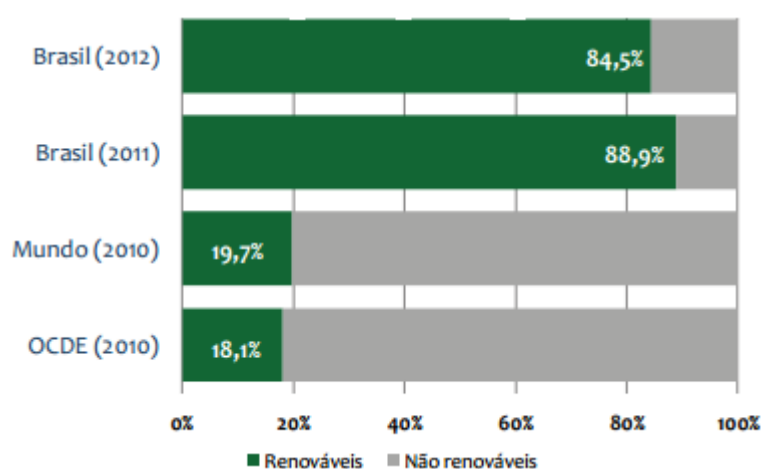


Figura 1. Balanço energético de energias renováveis do ano de 2012.

Fonte: IEA- Agencia Internacional de energia elaborado pelo EPE, 2013.

Passados mais de cem anos da introdução do eucalipto e pinus no Brasil, este vem se consagrando como o detentor das melhores tecnologias para o manejo e exploração dessas espécies.

Ainda que os plantios com pinus e eucalipto ocupem 75% da área cultivada com florestas no território nacional e sirvam de matéria prima, principalmente para as indústrias de papel e celulose, existem outras florestas plantadas com diversas espécies (Tabela 2) para colaborarem na demanda de madeira para fins energéticos, os quais vem aumentando (ABRAF, 2012). Carvão vegetal, etanol, gás combustível e hidrogênio são exemplos de co-produtos que podem ser obtidos a partir desses recursos.

Espécies	Principais usos
Eucalypto (<i>Eucalyptus spp</i>)	Madeira: energia, carvão, cavaco, celulose, painéis, dormentes, postes, construção civil, óleos essenciais.
<i>Pinus spp</i>	Madeira: energia, carvão, cavaco p celulose, painéis, forros, ripas, moveis. Resina: tintas, vernizes, solventes.
Acácia (<i>Acacia mearnsii</i> e <i>Acacia mangium</i>)	Madeira: energia, carvão, cavaco, celulose, painéis. Tanino: curtumes, adesivos, petrolífero, borrachas.
Seringueira (<i>Hevea brasiliensis</i>)	Madeira: energia, celulose. Seiva: borracha.

Tabela 2. Espécies de florestas plantadas para fontes de energia.

Fonte: adaptado de ABRAF (2012).

O uso das florestas plantadas no Brasil para fins energéticos, segundo Brand (2010), pode se dar de duas formas: o plantio de espécies florestais para uso exclusivo de energia denominadas de florestas energéticas ou plantios energéticos e o uso múltiplo da floresta, onde nesta é incluída a modalidade energética, visto que ela não foi de início planejada para este propósito. Ainda segundo a autora, este processo está em fase de estudo com um caso no estado de Santa Catarina, para se determinar os melhores manejos a serem implementados para que se torne uma opção viável.

Não obstante à finalidade de substituir o uso de combustíveis fósseis, essas florestas plantadas para produção de energia, se evidenciam como uma fonte de energia limpa, renovável trazendo benefícios importantes para o equilíbrio do meio ambiente tais como: sequestro do carbono; proteção do solo e da água; reaproveitamento de áreas degradadas entre outros além de não competirem com a produção de alimentos e apresentarem potencial para a produção de diversos insumos energéticos (ABRAF, 2012).

As florestas plantadas ou florestas energéticas se caracterizam pelo seu rápido período de crescimento, cerca de 4 a 5 anos formando maciços florestais que geram uma grande quantidade de energia por hectare, no menor

espaço de tempo possível, apresentando madeira de alta densidade, além da utilização dos desbastes, tornando-se uma fonte cada vez mais competitiva de bioenergia, bem como desempenham um papel social e ambiental, cada vez mais importante (ABRAF, 2012).

A pesar da queima dessa biomassa emitir taxas de CO² ele se torna nulo, pois as plantas absorvem o carbono previamente (GREENPEACE, 2007).

Segundo Bacha e Barros (2004) existem cinco principais agentes reflorestadores no Brasil: empresas produtoras de celulose, empresas siderúrgicas, empresas de produtos sólidos da madeira (como chapas de madeiras e madeira serrada), governos estaduais (através de seus institutos florestais) e os pequenos produtores.

Levando-se em consideração (Figura 2) que na década de 40, de toda a energia que o Brasil consumia 80% era proveniente da queima da lenha, convém enfatizar que houve um “upgrade” nas fontes de energias renováveis, contribuindo para um processo de sustentabilidade, no qual estas estão inseridas e também podem ser obtidas através do uso da biomassa.

Fontes	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2005	2008	2009
Petróleo, Gás Natural e Deriv.	6,4	12,9	25,7	38,0	49,2	43,7	50,9	48,1	46,8	46,6
Carvão Mineral e Derivados	6,4	4,8	2,9	3,6	5,1	6,8	7,1	6,3	5,8	4,7
Hidráulica e Eletricidade	1,5	1,6	3,2	5,1	9,6	14,1	15,7	14,8	14,0	15,2
Lenha e Carvão Vegetal	83,3	78,1	63,9	47,6	27,1	20,1	12,1	13,0	11,6	10,1
Produtos da Cana	2,4	2,7	4,3	5,4	8,0	13,4	10,9	13,8	17,0	18,2
Outras ¹				0,3	0,9	1,9	3,3	4,1	4,8	5,2
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

1: Inclui Outras Fontes Primárias Renováveis e Urânio

Figura 2. Evolução da oferta interna de energia.

Fonte: BEM (2010)

As chamadas florestas plantadas para geração de energia, no seu processo de manejo, produzem resíduos que podem ser úteis após passarem por picadores, conforme (Tabela 3), entretanto para Rocha e Klitzke (1998) é importante que se verifique a viabilidade econômica da utilização desses como fonte de combustível, pois será necessário usar energia no processo de picagem e transporte e esta deve ser menor que a energia que a biomassa irá fornecer.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> • Geração de energia para o próprio processo • Diminuição de efeitos nocivos ao meio ambiente • Economia em outras fontes de energia • Não emissão de gases como enxofre e nitrogênio 	<ul style="list-style-type: none"> • Volume de resíduos pode ser insuficiente • Incertezas quanto ao suprimento contínuo do material • Necessidade de maiores estudos para a transformação de resíduos em energia elétrica • Maior desgaste de equipamentos como caldeiras

Tabela 3. Vantagens e desvantagens do uso de resíduos florestais como fonte de energia.

Fonte: adaptado de FONTES (1994)

O uso da biomassa florestal para geração de energia é pouco difundida em função da falta de padronização de suas propriedades energéticas. Deve-se padronizar os parâmetros: poder calorífico, teor de umidade e cinzas como indicadores de eficiência para que a biomassa florestal possa ser utilizada como fonte de energia (ANEEL, 2009).

Além disso, é necessário enfatizar que, o potencial energético da biomassa no Brasil é enorme, porém o elevado custo de produção e a falta de incentivos financeiros nos últimos anos, pode levar a um apagão florestal (SNIF 2013), pois além de não suprir a demanda, a energia que se utiliza do que é produzido hoje, resulta em um balanço energético negativo.

Contudo, a expectativa é que as florestas plantadas aumentem progressivamente, visto que cada vez mais há o aumento do consumo de energia. Além disso, a tendência geral é que as empresas que processam a biomassa florestal se conectem com as biorrefinarias, para gerarem combustíveis e energia sustentáveis, pois um país não pode depender só de políticas públicas e ficar vulnerável às crises internacionais que atingem vários setores da economia.

3.2 Utilização de Caldeiras para obtenção de energia

A revolução industrial ficou marcada pela necessidade de novos processos para a manufatura de materiais, fazendo com que máquinas fossem construídas para suprir essas necessidades. O uso da energia produzida pelo aquecimento da água e da queima do carvão apresentava inconvenientes e não supria a demanda crescente da época, contudo para solucionar este problema, no início do século XVII surgiram as primeiras máquinas destinadas a gerar vapor produzindo energia (Bazzo, 1992).

Esse gerador de vapor conhecido como caldeira, cuja aplicação é ampla no meio industrial, ao longo dos séculos foi se desenvolvendo possibilitando a queima de diferentes combustíveis de biomassa. Também pode ser chamado de termelétrica, pois o vapor de água produzido serve como agente transportador de energia da seguinte forma: queimando-se um combustível esse irá gerar gases de combustão que fornecerá calor à água que está nessa caldeira como em uma panela de pressão, aumentando sua temperatura até que ocorra abertura da válvula de segurança gerando vapor em alta densidade. Ocorre então um processo térmico relacionado aos dois princípios básicos da Termodinâmica (1ª e 2ª Leis da Termodinâmica), acrescidos dos princípios que regem o processo de combustão, os mecanismos de transferência de calor e escoamento dos fluídos. Após a queima na fornalha da caldeira, o combustível emite gases que percorrem o circuito permitindo um melhor aproveitamento do calor, e uma energia mais eficiente, onde e ao final desse processo esses são lançados pela chaminé na atmosfera (BAZZO, 1992).

Cada modelo de caldeira possui um tipo de fornalha que segundo Lora et al. (2008) citado por Cortez (2008), pode ter a seguinte classificação para o modo de combustão.

- I- Fornalhas de queima em deposição (em camada sobre uma grelha);
- II- Fornalhas de queima em suspensão (o combustível é queimado em todo o volume da câmara de combustão).

Sendo que na prática os dois modos podem ser combinados, precisando para isso que uma parte do combustível seja queimado na grelha e a outra parte em suspensão junto ao volume da câmara de combustão. Isso irá depender do tipo de biomassa que se pretende utilizar como combustível.

Existem diversos tipos de caldeiras e dependendo de sua finalidade, equipamentos como sopradores de fuligem são instalados para remoção dos resíduos gerados pela combustão, os quais em excesso diminuem o calor, implicando na eficiência da energia (BAZZO, 1992). O superaquecedor é outro equipamento indispensável, pois permite aquecer o vapor saturado (que é um vapor úmido o qual serve para aquecimento direto ou indireto) produzido na caldeira e torná-lo seco, apropriado para ser usado em operações de geração de energia mecânica (ELETROBRAS, 2006).

Na atualidade, dependendo do tipo, as caldeiras de uso industrial produzem 10 toneladas de vapor ou mais por hora, em alguns modelos também pode ser conciliado o uso de diferentes combustíveis, como biomassa e o óleo BPF -baixo ponto de fluidez, derivado do petróleo.

3.3 Geração de energia a partir do lodo

As indústrias de papel vêm se destacando no cenário mundial, por seus processos de produção gerarem grande quantidade de resíduos e demandarem vasto consumo de energia. Assim a legislação ambiental possui exigências para que as indústrias se enquadrem para conseguirem certificações ambien-

tais, incentivando essas a buscarem soluções que atendam as leis ambientais e, ao mesmo tempo tornem seus produtos competitivos no mercado (LÉBEIS, 2003). E, para tentar minimizar a dependência dos combustíveis fósseis e contribuir com a queda no aquecimento global, muitas indústrias papelarias utilizam como fonte de combustíveis seus resíduos primários: licor negro, lodo e resíduos florestais. Convém destacar que somente as indústrias de celulose produzem o licor negro. Três itens relevantes devem ser considerados: a fonte geradora, a transformação em novos produtos e a utilização dos seus resíduos como matéria-prima para outras tipologias industriais (PINHEIRO, 2008).

O lodo produzido pelas indústrias papelarias geralmente tem como destino aterros sanitários, o que está previsto na legislação ambiental, mas tal ação resulta em uma prática não sustentável acarretando ônus para a empresa, sendo que o aterro usado para descarte vem encontrando dificuldades em vários países devido ao esgotamento de áreas para aterrar resíduos industriais (HOJAMBERDIEV et al, 2008).

Segundo Boni et al. (2004) existe uma classificação para o lodo gerado na indústria de papel, sendo este dividido em quatro categorias:

- Lodo primário: resíduo proveniente da produção de fibras virgens de madeira;
- Lodo de destinação: proveniente da produção de papel pós uso por remoção das tintas das fibras;
- Lodo secundário: o lodo ativado do sistema biológico;
- Lodo combinado: resíduo da produção de papel com o biológico.

Campregher (2005) comenta que muitos resíduos derivados do processo da indústria de celulose e papel são apropriados para uso na recuperação de energia. No caso do lodo, este apresenta em sua composição grande quantidade de água, tornando-o muito úmido dificultando sua incineração.

Charlson e Taylor (1999) citado por Macedo (2006) descrevem uma operação onde foi feito um projeto para queima de resíduos de efluentes. Como o lodo proveniente do processo fabril possui alto teor de umidade, foi necessário antes passar por uma prensa para retirar sua água. No entanto, esse tipo de material por ter baixo poder calorífico, assim como os demais resíduos de estação de tratamento, só pode ser queimado em caldeira de leito fluidizado borbulhante. A indústria que fez uso desse projeto conseguiu minimizar seus gastos com energia além de contribuir para a qualidade do ar.

Vários artigos citam o uso do resíduo fabril, como o lodo, como combustível (Figura 3), porém tem-se que levar em conta a questão econômica e a logística dentro do projeto para saber se é viável investir em um sistema que fará utilização desse tipo de combustível, pois dependerá da quantidade de resíduos que se produzirá para justificar tal investimento (MACEDO, 2006).



Figura 3. Lodo gerado por indústria papelreira e utilizado como combustível.

Fonte: a autora (2013)

3.4 Fatores que influenciam no processo de combustão da biomassa

Sabe-se que pilhas ou partículas de madeiras aquecidas sob certas condições de armazenagem podem gerar a auto ignição. Porém para se determinar o melhor uso da madeira é necessário conhecimento sobre sua composição física, mecânica e química, pois tendo sua classificação em diversas espécies e sendo um material heterogêneo, suas propriedades no processo de combustão, se diferenciam na eficiência energética. O processo de combustão ocorre através de processos termoquímicos tendo por finalidade gerar energia através do calor. No caso da combustão da biomassa da madeira serão gerados materiais com fração não combustível, como a fuligem e as cinzas, além de ocorrer a liberação no ar do dióxido de carbono proveniente desta queima (NOGUEIRA e LORA, 2003). É então através do ar na biomassa que ocorrerá a reação de combustão, mas é necessária a presença de outros elementos para que essa reação se consolide (Equação 1).

Equação1:



O combustível pode ser derivado do petróleo, gás, madeira, carvão. O comburente seria o oxigênio. Uma faísca seria a energia inicial de ativação.

Tal como Brito e Barrichelo (1982) apontaram, a combustão completa produz vapor d'água e CO₂ juntamente com calor e cinzas não combustíveis e quando é incompleta ocorre a formação de CO, hidrocarbonetos e outros gases. Neste estudo, os autores afirmam ainda que existem três fases para ocorrer a combustão, as quais acontecem ao mesmo tempo: Na primeira fase a madeira será aquecida e a água irá evaporar; a segunda fase se inicia quando a temperatura atinge 260°C causando quimicamente a degradação da madeira e havendo uma adequada mistura com o ar, essa temperatura irá aumentar acima de 600°C, fazendo com que os materiais voláteis sejam liberados passando para a terceira fase existindo então a queima do carvão produzindo energia. Os combustíveis precisam ter determinadas características que os

tornam aptos para a geração de energia. Para determinar quais são essas características, é necessário uma análise e conhecimento da sua composição química. Desse modo, diversas pesquisas sobre a qualidade da biomassa da madeira tem se tornado cada vez mais importante, para aplicação de tecnologias que as tornem mais eficientes na geração de energia nos mais variados setores industriais. As principais características que definem se a biomassa é um combustível eficiente são: rápida secagem, baixas temperaturas de ignição, elevado teor de voláteis, alta taxa de combustão e um alto poder calorífico presentes nesta (BRAND, 2010). Entretanto, outros fatores devem ser considerados como: teor de umidade, densidade e granulometria os quais dependendo da porcentagem presente irão aumentar ou limitar a eficiência na combustão KANUARY (1994) citado por SIMAS (2013). Segundo Brand (2010), porcentagem de umidade, densidade, teor de cinzas e poder calorífico são itens necessários a serem analisados para se determinar o potencial energético da biomassa. A mesma autora verificou também que a composição química elementar (Tabela 4) é indicador essencial a ser usada para se saber a real eficiência da combustão da biomassa analisada, contudo nem sempre esta é determinada experimentalmente.

Tipo de biomassa	Composição química elementar média (%)				
	Carbono C	hidrogênio H	oxigênio O	nitrogênio N	Enxofre S
Coníferas	49,29	5,99	44,36	0,06	0,03
Folhosas	49,00	5,87	43,97	0,30	0,01
Casca de arroz	38,3 - 49,96	4,0 - 4,30	35,86 - 38,60	0,40	0,02 - 0,50
Cana de açúcar	44 - 47,9	6,0 - 6,7	44 - 48	-	-
Bagaco de cana	44,80 - 47	5,35 - 6,5	39,55 - 35,8	0,38 - 4,10	0,01
Casca de coco	48,23	5,23	33,19	2,98	0,12
Sabugos de milho	46,58	5,87	45,46	0,47	0,01
Ramas de algodão	47,05	5,35	40,97	0,65	0,21
Cama de aviário	37,49	5,12	31,82	3,70	0,45
Capim elefante	41,16	5,55	45,91	1,78	-
Etanol	50,05	13,05	36,9	-	-

Tabela 4. Composição química elementar de diferentes tipos de biomassa utilizados para a geração de energia.

Fonte: Adaptado de JENKINS (1990), citado por NOGUEIRA & LORA (2003); TEIXEIRA & LORA (2004); VLASSOV (2001); CIEN TEC (1986); TOLMASQUIM (2003) e BRAND (2010).

Além da composição química elementar, também há de se fazer outras análises como a composição imediata da biomassa (Tabela 5) para se projetar o tipo de fornalha que será instalada, pois de conhecimento dessa composição, obtém-se o cálculo do teor de voláteis, o qual tem papel importante na ignição e etapas iniciais da combustão (BRAND, 2010).

Tipo de Biomassa	Composição imediata média (%)			PCS Kcal/Kg
	Materiais voláteis (V)	Cinzas (A)	Carbono fixo (F)	
Madeira de coníferas	82,54	0,29	17,70	4.700
Madeira de folhosas	81,42	0,79	17,82	4.600
Casca de arroz	65,47	17,89	16,67	3.850
Bagaço de cana	73,78	11,27	14,95	4.100
Casca de coco	67,95	8,25	23,80	4.500
Sabugos de milho	80,10	1,36	18,54	4.500
Ramas de algodão	73,29	5,51	21,20	4.370
Cama de aviário	62,73	23,40	13,87	3.550
Capim elefante	76,69	18,6	13,60	3.700

Tabela 5. Composição química imediata de diferentes tipos de biomassa na base seca (0% de teor de umidade).

Fonte: Adaptado de JENKIS (1990), citado por NOGUEIRA & LORA (2003); TEIXEIRA & LORA (2004); VLASSOV (2001); CIENTEC (1986); TOLMASQUIM (2003), e BRAND (2010).

Conforme relatado anteriormente, parte da madeira se queima na forma gasosa (materiais voláteis) resultando na denominada chama, enquanto que outra parte se queima na forma sólida, o que é chamado de carbono fixo. Entretanto, quando se utilizam combustíveis de origem fóssil, esses também liberam gases que na combinação de vapor e água presentes na atmosfera irão resultar em chuva ácida e/ou contribuir para o aquecimento global.

Brito et al. (1978) destacaram as propriedades mais importantes da biomassa para geração de energia, como sendo: teor de umidade; densidade; poder calorífico e a análise imediata.

O uso da biomassa pode fornecer formas racionais e melhores de se utilizar ao máximo os resíduos, que podem ser de origem florestal, industrial ou urbana, otimizando seu processo de queima e se convertendo em um combustível que contribuirá para diminuir a poluição atmosférica.

3.4.1 Teor de umidade

Além da umidade natural contida na planta, a biomassa também absorve a umidade do tempo ao ficar estocada a céu aberto. Na Figura 4, na imagem (A) observa-se a biomassa picada estocada a céu aberto, recebendo umidade do tempo. Na imagem (B) o contraste da biomassa mais escura contendo visivelmente maior umidade com a mais clara tendo menos umidade.

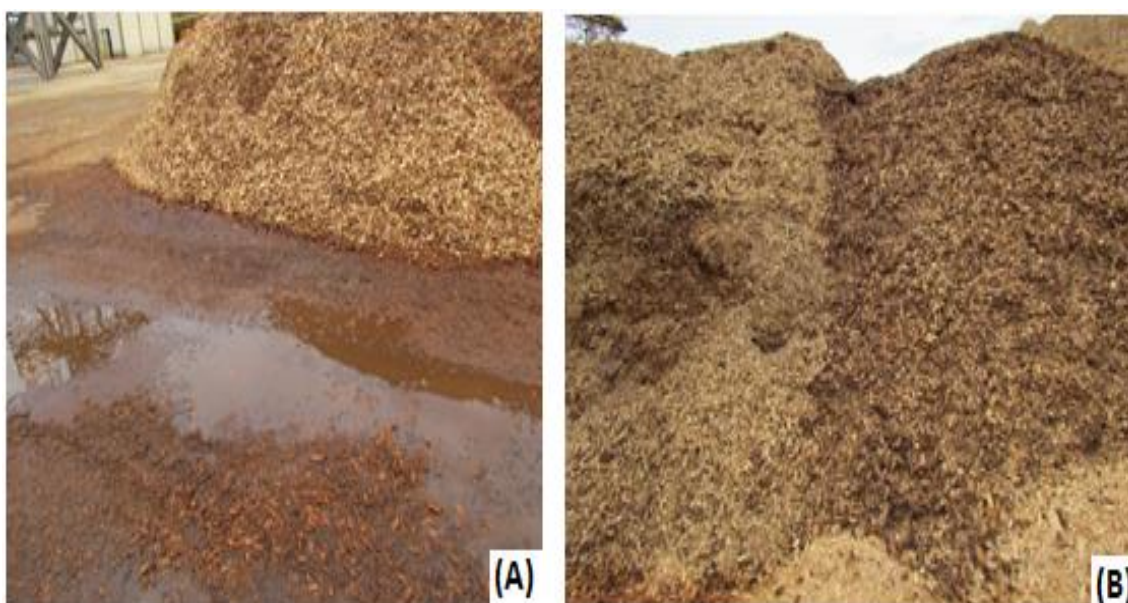


Figura 4. Biomassa picada e estocada a céu aberto, recebendo umidade do tempo.

Fonte: a Autora (2013)

Para se determinar o teor de umidade desta biomassa usam-se metodologias apropriadas, podendo ser expressas na base seca e na base úmida (Figura 5), Brand (2010).

Porém, quando se trata de biomassa para geração de energia, este teor de umidade deve ser determinado na base úmida, pois é dessa forma que ela será utilizada como combustível. O percentual de umidade presente na biomassa é, segundo Gullichsen et al. (2000), um dos principais fatores que irão influenciar na capacidade de aquecimento dos combustíveis, visto que uma parte da energia liberada é consumida na vaporização.

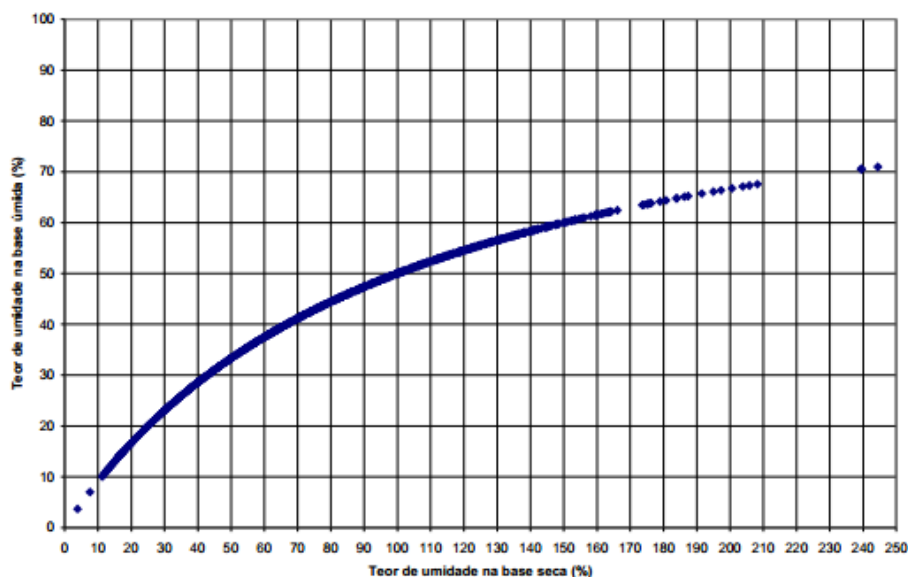


Figura 5. Relação entre teor de umidade (%) na base seca e na base úmida de diferentes tipos de resíduos de Pinus e Eucalyptus.

Fonte: BRAND (2007) citado por BRAND (2010)

Conforme os fundamentos da combustão, a evaporação da água irá retirar a energia através da queima de um combustível e se este estiver com alta umidade, sua capacidade calorífica decresce rapidamente. Ainda, segundo Brand (2010), a umidade é uma variável mais importante que a espécie, sendo que irá interferir no poder calorífico do combustível, pois são inversamente proporcionais. Desse modo nos processos de combustão quanto maior a umidade, mais energia será necessária para eliminação da água. Além disso, problemas como materiais particulados farão com que haja necessidade frequente de ajustes nos equipamentos.

A metodologia usualmente utilizada para se determinar o teor de umidade, é pela diferença de peso inicial da amostra recém coletada e úmida, e após o processo de secagem total em estufa que será o seu peso final.

Jirjis (2005) citado por Brand (2007) avaliou a influência da umidade das partículas e da altura das pilhas de biomassa florestal, na questão energética concluiu que, quanto menor a partícula maior será a variação do teor de umidade na altura da pilha e maior a perda de umidade durante a estocagem,

caracterizando o combustível menos homogêneo. Em compensação, a biomassa florestal particulada armazenada em pilhas, faz com que a umidade se concentre mais na região superficial ficando seu centro mais seco. Vários estudos demonstram que dependendo da origem da biomassa, se ela derivou do caule, do tronco ou outra parte da planta, a variação da sua umidade será maior ou menor.

Outro fator que pode interferir na quantidade de umidade de uma biomassa são as estações do ano. Brand (2010) constatou que no outono e inverno o teor de umidade é maior que na primavera e no verão, (Tabela 6).

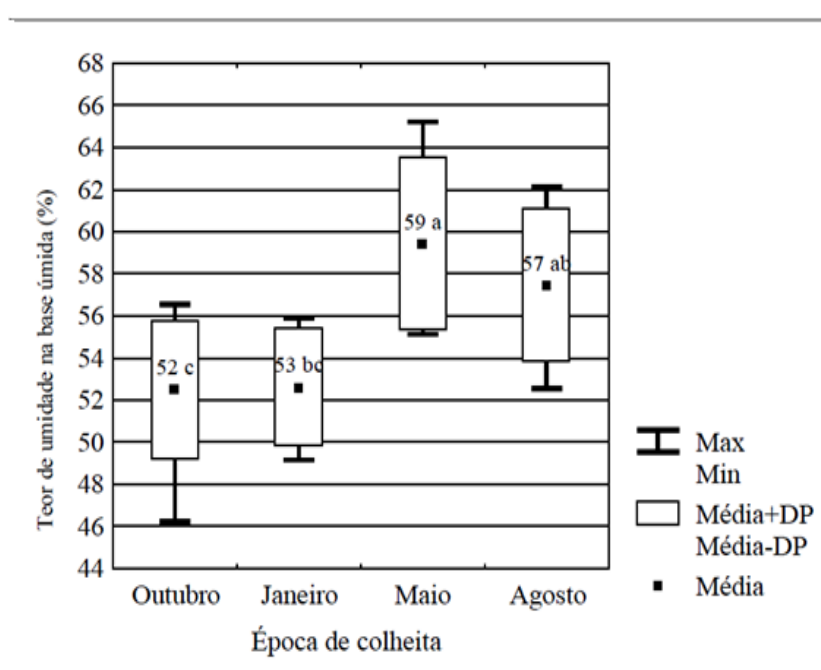


Tabela 6. Teor de umidade (%) na base úmida de toras de casca de Pinus e Eucalyptus e costaneira de Pinus em função da época de colheita.

Fonte: adaptado de BRAND (2007) citado por BRAND (2007)

De forma geral, fica evidenciado que um alto teor de umidade presente na biomassa interfere no poder calorífico do combustível, tornando-o menos eficiente.

3.4.2 Densidade

A densidade é uma propriedade indispensável a ser analisada quando se quer avaliar a qualidade da madeira para fins energéticos, pois esta representa a quantidade de massa presente em um determinado volume de material. A densidade também fornece dados para efeitos de custos com transporte da biomassa, onde quanto maior a densidade do material, menor será o custo. Entre indivíduos e entre diferentes espécies de árvores, a densidade dessas pode variar, usualmente não obedecendo a um padrão de variações (ZIECH, *et al*, 2011).

Dependendo do estado da biomassa, se esta é na forma sólida (toras) ou na forma particulada (granel) será necessário usar metodologias diferentes para expressar sua massa.

Para a madeira na forma sólida, usa-se o cálculo da densidade básica ou massa específica básica através da equação desenvolvida por Foelkel et al. (1990), do máximo teor de umidade.

$$d_b = \frac{1}{\frac{Pm - Pas}{Pas} + \frac{1}{Gs}}$$

Onde:

d_b = densidade básica (kg/m^3)

Pm = peso da biomassa saturada, após remoção com papel absorvente da água superficial

Pas = peso a 0% de umidade da biomassa (seca em estufa a $103 \pm 2^\circ \text{C}$ até peso constante)

Gs = densidade da biomassa (madeira)

No caso da biomassa na forma de particulados (granel), usa-se o cálculo da massa específica aparente. Esse cálculo sofrerá influência do teor de umidade e da granulometria das partículas. Enquanto a massa específica bá-

sica relaciona o peso no teor de umidade 0% e o volume saturado do material, a massa específica aparente usa o teor de umidade do material para os cálculos de sua massa específica (BRAND, 2010). Para a determinação da aparente, coloca-se em um recipiente de volume conhecido a biomassa a ser analisada, pesa-se em balança analítica e o resultado é a massa específica aparente a granel (FOELKEL, et al.1971).

Brand (2007) realizou um estudo sobre a densidade e verificou que em cavacos sem casca e na serragem de *Pinus taeda* por exemplo, a densidade básica chega a 319 e 323 kg/m³, respectivamente, com um teor de umidade de 58% e 56%. A mesma também identificou (Figura 6 e Figura 7) que quanto maior a umidade maior o peso e, conseqüentemente, maior a densidade aparente.

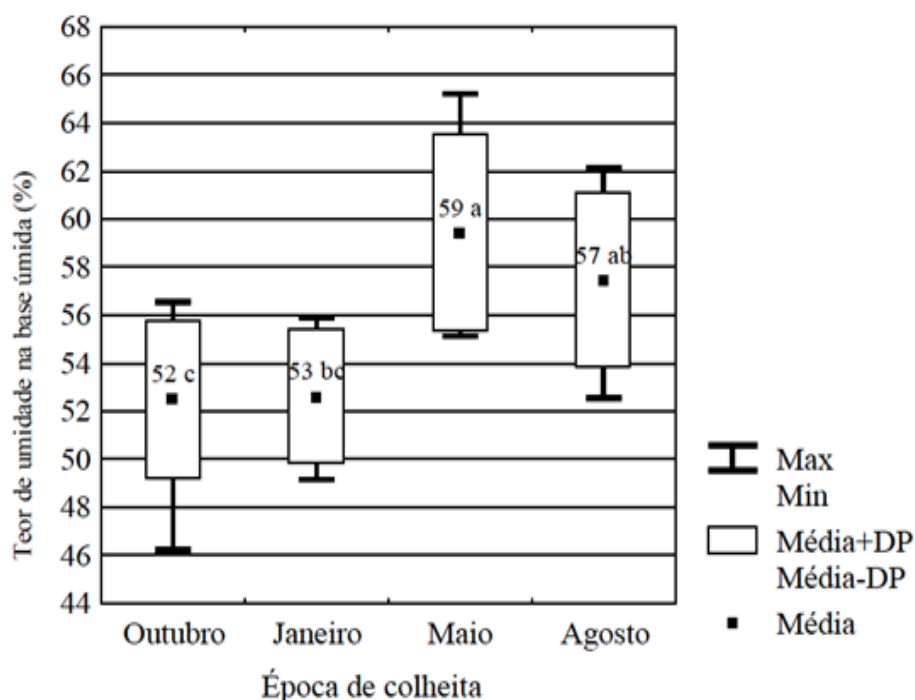


Figura 6. Dispersão dos dados de massa específica aparente da biomassa avaliada por Brand (2007).

Fonte: adaptado de BRAND (2007) citado por BRAND (2010)

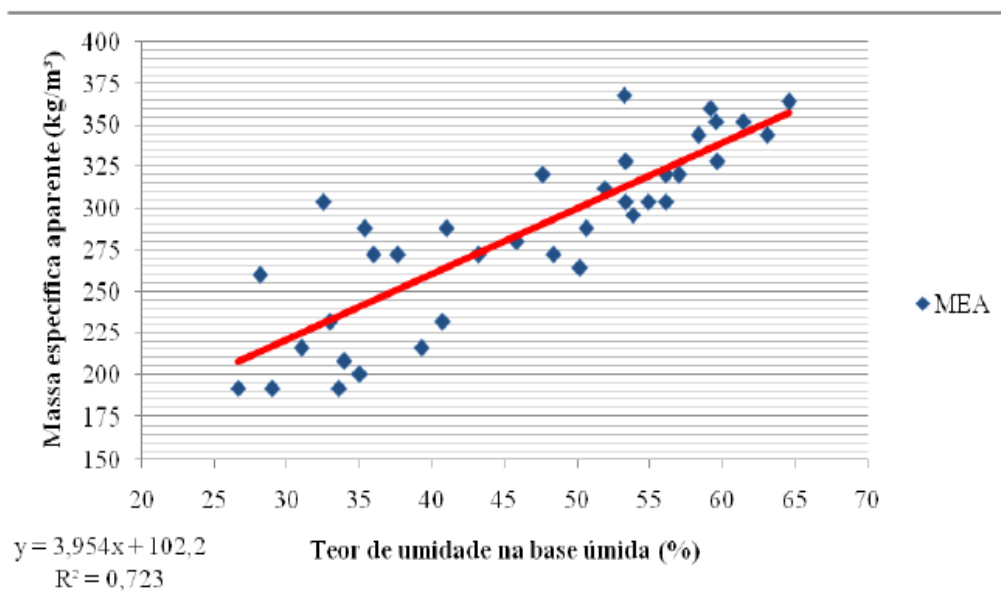


Figura 7. Correlação entre o teor de umidade e a massa específica de diferentes tipos de biomassa avaliados por Brand (2007).

Fonte: adaptado de BRAND (2007) citado por BRAND (2010)

Contudo, conforme Cunha et al. (1989), a densidade não tem relação direta com o poder calorífico.

3.4.3 Granulometria

A classificação granulométrica de um material irá determinar suas dimensões, a qual tem influência direta na densidade a granel do material a ser utilizado como fonte de energia. O seu tamanho varia desde partículas de pó até cavacos e sua especificação correta é crucial para os consumidores de cavaco como as termoelétricas, que irão operar com mais eficiência de acordo com a correta granulometria para o tipo de grelha de queima, sendo possível prever a energia liberada nessa combustão (BRAND, 2010).

A granulometria de um combustível sólido tem importância, pois podem entupir grelhas dificultando a passagem do ar de combustão, se muito pequenas podem ser arrastadas sem terem sido queimadas completamente. De posse desses dados, o comprador pode incluir as especificações como condições ao seu fornecedor.

Muitos autores citam que o ideal é que as partículas de biomassa tenham tamanho maior que 3mm e menor que 30mm. Cavacos muito grandes causam entupimento do fluxo do sistema além de proporcionar uma menor superfície de evaporação, assim como partículas muito finas que podem ser carregadas pelo ar dentro da chaminé, sem passarem pelo processo de combustão (BRAND, 2010).

A granulometria das partículas da madeira pode ser classificada de acordo com a Tabela 7.

Tipos de leito para combustão da biomassa	Granulometria recomendada (mm)
Leito em movimento	50 – 100
Queima em combustão	< 6,0 – 7,0
Leito fluidizado borbulhante	20 – 30
Leito fluidizado circulante	<6,0 – 7,0

Tabela 7. Granulometria recomendada para tipos de grelha em queimadores.

Fonte: Adaptado de NOGUEIRA & LORA (2003) citado por BRAND (2010)

Para fazer a classificação granulométrica da biomassa usada como fonte de energia, existe uma nomenclatura comercial e dentro dessa, suas dimensões, como pode ser observado na Tabela 8.

Dimensões das partículas	Nomenclatura comercial
A partir de 12,5 mm até acima de 50 mm	Cavaco
Entre 0,85 a 12,4 mm	Serragem
Abaixo de 0,85 mm	Pó

Tabela 8. Dimensões das partículas de madeira segundo a sua nomenclatura comercial.

Fonte: adaptado de BRAND (2010)

A partir das perspectivas sobre granulometria citadas, pode se afirmar que a importância não é só para saber o tipo de grelha de queima a ser usada, mas também é um indicador importante para se definir a mistura ideal de biomassa para o processo de combustão.

3.4.4 Poder calorífico

O poder calorífico da biomassa florestal que é o calor liberado durante o processo de combustão de um quilograma do mesmo, está diretamente relacionado com a eficiência do combustível. No Brasil ele geralmente é expresso em unidades de caloria, quilocaloria por quilograma ou joules por unidade de massa. Por definição, quanto maior o poder calorífico, maior será a energia liberada. Conforme Mesny (1967), quando a água originada pela combustão estiver no estado líquido tem-se o poder calorífico superior. Segundo o mesmo autor, a umidade contida em um combustível, pode afetar o poder calorífico deste.

A Tabela 9 apresenta diferentes biomassas, com seus respectivos poderes caloríficos.

Tipo de biomassa	Poder calorífico superior (MJ/Kg)
Pinus	20,02
Eucalipto	19,42
Casca de arroz	16,14
Bagaço de cana	17,33
Casca de coco	19,04
Sabugo de milho	18,77
Ramas de algodão	18,26
Resíduos sólidos urbanos	19,87
Excrementos de gado	17,36

Tabela 9. Poder calorífico superior da biomassa (base seca).

Fonte: adaptado de JENKINS (1990) citado por CORTEZ (2008)

Além do poder calorífico citado, também existe o poder calorífico líquido (PCL) onde após ser descontada a energia consumida para a eliminação da umidade que a biomassa contém, a energia que sobra é a energia líquida ou útil (LIMA et al. (2008).

Para a determinação do poder calorífico superior de um material usa-se uma bomba calorimétrica, contudo, Brand (2010) refere que para realização de cálculos de rendimento dos sistemas de combustão, ambos os tipos de poder calorífico podem ser adotados. Tanto o poder calorífico inferior como o superior são calculados em base seca. A mesma ainda afirma que, no caso da madeira pode se fazer uso de equações aproximadas que disponibilizam o cálculo do poder calorífico em função da umidade, tanto na base seca como na úmida.

Tendo por base o teor de umidade tanto na base seca como na úmida, segundo Brito & Barrichelo (1982), através de equações também se pode calcular o poder calorífico.

$$\text{Na base úmida: } PCL = PCI \times [(100 - W)/100] - (6 \times W)$$

onde:

PCL = poder calorífico inferior à umidade W (Poder calorífico líquido)

PCI = poder calorífico inferior a 0% de umidade

W = umidade da madeira na BASE ÚMIDA

$$\text{Na base seca: } PCL = \{[PCI - (6 \times W)]/(100+W)\} \times 100$$

onde:

PCL = poder calorífico inferior à umidade W (Poder calorífico líquido)

PCI = poder calorífico inferior a 0% de umidade

W = umidade da madeira na BASE SECA

Dados do poder calorífico superior de 258 espécies florestais foram reunidos através por Quirino et al. (2004), demonstrando valores de 4685 a 4736 Kcal constatando que esta propriedade varia moderadamente entre essas espécies. Os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* estavam entre as espécies e apresentam valores respectivamente de 3900 a 5200 Kcal/Kg e 4200 a 5000

Kcal/kg.

Por outro lado, as diferentes partes de uma árvore podem apresentar diferentes valores em termos de poder calorífico, como observado por Sligh & Kostecy (1986) citados por Brand (2010), conforme pode ser observado na Tabela 10.

Espécie	Toras	Tronco inteiro	Copa	Casca	Folhagem	Galhos	Média
<i>Picea glauca</i>	4737	4542	5149	4736	4910	5050	4854
<i>Picea mariana</i>	4585	4486	5150	4652	4985	4939	4800
<i>Pinus banksiana</i>	4766	4644	5069	5087	5118	5105	4965
<i>Thuja occidentalis</i>	4626	4767	4667	4475	5122	4459	4686
<i>Larix laricina</i>	4750	4486	5083	4655	4798	5126	4816
<i>Abies cilicica</i>	4695	4477	5117	4425	5136	4913	4794
<i>Populus spp.</i>	4477	4459	4836	4660	4491	4754	4613
<i>Populus balsamifera</i>	4412	4230	4896	4649	4218	4562	4494
<i>Betula pubescens</i>	4508	4425	4740	4832	5044	4710	4710
<i>Acer Negundo</i>	4466	4462	4722	4434	4115	4647	4474
<i>Pinus taeda</i>	-	-	4893	5215	5126	4903	5034

Tabela 10. Poder calorífico superior (Kcal/kg) de componentes de árvores de diferentes espécies florestais.

Fonte: SLIGH & KOSTECKY (1986) citado BRAND (2010).

Conforme Quirino et al. (2004) evidenciou, o poder calorífico não tem grande variação entre as diferentes espécies, mas é ligeiramente maior para coníferas (Gimnospermas) em relação às folhosas (Angiospermas), isso se deve ao alto poder calorífico da resina, que pode chegar aos 9500 Kcal/Kg (BRAND, 2010) devido à variação na composição química destes grupos vegetais (Tabela 11).

Constituinte	Gimnospermas (coníferas)	Angiospermas dicotiledôneas (folhosas)
Celulose	42 ± 2%	45 ± 2%
Poliose	27 ± 2%	30 ± 2%
Lignina	28 ± 2%	20 ± 5%
Extrativos	5 ± 3%	3 ± 2%

Tabela 11. Constituição química da madeira dos grupos vegetais gimnospermas e angiospermas dicotiledôneas.

Fonte: adaptado de KLOCK et al. (2005) citado por BRAND (2010)

A partir dos dados do teor de umidade e do poder calorífico, o qual foi aferido através de bomba calorimétrica, Brand (2010) construiu uma tabela onde faz a relação entre o poder calorífico líquido calculado em diferentes teores de umidade para a biomassa estocada do *Pinus* e *Eucalyptus*, conforme Tabela 12.

Tipo de biomassa	Poder calorífico superior (PCS) (kcal/kg) ¹	Teor de umidade na base úmida (%) ²	Poder calorífico líquido (PCL) (kcal/kg) ¹	PCL calculado (Bu)	Diferença entre o valor medido e calculado
<i>Pinus taeda</i> com casca	4565	12	3671	3649	22
	4846	17	3638	3644	-6
	4866	24	3269	3320	-51
	4826	37	2558	2612	-54
	4822	44	2269	2277	-8
	4696	50	1900	1878	22
	4867	55	1719	1712	7
	4722	61	1341	1372	-32
<i>Eucalyptus dunnii</i> com casca	4766	65	1201	1154	47
	4579	27	2909	2929	-20
	4633	35	2604	2579	25
	4619	40	2302	2334	-32
	4585	44	2136	2099	37
	4571	50	1828	1814	14
	4604	54	1697	1649	48
4534	59	1419	1364	55	

Tabela 12. Relação entre o poder calorífico líquido determinado em bomba calorimétrica e calculado, em diferentes teores de umidade, para *Pinus* e *Eucalyptus* com casca.

Fonte: dados da tese de doutorado de BRAND (2007) adaptado e citado por BRAND (2010)

Outros fatores como tipo da biomassa, teor de umidade e processo produtivo são essenciais, e influenciam diretamente na qualidade energética final da biomassa, culminando com o poder calorífico (Matus e Krizan, 2010).

Como já citado, a umidade é um parâmetro importante a ser analisado na qualidade energética da biomassa florestal, e esse está diretamente relacionado com o poder calorífico, por tanto achou-se pertinente demonstrar na Tabela 13, a relação do lodo originado do fabrico do papel, o qual contem alta taxa de umidade.

UMIDADE (%)	PODER CALORÍFICO (MJ/KG)
0	20,4
20	16,3
40	12,2
50	10,2
60	8,1
70	6,1
80	4,1
90	2,0

Tabela 13. Relação da umidade do lodo com o poder calorífico.

Fonte: adaptado de GULLICHSEN et al. (1999) citado por PINHEIRO (2008)

A Tabela 14 evidencia o poder calorífico líquido de diferentes tipos de biomassa em variados teores de umidade.

Biomassa	Teor de umidade Base úmida (%)	Poder calorífico líquido Kcal/kg
Carvão vegetal	5	7300
Carvão de resíduos agrícolas	5	6140
Esterco	13	3250
Bagaço de cana	50	2000
Casca de coco	8	4000
Casca de café	23	3200
Casca e palha de palma	35	1900
Palha e casca de arroz	13	3200

Tabela 14. Poder calorífico líquido de biomassa florestal e agrícola em diferentes teores de umidade.

Fonte: adaptado de NOGUEIRA & LORA (2003), citado por BRAND (2010)

3.4.5 Teor de Cinzas

Nos processos que necessitam de energia, as cinzas são componentes indesejáveis, pois quanto maior o percentual deste resíduo, menor será o poder calorífico da biomassa usada como combustível. Além da biomassa conter este resíduo mineral fixo, também pode sofrer contaminação durante a colheita e no transporte (BRAND, 2010). Também o contato físico deste resíduo com as partes metálicas de um equipamento favorece o aparecimento da corrosão, diminuindo a vida útil deste (RICHARDSON, et al. (2002).

Em caldeiras para produção de vapor, um alto teor de cinzas pode fundir-se nessas tornando-se um material extremamente tóxico (EMBRAPA, 2010), sendo que a quantidade de cada componente encontrado depende do material utilizado como combustível.

Segundo Vasconcellos et al. (2004), no processo de queima as cinzas por serem leves, são arrastadas juntamente com os gases nesse processo.

Porém as cinzas mais densas tornam-se um problema grave ao meio ambiente, pois não são lançadas na atmosfera precipitando no fundo da caldeira ou em outros equipamentos destinados à queima, tornando-se compostos denominados de cinza pesada ou residual. Desse modo manutenções constantes são realizadas para a retirada desse resíduo.

Brand (2010) após analisar 1190 amostras de diversas madeiras, constituídas de cavacos, casca, costaneiras, refilo e serragem, construiu uma tabela onde fica evidenciado que, o teor de cinzas e o poder calorífico são variáveis inversamente proporcionais, sendo que quanto maior o teor de cinzas, menor o poder calorífico (Tabela 15).

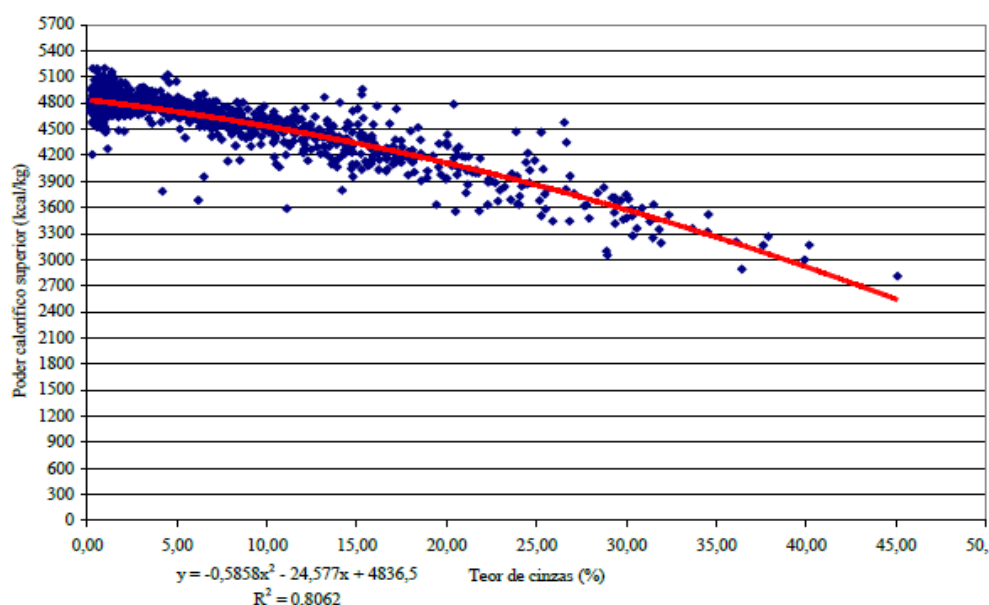


Tabela 15. Relação entre o teor de cinzas e o poder calorífico para diferentes tipos de resíduos de biomassa florestal e industrial de madeira.

Fonte: BRAND (2010)

Sabendo que a composição química do material utilizado influencia o comportamento do poder calorífico, a citada autora avaliou isoladamente a casca, por ser um material mais propenso à contaminação e concluiu que a correlação é a mesma de quando analisados juntos os diversos tipos de materiais.

A Tabela 16 demonstra a comparação do teor de cinzas e o poder calorífico de alguns materiais.

Fonte de energia	Teor de cinzas	Poder calorífico (Mj/Kg)
Madeira (seca ao ar)	<1	14 – 17
Lodo de destinação (úmido)	40 – 60	7 - 10
Lodo Biológico (úmido)	20 – 40	70 – 80
Rejeitos (úmido)	8 -12	20 – 50

Tabela 16. Comparação entre diversos materiais em relação ao teor de cinzas e o poder calorífico.

Fonte: adaptado de GÖTTSCHING et al. (2000)

Segundo Raij (1991), as cinzas isentas de metais pesados podem ser utilizadas como fertilizantes (Figura 8) uma vez que correspondem à fração mineral do processo, como pode ser observado em Indústrias Papeleiras que possuem reflorestamento e utilizam neste, a cinza gerada na queima durante o processo de combustão para geração de energia em caldeiras de biomassa.



Figura 8. Cinzas provenientes da queima em caldeira.

Fonte: a Autora (2013)

Nas caldeiras de biomassa (Figura 9) são acoplados coletores gravitacionais (multiciclone), que por meio de expansão da passagem do ar, onde ocorre perda de pressão, possibilitam a retirada das cinzas.

Visto que as cinzas não participam do processo de combustão, estas contribuem de forma negativa para o poder calorífico do combustível.



Figura 9. Sistema multiciclone gravitacional de cinzas (A) Sacos coletores (B).

Fonte: a Autora (2013)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Local de estudo

Os dados para realização deste trabalho foram coletados na Indústria Santa Maria Cia. de Papel e Celulose situada às margens da BR 277 na cidade de Guarapuava no centro-sul do Paraná, (Figura 10) com latitude: -25.4654057 e longitude: -49.7260157, na data de 03 de abril de 2013 a 12 de julho de 2013.



Figura 10. Mapa da localização da área de estudo.

Os dados meteorológicos do período de estudo estão apresentados na Tabela 17.

ANO 2013						
DIA/MÊS	3/04	7/04	17/04	23/04	29/04	30/04
Precipitação (mm)	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Umidade relativa (%)	77,2	81,1	59,4	70,3	77,1	70,8
DIA/MÊS	2/05	6/05	17/05	20/05	24/05	27/05
Precipitação (mm)	10,6	31,8	0,6	0,00	1,6	0,6
Umidade relativa (%)	82,4	78,3	90,8	86,9	86,5	87,2
DIA/MÊS	4/06	7/06	10/6	17/06	21/06	
Precipitação (mm)	0,0	0,0	0,0	17,4	31,2	
Umidade relativa (%)	82,1	75,8	89,9	87,8	98,2	
DIA/MÊS	1/07	8/07	12/07			
Precipitação (mm)	5,8	0,0	0,0			
Umidade relativa (%)	83,2	81,8	82,3			

Tabela 17. Condições climáticas da região de Guarapuava-Pr no período de estudo.

FONTE: Estação de meteorologia CEDETEG/UNICENTRO

NOTA: Os dados levantados foram para o conhecimento das condições climáticas no período da coleta das amostras, no entanto não foram usados em cruzamentos com os dados obtidos nas análises realizadas, por não se constituir em objeto do estudo.

A forma de entrada da biomassa na Indústria, em sua maior parte é em toras e cavacos de pinus (*Pinus*-spp.), possuindo também uma menor parte de eucalipto (*Eucalyptus* spp.). Tanto madeiras provenientes do reflorestamento da Santa Maria quanto de terceiros podem ser picadas no picador. No passado, a Indústria tinha um picador auxiliar que ficava na floresta, picando resíduos florestais (galhos), não sendo mais utilizado este processo. O procedimento atual é a conversão das toras em cavacos, tanto da biomassa da indústria como da comprada de terceiros, sendo que destes ainda vem o cavaco pronto para queima.

Toda a biomassa recebida é estocada a céu aberto. Cem por cento do cavaco é estocado no pátio, sob a forma de pilhas de até cinco metros de altura. O material picado no picador cai sob a forma de cone, com altura de até sete metros. No caso de formar cones e não haver espaço para formar mais cones, o cavaco é espalhado, formando uma pilha plana de até cinco metros, junto a cavacos recebido de terceiros. No pátio não há distinção entre a biomassa picada da Santa Maria e a terceirizada (Figura 11).



Figura 11. Biomassa estocada a céu aberto.

Fonte: a Autora (2013)

Entretanto, o que é consumido diariamente na caldeira, não é necessariamente o que entra no pátio de cavaco. Quanto ao volume, é consumido cerca de onze mil toneladas mensais. Contudo a produção de cavaco no pátio de cavacos pode ser maior ou menor. Segundo a Indústria Santa Maria, em torno de 50% é madeira própria e 50% é de terceiros (divididos em toras e cavacos).

O modelo da caldeira que a indústria utiliza é o V 2/5 BE 60 (Figura 12). É projetada para queima de combustíveis sólidos, como bagaço de cana, madeira e na forma de cavaco podendo estes conterem alto teor de umidade e pó, também sendo possível combinar na queima, a utilização de óleo, gases e outros tendo capacidade de evaporação de 40 até 60 t/hora.

Este modelo possui um grelhado mecânico basculante com dosadoras de 6 duplas, sendo que nas dosadoras das pontas, sempre caem os cavacos com maior granulometria.

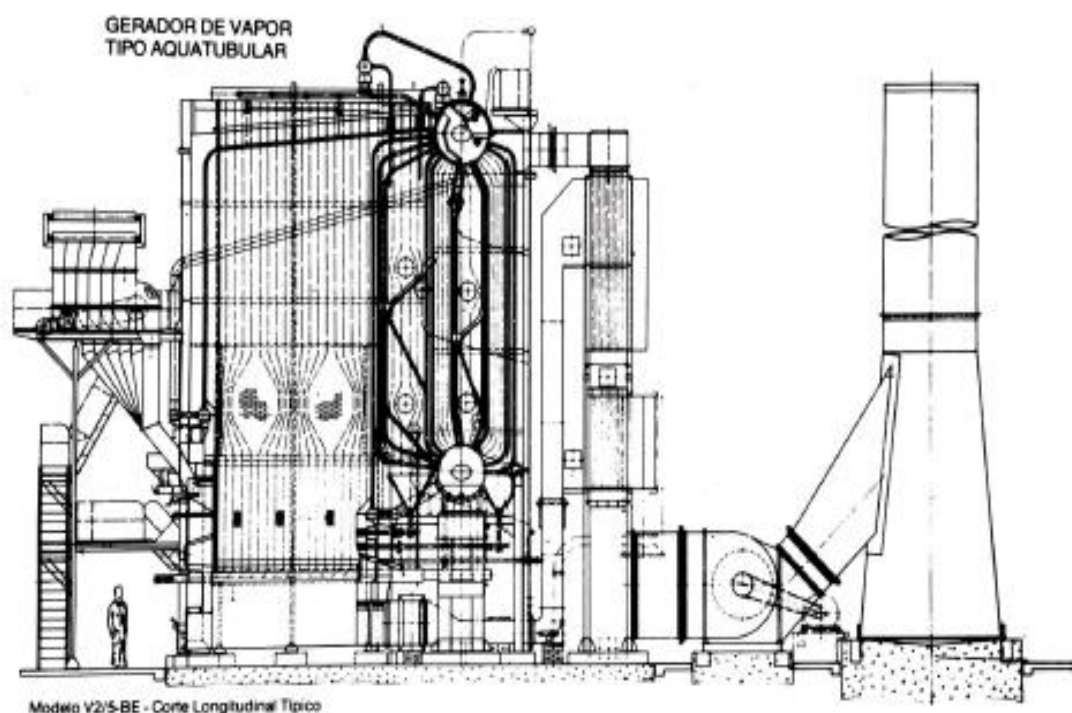


Figura 12. Modelo de um gerador de vapor tipo aquatubular.

Fonte: M. Dedine S.A. Siderúrgica

A Indústria utiliza o óleo BPF em épocas chuvosas quando a biomassa está muito molhada e de pouco estoque de biomassa, como combustível para auxiliar na produção de vapor. São necessárias duas toneladas de biomassa de madeira para gerar uma tonelada de vapor.

Segundo o responsável pelo setor da caldeira, noventa e cinco por cento do vapor produzido pela caldeira tem como destino a geração de energia, os cinco por cento restantes possuem outra aplicação. A Tabela 18 mostra o que foi consumido de vapor pela indústria em 2012.

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maió	Junho
Volume mensal em toneladas	10.643	9.332	11.201	11.820	10.933	11.071
	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Volume mensal em toneladas	11.738	10.854	10.157	10.167	10.470	10.891

Tabela 18. Consumo de vapor pela Indústria em 2012.

Fonte: Responsável pelo setor da Caldeira.

Em relação ao tempo de estocagem do material, constatou-se que no ano de 2013, o responsável pelo setor, começou um novo gerenciamento para eliminar o cavaco mais antigo, permitindo um maior controle do estoque de biomassa. No período anterior a 2012, em alguns momentos o cavaco que chegava no pátio (picado no Picador ou recebido de terceiros) vinha direto para a caldeira, mas não era regra. O cavaco quando estocado poderia ficar duas semanas ou dois meses, não existia controle do tempo de estocagem.

A Indústria também tem um reflorestamento de pinus e de eucalipto de onde as toras são trazidas até um picador e transformadas em biomassa para utilização como combustível na produção de energia da Caldeira.

A alimentação de biomassa na Caldeira vem do picador, o qual só funciona de dia, em horário comercial. O sistema de correias/esteira traz a biomassa, do picador mas não existe um operador específico para este traba-

lho. O que existe é um operador no picador que faz um monte de cavaco sobre o correntão (o equipamento que alimenta as correias com biomassa). No período noturno a biomassa é levada para o correntão/esteira utilizando-se um trator.

A biomassa saindo do picador percorre um trajeto (Figura 13) sobre a esteira, que leva aproximadamente 4 minutos até a entrada do silo na caldeira.



Figura 13. Fluxograma da entrada da biomassa no picador até a caldeira.

- a) biomassa em forma de toras entrando no picador; b) biomassa saindo do picador pela esteira e caindo na pilha ; c), d), e) biomassa sendo carregada através da esteira; f) biomassa entrando no silo da caldeira.

Fonte: a Autora (2013)

4.2 Procedimentos da coleta de dados.

4.2.1 Classificação das amostras

Os materiais para estudo foram coletados separadamente e classificados. Na coleta constatou-se que a Indústria, em determinados dias, adiciona na biomassa, parte do lodo gerado por sua estação de tratamento dos efluentes do papel, (Figura 14) além de receber biomassa terceirizada.



Figura 14. Lodo gerado na produção de papel.

Fonte: a Autora (2013)

Portanto, a amostragem ficou definida em 7 tratamentos conforme consta na Tabela 19, sendo seis amostras para cada tratamento.

Nome do tratamento	Componente	Número de amostras
(T1) Pinus	Biomassa de pinus	6
(T2) Pinus + eucalipto	Biomassa de pinus e eucalipto	6
(T3) Pinus + lodo	Biomassa de pinus e lodo	6
(T4) Pinus + eucalipto + lodo	Biomassa de pinus, eucalipto e lodo	6
(L1) - Lote 1	Biomassa de pinus	6
(L2) - Lote 2	Biomassa de pinus	6
(L3) - Lote 3	Biomassa de pinus	6

Tabela 19. Classificação das amostras conforme sua classificação.

Em dias alternados, foram realizadas duas coletas de 8 Kg de biomassa cada com no mínimo cinco horas entre estas, fazendo com que fosse possível coletar amostras de turnos diferentes e sabendo qual era o tipo de biomassa. Da biomassa fornecida pelas empresas terceirizadas, coletou-se em intervalos de dias mais espaçados, pois precisava ser coletado diretamente na hora em que o caminhão estava descarregando, para ter certeza de qual “Lote” era. Cada material coletado foi armazenado e identificado separadamente.

4.3 Procedimentos das análises físicas e químicas das amostras

4.3.1 Teor de Umidade

Para a variável teor de umidade foram analisados os sete tratamentos, os quais foram denominados de acordo com sua composição (Tabela19). No mesmo dia da coleta, as amostras eram levadas ao laboratório para a análise do teor de umidade na base úmida, da qual se estipulou uma quantidade de 400 gramas (com três repetições cada) do material úmido para avaliação,

sendo estas colocadas em sacos de papel, identificadas pesadas em balança de precisão e levadas à estufa (Figura 15), a $103^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$, onde analisou-se com 48h, 72h até seu peso constante, de acordo com a norma da ABNT NBR 14929/2003.



Figura 15. Análises do teor de umidade.

Fonte: a Autora (2013)

4.3.2 Determinação da Densidade

Para determinação da densidade, utilizou-se a metodologia do cálculo da massa específica aparente, estabelecida por Foelkel et al. (1990), visto que as amostras analisadas eram na forma de particulados (granel). Para tanto foram realizadas três repetições para cada procedência, onde colocou-se em um recipiente de volume conhecido a biomassa, pesando-se em balança analítica e ao final, convertido este peso em Kg/m^3 pela seguinte equação.

$$D = \frac{M_u}{V_u}$$

Onde:

D = densidade aparente ou massa específica aparente

M_u = Massa úmida, em Kg.

V_u = Volume úmido em m^3

O restante das amostras foram acondicionadas e identificadas em caixas de papel, e levadas à estufa na temperatura de $\pm 55^\circ C$ para secagem, e posteriormente serem feitas demais análises.

4.3.3 Determinação Granulométrica

Após secagem do material em estufa determinou-se uma quantia de dois quilos dessa biomassa (com três repetições de cada amostra) para a análise da granulometria, no agitador de peneiras (Figura 16a e 16b).



16b	Peneiras (AST M)	Abertura em mm
Conjunto 1	2"	50
	1 ½"	37,5
	1"	25
	0,5"	12,5
	0,25"	6,3
	6	3,35
Conjunto 2	Base	Fechada
	10	2,0
	20	0,85
	40	0,425
	60	0,250
	Base	Fechada

Figura 16. Equipamento para determinação granulométrica.

Fonte: adaptado de BRAND (2007)

Foram pré determinadas as granulometrias das partículas da biomassa a serem analisadas, conforme a Tabela 20.

Dimensões das partículas	Nomenclatura comercial
A partir de 12,5 mm até acima de 50 mm	Cavaco
Entre 0,85 a 12,4 mm	Serragem
Abaixo de 0,85 mm	Pó

Tabela 20. Dimensões das partículas de madeira segundo sua nomenclatura comercial.

Fonte: adaptado de BRAND (2010)

A Figura 17 ilustra a granulometria do cavaco da serragem e do pó.



Figura 17. Foto da granulometria analisada.

Fonte: a Autora (2013)

As peneiras foram pesadas vazias e depois com o material de cada granulometria fazendo ao final uma média das três repetições, através de uma regra de três, num total de quarenta e duas amostras multiplicado por três, totalizando cento e vinte e seis análises.

4.3.4 Moagem das amostras

Para a análise da composição química do material examinado, as amostras foram primeiramente moídas, em um moinho de facas (Figura 18a) com peneira de 1½mm. Após moer 80 gramas de amostra, todo o moinho era limpo com um aspirador de ar, antes de se colocar uma nova amostragem, evitando-se assim contaminação.

Como as amostras foram identificadas em tratamentos, (pinus; pinus+lodo; pinus+eucalipto e pinus+lodo+eucalipto) as com lodo (Figura 18b) foram deixadas para serem moídas por último, para não ocorrer contaminação com as demais.



Figura 18. Equipamento utilizado para a moagem das amostras.

Fonte: a Autora (2013)

Posteriormente, cada amostra foi colocada em saco plástico (Figura 19) a uma umidade relativa de $50 \pm 2\%$ e temperatura ambiente de $24 \pm 1^\circ\text{C}$ sendo identificada e acondicionada na ordem de coleta objetivando facilitar o manuseio nas demais análises químicas.



Figura 19. Amostras etiquetadas.

Fonte: a Autora (2013)

4.3.5 Poder calorífico superior

Para a determinação do poder calorífico superior foi utilizada bomba calorimétrica seguindo as normas da ABNT NBR 8633/1984, onde foram realizadas duas repetições por amostra.

4.3.6 Teor de Cinzas

Os teores de cinzas foram obtidos através da norma ABNT NBR 13999/2003, com três repetições de cada amostra. Pesou-se o cadinho vazio em balança analítica, anotado seu peso e pressionado a tecla “ON/Tare” foi colocado 2,0 g de amostra neste (anotado seu peso) sem tampa, acondicionado dentro da mufla onde após a combustão e o fim da chama fechou-se a mufla, aguardando de 2 a 3 horas, até a incineração total do material a $525^{\circ}\text{C} \pm 25^{\circ}\text{C}$; retirando os cadinhos e colocado sob dissecador por 30 minutos e após isso pesou-se os cadinhos anotando seu peso e aplicou-se a equação abaixo, para obtenção dos resultados.

$$TC = \left(\frac{P_{ac} - P_c}{P_{as}} \right) \times 100$$

Onde:

TC = Teor de cinzas

P_{ac} = Peso das cinzas, em gramas, mais cadinho.

P_c = Peso do cadinho vazio.

P_{as} = Peso da amostra seca a 0% de umidade.

4.3.7 Delineamento estatístico

O delineamento estatístico teve a finalidade de testar se as diferenças entre as médias das variáveis: teor de umidade, granulometria, densidade, poder calorífico superior e teor de cinzas são estatisticamente significativas. (FERREIRA, 2005) Os dados foram analisados no programa SISVAR da Universidade Federal de Lavras, pelo Teste de média de Tukey ($p > 0,05$), para cada variável.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 21 podem ser visualizados os resultados obtidos para o teor de umidade das diferentes biomassas utilizadas no estudo. Apesar da média de todas as amostras ser alta houve diferença significativa entre os tratamentos. O material de pior qualidade, em termos de teor de umidade foi a mistura T4 (pinus + eucalipto + lodo). A melhor mistura para queima foi o T1(Pinus).

O teste de Tukey mostra que o tratamento T4 apresentou maior umidade (58,36%) e T2 e T3 não diferem estatisticamente na média 52,91% com um CV= 5,44% e uma média geral de 56%. Conforme Brito & Barrichelo (1982), para que a biomassa tenha melhor funcionamento na geração de energia, o teor de umidade deve ser inferior a 30%.

Na análise estatística o teste de Tukey demonstrou que existe diferença, para o teor de umidade, com um CV= 9,39% e uma média de 52,07%, o Lote 2 teve o menor teor de umidade.

Tratamento	Umidade (%)	CV (%)	Tukey
T1 (Pinus)	52,91	5,44	a
T2 (Pinus + Eucalipto)	55,26		b
T3 (Pinus + Lodo)	56,31		b
T4 (Pinus + Eucalipto + Lodo)	58,36		c
Lote 2	47,85	9,39	a
Lote 3	54,12		b
Lote 1	54,26		b

Tabela 21. Teor de umidade médio dos tratamentos analisados.

Para a variável Densidade, observa-se na Tabela 22 que os tratamentos T1 e T3 não diferem e são as maiores médias, com 272 Kg/m³ e CV= 3,70%. Brand, 2010 evidenciou, que isso se deve ao fato de a densidade aparente ser influenciada pelo teor de umidade e pela granulometria das partículas, visto que no tratamento T3 ser constituído de lodo, este contém muita umidade além de ser bem mais particulado.

Na Densidade dos Lotes, não houve influência de blocos, não havendo variação significativa entre estes, com CV= 5,41% e média de 249 Kg/m³

ficando na média dos estudos de Brand (2007), verificado que no caso de cavacos a massa específica aparente é muito baixa, entre 250 a 350 Kg/m³.

Tratamento	Densidade (Kg/m ³)	CV (%)	Tukey
T2 (Pinus + Eucalipto)	252,67	3,70	A
T4 (Pinus + Eucalipto + Lodo)	267,94		B
T1 (Pinus)	282,28		C
T3 (Pinus + Lodo)	285,00		C
Lote 3	241,72	5,41	A
Lote 1	247,22		A
Lote 2	257,44		B

Tabela 22. Densidade média dos tratamentos analisados

Para a variável cavaco, a Tabela 23 mostra que não existe diferença significativa entre os tratamentos analisados. A média geral foi 61,0 % o que equivale em 1,244 gramas num total de dois quilos de biomassa, com um CV= 11,5%. Na análise da Anova para a variável cavaco dos Lotes foi significativa no limite de 0,05% de probabilidade, indicando que há diferença. Pelo teste de Tukey, observa-se que o Lote 2 apresentou resultados mais satisfatórios, com um Cv= 18,87 e uma média de 66,5%, equivalendo a 1,331 gramas num total de 2 quilos de biomassa.

Tratamento	Cavaco (%)	CV (%)	Tukey
T1 (Pinus)	60,2	11,5	A
T2 (Pinus + Eucalipto)	60,4		A
T4 (Pinus + Eucalipto + Lodo)	61,4		A
T3 (Pinus + Lodo)	61,7		A
Lote 3	55,8	18,87	A
Lote 1	61,4		B
Lote 2	66,5		C

Tabela 23. Porcentagem média de cavaco para os tratamentos analisados.

Os diferentes tratamentos não demonstraram diferença a 0,05% de probabilidade para a variável Serragem, conforme pode ser observado na Tabela 24 mostrando comportamento similar, constatando-se um CV= 4,15% com média geral de 34,2%. Contudo, em termos de teor de serragem o T2 (pinus + eucalipto) se mostrou o melhor tratamento, por apresentar a menor

porcentagem. Quando analisada pelo teste de Tukey a variável serragem para o Lote 3, demonstrou ser a pior, e o Lote 2 apresentou menor porcentagem, com um CV= 11,21% e média de 38,1%.

Tratamento	Serragem (%)	CV (%)	Tukey
T2 (Pinus + Eucalipto)	32,9	4,15	a
T1 (Pinus)	34,0		a
T3 (Pinus + Lodo)	34,1		a
T4 (Pinus + Eucalipto + Lodo)	35,1		a
Lote 2	32,6	11,21	a
Lote 1	38,0		b
Lote 3	43,7		c

Tabela 24. Porcentagem média de Serragem para os tratamentos analisados.

Na análise da variável Pó foi constatado que os dados são heterogêneos, havendo a necessidade de transformação desses, sendo usada a opção $(\sqrt{x+1})$ para permitir a homogeneidade, mostrando diferença significativa, onde o CV= 2,23% e a média geral de 5,0%. Pela Tabela 25, constata-se que o tratamento T2 (pinus+eucalipto) pelo teste de Tukey destaca-se com a maior média, no entanto, o interesse da análise é saber qual a menor porcentagem de pó, que nesse caso o tratamento T4 (pinus + eucalipto + lodo) demonstrou, talvez pelo fato do lodo se aglutinar na amostra. A menor média com relação a variável Pó para os Lotes, foi encontrada na amostra do Lote 3, entretanto, estatisticamente eles não diferem, com um CV= 61,03 % e média de 0,06%.

Tratamento	Pó (%)	CV (%)	Tukey
T4 (Pinus + Eucalipto + Lodo)	3,5	2,23	a
T3 (Pinus + Lodo)	4,2		a
T1 (Pinus)	5,8		b
T2 (Pinus + Eucalipto)	6,7		b
Lote 3	0,5	6,10	a
Lote 1	0,6		a
Lote 2	0,9		a

Tabela 25. Porcentagem média de Pó para os tratamentos analisados.

Verifica-se pela Tabela 26 que, estatisticamente o poder calorífico superior médio entre os tratamentos, apesar da presença de lodo, não diferem, significativamente chegando a 4784 Kcal/cal com um CV= 4,20% e média de 4720 Kcal/cal. Nos estudos de BRAND (2007) o poder calorífico superior de *Pinus taeda* chegou a 4806 Kcal/cal e 4590 Kcal/cal para o *Eucalyptus dunnii*. Já para o lodo, na literatura os dados sobre o poder calorífico deste são escassos. Com relação ao poder calorífico, a biomassa constituída apenas de pinus teve os melhores resultados, seguido da mistura T2 (pinus + eucalipto). A inclusão do lodo não interferiu negativamente na qualidade energética da biomassa. O Lote 3 pode ser considerado o que apresentou o melhor poder calorífico superior, com um CV= 2,13 e uma média de 4704 Kcal/cal porém não difere significativamente. De acordo com MME, (2013) o poder calorífico superior para lenha comercial é 3.300 Kcal/cal.

Tratamento	Poder calorífico superior (Kcal/cal)	CV (%)	Tukey
T4 (Pinus + Eucalipto + Lodo)	4681	4,20	a
T3 (Pinus + Lodo)	4686		a
T2 (Pinus + Eucalipto)	4729		a
T1 (Pinus)	4784		a
Lote 1	4625	2,13	a
Lote 2	4722		a
Lote 3	4763		a

Tabela 26. Média do poder calorífico superior para os tratamentos analisados.

Os dados relativos ao teor de cinzas variam conforme a composição da biomassa. Com relação a análise do teor de cinzas contido nos tratamentos, houve necessidade de transformação dos dados que não se mostraram homogêneos, assim sendo, as médias foram transformadas através da raiz quadrada de $(Y + 1.0)$, com um CV= 41,4% e média de 0,12% onde, pelo teste de Tukey o T2 (pinus + eucalipto) se mostrou o pior tratamento com porcentagem de 0,14. Nogueira e Lora (2003), verificaram o baixo teor de cinzas presentes na composição química de diferentes tipos de biomassa. Desse modo, o tratamento que apresentou resultados satisfatórios foi o T1 (pinus) tendo o menor teor de cinzas 0,09%. Os Lotes 2 e 3 não diferem

estatisticamente com CV= 79,41% e média de 0,17%, já o Lote 1 apresenta o maior teor de cinzas, nesse caso é o pior, como pode ser observado na Tabela 27. O conteúdo de cinzas de uma biomassa pode variar também em função da idade do vegetal e pode ser dividido em duas categorias: natural e poluído, este seria o que durante os processos de manuseio, sofre incrustações de materiais inorgânicos como terra e areia, de acordo com Brand (2007). No entanto, Brand, (2007) encontrou valores médios para o teor de cinzas do Pinus de 0,38% e para a espécie de *Eucalyptus dunnii* foi de 0,40%.

Tratamento	Cinzas (%)	CV (%)	Tukey
T1 (Pinus)	0,09	41,4	a
T3 (Pinus + Lodo)	0,10		a
T4 (Pinus + Eucalipto + Lodo)	0,11		a
T2 (Pinus + Eucalipto)	0,14		a
Lote 2	0,09	79,41	a
Lote 3	0,13		a
Lote 1	0,29		b

Tabela 27. Média do teor de cinzas para os tratamentos analisados.

6 CONCLUSÕES

Das quatro misturas de biomassa do *Pinus* analisadas, a que apresentou Poder calorífico superior significativo foi a biomassa do *Pinus* denominada de T1, ficando dentro dos parâmetros encontrados na literatura. Considerando que o conhecimento da densidade é importante quando se utiliza o conceito de poder calorífico volumétrico, e a logística, a mistura *Pinus* + Lodo expressou uma maior densidade, isso se deve ao fato de o lodo possuir alto teor de umidade. Apesar das análises do teor de cinzas não terem diferido estatisticamente, quando se leva em consideração a escala em toneladas é baixo para ambas as misturas estudadas caracterizando pequena quantidade de resíduos após a queima. A variável Pó considerada um problema para o entupimento das caldeiras, se apresentou com menor porcentagem na mistura T4 (*pinus*+eucalipto+lodo).

Dos resultados comparativos da biomassa fornecida pelas empresas, apesar do poder calorífico superior não diferir estatisticamente e sabendo-se que a umidade é um fator expressivo na escolha da biomassa a ser utilizada para queima, a que apresentou resultados satisfatórios foi o tratamento denominado de Lote 2.

Constata-se através dos dados obtidos, que a inclusão do lodo primário gerado pela indústria, na biomassa, não mostrou ser um impedimento para sua queima, porém tem-se que levar em conta a questão econômica e a logística para saber se é viável investir em um sistema que fará utilização desse tipo de combustível, pois dependerá da quantidade de resíduos que se produzirá para justificar tal investimento.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL . **Setor elétrico no caminho da inovação**. Revista pesquisa e desenvolvimento da ANEEL. Brasília, n°3, 2009. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/biblioteca/EdicaoRevistaanos.cfm>>. Acesso em: 21 nov/2013.

ALVES, G. M. de. **Alternativa de modo de gestão do negócio florestal**. Disponível em: < <http://www.revistaopinioes.com.br/cp/materia.php?id=935>>. Acesso em: 21 nov/2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633: 1984**. Determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1984.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13999: 2003**. Determinação do resíduo Cinzas após a incineração. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Espécies de florestas plantadas como fonte de energia**. [s.l.], 2012. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/snif/as-florestas-plantadas>>. Acesso em: 20 nov/2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CARVÃO VEGETAL - ABRACAVE. **Boletim cadeia produtiva do carvão**. [s.l.], 2002. Disponível em: <<http://www.ciflorestas.com.br>>. Acesso em: 06 ago/2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE PAPEL E CELULOSE – ABTCP. **A inserção do setor de papel e celulose no contexto da implementação dos esforços globais para a estabilização do clima**. [s.l.], 2009. Disponível em: <<http://www.abtcp.org.br>>. Acesso em: 20 març/2014.

BACHA, C. J.C., BARROS, A.L.M. de. **Reflorestamento no Brasil: revolução recente e perspectivas para o futuro**. Scientia Florestais, n. 66. p 191-203, 2004.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. **BEN** [s.l.] 2010. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/default2010.aspx>>. Acesso em: 14 nov/2013.

BAZZO, E. **Geração de vapor**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1992.

BONI M.R., D'APRILE L., De CASA G., Environmental quality of primary paper sludge, **Journal of Hazardous Materials**, 2004. Disponível em: <<http://www.researchgate.net/waste/53d8a16f0cf2a19ee/Users/Usuario/Downloads/gunning-wman%202009.pdf>>. Acesso em: 17 out/2013.

BRACELPA. **Relatório de sustentabilidade, 2011.** Disponível em: <http://bracelpa.org.br/bra2/sites/files/public/RA02-RelatorioFlorestal_2010.pdf>. Acesso em 05 abr/2014.

BRAND, M. A. Qualidade da biomassa florestal para o uso na geração de energia em função da estocagem. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2007. 151f.

BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal.** Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 131 p.

BRITO, O. J.; FERREIRA, M.; BARRICHELO, O. L. G. Correlação entre características físicas e químicas da madeira. Densidade básica da madeira x densidade aparente do carvão. **Boletim Informativo ESALQ/USP**, v. 6, n. 16, 1978.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis. **In:** Seminário de Abastecimento Energético Industrial com Recursos Florestais, 2. São Paulo. Anais, 1982. p. 101-137. Disponível em: <<http://www.proceedings.scielo.br>>. Acesso em: 09 ago/2013.

BROWN, S. **Estimating biomass and biomass change of tropical forests: A Primer.** Rome: 1997, FAO, 55p.

CAMPREGHER N. Estudo de viabilidade da incorporação do lodo da estação de tratamento de efluentes da indústria de papel, celulose e aparas em material cerâmico. [s.l.], 2005. Disponível em: <<http://www.tede.ufsc.br/teses.pdf>>. Acesso em 17 out/2013.

CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRA. ELETROBRAS. PROCEL/EDUCAÇÃO. **Conservação de energia.** Universidade Federal de Itajubá. 3ª Ed. 2006. Disponível em: <<http://www.unifei.edu.br/biblioteca-periodicos>>. Acesso em: 22 nov/2013.

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO EDUCACIONAL E TECNOLÓGICO DE GUARAPUAVA. CEDETEG. **Estação de meteorologia.** Campus Cedeteg/UNICENTRO. Guarapuava, 2014.

CENTRO NACIONAL DE REFERENCIA EM BIOMASSA - **CENBIO.** USP/São Paulo, 2010a. Disponível em: <<http://cenbio.iee.usp.br/publicacoes.htm>>. Acesso em: 13 nov/2013.

CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA – **CENBIO.** USP/São Paulo, 2010b. **Conceituando Biomassa.** Disponível em: <<http://cenbio.iee.usp.br/conceituando.htm>>. Acesso em: 15 ago/2013.

CORTEZ, L.A.B; LORA, E.E.S.; AYARZA, J.A.C. Biomassa no Brasil e no mundo. In: CORTEZ, L.A.B; LORA, E.E.S.; GOMEZ, E.O. (org). "Biomassa para energia". Campinas, São Paulo. Editora da UNICAMP, 2008.

COUTO, L.C.; COUTO, L.; WATZLAWICK, L . F.; CAMARA, D. Vias de **valorização energética da biomassa**. Biomassa & energia. [s.l.]. v1, n1, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISAS AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Projeto Florestas Energéticas 2010**. [s.l.], 2010.

EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS - **EPE** [s.l.], 2013. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>>. Acesso em 13 nov/2013.

FERREIRA, D. F. **Estatística básica**. Lavras: editora UFLA, 2005. 664p.

FOELKEL, C.; MORA, E.; MENOCELLI, S. Método para determinação da densidade de cavacos para coníferas e folhosas. **IPEF**, n. 2/3, p. 65-74, 1971.

FOELKEL, C. B.; BRASIL, M. A. M.; BARRICHELO, L. E. G. **Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose**. 1990. Disponível em: <<http://www.celso-foelkel.com.br/artigos>>. Acesso em: 11jun/2013.

FONTES, P.J.P. Auto suficiência energética em serraria de pinus e aproveitamento de resíduos. **Dissertação** (Mestrado). Curitiba, setor de ciências agrárias, Universidade Federal do Paraná, 1994. 93f.

GÖTTSCHING, L.; PAKARINEN, H. **Environmental Footprint Comparasion Tool . A tool for understanding environmental decisions related to the pulp and paper industry**. [s.l.], 2000. Disponível em: <<http://www.paperenvironment.org/>>. Acesso em: 16 out/2013.

GREENPACE. Brasil, 2007. **Sequestro e armazenamento de carbono**. Disponível em: <<http://www.greenpace.org.br/brasil/sequestro-e-armazenamento-de-c>>. Acesso em: 15 ago/2013.

GULLICHSEN, J.; PAULAPURO, H. **A Papermaking science and technology**. Editora Chemical pulping. Helsinki: Fapet Oy, 2000, v. 6A, 693 p.

HOJAMBERDIEV M., KAMESHIMA Y., NAKAJIMA A., OKADA K., KADIROVAZ.: Preparation and sorption properties of materials from paper sludge. **Journal of Hazardous Materials**, 151, n. 2-3; p. 710-719 - 2008.

HOLLANDA, J. B. **Cadeia energética da madeira no Brasil**. Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: < <http://www.biomassabioenergia.com.br/noticia/jb-duarte-parte-para-a-producao-de-madeira/2012091109164>>. Acesso em: 02 nov/2013.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **IEA**. EUA, 2013. Disponível em: <<https://www.iea.org/publications/>>. Acesso em: 14 nov/2013.

KLABIN, I. **Energia e desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: < <http://www.shell.com/bra/environment-society.html>>. Acesso em: 23 jan/2014.

LÉBEIS, V. D. L., Viabilidade do uso do resíduo da fabricação do papel em argamassas. 96p. **Dissertação** (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

LIGO, S. **Informações técnicas sobre caldeira modelo V 2/5 BE 60**. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <sergio.ligo@dedini.com.br> em 20 dez/2013.

LIMA, E. A. de; ABDALA, M.; WENZEL, A. **Influência da umidade no poder calorífico superior da madeira**. Embrapa Florestas, Colombo. 3p. 2008.

LOPES, G. A. Uso energético de resíduos madeireiros em um polo de produção de cerâmica vermelha do estado de São Paulo. **Tese** de doutorado. Piracicaba, 2012. Disponível em: <www.teses.usp.br/.../Guilherme_de_Andrade_Lopes_versao_revisada.pdf>. Acesso em: 12 mar/2014.

MACEDO, J. C. F. Análise Térmica e Ambiental da Queima do Lodo Primário da Fabricação de Papel e Celulose em Caldeira de Biomassa à Grelha. Itajubá, 196p. 2006. **Dissertação** (Mestrado). Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá. Disponível em: <<http://unifei.edu.br/bim>>. Acesso em: 17 out/2013.

MATUS, M.; KRIZAN, P. **Influence of Structural Parameters in Compacting Process on Quality of Biomass Pressings**. Bratislava, 2010. Disponível em: <<http://svebio.se/english/bioenergy-facts>>. Acesso em: 15 out. 2013.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIAS. **MME**. Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas_publicacoes.html>. Acesso em: 13 nov/2013.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIAS. **MME**. Brasília, 2013. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/galerias/arquivos/publicacoes/BEN_Ano_Base/2012_C_ompleto.pdf>. Acesso em: 04 mar/2014.

MESNY, M. **Caldera de vapor, descripción, teoría, manejo y mantenimiento**. 3.ed. Buenos Aires: Librería y Editorial Alsina, 1967. 269p.

MOREIRA, R. **Bioenergia - sentido e significado**. Revista da ANPEGE, v. 3, [s.l.], 2007.

NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. 2° ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. 200 p.

PINHEIRO, R. M. Reciclagem de lodo primário da estação de tratamento de efluentes da indústria de papel em cerâmica argilosa. **Dissertação** (Mestrado). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, UENF, Campos dos Goytacazes, RJ, 2008.

QUIRINO, W.F.; VALE, A.T.; ANDRADE, A.P.A.; ABREU, V.L.S.; AZEREDO, A.C.S. Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos. **Biomassa e Energia**. v. 1, n. 2. p. 173-182. 2004. Disponível em: <<http://www.renabio.org.br/B&E-v1-n2-2004.pdf>>. Acesso em: 15 out/2013.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres -Potafos, 1991. 343 p.

RICHARDSON, J.; BJÖRHEDEN, R.; HAKKILA, P.; SMITH, C.T. **Bioenergy from sustainable forestry: Guiding principles and practice**. Forestry Sciences v. 71. Kluwer Academic Publishers, 2002, 364 p.

ROCHA, M.P. & KLITZKE, R.J. **Energia da madeira**. Curitiba, FUPEF, 86 p.1998.

SILVEIRA, P. Estimativa da biomassa e carbono acima do solo em um fragmento de floresta ombrófila densa utilizando o método da derivação do volume comercial. **Floresta**, Curitiba, 2010. v. 40, n. 4, p. 789-800.

SIMAS, F. **Disponibilidade de biomassa florestal para combustão na central termelétrica de Sines**. Lisboa, 2013. Disponível em: <http://run.unl.pt/bitstream/10362/11365/1/Simas_2013.pdf> Acesso em: 14 jan/2014.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES FLORESTAIS - **SNIF** [s.l.], 2013. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestai/-as-florestas-plantadas>>. Acesso em: 13 Nov/2013.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA -**SBS** [s.l.], 2002. Disponível em: < <http://www.sbs.org.br/FatoseNumerosdoBrasilFlorestal.pdf>> Acesso em: 06 ago/2013.

VARGAS, I. J. Biomassa. In: Simpósio nacional sobre fontes convencionais e alternativas de energia. Brasília: câmara dos deputados, 1979. Disponível em: <<http://worlcat.org/libraries/31168.pdf>>. Acesso em: 08 ago/2014.

VASCONCELLOS, C. B.; LEAL, C. L.; CASTRO, P. F. **O aproveitamento da cinza de caldeira na construção civil**. Rio de Janeiro: Vértices, v6, n1. CEFET. 2004. Disponível em:< <http://www.acervo.epsjv.fiocruz.br>>. Acesso em: 15 out/2013.

ZIECH, R.Q.S.; RIBEIRO, A. O.; MENDES, L. M.; MORI, F. A.; MENDES, R. F. **Varição da densidade básica da madeira de *Toona Cibata* Roem cultivada**

em diferentes localidades. Scientia Florestalis. Piracicaba, v. 39, n. 91, p. 359-356, set. 2011.

ZMINKO, S. K. **Levantamento socioeconômico e educação ambiental em área rural no estado do Paraná.** Resumo. Anais da SIEPE-UNICENTRO. Guarapuava, 2009.