

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS DOIS VIZINHOS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA FLORESTAL

VICTOR AURELIO GOMES CAMINHA

**CARACTERIZAÇÃO E CONTROLE DE UMIDADE DA BIOMASSA
FLORESTAL EM EMPRESA AGROINDUSTRIAL DO SUDOESTE DO
PARANÁ**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

DOIS VIZINHOS
2020

VICTOR AURELIO GOMES CAMINHA

**CARACTERIZAÇÃO E CONTROLE DE UMIDADE DA BIOMASSA FLORESTAL
EM EMPRESA AGROINDUSTRIAL DO SUDOESTE DO PARANÁ**

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

Orientador: Prof. Dr. Eleandro José Brun

DOIS VIZINHOS – PR

2020



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Dois Vizinhos
Curso de Engenharia Florestal



TERMO DE APROVAÇÃO

CARACTERIZAÇÃO E CONTROLE DE UMIDADE DA BIOMASSA FLORESTAL EM EMPRESA AGROINDUSTRIAL DO SUDOESTE DO PARANÁ

Por

Victor Aurelio Gomes Caminha

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 26 de Junho de 2020 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Eleandro José Brun
Orientador

Prof. Dr. Ramiro Faria França
Membro titular (UTFPR)

Alexryus Augusto Altran
Membro titular (UTFPR)

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

AGRADECIMENTO

À Deus, pela saúde, sabedoria, coragem e me dar forças para não desistir dos meus sonhos.

Aos meus pais, por todo seus esforços, e apoio durante essa minha trajetória, mas acima de tudo pelo imenso amor.

Um agradecimento especial ao meu orientador Prof. Dr. Eleandro José Brun, pela orientação, e amizade. Ao todo apoio para realização deste trabalho e todos os ensinamentos para meu crescimento profissional durante a graduação.

À Universidade Federal Tecnológica do Paraná, campus Dois Vizinhos, pela disponibilidade da estrutura para realização deste trabalho e também pela oportunidade de cursar Graduação em Engenharia Florestal.

Ao professor Ramiro Faria França pela disponibilidade, orientações e auxílio. A professora Flavia Alves Pereira Responsável pelo Laboratório de Tecnologia de Madeira, pela disponibilidade e orientações.

Ao colega André Simon de Oliveira, da Marrari Automação pela disponibilidade e contribuição para realização deste trabalho.

A todos meus amigos e colegas que ajudaram na realização deste trabalho, em especial Welton Silva Vieira, Paulo Afonso Pastori e Ana Carolina Ramos, por toda ajuda e companhia.

Enfim, a todos aqueles que contribuíram de maneira direta e indireta nesta minha trajetória. Meu muito obrigado.

RESUMO

CAMINHA, Victor Aurelio Gomes. **Caracterização e controle da biomassa florestal utilizada em empresa agroindustrial do Sudoeste do Paraná**. 2020. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Florestal) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná –UTFPR. Dois Vizinhos, 2020.

Para caracterização e monitoramento do teor de umidade da biomassa energética utilizada por uma indústria do ramo alimentício no sudoeste do Paraná, foram analisados os materiais de cinco fornecedores diferentes, dentre esses materiais, sendo quatro de *Eucalyptus* sp. e 1 de *Pinus* sp. Os cavacos foram caracterizados de acordo com o teor de umidade na base úmida, densidade aparente, poder calorífico, e realizada análise química imediata. Com os dados coletados, geraram-se curvas de calibração para ajuste do equipamento de medição do teor de umidade (MUG M75) utilizado pela empresa. A calibração do M75 foi feita com base em modelo regressão linear e todos os cavacos apresentaram uma curva de calibração adequada com um coeficiente de determinação (R^2) acima de 0,9. Os cavacos apresentaram teor de umidade entre 35 e 45% na base úmida. O maior valor de densidade aparente foi de 207,67 kg/m³. O poder calorífico superior foi estatisticamente igual para todos os materiais, com média de 4.384,4 Kcal/kg. Em relação a análise química imediata, os materiais voláteis tiveram teor entre 80 a 84% e, para o carbono fixo, o maior valor obtido foi 19,16%. Os cavacos estudados apresentaram baixos teores de cinzas, a média geral foi de 0,59%.

Palavras-chave: Biomassa florestal, cavaco, medidor portátil.

ABSTRACT

CAMINHA, Victor Aurelio Gomes. **Characterization and control of forest biomass used in an agro-industrial company in the Southwest of Paraná**. 2020. 44 f. Completion of course work. (Graduation in Forestry Engineering) from the Federal Technological University of Paraná –UTFPR. Dois Vizinhos, 2020.

To characterization and monitoring the moisture content of the energy biomass used by a food industry in southwestern Paraná, the materials of five different providers were analyzed, among these materials, four were from *Eucalyptus* sp. and one from *Pinus* sp. The chips were characterized according to the moisture content in the wet basis, apparent density, calorific value and immediate chemical analysis was performed. With the collected data, calibration curves were generated to adjust the moisture content measurement equipment, MUG M75, used by the company. The calibration of the M75 was made based on the linear regression model, and all chips presented an adequate calibration curve with a coefficient of determination (R^2) above 0.9. The chips had a moisture content of 35 to 45% in the humid base. The highest value of apparent density was 207.67 kg.m³. The superior calorific value was statistically equal for all materials, with average 4,384.4 Kcal/kg. Regarding the immediate chemical analysis, volatiles were between 80 and 84%, for fixed carbon the highest value obtained was 19.16%. The studied chips had low ash contents, with general average of 0.59%.

Key words: Forest biomass, chip, portable meter.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - CONSUMO DE BIOMASSA POR SETOR ECONÔMICO EM 2014.....	13
FIGURA 2 – PROCESSO DE CONVERSÃO DA BIOMASSA FLORESTAL	15
FIGURA 3 – RELAÇÃO ENTRE O PODER CALORÍFICO E TEOR DE UMIDADE..	18
FIGURA 4 – MEDIDOR DE UMIDADE PARA BIOMASSA E GRANULADOS (MUG) MODELO M-75.....	20
FIGURA 6 – DISPERSÃO ENTRE OS NÚMEROS DE BITS, COMPARADOS A UMIDADE DE LABORATÓRIO E EQUAÇÃO POLINOMIAL	28
FIGURA 7 – PONTOS SELECIONADOS PARA UMA RECEITA (PONTOS VERDES) A PARTIR DA EQUAÇÃO POLINOMIAL (LINHA AZUL)	29
FIGURA 8 – CURVA DE SECAGEM PARA OBTENÇÃO DO NÚMERO DE BITS E TEOR DE UMIDADE DETERMINADA EM LABORATÓRIO	36

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - DESCRIÇÃO DOS CAVACOS COLETADOS.....	22
TABELA 2 – MÉDIAS DA DENSIDADE APARENTE A 15% Ubu. PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS) E DADOS DA ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA ..	30
TABELA 3 – PARÂMETROS DAS RECEITAS PARA OS FORNECEDORES 1,2 E 3	365
TABELA 4 – PARÂMETROS DAS RECEITAS PARA OS FORNECEDORES 4 E 5, E RECEITA ADICIONAL (RECEITA 6).....	37
TABELA 5 – EQUAÇÕES USADA EM CADA RECEITA E SEUS RESPECTIVOS COEFICIENTES DE DETERMINAÇÃO (R ²).	38

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	11
2.1 OBJETIVO GERAL	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
3.1 BIOMASSA NO BRASIL E SUA IMPORTÂNCIA NA MATRIZ ENERGÉTICA	12
3.2 FLORESTAS ENERGÉTICAS COMO FONTE DE BIOMASSA FLORESTAL	14
3.4 TEOR DE UMIDADE (U%)	17
3.5 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE (U%)	19
3.6 PODER CALORÍFICO	21
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	22
4.1 DESCRIÇÃO DO MATERIAL COLETADO.....	22
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO CAVACO	24
4.3 CRIAÇÃO DA CURVA DE CALIBRAÇÃO	27
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS CAVACOS.....	30
5.2 CURVAS DE CALIBRAÇÃO DO MUG M-75	35
6 CONCLUSÃO.....	39
7 RECOMENDAÇÕES.....	40
8 REFERÊNCIAS.....	41

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a produção de energia é uma necessidade incontestável, pois a busca por combustível, principalmente no setor industrial é crescente e tem elevado a procura por energias alternativas, como a biomassa florestal. A biomassa constitui uma fonte renovável de produção energética para a geração de eletricidade ou calor, e apresenta como principal vantagem frente aos seus concorrentes a contribuição na mitigação das alterações climáticas, atuando principalmente com o sequestro de carbono.

Diante das mais variadas fontes de biomassa temos a biomassa florestal, trata-se da fração biodegradável dos produtos gerados pela floresta e que são processados para fins energéticos. Essa heterogeneidade do material associada a dificuldade de controle da umidade e do transporte pode inviabilizar a sua utilização. Portanto a caracterização do material é essencial para o melhor aproveitamento da biomassa.

O teor de umidade torna-se a característica mais importante da biomassa que se adquire, pois afeta diretamente o seu consumo e rendimento. A água como material inerte e não combustível influencia o processo de combustão, além disto, representa massa a ser transportada e adquirida que não será utilizada, o que pode implicar em um aumento no custo final para a empresa.

Para o controle do teor umidade diversas empresa vem utilizando um medidor de umidade para biomassa e granulados (MUG M-75), que permite determinar a umidade do material de forma instantânea. Esse equipamento opera através de curvas de calibração, as quais são geradas a partir de um banco de dados que relacionada a interação da biomassa com um campo eletromagnético varia de acordo com o teor de umidade do material.

Reconhecendo que a biomassa têm grande importância para a empresa na geração de eletricidade e do vapor que é utilizado nos diversos setores e nos mais variados processos produtivos é essencial entender quais as características e parâmetros são importantes para atingir o melhor aproveitamento na geração de calor. Muitas empresas, como é o caso desta do presente estudo, têm a necessidade de comprar cavacos de madeira para suprir a sua demanda. Para isso faz-se necessário uma boa avaliação do material que se adquire.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a qualidade da biomassa florestal utilizada através da caracterização de suas propriedades e monitorar a variação do teor de umidade do material para calibração do equipamento de medição de umidade instantânea.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Realizar a análise química imediata do material, quantificando teor de cinzas, teor de voláteis e teor de carbono fixo;
- 2) Determinar o poder calorífico superior e calcular o poder calorífico útil com base no teor de umidade mensurado na recepção da biomassa pela indústria;
- 3) Indicar os valores de densidade aparente dos diferentes materiais avaliados;
- 4) Construir curvas de secagem da biomassa florestal para calibração do equipamento de medição de umidade, MUG M75.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 BIOMASSA NO BRASIL E SUA IMPORTÂNCIA NA MATRIZ ENERGÉTICA

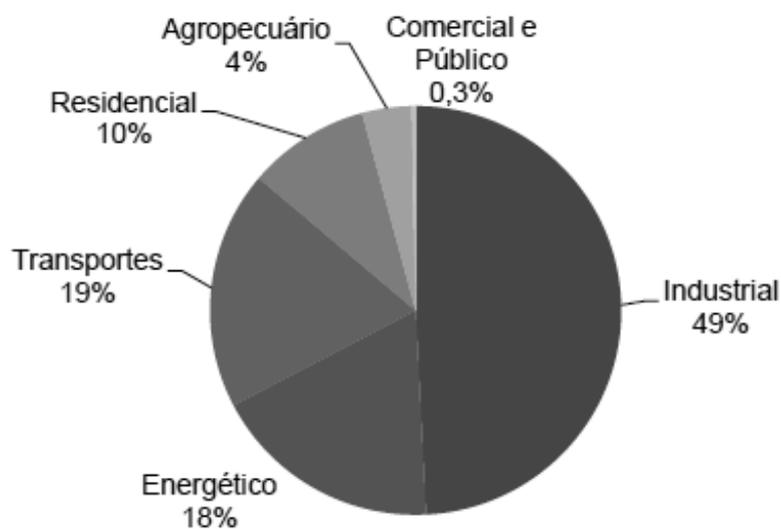
A biomassa de maneira geral é toda matéria orgânica de origem vegetal formada pelo processo de fotossíntese. Ao contrário da energia proveniente dos combustíveis fósseis, a biomassa é renovável e ainda todo o dióxido de carbono liberado durante o uso da biomassa é absorvido novamente no processo de fotossíntese para sua formação (SOUZA, SORDI e OLIVA, 2002).

Para Silva (2014) citado por Soares (2016) as fontes de obtenção da biomassa são bastante diversificadas, esse recurso pode ser encontrado de diversas maneiras. Outro ponto relevante da utilização da biomassa é o seu grande potencial para a substituição dos combustíveis fósseis como uma fonte alternativa de energia de forma promissora de reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE) oriundos das mais diversas atividades antrópicas da atualidade, e associadas ao aumento do consumo. De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2018 (ano base 2017) é visível a tendência de aumento no consumo de energia no país que foi 1,2% em relação ao ano anterior, é importante ressaltar também que esse aumento se dá principalmente no setor industrial que teve o segundo maior aumento (1,0%). (MOREIRA, 2011).

Atualmente a matriz energética brasileira se destaca no cenário mundial pela expressiva participação das fontes renováveis. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA), (2014) “O Brasil possui a matriz energética mais renovável do mundo industrializado com 45,3% de sua produção proveniente de fontes como recursos hídricos, biomassa e etanol, além das energias eólica e solar”. Dados do relatório feito pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) (2018) mostram que a participação das fontes renováveis de energia se manteve entre as mais elevadas do mundo (BASIL, 2018).

Apesar de grande parte na matriz energética nacional ter uma grande participação das fontes renováveis, na atual matriz energética brasileira, os combustíveis fósseis continuam sendo a principal fonte de energia, respondendo por 45% do consumo total. No entanto, a biomassa responde por 26% do consumo total nacional e atualmente é a segunda principal fonte energética. A distribuição setorial do consumo brasileiro de biomassa em 2014 está ilustrada na figura 1.

FIGURA 1 - CONSUMO DE BIOMASSA POR SETOR ECONÔMICO EM 2014



Fonte: STCP, 2015

A utilização da biomassa gera benefícios econômicos, permite aumentar a diversificação da matriz energética, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis com a utilização da biomassa como recurso energético para a garantia do suprimento, reduzindo a vulnerabilidade às oscilações do petróleo e às instabilidades políticas dos países produtores (OLIVEIRA, 2015).

Diversificação se torna a palavra chave para elaboração de estratégias de longo prazo e a base para um planejamento estratégico no setor energético, buscando políticas mais apropriadas para tornar o planejamento energético eficaz. A política energética brasileira pretende moldar a atual matriz energética pelas iniciativas de substituição de derivados de petróleo por fontes energéticas nacionais. O ponto é que a forte presença da energia hidráulica e o crescimento do uso da biomassa na produção de energia do país sustentam no longo prazo uma proporção de fontes renováveis que deve manter a matriz energética brasileira entre as mais limpas do mundo (OLIVEIRA, 2018).

Se mantendo na ótica de um planejamento de longo prazo, sempre é questionada a capacidade da economia brasileira em crescer com maior eficiência no uso da energia, portanto com redução da intensidade energética, a qual está diretamente ligada ao cenário em que se terá esse crescimento e das estratégias aplicadas para que ocorra um desenvolvimento sustentável do país como um todo.

3.2 FLORESTAS ENERGÉTICAS COMO FONTE DE BIOMASSA FLORESTAL

Atualmente o Brasil possui uma das maiores produtividades florestais do mundo devido à fácil adaptação de espécies florestais exóticas de rápido crescimento e maior aproveitamento dos plantios, pelas áreas disponíveis para os mais diversos tipos de produção, a possibilidade de diferentes culturas ao longo de um único ano pela diversidade climática, a intensa radiação solar recebida, entre outros fatores ambientais (IBÁ, 2017).

Floresta energética é uma floresta plantada e tem a biomassa para energia como principal produto. A biomassa energética florestal é definida como produtos e subprodutos dos recursos florestais que incluem basicamente biomassa lenhosa e seus resíduos gerado pelas operações florestais. As florestas energéticas podem suprir usinas termoeletricas de forma competitiva, descentralizando o sistema de produção de energia, além dos benefícios ambientais, econômicos e sociais, por meio da criação de empregos diretos e indiretos na região de implantação (CARDOSO, 2012).

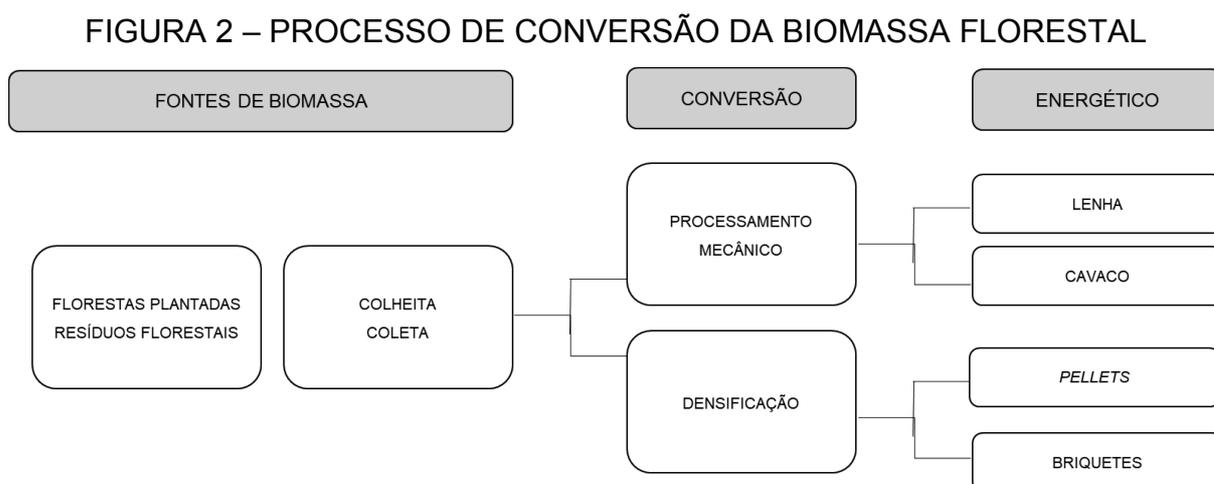
A existência de desenvolvimento científico e tecnológico específico da zona tropical, associado à uma indústria sólida e produtiva é uma vantagem que torna o Brasil capaz de atuar como líder mundial nas fontes de geração de energia renovável como vem mostrando os relatórios do Ministério de Minas e Energia (MME). (BRASIL, 2007).

A biomassa de madeira tem um papel de destaque na oferta global de energia chegando a responder por cerca de 8,7% da matriz energética mundial, outro quesito importante é o surgimento de novas tecnologias que fazem o desenvolvimento de novos mercados como o mercado dos pellets de madeira e de cavacos permitindo aumentar as trocas internacionais dessa biomassa, em especial em direção à Europa, o que deve ampliar sua importância na matriz energética dos países desenvolvidos (BRASIL, 2011).

A utilização da biomassa para a obtenção da energia embora apresente eficiência reduzida, sua diversidade é grande e seu aproveitamento pode ser feito pela simples combustão em fornos e caldeiras fazendo dessa característica uma das principais vantagens técnicas desse material (MOREIRA, 2011).

Buscando a utilização da biomassa em sua máxima potencialidade a maior parcela é consumida em centros de transformação onde são convertidas em fontes secundárias e geralmente estão prontas ao consumo, isso ocorre quando o material apresenta baixos níveis energéticos em seu estado bruto, e que pode acabar se tornando inviável se considerar as perdas sendo assim apenas pequena parte da energia primária é destinada ao consumo final (BRASIL, 2011). A Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ) (2018) diz que “As florestas plantadas geram a maior parte da energia necessária para realizar seus processos produtivos por meio da biomassa, cerca de 70%”.

Seu aproveitamento no uso final energético se realiza, principalmente através de processos de conversão e das rotas tecnológicas de transformação termoquímica mais simples, como combustão direta e carbonização como mostra a figura 2. (Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2007).



FONTE: O autor, com base em Brasil (2011)

A biomassa florestal pode ser dividida em primária (Biomassa florestal primária-BFP) ou secundária. A BFP é a fração biodegradável dos produtos gerados pela floresta e que são processados para fins energéticos, nomeadamente os materiais vegetais procedentes das operações silviculturais como: podas, desbastes, ou corte raso. Biomassa florestal secundária, é a matéria orgânica residual, composta por costaneiras, serragem, maravalha ou pó de serra, licores negros, etc., que é gerada nos processos da indústria de transformação e processamento de madeiras, tal como as serrarias e madeireiras, e fábricas de papel e celulose (OLIVEIRA, 2015).

O cavaco é um exemplo de produto para geração de energia proveniente de florestas energéticas utilizados amplamente para geração de vapor em caldeiras, gerando uma energia limpa quando comparado a caldeiras que utilizam óleo, coque e derivados de petróleo em geral. Os cavacos de madeira podem ser provenientes de diferentes espécies florestais, ou até mesmo resíduos das operações florestais ou de serrarias (PARIGOT, 2014).

O cavaco é obtido através do processamento mecânico passando por um processo de picagem da madeira. O seu tamanho pode ser variado dependendo do tipo e da configuração do picador utilizado, além das próprias propriedades e características da madeira. Os cavacos de madeira passam pelo processo de picagem, são depositados em pilhas que podem ser estocadas ou carregadas logo em seguida para entrega aos consumidores. Além do processo de picar toras de madeira o cavaco pode ser proveniente de resíduos de serrarias ou unidades de beneficiamento de madeira (SOARES, 2016).

Segundo a Lippel, (2014) “na essência, os cavacos de madeira competem com combustíveis já estabelecidos, testados, comprovados cuja qualidade e normatização foram estabelecidas através do seu frequente uso”. Estas mesmas diretrizes precisam ser desenvolvidas para que os cavacos de madeira sejam comercializados.

Para que esse material tenha seu melhor aproveitamento, sua máxima potencialidade energética expressa é necessária à sua especificação de maneira correta do quanto a seu tamanho, uma vez que determinadas caldeiras, por exemplo, irão operar em sua máxima eficiência com a correta granulometria do material. A classificação dos cavacos de madeira é crucial pois permite especificar e quantificar com maior precisão o montante de combustível de madeira para o sistema da caldeira (SOARES, 2016).

Quando se tem uma boa classificação do cavaco uma granulometria homogênea das partículas facilita o fluxo dos cavacos e também é possível prever a energia liberada dos cavacos de madeira na câmara de combustão. Cavacos muito grandes impedem o fluxo do material pelo sistema, causando entupimento. Partículas muito finas queimam rapidamente na câmara de combustão, conduzindo a variação de calor e a formação de cinzas (LIPPEL, 2014).

3.4 TEOR DE UMIDADE (U%)

Segundo Moreschi (2005), O teor de umidade é dado pela relação entre o peso da água contida no seu interior e o seu peso no estado completamente seco, expresso em porcentagem. Existem duas maneiras de se expressar a umidade contida em um produto, sendo elas em base úmida ou base seca.

O teor de umidade em base seca (U_{bs}) (%) é a razão entre a diferença da massa úmida e a massa seca, pela massa de matéria seca, sendo numericamente maior do que o teor de umidade da base úmida. Esta base é normalmente utilizada em trabalhos de pesquisa. Já o teor de umidade em base úmida (U_{bu}) (%) é a razão entre a diferença da massa úmida e a massa seca, pela massa de matéria úmida. É possível que a umidade seja expressa na base seca, mas os teores de umidades expressos na base úmida são mais recomendados quando consideramos amostras para biomassa, pois este expressa a quantidade de água no peso total da amostra que está sendo avaliada (OLIVO, 2010).

Quando a madeira for previamente seca a 0% de umidade, é exposta ao meio ambiente, ela absorve a água que está dispersa no ar em forma de vapor. A água adsorvida corresponde à água de adesão e o teor de umidade final alcançado pela madeira, que depende das condições do meio à da espécie vegetal considerada, é denominado umidade de equilíbrio com o ambiente (SCREMIN, 2012).

Quando se utiliza biomassa florestal como um combustível para geração de energia o teor de umidade se torna a variável mais importante uma vez que se mantém baixos teores de umidade é possível diminuir o custo de manejo do material e seu transporte, agregando valor ao combustível. O teor de umidade máximo que uma madeira pode ser queimada no forno está em torno de 65% a 70% em base úmida. Por existir essa umidade, é inevitável que ocorra uma perda de calor decorrente da presença de água na madeira, pois sua evaporação absorve energia térmica (PARIGOT, 2014).

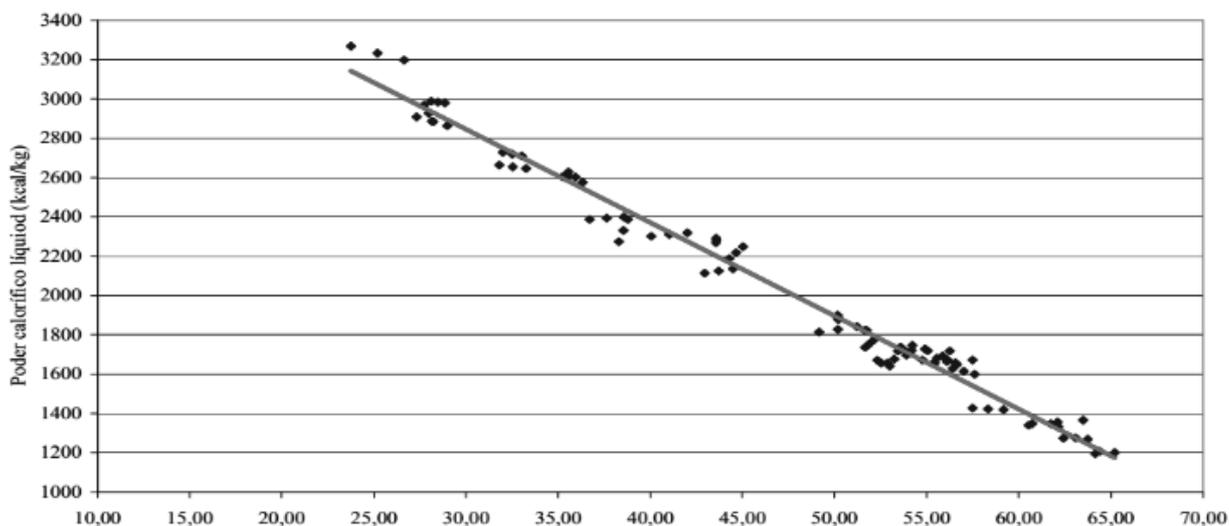
O teor de umidade interfere no poder calorífico líquido de forma que quanto maior o conteúdo de umidade da madeira, menor é o seu poder de combustão, devido ao processo de evaporação da umidade, o qual absorve energia durante a combustão da madeira, tornando a umidade um fator crucial em processos de combustão. A presença de elevadas porcentagens de água na madeira afeta diretamente o poder calorífico líquido, até mais que a espécie (ELOY, 2015).

Quando se tem elevados teores de umidade a água presente no material aumenta o consumo de combustível pois parte do calor gerado é usado para evaporar água, além de dificultar a queima da biomassa. Com um aumento do consumo do material combustível gera também um aumento no volume de produtos de combustão e os custos de transporte. A combustão em caldeiras de biomassa com alto teor de umidade provoca aceleração da corrosão da parte final da caldeira e o acúmulo de sujeira nas superfícies de aquecimento. A quantidade de água livre no combustível determina a quantidade de energia efetivamente disponível para o sistema de geração de energia (BRAND, 2007).

Outro ponto importante é que o teor de umidade, além de influenciar significativamente o poder calorífico líquido, afeta também as propriedades de ignição e a eficiência energética. Teores de umidade na base úmida maiores do que 67% no momento da combustão demanda a mesma quantidade de energia do que gera, fazendo com que o balanço energético seja 0 ou inferior, demandando energia externa para a combustão (PARIGOT, 2014).

É possível estabelecer que quanto maior o teor de umidade, menor o poder calorífico líquido comprovando que existe uma relação linear e inversamente proporcional entre o teor de umidade e o poder calorífico líquido como mostra na figura 3 onde Brand (2007) verificou essa relação entre o poder calorífico e o teor de umidade para resíduos de *Pinus sp* e *Eucalyptus sp*.

FIGURA 3 – RELAÇÃO ENTRE O PODER CALORÍFICO E TEOR DE UMIDADE



FONTE: Brand, (2007)

3.5 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE (U%)

Há diversos métodos para a determinação do teor de umidade, entretanto, na prática os métodos mais utilizados para determinação de umidade na madeira são o método de secagem em estufa e métodos com aparelhos elétricos.

Os aparelhos elétricos para estimar o teor de umidade da madeira podem ser sensores de umidade capacitivos que baseiam-se na capacitância elétrica que trabalha em conjunto com um capacitor o qual é definido como um dispositivo de circuito elétrico que tem como função armazenar cargas elétricas e conseqüentemente energia eletrostática, ou elétrica. O capacitor é composto por placas paralelas, e entre essas placas existe um material que é chamado de dielétrico responsável pela oposição à passagem da corrente elétrica (MORESCHI, 2005).

Em geral, pode-se usar como dielétrico a madeira. Se uma carga é transferida de uma placa para outra, uma diferença de potencial será criada. Aqui vale ressaltar que um capacitor não precisa necessariamente ser feito de duas placas paralelas, qualquer par de condutores, independentemente de seus formatos e da distância entre si, apresenta capacitância uma propriedade que os capacitores têm de armazenar carga elétrica na forma de campo eletrostático e depende da área geométrica do capacitor, que também é influenciada pelo dielétrico presente entre as placas do capacitor (OLIVEIRA 2016).

3.5.1 Medidor de Umidade para Biomassa e Granulados (MUG)

MUG - M75, produzido no Brasil pela MARRARI AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL LTDA. efetua a leitura de umidade de forma instantânea, sendo muito utilizado por compradores de biomassa para certificar-se que a umidade do material está de acordo com o que foi combinado com o fornecedor.

O MUG – M75 é um sensor de umidade que analisa a rigidez dielétrica do material que se encontra no seu interior realizando leitura instantânea e armazenamento dos dados coletados ou obtidos. O campo elétrico emitido pelo sensor sofre uma perturbação causada pelo conteúdo de água presente no material que se encontra no interior do balde, que através de transdutor converte esta perturbação em um sinal digital, que é expresso em número de *bits* (GOLTZ, 2014).

Para a sua calibração, o MUG - M75 exige, para cada material em que será aplicado, a criação de um conjunto de dados relacionando interferência dielétrica e umidade, a fim de criar uma curva de calibração (PROSDOCINI, 2013). Fisicamente o MUG - M75 (Figura 4) trata-se de um sensor capacitivo em um formato cilíndrico com 0,415m de altura por 0,1m de diâmetro, envolto por um “balde” com 0,415m de altura e 0,34m de diâmetro, totalizando um volume útil de aproximadamente 35L e seu peso é de 5,2 kg.

FIGURA 4 – MEDIDOR DE UMIDADE PARA BIOMASSA E GRANULADOS (MUG) MODELO M-75



Fonte: Marrari, (2019)

Este tipo de medidor pode ter problemas na determinação do teor de umidade por fatores como erros na operação do equipamento ou falta de padronização para o enchimento do MUG M75, uma vez que em casos de compactação excessiva do material, pode haver aumento da massa específica e conseqüente leitura de valores erroneamente maiores que a resistência dielétrica real que fornece a variável número de *bits*, usada para estimar a umidade da amostra (PROSDOCINI, 2013).

Materiais com grande conteúdo de contaminantes ou com grande variação de granulometria pode ser outro fator que pode gerar amostras com baixo coeficiente de correlação. Os contaminantes normalmente encontrados em biomassa são terra, pedras e areia. Goltz (2014), afirma que a coleta de dados em materiais com contaminantes ou grandes variação de granulometria poderiam causar o mesmo problema relatado para o erro de operação: a variação de densidade frente à onda eletromagnética que gera o aparelho resultaria na leitura errada da resistência dielétrica, dado este que fornece a variável número de *bits*.

3.6 PODER CALORÍFICO

O poder calorífico de um material é expresso pelo conteúdo de energia térmica que é liberada durante a combustão completa de uma unidade de massa ou de volume, geralmente expresso em Kcal/Kg. O poder calorífico pode ser considerado um parâmetro relevante para caracterização da biomassa, tornando o seu uso de forma mais eficiente e racional (PROTÁSIO et al., 2011).

O poder calorífico pode ser classificado como: poder calorífico superior (PCS), poder calorífico inferior (PCI) e poder calorífico líquido (PCL). O PCS pode ser definido como a quantidade de calor liberada durante a combustão com a água na forma condensada. PCI é definido como a quantidade de calor liberada durante a combustão do combustível, com a água sob a condição de vapor. A definição de PCL é dada como a quantidade de energia útil gerada na combustão do material, sendo determinado a partir do PCS e influenciado pelo teor de cinzas e pela umidade do material no momento da queima (FURTADO et al., 2012).

Através da determinação do PCS é possível se obter o PCI, quando não se considera o calor latente da condensação da água de ligação presente nos produtos de combustão, tem-se o PCI. Pode-se dizer que a diferença entre o PCS e o PCI é a energia gasta para evaporar a água formada durante a combustão a partir da oxidação do hidrogênio do combustível (KLAUTAU, 2008). Para Campos (2009), a diferença entre o poder calorífico superior e o inferior é a energia necessária para evaporar a umidade presente no combustível e a água formada a partir da oxidação do hidrogênio do combustível.

Segundo Trugilho (2015), a madeira apresenta poder calorífico variável, dependendo da espécie florestal, sendo a composição química responsável por essa variação, estando diretamente relacionada aos teores de lignina, cinzas e extrativos. O poder calorífico da madeira pode variar em torno de 3.000 kcal/kg até 5.400 kcal/kg, sendo que espécies como as coníferas que apresentam maiores teores de resina, podem apresentar os maiores valores, haja vista que o poder calorífico de resinas podem chegar à valores de 9.600 Kcal/Kg (BRITO E BARRICHELO, 1979). Quirino et al., (2004), estudando 146 espécies de árvores obteve o valor de 4.685 kcal/kg de poder calorífico em média, com coeficiente de variação de 3,9%.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 DESCRIÇÃO DO MATERIAL COLETADO

O material utilizado neste estudo foi coletado no pátio de recebimento e estoque de biomassa da empresa no momento de descarga do caminhão. Foram analisados os cavacos produzidos pela própria empresa (Fornecedor 1), além do material adquirido de duas serrarias da região (Fornecedor 2 e 5), e também o material entregue por dois produtores de biomassa (Fornecedor 3 e 4). Em todos os materiais analisados havia presença de casca. Mais detalhes sobre os materiais estão apresentados na tabela 1.

TABELA 1 - DESCRIÇÃO DOS CAVACOS COLETADOS

Fornecedor	Espécie	Material de origem
1	<i>Eucalyptus</i> sp.	Fuste
2	<i>Eucalyptus</i> sp.	Resíduos de serraria
3	<i>Eucalyptus</i> sp.	Fuste
4	<i>Eucalyptus</i> sp.	Árvore inteira
5	<i>Pinus</i> sp.	Resíduos de serraria

O cavaco do fornecedor 1 e 3 são obtidos a partir do processamento de fustes, gerando um material com partículas homogêneas e dimensões padrão. O material do fornecedor 2 é de origem de resíduos de serraria englobando os resíduos maiores como aparas e refilos.

Dentre os materiais coletados o cavaco entregue pelo fornecedor 5 é o mais distinto dos demais, não somente por ser de gênero diferente, mas também por características do material de origem, que por ser um material oriundo de resíduos de uma indústria madeireira presente na região, as partículas desse material apresentam grande variação granulométrica, é importante citar que o material já chega no pátio da empresa processado, indo direto para o pátio de armazenamento, assim como o material do fornecedor 2. O material do fornecedor 4 é obtido através do processamento de árvores inteiras, com a presença de galhos grossos e galhos finos.

✓ *Período de Coleta*

O material foi coletado e analisado durante o mês outubro, em período de outono/inverno. As variáveis climáticas do mês de outubro foram de 65,7% de umidade relativa do ar média, variando de 21,5 % na sua mínima e máxima de 92,5%. A temperatura mínima foi de 22,1 e a máxima de 25,5°C. A temperatura média mensal foi de 22,08 °C. (GRUPO DE ESTUDO EM BIOMETEOROLOGIA, 2019).

As variáveis climáticas são essenciais para a curva de secagem, pois é através da umidade de equilíbrio, a qual é determinada pelo ambiente em suas condições atmosféricas que irão determinar a velocidade da secagem do material. A precipitação neste caso foi desconsiderada, pois o material não era exposto as chuvas.

✓ *Coleta das Amostras*

Foram realizadas duas coletas, a primeira coleta foi realizada com o objetivo de determinar o teor de umidade em que material chega no pátio da empresa, sendo realizada no momento de descarga do material, para isso foi selecionada de forma aleatória uma carga de cavaco para cada fornecedor. Após a descarga do material e formação da pilha de cavaco retirava-se quatro amostras distribuídas pela pilha de cavacos, cada amostra pesava aproximadamente 200 g e foram embaladas em sacos plásticos, lacrados e devidamente identificados, além da determinação do teor de umidade, essa amostragem teve como objetivo fornecer material para caracterização da biomassa utilizada.

A segunda fase de coleta das amostras foi da mesma carga usada na primeira etapa, mas com finalidade diferente. Retirou-se da pilha de cavacos 4 amostras distribuídas pela pilha, cada amostra pesava aproximadamente 30 kg que foram colocadas em sacos e identificados, totalizando 120 kg de material por fornecedor. O material coletado nesta etapa foi utilizado para geração das curvas de calibração utilizadas para o ajuste do balde de medições (MUG M-75).

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO CAVACO

4.2.1 Teor de Umidade

O teor de umidade se obteve através da metodologia descrita pela NBR 14929:2017 – Madeira: Determinação do teor de umidade de cavacos-Método por secagem em estufa. O preparo das amostras seguiu a NBR 14660:2004 – Madeira: Amostragem e preparação para análise. Foram feitas 2 repetições em duplicata para cada fornecedor.

Após a coleta das amostras, as mesmas foram levadas para o Laboratório de Silvicultura da UTFPR campus Dois Vizinhos. As amostras foram transferidas para sacos de papel e levados para a estufa com ventilação forçada para determinação do teor de umidade, permanecendo na estufa de ventilação forçada à temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ até obtenção de massa constante. O cálculo dos valores para o teor de umidade se obteve através da Equação 1.

$$TU = [((M1 - M2))/M1] * 100 \quad [\%] \quad (1)$$

Onde: M1 = massa úmida da amostra (g);
M2 = massa seca em estufa a $(105 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ (g).

4.2.2 Densidade Aparente

A densidade aparente ou densidade a granel torna-se mais interessante quando se trabalha com cavacos e do ponto de vista prático, é maior o interesse na sua determinação, devido ao fato desta ser realizada com determinação de massa e volume a um mesmo teor de umidade.

A densidade a granel pode ser obtida a partir da relação entre o peso do material e o volume do recipiente, dada em kg.m^3 , conforme a NBR 14984:2003 – Madeira: Determinação da densidade aparente de cavacos. Foram feitas 3 repetições para cada fornecedor.

4.2.3 Poder Calorífico

A determinação do PCS foi realizada no Laboratório de Energia de Biomassa Florestal e Bioenergia da Universidade Federal do Paraná (UFPR) de Curitiba, com utilização de uma bomba calorimétrica adiabática, seguindo a NBR 8633:1984 (Carvão vegetal – Determinação do poder calorífico – Método de ensaio). Com os valores de PCS é possível obter o PCI através da Equação 2.

$$PCI = PCS - Q_w \text{ [Kcal/Kg]} \quad (2)$$

Onde: PCI = Poder calorífico inferior;
 PCS = Poder calorífico superior;
 QW = Calor de condensação do vapor d'água (6%).

$$PCL = PCI [(100 - W)/100] - (6 \cdot W) \text{ [Kcal/Kg]} \quad (3)$$

Onde: PCL = Poder calorífico líquido
 PCI = Poder calorífico inferior;
 W = % de umidade no combustível na base úmida.

4.2.4 Análise Química Imediata

A análise química imediata foi realizada no Laboratório de Tecnologia de Produtos Florestais da UTFPR Campus Dois Vizinhos. A metodologia utilizada foi a proposta pela ASTM. D1762: *Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal*. Para ambas a análise o material foi triturado e peneirado, seguindo para a estufa para serem secados completamente.

A determinação dos materiais voláteis se deu através do forno mufla, aquecido a 950°C. O material utilizado para a determinação dos extrativos foi o que passou pela peneira de 40 *mesh* e permaneceu retido na de 60 *mesh*, foram utilizados aproximadamente 1,0g desse material. As amostras foram colocadas em cadinhos tampados e levados inicialmente até a porta da mufla por 2 minutos para aclimatização, em seguida, para a borda da mufla, mas com a porta ainda aberta, por 3 minutos, e finalmente colocadas no fundo da mufla, com a porta fechada, por 6 minutos Análise realizada em duplicata.

Após retirar as amostras da mufla os cadinhos foram passados para o dessecador e permanecer por cerca de 60 minutos para resfriamento, somente aí forma pesados. A quantidade de material volátil presente em cada amostra foi obtido pela Equação 4.

$$MV = [(M1 - M2)/M1] * 100 \quad [\%] \quad (4)$$

Onde: MV = Material volátil;

M1 = Massa do cadinho + massa amostra antes de ir à mufla (g);

M2 = Massa do cadinho + massa da amostra depois de retirado da mufla (g).

Para se obter o teor de cinzas o forno mufla, foi aquecido a 750°C. As amostras permaneceram em cadinhos tampados, os quais foram levados inicialmente até a porta da mufla por dois minutos para aclimatização. Em seguida, passados para a borda da mufla, mas com a porta ainda aberta, por três minutos, a seguir, colocadas no fundo da mufla, com a porta fechada por 6 horas. Análise realizada em duplicata.

Após retirar as amostras da mufla os cadinhos seguiram para o dessecador e permanecer por cerca de 60 minutos para resfriamento e depois pesados. O teor de cinzas foi obtido pela Equação 5.

$$Cinzas = (M3/M1) * 100 \quad [\%] \quad (5)$$

Onde: M1 = Massa do cadinho + massa amostra antes de ir à mufla (g);

M3 = Massa do cadinho + massa de cinzas (g)

O percentual de carbono fixo dos materiais amostrados foi obtido através do teor de materiais voláteis e o teor de cinzas, como mostra a Equação 6.

$$CF = 100 - (MV + M3) \quad [\%] \quad (6)$$

Onde: CF = Carbono fixo;

MV = Material volátil (%);

Cinzas = Cinzas (%).

4.3 CRIAÇÃO DA CURVA DE CALIBRAÇÃO

Para a obtenção da curva de calibração o material coletado dos cinco fornecedores foi despejado sobre lonas plásticas de forma separados e devidamente identificados que eram levados ao sol todas as manhãs e recolhidos no fim da tarde, totalizando aproximadamente 8 horas de exposição ao sol, durante 20 dias.

A cada final de dia, durante a primeira semana de exposição do material ao sol, foi realizado coletas diárias, cada coleta realizava-se duas leituras do número de *bits* seguindo as orientações propostas no manual de operação do equipamento. Era retirado, dentre os 35 litros que comporta o M-75, duas amostras de aproximadamente 200 g em dois pontos do balde (parte superior e parte inferior). Portanto, para cada coleta tinha-se 4 amostras que eram levadas ao laboratório para determinação do teor de umidade através da NBR 14929:2003. À medida que o teor de umidade diminuía foi se aumentando o intervalo entre as coletas, ao total foram realizadas 10 coletas por fornecedor. Após cada coleta o material era coberto com lonas plásticas e no dia seguinte pela manhã voltava a ser exposto. Todos os materiais eram homogeneizados para garantir uma melhor troca de calor e massa com o ambiente.

Passado o período de coleta, as informações de número de *bits* e umidade obtidas no laboratório foram tabeladas, para que se pudesse criar a “receita”. Inicialmente, com base no teor de umidade das amostras obtidas no balde e determinadas em estufa, realizou-se uma análise de verificação da eficiência da equação linear utilizada para os diferentes materiais e fornecedores. Foi comparada a eficiência dos modelos no software Microsoft Excel 2016 para verificar sua correlação, somente após essa etapa os dados foram passados para o banco de dados e inseridos no *software* “Tracker”, desenvolvido e disponibilizado pela Marrari. O banco de dados gerado contém informações como: fornecedor, espécie, e tipo de biomassa.

Em seguida, foi ajustada uma curva de regressão inserindo o valor da constante dielétrica mensurado em uma amostra (*bits*), permitindo calcular o teor de umidade, devido à alta correlação existente entre as variáveis. A criação das receitas foi desenvolvida em uma das funções (gerador de receitas) do “Tracker”. A regressão inicial gerada no *Tracker* é do tipo polinomial, entretanto, a calibração do MUG - M75 para cada classe de material é feita através de regressão linear, que se fundamenta na equação reduzida da reta (Equação 7).

$$U\% = \beta_0 + \beta_1 \cdot b \quad (7)$$

Onde:

$U\%$ = Umidade na base úmida;

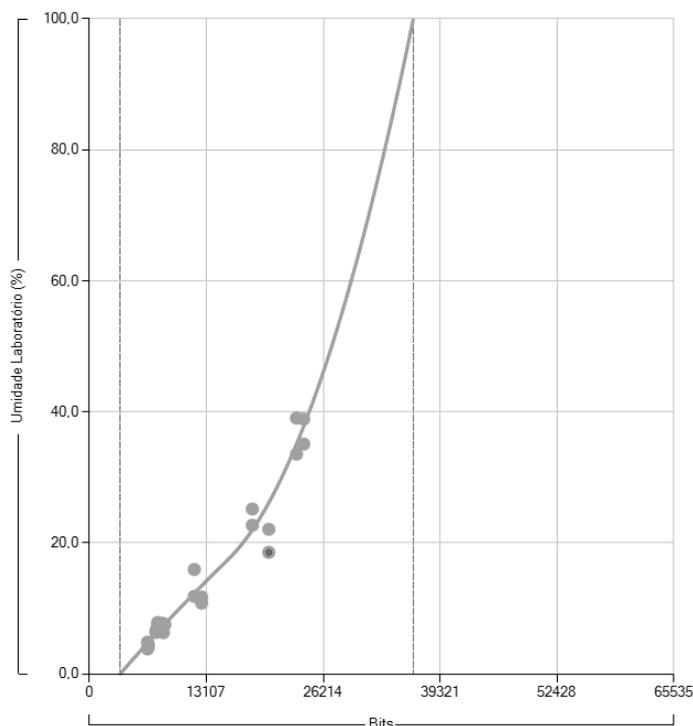
b = Número de *bits*;

β_0 = Intercepto (nível);

β_1 = Coeficiente angular (tendência).

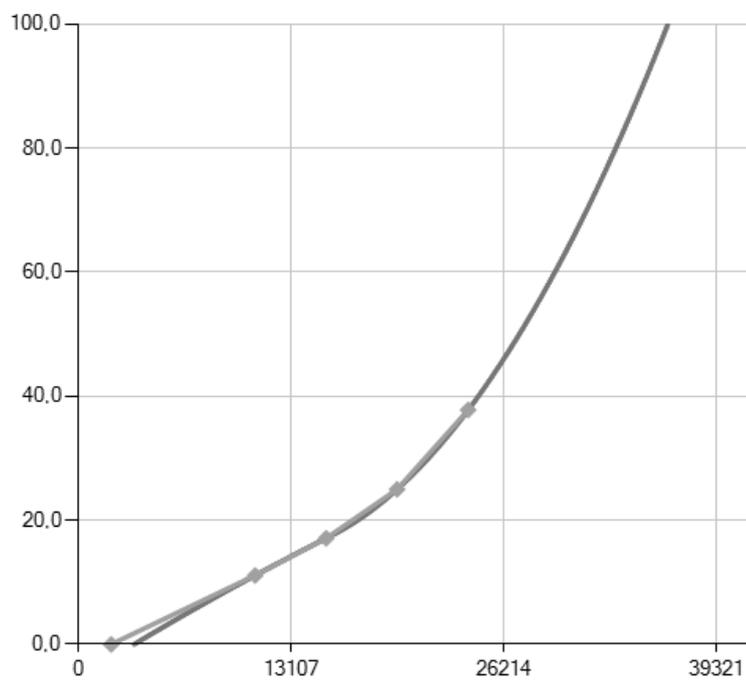
A utilização do Tracker nos permite a criação de uma nova receita com precisão representativa ao material. Através do banco de dados é possível se obter uma curva de calibração ajuda para cada material. Estes pontos da reta obtidos através da regressão linear, que correlacionam número de bits x Umidade, são transferidos para o controle lógico programável (CLP) do aparelho e assim está criada a receita (OLIVEIRA, 2016). Nas figuras 6 e 7 é possível visualizar as etapas da criação de uma receita.

FIGURA 5 – DISPERSÃO ENTRE OS NÚMEROS DE BITS, COMPARADOS A UMIDADE DE LABORATÓRIO E EQUAÇÃO POLINOMIAL



Fonte: o autor, (2019)

FIGURA 6 – PONTOS SELECIONADOS PARA UMA RECEITA (PONTOS VERDES)
A PARTIR DA EQUAÇÃO POLINOMIAL (LINHA AZUL)



Fonte: o autor, (2019)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS CAVACOS

Os materiais estudado de cada fornecedor apresentou características distintas, mesmo aqueles pertencentes ao mesmo gênero, apresentam suas particularidades e se diferem em características como material de origem, densidade, e teor de umidade inicial, comprovando que as propriedades de um material está diretamente ligada a sua origem, por isso há tanta heterogeneidade quando se fala em biomassa.

Na tabela 2 encontram-se os valores médios para o teor de umidade na base úmida U% (Ubu) obtido pelo método gravimétrico. Valores médios obtidos para a densidade aparente – Dens. Aparente (Kg.m³), determinada a 15% de umidade. Poder calorífico superior – PCS (Kcal/Kg), Poder calorífico inferior – PCI (Kcal/Kg), e Poder calorífico Líquido – PCL (Kcal/Kg). Os valores médios para os teores de Materiais Voláteis (MV), Carbono Fixo (CF) e Cinzas (C) para os cavacos dos diferentes fornecedores analisados.

TABELA 2 – MÉDIAS DA DENSIDADE APARENTE A 15% Ubu. PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS) E DADOS DA ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA

For.	Gênero	U% (Ubu)	Dens. (kg/m ³)	PCS (Kcal/kg)	PCI (Kcal/Kg)	PCL (Kcal/Kg)	Análise Química Imediata		
							Voláteis (%)	Cinzas (%)	Carbono Fixo (%)
1	<i>Eucalyptus</i>	36,67 ^{ns}	188,24 (b)	4.348 ^{ns}	4.025	2.329,01	84,57 (a)	0,50 (a)	14,92 (d)
2	<i>Eucalyptus</i>	39,93 ^{ns}	173,39 (d)	4.362 ^{ns}	4.136	2.244,91	82,85 (b)	0,27 (a)	16,88 (c)
3	<i>Eucalyptus</i>	37,69 ^{ns}	207,67 (a)	4.376 ^{ns}	4.087	2.320,94	82,50 (b)	0,79 (b)	16,70 (c)
4	<i>Eucalyptus</i>	42,38 ^{ns}	178,22 (dc)	4.315 ^{ns}	4.035	2.073,47	80,74 (c)	0,41 (a)	19,16 (a)
5	<i>Pinus</i>	42,64 ^{ns}	182,98 (bc)	4.521 ^{ns}	4.260	2.187,70	82,13 (b)	0,52 (a)	17,35 (b)

*ns: não ocorreram diferenças significativas na análise de variância a 5% de probabilidade de erro.

** Médias seguidas de mesma letra não demonstram diferença estatística, comprovada por Teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

✓ Teor de Umidade

Observa-se na tabela 2 que o teor de umidade dos cavacos estudados não houve diferenças estatística entre os materiais analisados, mas essa variação de umidade em termos práticos da utilização da biomassa impacta diretamente no poder calorífico líquido do material, podendo também gerar variação na geração de calor.

Os valores obtidos estão dentro do intervalo que normalmente é comercializado na região de 35,0 a 45% de umidade na base úmida. Buscando a otimização do uso da biomassa para geração de energia através da biomassa florestal de forma eficiente e com o melhor custo benefício o material deve apresentar teores de umidade iguais ou inferiores a 30% (GARSTANG et al, 2002).

Associado a perda de poder calorífico útil, elevados teores de umidade dos cavacos também geram aumento nos custos de transporte e consumo total de biomassa além de dificultar a queima (GOLTZ, 2014). É importante ressaltar que esses teores foram coletados no momento da chegada do material no pátio de estoque de biomassa e que esses valores podem variar com o tempo de estocagem.

De acordo com Brand (2007), há uma variação significativa da umidade com relação ao período de estocagem, podendo haver ganhos de poder calorífico, mas isso depende da forma de estocagem dos cavacos, se o material estiver exposto a longos períodos de chuva, haverá redução do poder calorífico.

O que determina ganho ou perda do teor de umidade da madeira é a variação de Umidade de Equilíbrio (UE) que é determinada pelo ambiente em suas condições atmosféricas, dessa forma os cavacos tendem a seguir o valor de EU no presente momento, pois é a relação física de troca de água entre o material higroscópico e o ambiente (MENDES et al. 2016).

Schroeder (2017), ao estudar diferentes condições de armazenamentos para cavacos de *Pinus* sp. No município de Dois Vizinhos, mostrou que em condições semelhantes de armazenamento desse estudo (solo coberto e sem cobertura acima da pilha de cavaco), é possível em duas semanas na ausência de chuvas o mesmo material com umidade inicial de 54,46% passe para 21,20% uma queda de 61,0% em relação ao teor de umidade inicial reduzindo a perda de valor energético forma significativa e aumentando a eficiência do uso da biomassa.

✓ *Densidade Aparente*

A média geral para a densidade aparente dos cavacos avaliados ficou em 185,09 kg.m³, valor semelhante encontrado por Borghi (2012), com uma média geral de 190,00 kg.m³ analisando cavacos e vários resíduos de uma serraria. Os valores de densidade aparente encontrados neste estudo estão relacionados com o teor de umidade utilizado para sua determinação (15% Ubu), e características intrínsecas do material.

Dentro os materiais analisados o cavaco 3 foi que teve maior densidade (207,67 Kg.m³) isso pode ser explicado pela sua granulometria, era o material com menor granulometria e melhor homogeneidade, essas características refletem diretamente na relação massa/volume, valores semelhantes aos relatados por Pereira (2014), que verificou uma densidade a granel média de 212,25 kg/m³ para cavacos de eucalipto.

A densidade aparente é um parâmetro importante a ser avaliado em caracterização de biomassa, pois considera os espaços vazios entre os cavacos e fornece dados reais da massa contida em um determinado volume. Portanto, a densidade a granel dos cavacos interfere no espaço ocupado, seja no armazenamento, transporte ou na câmara de combustão. É desejável que a densidade a granel dos cavacos seja elevada porque assim, maior a massa que pode ser transportada ou armazenada num recipiente de volume fixo, minimizando assim custos de transporte e armazenamento (QUINTILHAN, *et al.* 2015).

✓ Poder Calorífico Superior

As médias de PCS não tiveram diferença significativa entre os fornecedores, a média geral ficou em 4.384,40 Kcal/Kg. Resultados semelhantes foram obtidos por Brun, *et al.* (2018), ao caracterizar as propriedades energéticas de diferentes materiais genéticos de *Eucalyptus sp* aos 4,5 anos oriundos da Estação Experimental de Teste de Uso Múltiplo de Eucalipto (TUME) localizado fazenda experimental da UTFPR Campus Dois Vizinhos obteve um PCS de 4.464,00 Kcal/Kg. Santos *et al.*(2011), que estudaram quatro clones *Eucalyptus sp*, aos 7 anos, e obtiveram valores que variaram de 4.274 a 4.585 Kcal/Kg.

Valores maiores de PCS foram obtidos Quintilhan, *et al.*(2015), ao levantar características energéticas dos cavacos obtidos de um clone híbrido de *E. camaldulensis* x *E. grandis* aos 7 anos de idade, teve como resultado um PCS de 4.705,50Kcal/Kg. Portanto, o poder calorífico superior apresenta pequena variação dentro de um mesmo gênero, o que pôde ser observado ao comparar-se o presente trabalho com os trabalhos realizados por Brun. (2018), Quintilhan, *et al.*(2015), e Santos *et al.* (2011). Em específico ao material do fornecedor 5 que é de *Pinus sp*, Souza (2010), ao caracterizar resíduos da colheita e do processamento de *Pinus taeda* obteve 4.578 Kcal/Kg valor semelhante obtido no presente trabalho.

✓ Poder Calorífico Líquido

O poder calorífico líquido é a quantidade efetiva de energia liberada, por unidade de massa, observa-se na tabela 2 que existe uma relação direta com o teor de umidade. O poder calorífico líquido foi determinado com teor de umidade em que o material chegou no pátio de estoque da empresa, e esse teores de umidade pode variar de acordo com as condições de estocagem e variáveis climáticas durante o período de estocagem. A média geral do PCL ficou em 2.231,21 Kcal/kg.

Relacionando a informação do PCL com a densidade aparente do material podemos obter a densidade energética (Kcal/m³) do cavaco utilizado. Como no pátio na empresa todos os materiais são homogeneizados e não se sabe o teor de umidade do material no momento na entrada no sistema da caldeira a densidade foi calculada com os valores médios da densidade aparente e do PCU, neste caso, cada um metro cúbico de cavacos irá liberar 415.227,44 Kcal.

✓ Análise Química Imediata

Para o teor de material volátil a média geral foi 82,50%, e ficou separado em 3 grupos estatisticamente diferentes. O material do fornecedor 1 apresentou o maior teor de voláteis em relação demais materiais estudados e superior aos valores citados na literatura para a madeira de eucalipto

Em estudo realizado por Nones (2014), onde analisou a madeira de *Eucalyptus benthamii* aos 13 anos em relação as suas propriedades energéticas encontrou uma média de 82,74% para voláteis, valores semelhante foi obtidos nesse estudo para o segundo grupo de cavaco. Nesse segundo grupo encontra-se o material do fornecedor 5, um resíduo de processamento da madeira de *Pinus sp.*, material bem distinto em termos de características mas que em relação a análise química imediata não houve diferença. O valor obtido para voláteis para o material 5, foram superiores ao encontrado por Britto (1984), ao caracterizar energeticamente *Pinus sp.*, onde foi obtido 74,8% para materiais voláteis. Mbanze, *et al* (2018), ao caracterizar o potencial energético do *Pinus elliottii* no Sul do Brasil encontrou valores semelhantes no teor de voláteis com uma média de 74,57%.

Souza (2010) ao estudar o potencial energético de resíduos da colheita e do processamento de *Pinus taeda*, encontrou para costaneiras de pinus 82,57% de voláteis, outro material analisado pelo mesmo autor foi refilo de pinus obtendo 84,90% para voláteis. Essa comparação entre materiais do mesmo gênero, mas de procedências diferentes, mostra que a origem do material afeta diretamente as propriedades do material. Em relação ao material do fornecedor 4 que ficou em um terceiro grupo, com o menor teor voláteis (80,74%) valores próximos aos obtido nesse estudo foram encontrados por Nones (2014), analisando cavacos de *E. benthamii* com 5 anos de idade obteve 81,47% MV.

Para o carbono fixo a média geral foi de 17%, e ficou separado em 4 grupos estatisticamente diferentes. O carbono fixo trata-se do material que realmente se queima em estado sólido, sob a forma de brasa incandescente, que é o último estágio da combustão, quando a energia é liberada lentamente, nos cavacos de madeira, o teor de carbono fixo é baixo, outra característica importante é que o CF é inversamente proporcional ao teor de materiais voláteis (Quintilhan, *et al.* 2015). Essa relação pode ser observada na tabela 4.

O material entregue pelo fornecedor 4 teve o maior valor de CF (19,16%) como esperado, e valores semelhantes foram obtidos pelo trabalho de Nones (2014) citado anteriormente, onde autor encontrou 18,28% de CF. O material do fornecedor 5 foi o segundo material com o maior teor de CF com 17,35%. Souza (2010) ao estudar resíduos de *P. taeda*, teve como resultado 17,01% para carbono fixo.

Em relação ao material de eucalipto do fornecedor 1 que teve o menor valor para carbono fixo (14,92%), Brun et al. (2018), ao realizar a análise química imediata em diferentes materiais genéticos teve como resultado para um híbrido de *Eucalyptus pellita* x *Eucalyptus tereticornis* 15,6% para CF valor muito próximo ao obtido neste estudo, os autores também analisaram um clone denominado GFMO-27 e encontraram 16,23% para carbono fixo, valor semelhante ao material do fornecedor 2 e 3 analisados neste estudo.

Para o teor de cinzas a média geral foi de 0,59%, separados em 2 grupos estatisticamente diferentes, mas todos estão dentro dos limites acetáveis, o que pode ser ressaltado como uma característica positiva para a utilização destes em caldeiras. De acordo com Tsoumis (1991) para materiais do gênero *Eucalyptus*, o teor de cinzas raramente é menor que 0,2% ou maior que 1% do peso seco.

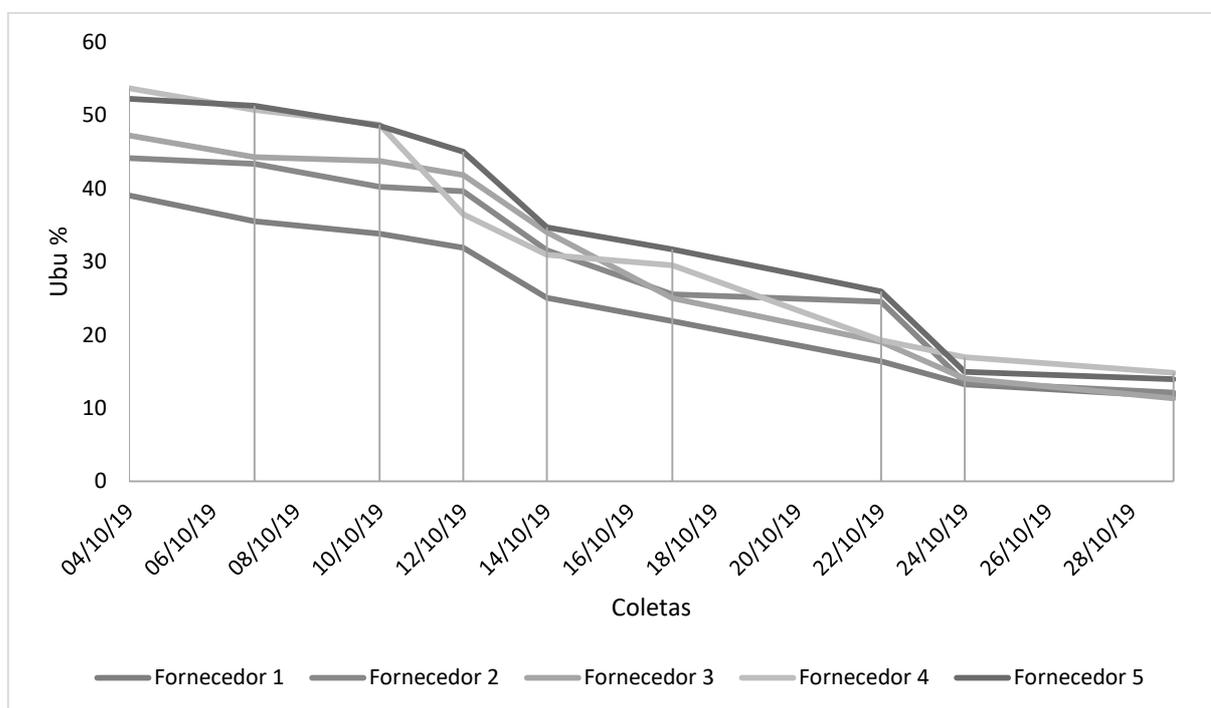
Soares (2016), ao caracterizar cavacos de eucalipto teve como resultado para o teor de cinza 0,77% para o cavaco com casca e 0,49% para cavacos obtidos a partir de resíduos de serraria. Brun, *et al.* (2018) ao caracterizar as propriedades energéticas de três materiais genéticos de *Eucalyptus* sp obteve valores variando entre 0,57 a 0,60%. O cavaco do fornecedor 3 foi que apresentou o maior teor de cinzas, se ocorreu pela maior presença de casca no material. As cascas são consideradas materiais combustíveis de segunda qualidade, pois possuem mais umidade, e elevado teor de cinzas, isso porque a planta acumula minerais na forma de cristais nas células de parênquima, ou na composição de constituintes da seiva orgânica (FOELKEL, 2005). Por outro lado o material entregue pelo fornecedor 2 apresentou o menor teor cinza, devido à baixa quantidade casca presente, por ser um material de resíduos de serraria.

5.2 CURVAS DE CALIBRAÇÃO DO MUG M-75

De modo geral o processo de criação da curva de secagem (figura 9) para obtenção do número de *bits* para um determinado teor de umidade teve um bom resultado, com uma alta correlação, porém é possível observar algumas variações de umidade dentro de uma mesma população da qual foram retiradas amostras.

A primeira variação ocorreu com o cavaco do fornecedor 2, na segunda coleta com uma diferença de 5,49% no teor de umidade, entre dois pontos de coleta retirados de um mesmo balde. Variação de mesma proporção ocorreu com fornecedor 1, na coleta 6, onde a variação da umidade de um ponto para outro foi de 5,69%. A maior variação foi no material do fornecedor 3, coleta 5, com uma variação entre dois ponto de 8,34% no teor de umidade. Na coleta 5, do fornecedor 5 houve outra disparidade onde segunda amostra apresentou 6% a mais de umidade em relação a primeira amostra. Para Oliveira (2016), essas variações entre pontos de mesma coleta demonstra que mesmo pelo método tradicional, há uma variação nos resultados da análise de umidade em um grupo amostral.

FIGURA 8 – CURVA DE SECAGEM PARA OBTENÇÃO DO NÚMERO DE BITS E TEOR DE UMIDADE DETERMINADA EM LABORATÓRIO



As curvas de calibração propriamente ditas ou as receitas como também são chamadas essas curvas, os seus parâmetros, isto é, os pontos da reta que melhor se ajustam aos elementos que constituem os pares analisados de cada fornecedor estão nas tabelas 3 e 4.

TABELA 3 – PARÂMETROS DAS RECEITAS PARA OS FORNECEDORES 1,2 E 3

Pontos	Receita 1		Receita 2		Receita 3	
	Bits	U (%)	Bits	U (%)	Bits	U (%)
1	2.000	0,0	2.000	0,0	2.000	0,0
2	10.864	11,1	11.763	11,5	11.978	10,0
3	15.224	17,1	16.300	18,0	16.846	13,0
4	19.623	25,0	20.835	27,4	21.714	19,8
5	24.007	37,8	25.375	41,7	26.582	38,0

TABELA 4 – PARÂMETROS DAS RECEITAS PARA OS FORNECEDORES 4 E 5, E RECEITA ADICIONAL (RECEITA 6)

Pontos	Receita 4		Receita 5		Receita 6	
	<i>Bits</i>	U (%)	<i>Bits</i>	U (%)	<i>Bits</i>	U (%)
1	2.000	0,0	2.000	0,0	2.000	0,0
2	11.656	10,3	11.656	12,7	11.956	10,8
3	16.186	21,1	16.186	22,1	17.428	20,5
4	20.717	34,0	20.717	32,6	22.899	32,8
5	25.248	43,2	25.248	42,7	28.370	45,3

A receita de número 6 foi gerada a partir do dados dos materiais dos fornecedores 1, 2 e 4. Mesmo sendo gerada a partir de um “mix” de materiais apresentou elevado coeficiente de determinação (Tabela 10), pode-se atribuir está boa correlação ao fato dos cavacos dos fornecedores utilizados apresentarem mesma granulometria, pertencem ao mesmo gênero e presença de casca.

Entre as receitas, existem pequenas diferenças no teor de umidade para um mesmo número de bits, o que é resultado das características próprias de cada material, essa diferença também distingue cada curva de regressão e a diferença em cada material ocorre em função da densidade e granulometria do material, e outras características de cada amostra como a presença ou ausência de casca e impurezas (OLIVEIRA, 2016). Como resultado da análise dos dados, foi possível a criação de equações relacionando os valores coletados de teor de umidade e o número de bits, bem como seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), apresentados na tabela 5.

TABELA 5 – EQUAÇÕES USADA EM CADA RECEITA E SEUS RESPECTIVOS COEFICIENTES DE DETERMINAÇÃO (R²).

Receitas	Coeficientes		R ²
	β_0	β_1	
1	0,0018	- 7,5344	0,9613
2	0,0019	- 8,9773	0,9662
3	0,0015	- 7,4006	0,9212
4	0,0018	- 9,7966	0,9317
5	0,0021	- 10,217	0,9090
6	0,0019	- 9,5018	0,9478

Os elevados coeficiente de determinação (R²), permitem o cálculo do teor de umidade da madeira a partir da sua propriedade dielétrica com alto grau de confiabilidade. Em estudo realizado por Oliveira (2016), com medição do teor de umidade de cavacos de madeira através do método dielétrico para oito fornecedores com materiais diferentes obteve valores, todos acima de 0,9 para o coeficiente de determinação.

6 CONCLUSÃO

a) Com relação à caracterização da biomassa:

- Todos os materiais analisados apresentaram propriedades físicas, químicas e energéticas dentro dos padrões médios permitindo a sua utilização para fins energéticos de maneira eficiente e sustentável;
- O teor de umidade está dentro dos padrões de comercialização da região, mas fora do teor recomendado para utilização com maior eficiência;
- O teor de cinzas, um dos componentes mais importante da biomassa para uso energéticos, apresentou valores dentro do recomendado;
- O poder calorífico superior foi estatisticamente igual para todos os cavacos analisados.

b) Com relação as curvas de calibração:

- As curvas de calibração geradas são adequadas em razão do elevado coeficiente de determinação, onde todas as receitas apresentaram valores acima de 0,9 (R^2), permitindo boa estimativa da umidade calculados a partir do método gravimétrico;
- O M75 mostrou-se eficiente, mesmo para cavacos com umidade acima do ponto de saturação das fibras, mostrando ser possível a determinação da umidade de forma instantânea;
- Cada material possui sua curva de regressão própria e são diferenciados pela densidade e granulometria do material, além de características de cada amostra como a presença ou ausência de casca. Portanto, as receitas aqui apresentadas são válidas apenas para os gêneros trabalhados, ou materiais que apresentem características físicas semelhantes dos cavacos descritos neste estudo.

7 RECOMENDAÇÕES

- Determinar procedimentos e padroniza-los para o recebimento e determinação do teor de umidade e porcentagem de finos, além de implementar a determinação da densidade aparente para melhor caracterizar o material utilizado, além de permitir a determinação da densidade energética;
- Determinar o teor de umidade dos cavacos no momento de chegada do material no pátio de recebimento e também do material que está entrando no sistema de alimentação da caldeira, pois desta forma, será possível determinar com maior precisão o PCU do material e conseqüentemente a quantidade de energia gerada;
- Realizar a classificação granulométrica dos cavacos, com objetivo de determinar o melhor tamanho de partícula para que a caldeira possa funcionar na sua máxima eficiência. Garantir uma granulometria homogênea das partículas facilita o fluxo dos cavacos e também torna possível prever a energia liberada dos cavacos na câmara de combustão;
- Fazer o monitoramento constante dos teores de finos, visando manter o material dentro do padrão apresentado neste trabalho;
- Para garantir um bom desempenho do MUG M75 recomenda-se classificar o material a ser analisado de acordo com os parâmetros seguidos neste trabalho;
- Manter a receitas atualizadas, de acordo com a necessidade, levando em consideração alteração em características relevantes como gênero e granulometria do material.

8 REFERÊNCIAS

American Society for Testing and Materials – ASTM. **D1762: Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal**. United States, 2011, 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14660:2004 – Madeira: Amostragem e preparação para análise**. Rio de Janeiro, 2004, 7p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14929: Madeira: Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa**. Rio de Janeiro, 2003, 17p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14984:2003 – Madeira: Determinação da densidade aparente**. Rio de Janeiro, 2003, 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8633 - Carvão vegetal - Determinação do poder calorífico**. Rio de Janeiro, 1984, 13p.

ANNEE **Biomassa**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas>>. Acesso em: 29 abr. 2019.

BORGHI, M.M. **Efeito da granulometria na avaliação dos briquetes**. 47f. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Industrial Madeireira). Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2012.

BRAND, M. A. **Qualidade da biomassa florestal para uso na geração de energia em função da estocagem**. 248f. 2007. Tese (Doutorado em Ciências florestais) Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2007. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle>> Acesso em: 02 mai. 2019.

BRASIL. Ministério Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia**. 2007. Brasília, 2007. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1139260/08>> Acesso em: 27 abr. 2019.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Perspectivas do setor de biomassa de madeira para a geração de energia**. 2011. Brasília, 2011. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream> Acesso em: 27 abr. 2019.

BRASIL. Ministério Minas e Energia. **Balanco energético nacional**. 2011. Brasília, 2011. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes> > Acesso em: 27 abr. 2019.

BRASIL. Ministério Minas e Energia. **Balanco energético nacional**. 2018. Brasília, 2018. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados>> Acesso em: 27 abr. 2019.

BRITO, J.O.; et al. **Avaliação das características dos resíduos de exploração florestal do eucalipto para fins energéticos**. Piracicaba: IPEF

Ago.1979. CT n. 62. Disponível em: <http://www.ipef.br>. Acesso em: 03 mai. 2019

BRUN, E.J, et al. **Caracterização energética da madeira de três materiais genéticos de *Eucalyptus* sp.** Floresta, Curitiba, PR, v. 48, n. 1, p. 87-92.

CARDOSO, B.M. **Uso da Biomassa como Alternativa Energética**. 112 f. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica). Escola Politécnica, da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias>. Acesso em: 03 mai. 2019.

CAMPOS, A. A. Estudo potencial energético de combustíveis derivados da biomassa: construção de um calorímetro isoperibólico. 17º CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, UNIMEP, Piracicaba, 2009, 6 p.

PROTÁSIO, T.D.P. et al. **Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal**. Pesquisa Florestal Brasileira, v. 31, n. 66, p. 113, 2011.

ELOY, E. **Produção e qualidade da biomassa de florestas energéticas no norte do rio grande do Sul, Brasil**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2015. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle>> Acesso em: 02 mai. 2019.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2 ed. 2006, 306 p.

FOELKEL, C. Minerais e nutrientes das árvores dos eucaliptos: Aspectos ambientais, fisiológicos, silviculturais e industriais acerca dos elementos inorgânicos presentes nas árvores. **Eucalyptus Newsletter**, v. 2, 2005.

FONTES, P.J.P. **Autossuficiência energética em serraria de pinus e aproveitamento dos resíduos**. 1994. Dissertação (Mestre em Ciência Florestal). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1994. Disponível em: < <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/28882>> Acesso em: 28 abr. 2019.

GARSTANG, J.; WEEKES, A.; POULTER, R.; BARTLETT, D. Identification and characterisation of factors affecting losses in the large-scale, non ventilated bulk storage of wood chips and development of best storage practices. Report. FES B/W2/00716/RESP.DTI/ Pub urn 02/1535, p.116, 2002.

GOLTZ, E.P. **Calibração de medidor portátil de umidade de cavacos e materiais granulados**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Industrial Madeireira). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014. Disponível em:< <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884> > Acesso em: 04 mai. 2019.

GONÇALVES, M.T.T. Processamento de usinagem à Comando Numérico Computadorizado (CNC) Torneamento e Fresamento, Itapeva-SP, 2010, 87p.

Grupo de Estudo em Biometeorologia (GBIOMET). **Dados climáticos de 2019**. Disponível em: <<http://www.gebiomet.com.br/downloads.php>>. Acesso em: Jun.2020.

Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR). **Classificação Climática**. Disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php>>. Acesso em: Jun.2020.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores – **Desempenho Industrial – Celulose e Papel**, Capítulo VI, disponível em: <https://iba.org/images/shared/Biblioteca>. Acesso em: 03 mai. 2019

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores – **Relatório IBÁ**, disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes> Acesso em: 03 mai. 2019

KLAUTAU, J.V.P. **Análise experimental de uma fornalha a lenha de fluxo co-corrente para secagem de grãos**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental). Departamento de Hidráulica e Saneamento da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2015. Disponível em: <<https://docs.ufpr.br/~bleninger/dissertacoes>> Acesso em: 02 mai. 2019.

Lippel, Cavacos de Madeira. **Lippel**. Agrolândia – SC. Disponível em: <<http://www.lippel.com.br/dados/download> >Acesso em: 03 mai. 2019.

MBANZE, A.A, et al. Potencial energético de combustíveis florestais em cultivos de *Pinus elliottii* NO SUL DO BRASIL. **Ciência Florestal** (01039954), v. 28, n. 4, 2018.

MENDES, A.C.P; JÚNIOR, W.P.S.; DIAS, P.B; LOPES, M.A. Determinação da umidade de equilíbrio higroscópico da madeira para a cidade de salinas –norte de minas gerais. Seminário de iniciação científica, 5, Anais. Montes Claros-MG, 2016.

MOREIRA, J.M.M.Á.P. Potencial e participação das florestas na matriz energética. **Pesquisa Florestal Brasileira**. Colombo – PR, v.13. n.68. p. 363- 372. Abr.- jun. 2011 Disponível em: <<https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb>> Acesso em: 02 mai. 2019.

MORESCHI, J. C. **Propriedades da Madeira**. Apostila didática FUPEF, 4ª ed., Curitiba: FUPEF, 2005.

NONES, D. L. et al. **Determinação das propriedades energéticas da madeira e do carvão vegetal produzido a partir de *Eucalyptus benthamii***. Floresta, v. 45, n. 1, p. 57-64, 2014.

OLIVO, T.E. **Determinação da umidade da soja por medida capacitiva**. 20 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Setor de Tecnologia Centro Politécnico, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

PARIGOT, P. **relação entre a umidade e o poder calorífico da biomassa utilizada na COCELPA**. 2014. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Industrial

Madeira). Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2014. Disponível em: < <https://acervodigital.ufpr.br>> Acesso em: 27 abr. 2019.

PEREIRA, M. P. C. F. Torrefação de cavacos de eucalipto para fins energéticos. 2014. 44p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

QUINTILHAN, Manolo Trindade, *et al.* **Caracterização de cavacos de um clone de eucalipto com potencial energético em Mato Grosso**. II Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira, Belo Horizonte, 2015.

QUIRINO, W.F.; VALE, A.T do; ANDRADE, A.P.A. de; ABREU, V.L.S.; AZEVEDO, AC. dos S. Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos. **Biomassa e Energia**, Viçosa, v.1, n.2, p. 173-182. 2004.

SANTIAGO, A. R.; ANDRADE, A. M. Carbonização de resíduos do processamento mecânico da madeira de eucalipto. *Ciência Florestal*, v.15, n.1, p.1-7. 2005.

SANTOS, L.C, *et al.* Propriedades da madeira e estimativas de massa, carbono e energia de clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes locais. **Revista Árvore**, v. 36, n. 5, p. 971-980, 2012.

SCHRODER, F. **Determinação do teor de umidade e densidade aparente do cavaco de *Pinus* spp. sob diferentes condições de armazenamentos**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Florestal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2017.

SCREMIN, A.L.T. **Estudo Energético e Físicoquímico do Carvão Vegetal de *Eucalyptus dunnii* Maiden**. 2012. Dissertação (Mestrado em Bioenergia). Universidade Estadual do Centro-Oeste. Guarapuava, 2012. Disponível em: <<https://www.unicentro.br/posgraduacao/mestrado/bioenergia/dissertacoes>> Acesso em: 02 mai. 2019.

SOARES, J.M. **Avaliação da qualidade de três diferentes tipos de cavacos de madeira do híbrido *Eucalyptus urophila x grandis***. 2016. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2016. Disponível em: < <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle>> Acesso em: 27 abr. 2019.

SOUZA, S. N. M. S; OLIVA, A; Potencial de energia primária de resíduos vegetais no Paraná: 4º ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4. Campinas, 2002. Disponível em <<http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php>> Acesso em: 29 abr. 2019.

SOUZA, M. M. de. **Caracterização e viabilidade econômica do uso energético de resíduos da colheita florestal e do processamento de *Pinus taeda* L.** Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Florestal) Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2010. Disponível em:< <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle> > Acesso em: mai. 2020.

OLIVEIRA, A.S. **Medição do teor de umidade de cavacos de madeira através do método dielétrico**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Industrial Madeireira). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2016. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handl> > Acesso em: mai. 2020.

OLIVEIRA, C. M; atlas brasileiro biomassa florestal e industrial e agroindustrial. 2015. **Associação brasileira das indústrias de biomassa e energia renovável instituto brasileiro biomassa pellets briquete brasil biomassa e energia renovável**. Disponível em: <https://www.biomassabioenergia.com.br/>. Acesso em: 29 abr. 2019.

TRUGILHO, P.F; **Energia da biomassa florestal**. Disponível em: <<http://malinovski.com.br/CongressoFlorestal/Palestras/Palestra-05.pdf>>. Acesso em 29 Abr. 2019.