

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

MATEUS ALVES DE MAGALHÃES

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE *PELLETS* DE CAPIM-ELEFANTE
(*Pennisetum purpureum* Schum)**

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
JANEIRO - 2014

MATEUS ALVES DE MAGALHÃES

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE *PELLETS* DE CAPIM-ELEFANTE
(*Pennisetum purpureum* Schum)**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do curso de graduação em Engenharia Florestal.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
JANEIRO - 2014

MATEUS ALVES DE MAGALHÃES

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE *PELLETS* DE CAPIM-ELEFANTE
(*Pennisetum purpureum* Schum)**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do curso de graduação em Engenharia Florestal.

APROVADA: 17 de Janeiro de 2014.

Prof. Benedito Rocha Vital

Doutoranda Bárbara Luísa Corradi Pereira

Prof. Angélica de Cassia Oliveira Carneiro
(Orientadora)

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, José e Maria pelo apoio durante esses anos que estive longe de casa. Agradeço aos meus irmãos, Donizete, Elenice, Elizete e Marcos pelo incentivo nos estudos e pelo reconhecimento que a Engenharia Florestal seria um bom caminho a seguir.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), ao Departamento de Engenharia Florestal (DEF) por tudo que foi proporcionado.

À Professora Angélica de Cassia Oliveira Carneiro e ao Professor Benedito Rocha Vital pela oportunidade de estágio concedida no início do curso e por todo o aprendizado. Agradeço á Barbara Corradi e ao Aylson Costa pelo companheirismo e a todos os funcionários e estagiários do Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM) pela amizade.

À Embrapa Florestas, ao CNPq e à Fapemig pelo apoio financeiro.

Ao Departamento de Zootecnia da UFV pelo fornecimento do capim-elefante.

Aos meus colegas de curso, em especial ao Bruno Homem, ao Carlos Miguel, ao Tiago Araújo e ao Wagner Davel.

Aos amigos da Republica Matagal pelo convívio agradável e a todos que de alguma forma contribuíram para este trabalho.

BIOGRAFIA

Mateus Alves de Magalhães, filho do Sr, José Alves de Magalhães e da Sra. Maria das Graças Pontes Magalhães, nasceu no dia 13 de Setembro de 1991 na cidade de Alvinópolis, MG.

Cursou o ensino médio e fundamental na Escola Estadual Professor Cândido Gomes na cidade de Alvinópolis.

Pelas atividades realizadas por seu pai e por incentivos de suas irmãs que já haviam estudado na Universidade Federal de Viçosa, em 2009, ingressou no curso de Engenharia Florestal.

Durante a graduação realizou trabalhos no Laboratório de Painéis e Energia da Madeira, no qual adquiriu conhecimento e capacidade para desenvolver a monografia de conclusão de curso.

CONTEÚDO

EXTRATO	v
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo geral.....	3
2.2 Objetivos específicos	3
3 REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1 Biomassa energética.....	4
3.2 Capim-elefante (<i>Pennisetum purpureum</i> Schum).....	5
3.3 Mercado de <i>pellets</i>	7
3.4 Processo produtivo	8
4 MATERIAL E MÉTODOS	10
4.1 Matéria prima	10
4.2 Propriedades físicas e químicas do capim-elefante.....	10
4.3 Produção de <i>pellets</i>	12
4.4 Propriedades físicas, químicas e mecânicas dos <i>pellets</i>	13
4.5 Análise estatística.....	13
4.6 Norma de qualidade para <i>pellets</i>	14
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	15
5.1 Propriedades do capim-elefante	15
5.2 Aspectos visuais dos <i>pellets</i> produzidos	18
5.3 Propriedades dos <i>pellets</i> de capim-elefante	19
6 CONCLUSÕES	23
7 REFERÊNCIAS	24

EXTRATO

MAGALHÃES, Mateus Alves. Monografia de graduação. Universidade Federal de Viçosa. Janeiro, 2014. **PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE PELLETS DE CAPIM-ELEFANTE (*Pennisetum purpureum* Schum)**. Orientadora: Angélica de Cássia Oliveira Carneiro.

O capim-elefante é uma biomassa que apresenta baixa densidade e alta umidade, tendo como consequência elevação dos custos, principalmente, de transporte e armazenamento, sendo necessária sua prévia secagem e compactação. A peletização é a mais recente técnica utilizada no Brasil para compactar a biomassa, gerando um material granulado denominado de *pellet*, de alta densidade energética. Deste modo, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o potencial do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) para produção de *pellets*. A biomassa de capim-elefante foi caracterizada quanto às suas propriedades físicas e químicas. Foram produzidos *pellets* com diferentes umidades das partículas, posteriormente, foram determinadas suas propriedades físicas, químicas e mecânicas. Os resultados foram comparados com a norma EN 14961-6 de comercialização. Observou-se que o capim-elefante contém um elevado teor de cinzas, o que pode ocasionar o aumento da corrosão de equipamentos de queima e redução do valor de mercado, além do menor poder calorífico em relação à outras fontes de biomassa. A peletização promoveu um incremento energético e em

massa por unidade volumétrica de aproximadamente 4 vezes em relação à biomassa particulada. Tal fato viabiliza o transporte a maiores distâncias, otimiza o armazenamento e a geração de energia para um mesmo volume. De modo geral, as partículas de capim-elefante com 12% de umidade proporcionou a produção de *pellets* com melhores propriedades físicas, químicas e mecânicas. Por fim, conclui-se que o capim-elefante apresenta potencial para produção de *pellets* destinados tanto ao consumo residencial quanto industrial, principalmente para o mercado nacional devido aos custos de exportação.

1 INTRODUÇÃO

A biomassa apresenta grande potencial como fonte energética alternativa aos combustíveis fósseis. Tem ganhado importância devido às pressões impostas por organizações e órgãos governamentais para diminuição do uso dos combustíveis oriundos de fontes não renováveis. Seu baixo custo é considerado como principal vantagem na competição com outras fontes energéticas, principalmente as não renováveis.

Na busca de novas fontes de biomassa para energia tem-se avaliado os mais variados tipos, como resíduos industriais, urbanos e agrícolas, espécies florestais energéticas e culturas agrícolas com aptidão para tal fim. As espécies florestais são as mais utilizadas para a geração de energia. Porém a busca por outras biomassas é interessante para reduzir a dependência dessas espécies e descentralizar a produção.

Nesse contexto, tem-se o capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum), cultura comumente utilizada na alimentação de animais. Há alguns anos vem sendo estudada para fins energéticos por apresentar características favoráveis a este uso, além de boa produtividade e técnicas de produção já dominadas.

O capim-elefante é uma planta de ciclo curto, que em muitas condições permite duas colheitas anuais. Sua alta produtividade é acompanhada por um inconveniente, a baixa densidade e alta umidade. Tal fato inviabiliza, na maioria das vezes, o transporte e armazenamento, sendo necessária sua secagem e prévia compactação.

A compactação reduz em torno de cinco vezes o volume da biomassa, promovendo um aumento considerável de sua densidade, melhorando sua logística de transporte, armazenamento e manuseio, além de agregar valor ao produto.

A compactação da biomassa pode ser feita através de diferentes processos, sendo o mais atual a peletização. Para tanto, a biomassa deve ser triturada, seca a teores de umidade adequados e compactada gerando um material granulado denominado de *pellet*.

Deste modo, a peletização da biomassa oriunda do capim-elefante surge como uma alternativa para minimizar os custos de transporte e viabilizar tecnicamente o uso desta biomassa como fonte energética, possibilitando sua inserção no mercado nacional, principalmente.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar o potencial do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) para produção de *pellets*.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar o efeito da umidade das partículas de capim-elefante na produção e qualidade de *pellets* e apontar a melhor umidade dentre as utilizadas;
- Determinar as propriedades físicas e químicas da biomassa proveniente do capim-elefante;
- Determinar as propriedades físicas, químicas e mecânicas dos *pellets*;
- Verificar a adequação dos resultados obtidos para os *pellets* com a norma de comercialização europeia.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Biomassa energética

A matriz energética de um país ou região poder ser definida como a demanda total de energia dividida por fonte, por sua vez a demanda total de energia é aquela necessária para movimentar a economia. No ano de 2010 a matriz energética mundial era composta por 32,3% originada do petróleo e seus derivados, 27,3% do carvão mineral, 21,4% do gás natural, 5,7% da nuclear, 2,3% da hidráulica e 10,9% de outras fontes, como biomassa, biodiesel, eólica, solar, geotérmica, outras renováveis (marés, ondas, etc.) e outras não-renováveis (gás industrial, etc.). Para as fontes renováveis considerou-se a soma da “hidráulica” e de fontes renováveis contidas em “outras”, esse tipo de fonte foi responsável por 13% da energia no mundo (ENERGIA NO MUNDO, 2012).

A matriz energética brasileira para o ano de 2012 era baseada no petróleo e seus derivados com 39,2%, no carvão mineral com 5,4%, no gás natural com 11,5% e na nuclear com 1,5%, perfazendo um total de 57,6% de fontes não renováveis. Já as fontes renováveis foram responsáveis por 42,4% da matriz, sendo estas subdivididas em hidráulica com 13,8%, produtos de cana com 15,4%, lenha e carvão vegetal com 9,1%, outros com 4,1% (BEN, 2013). O total das fontes renováveis pode ser considerado como mediano, visto que em alguns países esta em torno de 90%, salvo as proporções de energia demandada (ENERGIA NO MUNDO, 2012).

Segundo MMA (2013) pode-se considerar como biomassa energética todo o recurso renovável oriundo de matéria orgânica, seja de origem vegetal (culturas ou resíduos) ou animal (resíduos), destinada à geração de energia. Além destas, acrescenta-se a biomassa de origem industrial (resíduos) e a biomassa vegetal que pode ser dividida em florestal e agrícola.

As principais biomassas energéticas utilizadas no Brasil são o bagaço de cana-de-açúcar, o licor negro e os resíduos florestais. A biomassa de base florestal representa 15,8% da geração de energia elétrica dessa fonte. Outras opções, como casca de arroz, biogás, óleo de palma e capim-elefante representam apenas 1,8% (ABRAF, 2013).

No intuito de reduzir a dependência dos combustíveis fósseis, tem-se buscado novas fontes energéticas, de preferência que sejam renováveis e que possam garantir a sustentabilidade ambiental. O capim-elefante que historicamente foi utilizado na alimentação de bovinos, merece atenção como potencial fonte energética em função da sua alta produtividade por hectare.

3.2 Capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum)

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) é uma gramínea de ciclo curto, possibilita a realização de duas colheitas no ano. A espécie apresenta rápido crescimento, metabolismo C₄ que promove a assimilação mais eficiente do carbono e elevada produção de biomassa. Em comparação com o eucalipto, a produção de matéria seca por hectare.ano é cerca de duas vezes superior. Diferente do eucalipto, para o capim-elefante não existem grandes estudos de melhoramento genético com vistas à produção de energia, podendo haver variedades com maior potencial produtivo e com características físicas e químicas desejáveis para tal uso (MAZZARELLA, 2013).

O capim-elefante é originário da África, apresenta grande variabilidade genética, possuindo mais de duzentas variedades, sendo algumas de alto rendimento e de boa qualidade para uso como fonte alternativa de energia. Pode ser utilizado na combustão direta, queimado em forma de briquetes ou *pellets*, na geração de energia térmica ou elétrica, em usos agrícolas e industriais que demandam calor, dentre outros usos. Também estão sendo desenvolvidas pesquisas com foco na produção de carvão para uso siderúrgico (MAZZARELLA, 2013).

Ao contrário da alimentação de bovinos que se busca um capim-elefante rico em proteínas, na utilização energética este deve conter menor teor dessas substâncias (QUESADA et al, 2004). Além da produtividade, deve-se dar preferência a materiais genéticos com alta relação C/O, visto que o carbono possui um elevado poder calorífico e o oxigênio contribui negativamente. O teor de lignina também interfere na capacidade de produção de energia uma vez que essa substância possui características que lhe confere maior resistência à degradação térmica, ou seja, produz mais energia quando o processo de combustão se dá por completo. Outras características desejáveis para um material destinado a fins energéticos são a maior densidade e baixo teor de cinzas, pois a densidade está diretamente relacionada com a quantidade de energia liberada por volume, e o teor de cinzas atua negativamente no poder calorífico e positivamente na geração de resíduos após a combustão (VITAL et al, 2013).

O sistema de produção dessa biomassa baseia-se nas técnicas desenvolvidas e consolidadas no setor agropecuário, sendo que a cultura possibilita a completa mecanização das atividades. Permite a utilização de maquinário empregado no setor canavieiro por ser uma planta com características morfológicas parecidas com a cana-de-açúcar, tendo alguns sistemas de colheita que realizam o corte, pré-secagem em campo e enfardamento para redução de volume de transporte (VILELA; CERIZE, 2013).

Certas variedades de capim-elefante apresentam uma produção média de biomassa em base seca em torno de 45 toneladas por hectare/ano. No entanto, salienta que essa elevada produtividade extrai quantidades significativas de nutrientes do solo, necessitando de uma adubação adequada para manutenção do seu potencial produtivo (LOPES, 2004).

Segundo observado na literatura a espécie não é muito susceptível a pragas e doenças, sendo que a planta apresenta certa rusticidade que pode ser uma provável explicação para tal fato.

De acordo com Mazzarella (2013) o capim-elefante em comparação com outras biomassas energéticas apresenta as seguintes vantagens:

- Alta produtividade: superior a outras espécies como eucalipto e pinus, não necessitando de grandes investimentos com adubação;

- Menor ciclo produtivo: permite duas colheitas anuais e o retorno mais rápido do capital investido;
- Assimilação mais eficiente do carbono: possibilidade de utilização em projetos de compensação de emissões ambientais;
- Sistema de produção desenvolvido: cultura pode ser facilmente produzida por meio de técnicas já consolidadas.

Por outro lado a espécie apresenta algumas desvantagens:

- Elevada umidade: o material recém-colhido apresenta teor de umidade em torno de 300% em base seca;
- Dificuldade de secagem natural: o material pode apodrecer em condições inadequadas de colheita, necessitando de uma secagem com gasto de energia;
- Possui baixa densidade a granel: o que inviabiliza o armazenamento e o transporte a maiores distâncias, necessitando de prévia compactação;
- Incertezas por parte das empresas: devido a poucos estudos realizados, não se conhece o verdadeiro potencial da espécie.

3.3 Mercado de *pellets*

Segundo Mani et al, (2006), *pellets* é um tipo de combustível granulado resultante da densificação da biomassa pela aplicação de uma pressão mecânica sobre suas partículas. Este combustível tem como principais características a baixa umidade e maior densidade a granel em relação à biomassa de origem, o que otimiza o transporte e armazenamento.

Segundo dados da IEA Bioenergy (2011) o consumo de mundial de *pellets* esteve entre 11 e 12 milhões de toneladas entre os anos de 2008 e 2009, sendo 65% utilizados em sistemas de pequena escala, enquanto os 35% restantes foram empregados em sistemas de média a grande escala para geração de energia. Os maiores consumidores são Alemanha, Suécia, Itália, Estados Unidos, Holanda e Dinamarca. Na produção se destacam países como Estados Unidos, Rússia, Suécia, Alemanha e

Canadá. Estimativas para produção de *pellets* em todo o mundo em 2020 estão entre 130 e 170 milhões de toneladas por ano.

Segundo dados da ABIPEL (2013) a capacidade brasileira instalada atualmente é de 406,4 mil toneladas por ano, porém a produção anual esta em torno de 55,7 mil toneladas, o que corresponde a apenas 13,7% do potencial de produção, isso é devido as questões tecnológicas e ao alto custo de produção, sendo este último em função dos custos de matéria prima e transporte. As empresas produtoras de *pellets* estão concentradas nos Estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Minas Gerais, em função da maior disponibilidade de matéria prima.

A produção de *pellets* a partir de capim-elefante no Brasil pode ser considerada ínfima ou inexistente. Nos últimos anos vem sendo realizados plantios energéticos que variam entre dez a vinte mil hectares em cada região e os principais plantios estão localizados no centro e sul de Minas Gerais, leste de Goiás (próximo ao Distrito Federal), além de plantios no Estado do Ceará e Rio Grande do Norte (ABRAF, 2013). O capim-elefante pode ser utilizado na combustão direta ou ser transformado em *pellets*, no segundo caso os projetos de peletização existentes no país podem absorver parte dessa produção, fornecendo o produto para consumo interno e exportação.

3.4 Processo produtivo

Os principais aspectos a serem considerados para viabilização do processo produtivo de *pellets* são o teor de umidade, tamanho e forma das partículas e a densidade da biomassa a ser utilizada. Outros são a pressão de compactação e temperatura do processo que também devem ser levados em consideração (WARAJANONT; SOPONPONGPIPAT, 2013).

Cada biomassa possui características que lhe são intrínsecas, quando trituradas para produção dos *pellets* geram diferentes tipos de partículas. O tamanho e forma das partículas podem ser facilmente controlados utilizando peneiras adequadas, A compactação de partículas menores se torna mais fácil, uma vez que ocorre maior ligação entre as partículas devido sua maior área superficial (SILVA, 2007).

Segundo Carvalho et al (2013), a umidade da biomassa para peletização deve estar entre 8 e 15%. *Pellets* produzidos a partir de biomassas úmidas contém menor

poder calorífico útil, além da ocorrência de fraturas em função da saída dos gases, principalmente vapor de água, diminuindo sua resistência e conseqüentemente favorecendo a geração de finos durante seu manuseio. Por outro lado, o baixo teor de umidade dificulta a compactação da biomassa uma vez que a água auxilia na transferência de calor promovendo a plastificação da lignina, que por sua vez atua como um aglutinante natural da biomassa.

A pressão de compactação e temperatura do processo devem ser suficientes para promover uma boa compactação da biomassa, de forma que os *pellets* produzidos apresentem resistência exigida pelo mercado. A pressão é variável em função do tipo de prensa peletizadora, no geral máquinas de maior porte dispõem de maior pressão, porém consomem mais energia. A temperatura ótima para compactação ocorre próximo aos 100 °C, nessa temperatura a lignina se plastifica atuando como aglutinante entre as partículas (SILVA, 2007). Vale ressaltar que a densidade do material influenciará na pressão exigida, assim como, para cada biomassa haverá uma temperatura que proporcionará melhor qualidade aos *pellets*.

De modo geral, os principais entraves na produção industrial de *pellets*, são o transporte da biomassa até a fábrica, heterogeneidade desta, competitividade com outras fontes (lenha e carvão vegetal), necessidade de elevado investimento em capital para implantação das fábricas, dentre outros (CARVALHO et al, 2013). Segundo dados da Agência Internacional de Energia - IEA (2011), a secagem da biomassa ocupava a segunda posição nos custos de produção dos *pellets* com 35,2%, perdendo apenas para o custo da matéria prima, 42,9%.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Matéria prima

Utilizou-se como matéria prima a biomassa proveniente de capim-elefante, composta por folhas e caules obtidos a partir de plantios com 5 meses de idade, instalados em áreas do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa.

Após a colheita efetuou-se uma pré-secagem até 16% de umidade em base seca, com posterior trituração em moinho martelo e classificação em peneira com abertura de 2 mm de diâmetro.

4.2 Propriedades físicas e químicas do capim-elefante

O teor de umidade em base seca ($umidade_{bs}$) após a colheita e das partículas utilizadas para a produção dos *pellets* foi determinado por meio da diferença de massa antes e após a secagem a 103 ± 2 °C até massa constante em estufa de acordo a norma NBR 7993 (ABNT, 1983).

A densidade a granel (kg/m^3) da biomassa foi obtida de acordo com a norma EN 15103 (DIN, 2010).

Para determinação da composição química estrutural, o material foi triturado usando um moinho de laboratório tipo Wiley, sendo posteriormente peneirado, utilizou-se a fração que passou pela peneira com malha de 40 mesh e ficou retida na peneira com

malha de 60 mesh (ASTM, 1982). A determinação do teor absolutamente seco foi realizada de acordo com a norma TAPPI 264 om-88 (TAPPI, 1998).

Os teores de extrativos foram determinados em duplicatas, conforme a norma TAPPI 204 om-88 TAPPI (1996), apenas alterando o etanol/benzeno, pelo etanol/tolueno. Os teores de lignina insolúvel foram determinados em duplicata pelo método Klason, modificado de acordo com o procedimento proposto por Gomide e Demuner (1986). A lignina solúvel foi determinada por espectrometria, conforme Goldschimid (1971). O teor de lignina total foi obtido através da soma dos valores de lignina solúvel e insolúvel. O teor de holocelulose (celulose e hemicelulose) foi obtido pelo somatório dos teores de extrativos e lignina totais, decrescido de 100.

O teor de material insolúvel em ácido (sílica) foi obtido conforme metodologia apresentada na norma TAPPI T 244 om-93 (TAPPI, 1998). Os valores encontrados foram utilizados para ajustar os teores de lignina insolúvel, subtraindo-se destes os teores de sílica encontrados.

Os métodos empregados para análise química imediata foram realizados de acordo com a norma ABNT NBR 8112 (1983), para as determinações de materiais voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo, em base seca.

O poder calorífico superior da biomassa foi determinado de acordo com a norma ABNT NBR 8633 (1983), utilizando uma bomba calorimétrica adiabática. Posteriormente foi calculado pela Equação 1 o poder calorífico útil em MJ/kcal, o qual considera a energia gasta para evaporar a água presente na biomassa.

$$PCU = \{[PCS - 600 \cdot (9H/100)] \cdot (1 - U)\} - (600 \cdot U) \quad (1)$$

Onde:

PCU = poder calorífico útil (kcal/kg);

PCS = poder calorífico superior (kcal/kg);

H = hidrogênio contido na biomassa (%);

U = umidade em base seca (%).

A densidade energética (MJ/m³) foi obtida através da multiplicação do poder calorífico útil pela densidade a granel da biomassa.

4.3 Produção de *pellets*

Para produção dos *pellets* utilizou-se quatro teores de umidade das partículas, sendo dez, doze, quatorze e dezesseis por cento de umidade em base seca mais uma margem de variação de $\pm 0,5\%$. A umidade proposta foi estipulada conforme valores observados na literatura para produção de *pellets* de madeira.

Os *pellets* foram produzidos em uma prensa peletizadora laboratorial da marca Amandus Kahl, modelo 14-175 com capacidade para produção de 50 kg.h^{-1} , sendo produzido aproximadamente 3,0 kg de *pellets* por tratamento.

A temperatura média de peletização foi de 95°C . Para atingir essa temperatura em menor tempo, a matriz de peletização foi pré-aquecida em óleo a 200°C por aproximadamente 30 minutos para posterior montagem na prensa, minimizando o uso de partículas para o aquecimento.

Para alimentação da peletizadora, utilizou-se um sistema composto por um motor elétrico, um controlador de velocidade e uma rosca sem fim, Figura 1. A velocidade de alimentação variou conforme a rotação dos rolos da prensa. Após atingir a temperatura de trabalho (95°C) foi estabelecida a velocidade dos rolos de 1500 rpm.

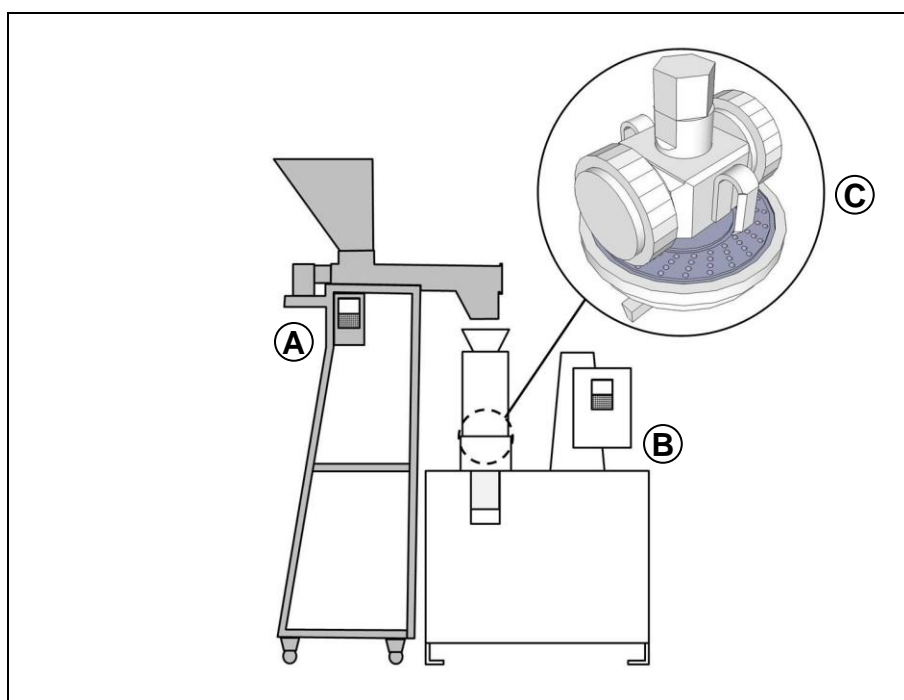


Figura 1 - Esquema do sistema de alimentação (A), peletizadora Amandus Kahl, modelo 14-175 (B) e matriz de peletização com rolos de compactação (C).

4.4 Propriedades físicas, químicas e mecânicas dos *pellets*

Para determinação da umidade de equilíbrio higroscópico, os *pellets* foram levados a uma câmara climática a temperatura de 20°C e 65% de umidade relativa, obtendo a massa final de equilíbrio.

A determinação da umidade dos *pellets* foi feita de acordo com a norma EN 14774-2 (DIN, 2009), apenas modificando o cálculo de umidade em base úmida para a base seca.

A densidade a granel, a análise química imediata e o poder calorífico superior e útil seguiram a mesma metodologia utilizada para a biomassa.

O diâmetro (mm) e comprimento (mm) foram obtidos seguindo a norma EN 16127 (DIN, 2010).

A densidade relativa aparente (kg/m^3) foi determinada conforme o método descrito por Vital (1984), por meio da imersão em mercúrio. Foram realizadas dez determinações com posterior obtenção da densidade aparente por meio de média aritmética.

A durabilidade e a porcentagem de finos dos *pellets* foram determinadas utilizando o equipamento Ligno-Tester, de acordo com a norma EN - 15210-1 (DIN, 2010).

A determinação da dureza (kg) foi feita em um Durômetro para *pellets* da marca Amandus Kahl.

A densidade energética foi obtida através da multiplicação do poder calorífico útil pela densidade a granel dos *pellets*, sendo apresentada em MJ/m^3 .

4.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos aos testes Cochran e Lilliefors para avaliar a homogeneidade e normalidade das variâncias, respectivamente. Posteriormente procedeu-se a análise de variância ANOVA e quando estabelecidas diferenças significativas, os tratamentos foram comparados entre si por meio do teste de Tukey a 95% de probabilidade.

4.6 Norma de qualidade para *pellets*

O principal mercado consumidor de *pellets* está localizado na Europa, sendo assim importante classifica-los de acordo com as normas internacionais definidas pelos países consumidores. A norma DIN EN 14961-6 (2012) trata da qualidade de *pellets* não madeira para uso não industrial e será utilizada para fins de comparação da qualidade dos *pellets* produzidos neste trabalho, Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades exigidas pela norma DIN EN 14961-6 para *pellets*

Parâmetro	Unidade	A	B
Origem		Biomassa herbácea Biomassa frutífera Misturas	
Diâmetro (D) e Comprimento (L)	mm	D06 a D25 ± 1 ; <i>D06 a D10</i> $\Leftrightarrow 3,15 \leq L \leq 40$ <i>D12 a D25</i> $\Leftrightarrow 3,15 \leq L \leq 50$	
Umidade	% base seca	$\leq 13,6$	$\leq 17,6$
Teor de cinzas	% base seca	≤ 5	≤ 10
Durabilidade mecânica	%	$\geq 97,5$	$\geq 96,0$
Finos	%	$\leq 2,0$	$\leq 3,0$
Poder Calorífico Útil	MJ/kg	$\geq 14,1$	$\geq 13,2$
Densidade a granel	kg/m ³	≥ 600	≥ 600

Fonte: Adaptado de DIN EN 14961-6 (2012)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Propriedades do capim-elefante

Os valores médios para as propriedades físicas e químicas do capim-elefante são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Propriedades físicas e químicas do capim-elefante

Propriedade		Unidade	Valor Médio
Umidade _{bs} de Corte		%	350,1
Umidade _{bs} de Equilíbrio Higroscópico		%	11,4
Densidade a Granel*		kg/m ³	146,2
Análise Química Imediata	Materiais Voláteis	%	72,9
	Cinzas	%	10,9
	Carbono Fixo	%	16,2
Composição Química Estrutural	Lignina	%	23,2
	Holocelulose	%	61,4
	Extrativos	%	15,4
Poder Calorífico Superior		MJ/kg	17,9
Poder Calorífico Útil*		MJ/kg	14,6
Densidade Energética		MJ/m ³	2129,6

Onde: Umidade_{bs} = umidade em base seca.

* Na umidade de equilíbrio higroscópico.

Foi considerada como umidade de corte, aquela obtida logo após a colheita do capim-elefante. Na Tabela 2, observa-se que o valor médio da umidade de corte em base seca foi de 350,1%. Este pode ser considerado muito alto, tendo basicamente esta biomassa 3,5 vezes mais água em relação à sua matéria seca. Possivelmente esse elevado teor de umidade seja o principal entrave para produção de *pellets*, visto que é necessário reduzir a umidade a teores relativamente baixos para a peletização.

O capim-elefante é um tipo de gramínea denominada como volumoso no setor agropecuário, isso devido à sua baixa densidade a granel. Neste trabalho foi encontrado valor médio de 146,2 kg/m³, na umidade_{bs} de 11,4%. A sua baixa densidade a granel inviabiliza o transporte a maiores distâncias por ocupar grandes volumes, além do baixo conteúdo energético contido por unidade volumétrica.

Mani et al (2006) avaliaram um tipo de gramínea nativa da América do Norte e Central para produção de *pellets*, denominada *Switchgrass*. Esta gramínea possui características semelhantes ao capim-elefante (alta produtividade e de ciclo C₄). Os autores obtiveram valor médio de densidade a granel de 156,20 kg/m³ a um teor de umidade de 8,7% em base seca, para partículas classificadas numa peneira com orifícios de 1,6 mm de diâmetro, ao passo que no presente trabalho utilizou-se uma de 2 mm. Os autores observaram que a densidade a granel é inversamente proporcional ao tamanho da partícula.

Macedo (2012) ao estudar diferentes biomassas para energia obteve valores médios para composição química imediata do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) na idade de 1 ano de 77,62% para o teor de materiais voláteis, 17,15% para teor de carbono fixo e 5,23% para o teor de cinzas. Estes valores diferem dos observados no presente trabalho, visto que os teores de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas obtiveram respectivamente 72,9%, 16,2% e 10,9%.

O valor encontrado para o teor de cinzas de 10,9% pode ser considerado alto em comparação com a madeira de eucalipto que em sua grande maioria possui teores menores que 1%. Elevados teores de cinzas geram enormes quantidades de resíduos sólidos após a combustão da biomassa, além de promover a abrasão dos equipamentos. Outro aspecto é a redução do poder calorífico, uma vez que as cinzas não fornecem energia no momento da combustão (VITAL et al, 2013).

Neste estudo foram encontrados valores médios para a composição química estrutural do capim-elefante de 23,2% para o teor de lignina, 61,4% para o teor de holocelulose e 15,4% para o teor de extrativos. Do ponto de vista energético a biomassa deve conter maiores teores de lignina e extrativos, uma vez, que essas substâncias liberam maiores quantidades de energia quando submetidas à combustão.

Embora que o capim-elefante contenha um alto teor de cinzas que contribuem negativamente para o poder calorífico, o maior teor de extrativos pode ter colaborado para o seu aumento. Desta forma foi encontrado valor médio de 17,9 MJ/kg para o poder calorífico superior do capim-elefante, sendo maior que o obtido por Seye et al (2000), que encontraram valor médio de 14,6 MJ/kg.

O poder calorífico útil considera a umidade presente na biomassa. Para um teor de umidade_{bs} de 11,4% foi obtido um PCU de 14,6 MJ/kg. A umidade da biomassa contribui negativamente com o poder calorífico útil, pois parte do calor produzido é gasto na evaporação da água e aquecimento do vapor até mesma temperatura dos gases de combustão (WALKER, 2010, *apud* VITAL et al, 2013, p. 351). Dessa forma deve se atentar a utilização de materiais com baixos teores de umidade para maximizar a quantidade de energia liberada durante sua combustão.

5.2 Aspectos visuais dos *pellets* produzidos

Na Figura 2 podem ser visualizados os *pellets* produzidos a partir da biomassa de capim-elefante em função dos diferentes teores de umidade das partículas.

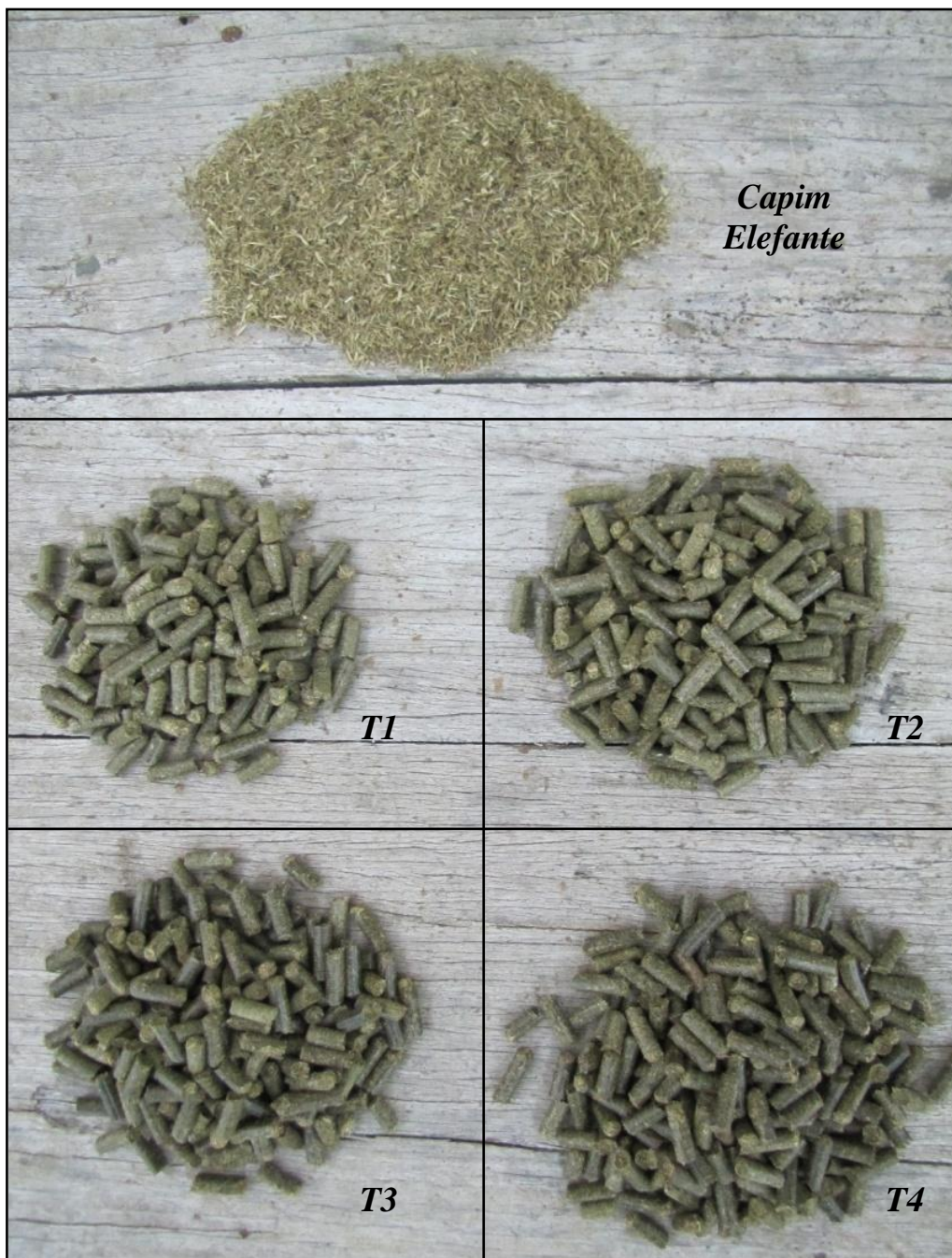


Figura 2 - *Pellets* produzidos a partir da biomassa de capim-elefante, sendo T1, T2, T3 e T4 os *pellets* obtidos de partículas com 10, 12, 14 e 16% de umidade, respectivamente.

5.3 Propriedades dos *pellets* de capim-elefante

A temperatura média de compactação atingida na produção dos *pellets* foi de 95°C. Salienta-se que nesta temperatura não há degradação térmica dos constituintes químicos das partículas de capim-elefante, ocorrendo apenas a sua secagem. Dessa forma os valores médios da composição química imediata (materiais voláteis, carbono fixo e cinzas) e do poder calorífico superior dos *pellets* foram semelhantes aos da biomassa que lhe deu origem, conforme apresentado na Tabela 2. Ressalva-se que o teor de cinzas obtido para o capim-elefante (10,9%), conseqüentemente para os *pellets*, está acima do valor mínimo estipulado pela norma, que exige teor inferior a 10%.

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios do teor de umidade das partículas e dos *pellets*.

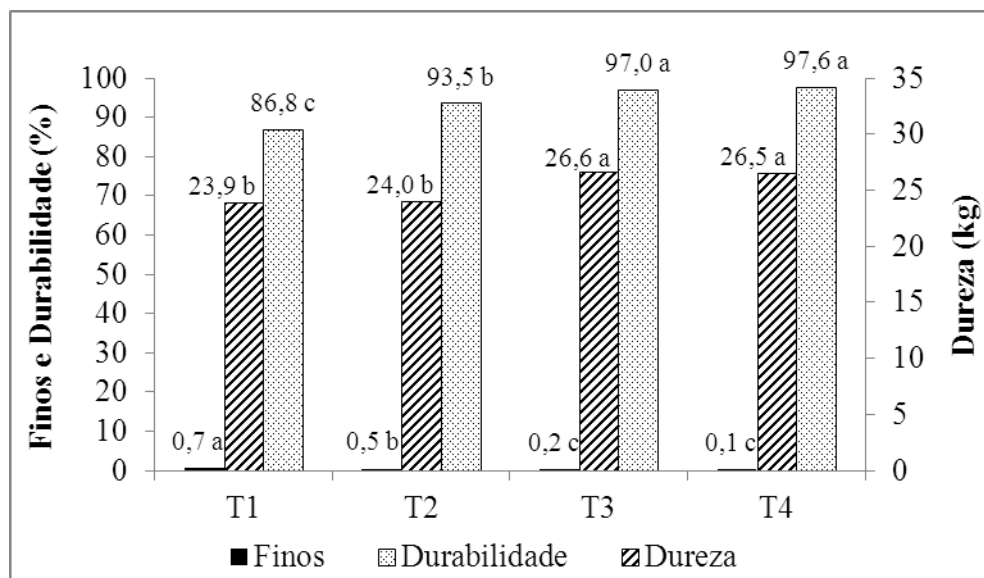
Tabela 3 – Teor de umidade das partículas e dos *pellets* de capim-elefante

Tratamento	Umidade da biomassa em base seca (%)		Umidade dos <i>pellets</i> em base seca (%)	
	Proposta	Entrada	Saída	Equilíbrio Higroscópico
T1	10 ± 0,5	9,3	7,7	9,7
T2	12 ± 0,5	12,0	10,2	10,0
T3	14 ± 0,5	14,2	11,7	11,3
T4	16 ± 0,5	16,3	13,5	11,8

Observa-se que o processo de compactação reduziu o teor de umidade dos *pellets*, tanto de saída quanto de equilíbrio higroscópico. Isso se deve à vaporização da água durante a prensagem e a plastificação da lignina.

Todos os tratamentos apresentaram valor de umidade de equilíbrio higroscópico inferior à exigida pela norma de *pellets*, que especifica valor máximo de 13,6% em base seca para a classe de qualidade A. Para a biomassa energética quanto menor o teor de umidade, maior é a energia útil liberada na combustão.

Os valores médios das propriedades mecânicas dos *pellets* de capim-elefante são apresentados na Figura 3.



Médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem entre si a 5% de significância pelo teste Tukey.

Figura 3 - Propriedades mecânicas dos *pellets* de capim-elefante

Observa-se que os *pellets* produzidos com partículas com 14 e 16% de umidade obtiveram os maiores valores médios para a dureza, os quais diferiram estatisticamente daqueles produzidos com partículas contendo 10 e 12% de umidade, que por sua vez apresentaram os menores valores. De modo geral, a dureza aumentou com o aumento do teor de umidade dos *pellets*. Os valores observados para os *pellets* produzidos com partículas contendo 14 e 16% de umidade estão próximos aos verificados por Souza et al. (2012), que encontraram dureza de 26,67 kg para *pellets* produzidos a partir de resíduos de pinus.

A resistência mecânica dos *pellets* foi medida por meio da porcentagem de finos e da durabilidade mecânica. Estas são importantes propriedades para o conhecimento do comportamento dos *pellets* durante o transporte e manuseio, sendo desejável menor valor para finos e maior para a durabilidade mecânica. Verificou-se um aumento significativo da durabilidade mecânica dos *pellets* com o aumento do teor de umidade e como consequência observou-se uma menor geração de finos.

A quantidade de finos gerados pelos *pellets*, independente do tratamento, ficou abaixo do máximo permitido pela norma de *pellets* que estipula valores inferiores a 3%. Para a durabilidade mecânica apenas os *pellets* produzidos com partículas contendo 14 e 16% de umidade atenderam as especificações da norma, apresentando valores médios de 97 e 97,6%, sendo classificados na categoria de qualidade B e A, respectivamente.

Na Tabela 4 são apresentados os valores médios das propriedades físicas e energética dos *pellets* de capim-elefante em função dos tratamentos.

Tabela 4 - Propriedades físicas e energética dos *pellets* de capim-elefante

Tratamento	Diâmetro	Densidade a Granel	Densidade Energética	Densidade Relativa Aparente
	mm	kg/m ³	MJ/m ³	kg/m ³
T1	6,24 c	545,1 c	8082,5 b	1103,4 b
T2	6,30 b	588,4 ab	8689,7 a	1145,5 a
T3	6,33 ab	585,7 b	8535,8 a	1122,5 ab
T4	6,35 a	590,6 a	8556,6 a	1107,3 ab

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si a 5% de significância pelo teste Tukey.

O diâmetro dos *pellets* variou entre 6,24 a 6,35 mm, sendo o maior valor observado para aqueles produzidos com maior teor de umidade, provavelmente devido a maior expansão no sentido transversal ocasionada pela saída dos gases durante o resfriamento. Não foi observada diferença significativa para o comprimento dos *pellets* nos diferentes tratamentos, sendo encontrado valor médio de 20,6 mm. As dimensões dos *pellets*, diâmetro e comprimento, obtidas neste experimento, independente dos tratamentos atenderam ao especificado na norma para *pellets* apresentada na Tabela 1.

Verificou-se, de modo geral, um aumento da densidade a granel em função do aumento do teor de umidade das partículas, assim como para a densidade aparente. Isto se deve ao teor de umidade inicial das partículas do capim-elefante que influenciou na capacidade de compactação e na expansão dos *pellets* durante o resfriamento, o que afeta diretamente seu volume e conseqüentemente sua densidade. Desta forma o tratamento T2 apresentou uma boa compactação, porém a sua expansão não foi significativa, influenciando diretamente na densidade dos *pellets*. A norma de *pellets* exige valores mínimos de 600 kg/m³, logo nenhum dos tratamentos obteve valor adequado.

Apesar de não atingir ao valor mínimo de densidade a granel, vale salientar que houve um incremento de massa por unidade de volume na ordem de 4 vezes em relação as partículas de capim-elefante não compactada. Tal fato viabiliza transporte a maiores distâncias e otimiza o espaço em locais de armazenagem.

Não houve efeito do teor de umidade das partículas utilizadas para a produção dos *pellets* no poder calorífico útil dos mesmos, tendo como valor médio 14,7 MJ/kg. Todos os tratamentos obtiveram valor de poder calorífico útil superior ao mínimo exigido pela norma de *pellets*.

A densidade energética indica o potencial da biomassa em termos energéticos por unidade de volume. Observa-se que os tratamentos T2, T3 e T4 apresentaram os maiores valores médios, não diferindo estatisticamente entre si, tendo o tratamento T2 obtido valor ligeiramente superior de 8689,7 MJ/m³. Os resultados obtidos são explicados pela densidade a granel dos *pellets*, uma vez que não se observou diferença estatística para o poder calorífico útil, Tabela 4.

Assim como a densidade a granel, a densidade energética teve um incremento de energia por unidade volumétrica de aproximadamente 4 vezes, sendo de 2129,6 MJ/m³ para as partículas do capim-elefante e de 8535,8 MJ/m³ para os *pellets*. *Pellets* com maior densidade energética liberam, durante a sua queima, maior quantidade de energia por unidade volumétrica, além de viabilizar o transporte dos mesmos a longas distâncias.

6 CONCLUSÕES

O capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) apresenta elevado teor de cinzas, ocasionando a redução do poder calorífico, corrosão de equipamentos de queima, abrasão de equipamentos de transformação, aumento da geração de resíduos após a combustão e conseqüentemente redução do seu valor de mercado.

A peletização promoveu um incremento energético e em massa por unidade volumétrica de aproximadamente 4 vezes em relação à biomassa, viabilizando transporte a maiores distâncias, otimizando o armazenamento e a geração de energia para um mesmo volume.

De modo geral, a umidade de entrada da biomassa a $\pm 12,0\%$ proporcionou a produção de *pellets* com melhores propriedades físicas, químicas e mecânicas.

Por fim, o capim-elefante apresenta grande potencial para produção de *pellets* destinados ao consumo interno.

Ressalta-se a necessidade de novos estudos com essa biomassa, bem como de algumas variáveis de processo para adequação de algumas propriedades dos *pellets* a norma de comercialização.

7 REFERÊNCIAS

ABIPEL - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE *PELLETS*. *Pellets Map 2013*. 2013. Disponível em: <<http://www.abipel.com.br/Home.aspx>>. Acesso em: 14 Ago. 2013.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **Standard methods of evaluating properties of wood-base fiber and particles materials**. Philadelphia: 1982.

ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT **NBR 7993** Madeira - determinação da umidade por secagem em estufa reduzida a serragem - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 8112** - Análise química imediata do carvão vegetal. Rio de Janeiro, 1981.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT **NBR 8633** - Carvão vegetal - Determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF 2013. **Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2012**. Brasília, 2013. 148p. Disponível em: <http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF13/ABRAF13_BR.pdf>. Acesso em: 2 Ago. 2013.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL - BEN 2013. **Ano Base 2012**. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro, 2013. 284p. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2013.pdf>. Acesso em: 29 Jan. 2014.

CARVALHO, A. M. M. L.; PEREIRA, B. L. C.; SOUZA, M. M. Produção de *Pellets* de Madeira. In: SANTOS, F.; COLODETTE, J.; QUEIROZ, J. H. **BIOENERGIA E**

BIORREFINARIA: Cana-de-açúcar & Espécies Florestais. 1. ed. Viçosa, MG: Os Autores, 2013. cap. 14, p. 379-400.

DEUTSCHES INSTITUT FUR NORMUNG - DIN EN 14774-2 - Solid biofuels - Determination of moisture content - Oven dry method - Part 2: Total moisture - Simplified method. Alemanha, 2009.

DEUTSCHES INSTITUT FUR NORMUNG - DIN EN 14961-6 - Solid biofuels - Fuel specifications and classes - Part 6: Wood *pellets* for non-industrial use. Alemanha, 2012.

DEUTSCHES INSTITUT FUR NORMUNG - DIN EN 15103 - Solid biofuels - Determination of bulk density. Alemanha, 2010.

DEUTSCHES INSTITUT FUR NORMUNG - DIN EN 15210-1 - Solid biofuels - Determination of mechanical durability of *pellets* and briquettes - Part 1: *Pellets*. Alemanha, 2010.

DEUTSCHES INSTITUT FUR NORMUNG - DIN EN 16127 - Solid biofuels - Determination of length and diameter of *pellets*. Alemanha, 2012.

ENERGIA NO MUNDO. **Matrizes Energéticas, Matrizes Elétricas e Indicadores.** Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2012. 40p. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/galerias/arquivos/publicacoes/boletins_de_energia/boletins_atuais/21_-_Energia_no_Mundo_-_OIEEx_OIEE_e_Indicadores_-_Documento_Completo.pdf>. Acesso em: 4 Ago. 2013.

GOLDSCHIMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V. LUDWIG, C. H. **Lignins:** occurrence, formation, structure and reactions. New York: J. Wiley, 1971. p. 241-266.

GOMIDE, J. L. DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O Papel**, São Paulo, v. 47, n. 8, p. 36-38, 1986.

IEA Bioenergy. 2011. **Current Status of Production and Thermal Utilisation of Biomass Pellets.** p. 14. Disponível em: <<http://www.ieabioenergy.com/ListItem.aspx?id=7315>>. Acesso em: 14 Ago. 2013.

LOPES, B. A. **O. Capim-Elefante.** 2004. Universidade Federal de Viçosa. 56p. Disponível em: <<http://www.forragicultura.com.br/arquivos/capimelefanteBruna.pdf>>. Acesso em: 1 Set. 2013.

MACEDO, L. A. **Influência da composição da biomassa no rendimento em condensáveis do processo de torrefação.** 2012. 60 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília - DF, 2012. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/13150/1/2012_LuceliaAlvesdeMacedo.pdf>. Acesso em: 18 Out. 2013.

- MANI, S.; TABIL, L. G.; SOKHANSANJ, S. Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass *pellets* from grasses. **Biomass and Bioenergy**. n. 30, p. 648-654, 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953406000250>>. Acesso em: 25 Ago. 2013.
- MAZZARELLA, V. **Capim-elefante: a energia renovável moderna**. 2013. Disponível em: <<http://www.capimelefante.org>>. Acesso em: 13 Ago. 2013.
- MINISTÉRIO MEIO AMBIENTE - MMA. **Biomassa**. 2013. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/biomassa>>. Acesso em: 18 Ago. 2013.
- QUESADA, D. M.; BODDEY, R. M.; REIS, V. M.; URQUIAGA, S. **Parâmetros qualitativos de genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) estudados para a produção de energia através da biomassa**. Circular Técnica 8. Embrapa. Seropédica, Rio de Janeiro, 2004. 4p. Disponível em: <<http://www.cnpab.embrapa.br/system/files/cit008.pdf>>. Acesso em: 15 Ago. 2013.
- SEYE, O.; CORTEZ, L. A. B.; GOMEZ, E. O.; BRAUNBECK, O. Queima direta de gramínea Projeto Integrado de Biomassa – PIB. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 3. 2003, Campinas. **Anais...** Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022000000200001&script=sci_arttext>. Acesso em: 20 Out. 2013.
- SILVA, C. A. **Estudo técnico-econômico da compactação de resíduos madeireiros para fins energéticos**. 2007. 85f. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, São Paulo. 2007.
- SOUZA, M. M.; PEREIRA, B. L. C.; SILVA, T. S.; VITAL, B. R. Produção e avaliação de pellets de resíduos de pinus e algodoeiro. In: Fórum Brasil Sobre Biomassa e Energia, 1., 2012, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2012. p. 1-3.
- TAPPI** – Technical association of the pulp and paper industry. **T 244 om-93**. Tappi Standard Methods, Atlanta: TAPPI 1998.
- TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI test methods T 204 om-88: solvent extractives of wood and pulp**. 1996. In: TAPPI Standard Method. Atlanta, USA. Cd-Rom, 2001.
- TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI test methods T 264 om-88: preparation of wood for chemical analysis**. 1998. In: TAPPI Standard Method. Atlanta, USA. Cd-Rom, 2001.
- VILELA, H.; CERIZE, D. **Capim-Elefante Paraíso na geração de energia**. 2013. Disponível em: <http://www.agronomia.com.br/conteudo/artigos/artigos_capim_elefante_paraíso_geracao_energia.htm>. Acesso em: 2 Set. 2013.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação de densidade da madeira**. Viçosa: SIF, 1984. Boletim Técnico, n.1, 21 p.

VITAL, B. R.; CARNEIRO, A. C. O.; PEREIRA, B. L. C. Qualidade da Madeira para Fins Energéticos. In: SANTOS, F.; COLODETTE, J.; QUEIROZ, J. H. **BIOENERGIA E BIORREFINARIA: Cana-de-açúcar & Espécies Florestais**. 1. ed. Viçosa, MG: Os Autores, 2013. cap. 12, p. 321-354.

WARAJANONT, S.; SOPONPONGPIPAT, N. Effect of particle size and moisture content on cassava root *pellet* fuel's qualities follow the acceptance of *pellet* fuel standard. **International Journal of Renewable and Sustainable Energy**. n. 2, p. 74-79, 2013. Disponível em: <<http://article.sciencepublishinggroup.com/pdf/10.11648/j.ijrse.20130202.17.pdf>>. Acesso em: 15 Ago. 2013.