

Texto extraído de

Eucalyptus Newsletter nº 49 - Novembro de 2015

Uma realização:



Autoria: Celso Foelkel

Organizações facilitadoras:



ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel



IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores



IPEF - Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais

Empresas e organizações patrocinadoras:



Fibria



ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel



ArborGen Tecnologia Florestal



Celulose Irani



CENIBRA - Celulose Nipo Brasileira



CMPC Celulose Riograndense



IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores



Klabin



Lwarcel Celulose







Stora Enso Brasil



Suzano Papel e Celulose



Eucalyptus Newsletter nº 49 - Novembro de 2015

Artigo Técnico por Celso Foelkel



Qualidade da Biomassa Florestal do Eucalipto para Fins Energéticos

Introdução

A biomassa florestal tem-se constituído em importante insumo energético para a humanidade desde os primórdios de sua existência no planeta. Atualmente, ela tem sido inclusive estimulada e priorizada como fonte energética alternativa aos combustíveis fósseis em função de suas excepcionais qualidades ambientais, principalmente pelo fato de ser renovável, sequestradora de gás carbônico atmosférico e armazenadora de carbono orgânico durante o seu período de crescimento.

Existem diversos países no Hemisfério Norte que vêm encontrando na biomassa florestal um recurso de inquestionável valor para a sociedade, tais como Finlândia, Suécia, Canadá e Estados Unidos da América. Inúmeros países em desenvolvimento têm também tido, ao longo de suas histórias, uma constante e importante participação da biomassa florestal na vida de seus cidadãos, em seus lares, negócios e empresas de serviços, agrícolas e industriais.

Geralmente, a principal forma de utilização da biomassa florestal é através de sua conversão termoquímica, combustão ou queima. Essa é a maneira mais usual e simples para aproveitamento da energia primária contida na biomassa florestal. Esse tipo de aproveitamento vem sendo realizado pela sociedade em seus lares (aquecimento e cocção), restaurantes, hotéis, padarias, hospitais, olarias, agricultura (secagem de grãos, aquecimento na criação de animais, etc.), etc.

Por outro lado, a conversão dessa energia primária em energia elétrica através de pequenas e médias centrais termoelétricas também tem tido crescimento acelerado, principalmente no Brasil. Com as dificuldades hídricas que o País tem enfrentado em épocas recentes, a busca por outras fontes de geração de eletricidade tem sido priorizada, tanto através de fontes eólicas como de energia da biomassa. No caso da biomassa florestal, existem fatores críticos a serem trabalhados, tais como: custos e disponibilidade da biomassa, escala de produção e tecnologias de conversão.

As principais biomassas de origem florestal sendo utilizadas no Brasil para produção de eletricidade tem sido as seguintes: licor preto kraft do processo de fabricação de celulose; cavacos de madeira e casca de toras de eucalipto, acácia negra; resíduos florestais; resíduos de empresas madeireiras (chapas e painéis de fibras, serrarias, laminadoras, movelaria, etc.); etc. A biomassa florestal tem sido uma aposta importante do País e se espera que ela possa oferecer crescentes oportunidades de novos negócios à sociedade brasileira.

Outro importante insumo energético utilizado em termoelétricas é o bagaço de cana de açúcar, importante subproduto da indústria sucro-alcooleira.

A biomassa já representa hoje cerca de 14% da totalidade dos recursos energéticos em uso no País e praticamente 4% da geração de eletricidade. Existem expectativas positivas para que cresça ainda mais rapidamente, em função do estímulo para as plantações florestais para finalidades energéticas e pelo uso da madeira em novos tipos de negócios denominados de biorrefinarias de biomassa, que podem produzir combustíveis sólidos, líquidos e gasosos a partir de qualquer tipo de biomassa vegetal.

Não podemos também nos esquecer da importante participação da biomassa florestal de reflorestamentos para a produção de carvão vegetal, tanto para finalidades domésticas como para fins de siderurgia. O Brasil é o principal país produtor de carvão vegetal, tendo tido enorme destaque na produção de florestas energéticas orientadas para esse tipo de finalidade, no desenvolvimento de processos tecnológicos de conversão da madeira a carvão e na utilização de subprodutos da carbonização (materiais voláteis, ácido pirolenhoso e alcatrão da madeira).

As vantagens que a biomassa florestal apresenta são muito importantes: renovabilidade, produtividade por área plantada, geração de empregos, qualidade energética, disponibilidade assegurada independentemente de sazonalidade, custos competitivos, conhecimentos tecnológicos florestais e industriais e enormes vantagens ambientais em relação aos combustíveis fósseis. Entretanto, tudo vai depender de muito planejamento, determinação e compromissos empresariais e governamentais. Nem tudo que é verde e derivado de fotossíntese pode ser considerado sustentável e ambientalmente correto.

Existem diversos pontos chaves que exigem por aperfeiçoamentos tecnológicos e rompimentos de barreiras: produção de biomassa em plantações de orientação energética, qualidade da biomassa, armazenamento, manuseio, transporte, beneficiamento (secagem, limpeza, etc.), suprimento garantido e aspectos ambientais e sociais.

A principal desvantagem da biomassa florestal é que para a maioria dos seus usos energéticos, há necessidade de escalas de produção elevadas para trazer seus produtos energéticos a valores competitivos aos dos materiais fósseis. Também apresenta uma menor densidade energética em relação ao petróleo e requer grandes concentrações de áreas geográficas para a produção do material que atenda às escalas exigidas. Essas características críticas acabam impactando outros fatores chaves que demandam por otimizações, tais como: planejamento para garantia de disponibilidade o ano todo, suprimento *just-in-time*, transporte de um material sólido de baixo peso por volume, maior necessidade de material pela baixa densidade energética, baixa densidade aparente em peso seco por volume (caso de cavacos de madeira e casca), etc.

Todas essas otimizações vão exigir mais pesquisas, planejamentos, garantias de desempenho, domínios tecnológicos e das operações, compromissos públicos e privados, responsabilidade ambiental e social.

Portanto, para se sair de um estado atual de lenha de abastecimento de operações pequenas para o de biomassa em larga escala para abastecer termoelétricas de médias a altas potências (entre 50 a 150 MW) teremos um grande salto tecnológico que vai demandar grandes doses de especialização e conhecimentos, isso sem falar em investimentos e demandas por capital.

Entretanto, nada disso é impossível de ser obtido, até mesmo porque já existem inúmeros casos de sucesso operando no Brasil, seja para geração de calor e/ou eletricidade a partir da biomassa florestal.

Existem ainda oportunidades que podem ser mais exploradas, como a densificação da biomassa (péletes e briquetes), que permitem não apenas aumentar a densidade energética, como reduzir as necessidades em transportes, manuseios e estocagens dos recursos energéticos biomássicos.

Acontece ainda que a biomassa florestal não é o único tipo de produto fotossintético que espera por sucesso nas novas plataformas de negócios verdes da bioenergia. Outros vegetais já têm mostrado vocação para atuar nesse campo promissor, como: capim-elefante (*Pennisetum* spp.), braquiária (*Brachiaria* sp.), bambu (*Bambusa* sp.) e o tradicional bagaço de cana de açúcar.

Apesar de alguns deles apresentarem menor poder calorífico por tonelada de matéria seca em relação à madeira do eucalipto, são todas plantas que produzem altas quantidades de biomassa por hectare.ano, o que as viabiliza e potencializa seu uso nos negócios da economia verde:

Exemplos:

Pennisetum purpureum	25 a 45 t secas/ha.ano
Brachiaria	25 - 35 t secas/ha.ano
Eucalyptus spp	20 - 25 t secas/ha.ano
Bambusa vulgaris	15 a 25 t secas/ha.ano

De qualquer forma, a bioenergia das árvores, em especial das árvores dos eucaliptos, tem sido vista como uma excepcional oportunidade. Até mesmo novas terminologias estão surgindo para definir melhor o campo de atuação desse setor da ciência florestal. Já se fala muito em Dendroenergia do Eucalipto, como também

se estão denominando os combustíveis de biocombustíveis e mais especificamente de dendrocombustíveis, para separar os mesmos dos obtidos de outros tipos de biomassa.

As principais vantagens técnicas atribuídas à lenha ou cavacos energéticos dos eucaliptos como dendrocombustíveis sólidos são mencionadas como sendo:

- Homogeneidade de composição química (lignina, holocelulose e extrativos);
- Baixos teores de cinzas, enxofre e nitrogênio;
- Baixo custo;
- Facilidade e conhecimento tecnológico para colheita, transformação, manuseio e estocagem de toras e cavacos;
- Secagem natural rápida das toras (45 a 90 dias no próprio campo florestal para se atingir teores de umidade de 35 a 40%);
- Razoável poder calorífico da madeira, o que dá razoável quantidade de energia primária. Uma madeira com 30% de umidade apresenta um poder calorífico útil de aproximadamente 2.900 kcal/kg tal qual; ou 12 GJ/t tal qual.

Entretanto, nem tudo são glórias ou vantagens para as biomassas florestais. Existem obstáculos importantes para serem superados através de ciência e tecnologia, tais como:

- A contínua remoção de nutrientes do solo pela produção florestal e exportação dos mesmos com a biomassa. Isso demandará esforços e compromissos para recomposição da fertilidade do solo através de adequados balanços nutricionais.
- Outros níveis de impactos no solo (erosão, exposição, compactação) e nos recursos hídricos regionais (evapotranspiração e escoamento superficial).
- Baixa densidade energética da lenha (2 Gcal/m³ sólido ou 1,35 Gcal/m³ empilhado ou estéreo)
- Baixa densidade energética de cavacos de madeira (700 Mcal/m³ de cavacos; ou 2,9 GJ/m³ cavacos).
- Heterogeneidade de resíduos lenhosos (granulometria, umidade, poder calorífico, cinzas);
- Presença de muita casca na biomassa, que possui poder calorífico menor que o da madeira e mais alto teor de cinzas e contaminantes.

Portanto, nem tudo são sonhos ou sucessos garantidos; existem ventos, realidades e também oportunidades que demandam por ações de pesquisa e desenvolvimento tecnológicos. Sem nos esquecermos da requerida responsabilidade socioambiental

corporativa, seja dos produtores rurais como dos empresários industriais que se valerão da biomassa florestal para produtos da bioenergia.

Características técnicas desejáveis para a biomassa florestal do eucalipto

Existe um conjunto de parâmetros técnicos qualitativos e quantitativos que permitem aperfeiçoar a biomassa florestal do eucalipto para usos energéticos. Procuramos dar ênfase aos mais importantes e conhecidos, embora muitos deles estejam intimamente correlacionados entre si.

Afinal, o que é mais importante para que a biomassa florestal do eucalipto seja vitoriosa? Entenda-se como biomassa florestal um material rico em percentuais elevados de madeira e casca em mistura, sendo produzido pelas árvores do eucalipto através de processos fotossintéticos e metabólicos.

Podemos elencar os seguintes parâmetros técnicos:

- 1. Produtividade florestal em metros cúbicos de madeira e de casca por hectare.ano;
- 2. Produtividade florestal em toneladas de matéria seca por hectare por ano, tanto de madeira como de casca;
- 3. Densidade básica da madeira e da casca;
- 4. Poder calorífico da madeira e da casca;
- 5. Relação percentual entre madeira e casca na biomassa (base peso seco);
- 6. Teor de umidade da biomassa quando disponível para uso;
- 7. Teor de lignina na madeira;
- 8. Teor de carbono fixo na madeira;
- 9. Teor de cinzas na madeira e casca;
- 10. Teor de contaminantes na biomassa (pedras, terra, areia, etc.);
- 11. Teor de extrativos resínicos (ceras, ácidos graxos, óleos, etc.) na madeira e casca;
- 12. Retratibilidade ou contração volumétrica da madeira;
- 13. Densidade energética da biomassa.

Vamos a seguir, navegar um pouco em cada uma dessas características de forma nem tanto estruturada e sequencial, já que muitas características estão discutidas simultaneamente pela sua interdependência. Com isso, pretendemos oferecer maneiras de se entender melhor cada dessas importantes características e suas relações.

Produtividade volumétrica e gravimétrica das plantações florestais

A produtividade florestal pode ser expressa tanto volumétrica como gravimetricamente (base peso seco). Em geral, os produtores florestais preferem trabalhar com volumes, pois é assim que são definidos indicadores de produtividade, colheita e manuseio/transporte.

A produtividade de uma floresta de eucalipto costuma ser referida como IMA – (Incremento Médio Anual), ou melhor, em metros cúbicos de tronco com ou sem casca que se produz por hectare em um ano (valor médio ao longo da idade da árvore, quando ela for colhida).

Os valores mais usuais de produtividade florestal em plantações de eucalipto no Brasil variam entre 30 a 55 metros cúbicos sólidos de tronco com casca por hectare.ano, isso para florestas que são colhidas por corte raso entre 6 a 7 anos.

Quanto mais jovem for a árvore, menor será seu volume individual, menor será o percentual de biomassa de tronco em relação à biomassa total da árvore e maior será o percentual de casca na biomassa de tronco.

Uma floresta de eucalipto com 3 anos de idade tem apenas 60 a 65% do peso seco de sua biomassa total colocado no tronco e esse tronco possui 12% ou mais de seu peso seco como sendo casca e 88% de madeira.

Já uma floresta plantada de eucalipto com 7 anos de idade terá algo como 70 a 75% da biomassa total colocados como troncos de árvores e esses troncos terão cerca de 8% de casca e 92% de madeira em base peso seco.

Esses dados são apenas referenciais, pois variam caso a caso, mas servem para se ter uma ideia de como se distribui a biomassa que interessa aos produtores florestais, que é a biomassa do tronco, e em especial a da madeira.

A produtividade de uma plantação florestal de eucalipto vai depender de um conjunto de fatores, tais como:

- Espécie e clone sendo plantados;
- Idade de corte ou colheita, ou rotação;
- Espaçamento e densidade populacional em plantas/hectare;
- Qualidade do genótipo em função do nível de melhoramento florestal;
- Interação genótipo/ambiente;
- Manejo florestal e práticas silviculturais (fertilização, combate a pragas, ervas, etc.);
- Ataque de pragas e doenças, incêndios, etc.;
- Rigores climáticos (ventos, seca, inundação, geadas, etc.);
- Etc.

Tanto a produtividade volumétrica em m³/ha.ano como as próprias densidades básicas da madeira e da casca acabarão sendo impactadas pelo mesmo conjunto de fatores acima citados.

As densidades básicas da madeira e da casca são importantes fatores que se somarão às produtividades volumétricas desses tipos de biomassa para comporem a produtividade florestal gravimétrica, ou peso seco de biomassa por hectare.ano.

Essas densidades básicas são muito dependentes do nível de melhoramento florestal, da idade e do ritmo de crescimento da floresta. Por exemplo, aos 3 anos de idade, uma plantação do híbrido *Eucalyptus urograndis* pode apresentar uma densidade básica média de madeira de tronco de 0,47 g/cm³; aos 7 anos isso pode atingir 0,5 g/cm³ e aos 10 anos chegar a 0,52 g/cm³. Para a casca esse efeito idade é menos impactante em função da reposição anual de casca, que acontece nesses eucaliptos, mas ela pode aumentar de 0,28 a 0,32 g/cm³, por exemplo.

A partir dos dados de incremento médio anual volumétrico, dos teores de casca e madeira e das densidades básicas de madeira e casca pode-se calcular o IMA gravimétrico da floresta, expressando assim a produtividade florestal em toneladas de matéria seca por hectare.ano.

Seja o seguinte exemplo numérico:

- IMA Volumétrico (Madeira+Casca) = 40 m³/ha.ano
- Idade da colheita = 7 anos
- Produção de madeira+casca na colheita aos 7 anos = 280 m³/ha
- Teor volumétrico de casca no tronco na colheita = 10%
- Teor volumétrico de madeira no tronco na colheita = 90%
- Produção estimada de volume de casca = 28 m³/ha
- Produção estimada de volume de madeira = 252 m³/ha
- Densidade básica da casca= 0,30 t secas/m³ verde
- Densidade básica da madeira = 0,52 t secas/m³ verde
- Peso seco de casca na colheita = 8,4 toneladas
- Peso seco de madeira na colheita = 131 toneladas
- Produção total de madeira e casca na colheita = 139,4 t secas/ha
- IMA gravimétrico em biomassa florestal de tronco = (139,4) : 7 = 19,9 t secas/ha.ano

Esses valores de produção gravimétrica se relacionam fortemente então com os volumes, densidades e relações entre casca/madeira nas florestas. Existem clones ou espécies que possuem menores incrementos volumétricos, mas compensados pela maior densidade básica de suas biomassas. É o caso de clones de *Corymbia citriodora x C. torelliana* e de clones intraespecíficos de *Eucalyptus cloeziana*. Há casos de valores de densidade básica bastante elevados (0,7 t secas/m³ sólido verde) relatados para *Eucalyptus paniculata*, o conhecido "ferrinho" dos eucaliptos

Deve ficar desde já claro que os valores estimados pelo inventário florestal são para árvores verdes em pé. Na colheita florestal existem perdas de biomassa devido ao seccionamento das toras, toretes perdidos por diâmetro mínimo, altura de corte e remanescente de madeira nas cepas, etc. Somados esses valores, as perdas de colheita costumam variar entre 2 a 4% do volume total inicialmente projetado pelo inventário florestal.

Retratibilidade ou contração volumétrica

Tanto casca como madeira das toras colhidas perdem volume em função da secagem natural das toras. Quanto maior o grau de secagem que se proceder, maior será o nível de contração do volume da biomassa.

Em geral, para a secagem da biomassa se costuma deixar as toras no campo para perder peso entre 45 a 90 dias. Isso leva a umidade a valores entre 30 a 35% em base seu peso úmido total. Nessas condições, a contração volumétrica será de valores entre 4 a 6%, base volume verde inicial. Caso se deseje deixar mais tempo a biomassa sendo secada, esses valores podem aumentar para 8% ou mais. Entretanto, a partir de certo momento, a madeira começa a rachar e a ter um falso aumento em seu volume, dificultando as medições de contração.

A contração volumétrica favorece a concentração de energia por volume de lenha e de cavacos de madeira. Isso acontecerá se a madeira perder menos peso do que volume nesse período de secagem. A perda de peso acontece por volatilização e por ataques microbiológicos (apodrecimento).

Teor de umidade da biomassa florestal

A umidade ao abate das árvores é bastante alta e muito próxima ao máximo teor de umidade que possa caber na porosidade da madeira e da casca. Essa umidade é tão alta que existe muita água livre nas toras, a ponto de escorrer água das toras recém-seccionadas. Na verdade, não se trata de água pura, mas de seiva mineral bruta escorrendo da madeira (xilema) e seiva elaborada fotossinteticamente, escorrendo da casca (floema).

Para um mesmo volume de madeira, quanto maior for o seu peso seco, menor será a disponibilidade de espaços para serem ocupados por água. Logo, as madeiras mais densas costumam serem menos úmidas do que as madeiras mais leves. O mesmo se aplica às cascas.

No abate das árvores, tanto a madeira como a casca estão bastante *verdes* ou muito úmidas. Já vimos que existe uma íntima relação entre densidade básica e teor de umidade na máxima saturação. Para espécies de baixa densidade básica (como é o caso de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*), a umidade é bastante alta, tanto na casca como na madeira. Povoamentos de *Eucalyptus grandis* com 8 anos de idade mostraram densidade básica na casca de 0,28 t secas/m³ e umidade da casca no abate das árvores de 71,8%. Já a madeira dessas mesmas árvores mostrava densidade básica de 0,486 t secas/m³ e umidade ao abate de 53,63%.

Com a secagem natural no campo, as toras perdem água, mais rapidamente na casca, que é a parte externa mais exposta ao tempo. Rapidamente a umidade cai a valores de 35 a 40% e depois a queda é mais lenta, mas tudo depende de uma

série de fatores como dimensões das toras e das pilhas, condições climáticas, orientação solar, etc.

Poder calorífico da biomassa florestal e suas relações com a umidade

Existem dois tipos de medições para Poder Calorífico, o PCS – Poder Calorífico Superior e o PCI – Poder Calorífico Inferior. Ambos são medidos em bombas calorimétricas, e às vezes, o PCI é obtido por cálculos a partir da composição elementar da biomassa.

O PCS inclui como valor de energia total também o calor contido na água formada pela presença de hidrogênio na constituição do combustível. Essa água é condensada, libera calor que é medido e somado ao restante da energia liberada na queima do combustível.

O PCI não inclui esse valor de energia de condensação da água de formação, visto que em geral, esse calor não é aproveitado pelas instalações que queimam biomassa, sendo perdido com os gases de exaustão da combustão pelas chaminés. Logo, o PCI é na realidade a energia primária disponível no combustível, no caso na biomassa seca, e que será disponibilizado para uso.

Tanto o PCS como o PCI costumam ser expressos em energia por peso seco e as unidades mais usuais são: kcal/kg; Mcal/t; Gcal/t; MJ/kg; GJ/t.

Para fins de facilitação de cálculos é importante saber que uma unidade de MJ equivale a 238,8 kcal.

O poder calorífico superior das biomassas de eucalipto varia muito em função de sua constituição química, principalmente em relação aos teores de lignina, cinzas, extrativos e holoceluloses.

Os valores de PCS para a madeira costumam variar entre 4.300 a 4.900 kcal/kg secos (18 a 20,5 GJ/t secas). Já para a casca variam entre 3.400 a 3.900 kcal/kg secos (14,2 a 16,3 GJ/t secas).

Uma maneira simples de se determinar o PCI de uma biomassa a partir de seu PCS é através do teor de hidrogênio presente em sua composição elementar, pois será ele que será convertido em água de formação. Em geral, as biomassas de eucalipto possuem teores de hidrogênio próximos a 6% em sua composição molecular.

A fórmula abaixo permite se obter um valor aproximado de PCI desde que se disponham de PCS e teor de hidrogênio. Entretanto, pode-se usar 6% como teor de hidrogênio (H) para antever valores de forma aproximada, já que o teor de hidrogênio não varia muito com as diversas biomassas florestais.

$$PCI = PCS - 600 \cdot (9H/100)$$

$$PCI = PCS - 600. (9 \times 6/100)$$

$$PCI = PCS - 324$$

Com os resultados apresentados em kcal/kg seco.

Dessa maneira, os poderes caloríficos inferiores da madeira do eucalipto podem variar entre 4.200 a 4.575 kcal/kg secos (17,6 a 19,2 GJ/t secas).

O Poder Calorífico Útil (PCUtil) ou Efetivo de uma biomassa florestal não será o seu PCI. Isso porque existe ainda a presença da água da umidade da biomassa. Essa água vai consumir energia para ser aquecida, evaporada e ainda ter o valor da temperatura do vapor elevada até a temperatura de exaustão dos gases.

Dessa forma, em função dos seus valores de PCI, cada biomassa e a cada momento poderá ter um PCUtil diferente, conforme variar o seu teor de umidade.

O PCUtil tal qual será disponibilizado pela biomassa úmida pode ser obtido através de cálculos simples, conforme algumas fórmulas práticas desenvolvidas por estudiosos do setor de bioenergia:

Fórmula do Dr. José Otávio Brito (1993):

$$PCUtil = PCI \times [(100 - U)/100] - 6.U$$

Onde:

U = Teor percentual de umidade base peso úmido

PCI = Poder Calorífico Inferior (kcal/kg seco)

PCUtil = Poder Calorífico Útil na umidade tal qual (kcal/kg tal qual)

Vamos agora realizar alguns exemplos práticos com utilização dessa fórmula:

Para uma biomassa madeira de eucalipto com PCI = 4.400 kcal/kg, variando o teor de umidade em alguns níveis entre 50% e 20%:

Para 50% umidade:

$$PCUtil = 4.400 \times [(100 - 50)/100] - 6.50$$

PCUtil = 1.900 kcal/kg tal qual

Para 30% de umidade:

$$PCUtil = 4.400 \times [(100 - 30)/100] - 6.30$$

PCUtil = 2.900 kcal/kg tal qual

Para 20% de umidade:

$$PCUtil = 4.400 \times [(100 - 20)/100] - 6.20$$

PCUtil = 3.400 kcal/kg tal qual

O consumo de energia pela água presente na biomassa não é pequeno. Vamos obter isso a partir dos resultados anteriores, pois sabemos que:

PCI = 4.400 kcal/kg seco a 0% de umidade PCUtil a 50% umidade = 1.900 kcal/kg tal qual

Com 50% de umidade, um quilograma tal qual possui 0,5 kg de peso seco e 0,5 kg de água.

Se trouxermos esse valor para um quilograma seco teríamos

Logo, a diferença entre 4.400 – 3.800 = 600 kcal/kg seco corresponde à potencial destruição de energia pela água presente como umidade na madeira. Quanto maior o teor de umidade, maior será essa perda de energia. É por essa razão a prática de se deixar a biomassa secando no campo, tanto para redução de seu peso a transportar, como para ter maior Poder Calorífico Útil.

Existem maneiras mais elaboradas para se calcular essa destruição ou perda de energia devido à umidade, baseadas em balanços térmicos e mássicos. Um exemplo desse tipo de cálculos poder ser obtido no artigo de Calegari et all (2005) e publicado na revista Biomassa e Energia da RENABIO.

Características de algumas biomassas usadas na geração de energia no **Brasil.** L. Calegari; C.E.B. Foelkel; C.R. Haselein; J.L.S. Andrade; P. Silveira; E.J. Santini. Biomassa e Energia 2(1): 37 – 46. (2005)

http://www.renabio.org.br/04-B&E-v2-n1-2005-p37-46.pdf

Outra referência básica da literatura que vale a pena ser lida em função da utilização das diversas fórmulas práticas está logo a seguir referenciada:

Impacto do teor de umidade e da espécie florestal no custo da energia útil obtida a partir da queima da lenha. J.M.M.A.P. Moreira; E.A. Lima; I.C.G.R. Goulart. Embrapa Florestas. Comunicado Técnico nº 293. 05 pp. (2012)

http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/65182/1/CT293.pdf

De qualquer maneira, devemos sempre estar atentos ao fato que a secagem natural da madeira na floresta impacta também na perda de algum peso seco de biomassa (apodrecimento, volatilização e desprendimento de alguma casca) e na contração volumétrica da madeira e da casca. Também agrega sujeiras como terra, pedras e poeira trazida pelos ventos.

O teor de umidade ideal de uma biomassa dependerá muito dos equipamentos utilizados na combustão. Poder-se-ia pensar que quanto mais seca a biomassa, melhor seria, mas há queimadores que são sensíveis ao tipo de biomassa (granulometria) e ao teor de umidade. Quando existe muito pó seco na biomassa, a falta de alguma umidade pode aumentar o risco de explosões e queima de biomassa nos próprios sistemas de alimentação das caldeiras.

Apesar de se desejar o mínimo de umidade, sempre existirá um nível de umidade que fornecerá uma maior sustentação nas operações e nos desempenhos. Procurase sempre trabalhar com teores de umidade abaixo de 35%, mais preferencialmente entre 20 a 30%. Secar mais que isso demandaria secadores de biomassa em sistemas de pré-secagem, que podem às vezes serem indicados conforme o nível de gargalos operacionais ou de heterogeneidade de biomassas mistas.

Outra vantagem das biomassas mais secas é que maior quantidade de calor será disponibilizada a partir de menores pesos totais brutos de biomassa a manusear, transportar e armazenar.

Por outro lado, quanto mais úmida for a biomassa, pior será o seu desempenho energético e mais problemas teremos em termos de manter as caldeiras operando a níveis ideais de rendimentos. Muita água não apenas rouba calor, mas aumenta em muito o fluxo de gases no interior das fornalhas e caldeiras, pelo excesso de vapor formado.

Os resíduos florestais são em geral bastante heterogêneos em termos de granulometria, proporções de casca e madeira, contaminações com terra e pedras, bem como podem apresentar grandes variabilidades em relação ao teor de umidade. Isso resulta em necessidades adicionais para melhorias na uniformidade dos resíduos e em especial na manutenção de uma umidade média mais uniforme na alimentação dos fornos e caldeiras. Por essa razão, as empresas que se valem de resíduos florestais e de outros tipos de resíduos comprados de empresas madeireiras, acabam tendo que instalar sistemas de limpeza da biomassa e, às vezes, pré-secadores para uniformizar o teor de umidade da biomassa a ser queimada.

Os resíduos são extremamente variados em sua composição química, teor de umidade, granulometria, poder calorífico útil, etc. Isso porque podem conter na mistura alguns resíduos muito secos, por exemplo, pó de lixa de painéis de madeira; como muito úmidos, a exemplo da casca úmida e suja retirada após lavagem das toras. Por isso, são encontrados valores de PCUtil para resíduos lenhosos que variam entre 1.000 a 3.800 kcal/kg tal qual (4,2 a 16 GJ/tonelada tal qual).

Como os resíduos são comprados nos mercados de madeira com base em peso tal qual, esse sistema estimula a que os vendedores queiram entregar resíduos os mais úmidos possíveis, em função do aumento do peso a ser faturado. Gera-se inclusive a prática desaconselhável de se molhar as biomassas após a carga dos caminhões, ou se deixar a carroceria descoberta em dias de chuva.

Densidade energética da biomassa florestal de eucalipto

Define-se densidade energética como a quantidade de energia efetiva ou útil disponível por unidade de volume desse combustível. Quanto menor peso seco, menor poder calorífico e maior peso de água contiver o combustível por unidade de volume, pior será sua densidade energética.

Seguem alguns exemplos práticos com base em um mesmo tipo de biomassa florestal (a mesma madeira de eucalipto, com 30% de teor de umidade e 2.900 kcal/kg úmido tal qual):

Lenha de madeira de eucalipto (toras):

500 kg secos por metro cúbico sólido

714,3 kg úmidos/m³ sólido

Densidade energética = 2,07 Gcal/m³ sólido

Lenha de madeira de eucalipto (toras empilhadas):

325 kg secos por metro cúbico empilhado (estéreo)

464,3 kg úmidos/m³ estéreo

Densidade energética = 1,35 Gcal/m³ estéreo

Cavacos de madeira de eucalipto:

175 kg secos por metro cúbico de cavacos

250 kg úmidos/m³ cavacos

Densidade energética = 0,725 Gcal/m³ cavacos

Serragem de madeira de eucalipto:

120 kg secos por metro cúbico de serragem

171,4 kg úmidos/m³ de serragem

Densidade energética = 0,497 Gcal/m³ serragem

Portanto, o mesmo metro cúbico sólido de madeira vai gradualmente perdendo densidade energética conforme ele vai sendo empilhado e fragmentado, aumentando o volume aparente para o mesmo peso seco.

Portanto, a densidade energética é função de densidade da madeira, granulometria dos fragmentos, fator de empilhamento, teor de umidade e poder calorífico de cada tipo de biomassa.

Vejam outro exemplo interessante:

O poder calorífico das madeiras do Eucalyptus urograndis e do Corymbia (Eucalyptus) citriodora são próximos em base peso seco. Ambas possuem teores de carbono, hidrogênio e de lignina algo parecidos, o que lhes confere essa similaridade. Entretanto, a diferença entre ambas se acentua quando falamos em volume, já que o metro cúbico da madeira seca do C.citriodora é muito mais pesado do que a de E.urograndis. Se tivermos algo como 4.400 kcal/kg seco de poder calorífico inferior para ambos os eucaliptos, ao se falar em volume, temos muito mais peso seco de madeira em um metro cúbico sólido de madeira de C.citriodora (cerca de 650 kg secos) do que em E.urograndis (cerca de 520 kg secos). Logo, em um metro cúbico sólido de C.citriodora teremos algo como 2,86 Gcal/m3 de energia primária como densidade energética, enquanto para o E.urograndis cerca de 2,29 Gcal/m³. Isso tudo em base de peso seco absoluto. Se introduzirmos a variável água da madeira as coisas podem mudar e bastante. Entretanto, as madeiras mais densas como as do C.citriodora têm menores umidades, já que por serem mais densas, têm menos espaços para serem ocupados por umidade (outra vantagem do C.citriodora). Por outro lado, existem também as desvantagens, um hectare de E.urograndis produz muito mais metros cúbicos do que de C.citriodora. Enquanto que produtividades de 45 m³/ha.ano são facilmente alcançadas com E.urograndis, para C.citriodora elas dificilmente ultrapassam 30.

Em resumo, há muitas coisas a afetar esses rendimentos energéticos e as produtividades, portanto, sempre se recomenda uma avaliação global e baseada em dados confiáveis.

Composição química da biomassa florestal

Os constituintes da biomassa que mais afetam seu poder calorífico são por ordem de importância: teor de lignina, teor de carbono fixo e teor de extrativos graxos.

O teor de lignina total da madeira costuma variar entre 22 a 33%, sendo ligeiramente mais baixo na casca. Já o teor de extrativos pode variar entre 4,5 a 7,5%, porém nem todos os extrativos conferem aumento do poder calorífico, pois apenas os ácidos graxos (ceras, óleos e resinas) são mais caloríficos. Já os extrativos solúveis em água quente não agregam mais energia na madeira, como fazem os extrativos resínicos e oleosos.

O importante no caso dos extrativos é que são constituintes que ocupam espaços externos às paredes celulares (lúmens e vacúolos), logo eles somam peso seco às biomassas das paredes celulares.

A lignina é o principal constituinte responsável pelo aumento do poder calorífico, pois ela possui entre 60 a 64% de carbono elementar em sua composição molecular, enquanto a celulose e as hemiceluloses possuem bem menos (42 a 46%).

Fórmula molecular aproximada da lignina: C11H14O4

Poder calorífico inferior da lignina, base seca: 5.700 a 6.000 kcal/kg (24 a 26 GJ/t seca)

Teor de carbono baseado na fórmula molecular: 62,86%

Teor de oxigênio baseado na fórmula molecular: 30,47%

Teor de hidrogênio baseado na fórmula molecular: 6,67%

<u>Fórmula molecular aproximada das hexosanas (celulose e algumas hemiceluloses)</u>: C6H10O5

Poder calorífico inferior das hexosanas, base seca: 3.900 a 4.100 kcal/kg (16,5 a 17,2 GJ/t seca)

Teor de carbono baseado na fórmula molecular: 44,4%

Teor de oxigênio baseado na fórmula molecular: 49,4%

Teor de hidrogênio baseado na fórmula molecular: 6,2%

O poder calorífico inferior da madeira do eucalipto tem sido em geral referido na literatura como sendo em média de 18,5 GJ/t base seca (o que corresponde a 4.420 kcal/kg seco). Entretanto, esse valor pode variar em função do teor de lignina e de seu valoroso carbono de sua composição elementar, dentre outros fatores e constituintes

A composição química elementar da madeira e da casca dos eucaliptos tem sido bastante estudada e existem dezenas de estudos disponíveis na literatura brasileira mostrando sua variação em função de espécies, clones, idade, posição na árvore, componentes da biomassa (madeira, casca, galhos, folhas, raízes, etc.).

Como uma referência genérica, podemos colocar uma tabela referencial comparando as biomassas de madeira e casca de eucalipto, como a seguir apresentado:

Constituinte	Madeira	Casca
Carbono	45 a 51%	41 a 47%
Oxigênio	35 a 40%	31 a 35%
Hidrogênio	5,0 a 6,5%	4,7 a 5,5%
Nitrogênio	0,15 a 0,4%	0,3 a 0,5%
Enxofre	0,04 a 0,10%	0,03 a 0,06%
Cinzas	0,3 a 0,5%	2 a 8%

Outros fatores de natureza química a observar na constituição de uma biomassa florestal são os seguintes:

• Relação Siringila/Guaiacila na lignina:

Como a guaiacila possui mais carbono elementar que a siringila em sua molécula, idealmente devem ser buscadas madeiras para energia que possuam menor relação S/G na lignina, em oposição ao que se busca para o setor de celulose e papel.

- Maior relação possível entre teores de lignina e de holocelulose base peso seco
- Teor de carbono fixo costuma variar entre 15 a 16,5%, o que corresponde a teor de materiais voláteis entre 83.5 a 85%. Quanto mais alto o teor de carbono fixo mais energética será a biomassa

Teor de cinzas da biomassa

O teor de cinzas em qualquer biomassa florestal é resultante de três fatores chaves: contaminações de terra, pedras, areia; teor de casca e teor de madeira.

As contaminações com terra nas operações florestais são as principais razões para o fracasso de muitas tentativas de utilização de resíduos florestais para alimentar caldeiras de biomassa. Além disso, os resíduos florestais podem conter também pouca madeira e teores elevados de casca. A casca é muito mais rica em elementos minerais do que a madeira. Ela faz isso para defender a árvore da ação de predadores, tornando-se menos apetitosa para os roedores e para a herbivoria.

Os teores de cinzas em resíduos florestais podem variar entre 2 a 6% de seu peso seco.

A madeira do eucalipto por si só é pobre em teor de elementos minerais, sendo que valores mais frequentes se encontram entre 0,3 a 0,5% base peso seco. Já a casca da árvore, em função de seu elevado teor de cálcio e magnésio, pode apresentar teores de cinzas entre 2 a 8%. A casca também apresenta grande potencial para se sujar com terra. É a região das toras mais exposta ao solo, pois toma contato íntimo com o mesmo e sofre a deposição de poeira nas pilhas de madeira.

Apenas para fins de referência em termos de teores de cinzas em alguns tipos de biomassa:

Bagaço de cana: 3 a 5%

Casca de arroz: até 30%

Bambu: máximo de 3 a 5%, em função de algumas espécies terem alto teor intrínseco de sílica.

Biomassa energética na forma de cavacos

Os cavacos obtidos a partir de toras de eucalipto para fins energéticos costuma ser uma mistura de madeira e casca, em uma proporção em peso seco de aproximadamente 89 a 92% de madeira e o restante de casca. São relações muito próximas daquelas existentes nas próprias árvores, já que pouca casca acaba se perdendo nas operações de colheita, estocagem, manuseio e transporte das toras.

As especificações mais críticas para esse tipo de biomassa (cavacos) são:

- Teor de umidade
- Teor de contaminantes externos (areia, terra, pedras)
- Densidade aparente base anidra do material lenhoso
- Densidade aparente base tal qual (úmida)
- Dimensões e granulometria dos cavacos

Um dos principais itens a especificar para qualquer tipo de biomassa na forma de cavacos é a classificação dos mesmos em termos de dimensões. Os cavacos muito finos são leves e ocupam muito espaço volumétrico. Quando queimados nas caldeiras tendem a subir e a sofrerem combustão na parte de cima das fornalhas, às vezes saindo com os gases de exaustão na forma de fuligens mal-queimadas. Já os cavacos sobre-dimensionados (acima de 45 mm de dimensões máximas) acabam caindo no fundo da fornalha e podem sobrar com queima incompleta, na forma de cinza de fundo de fornalha.

Em geral, logo após a picagem os cavacos precisam sofrer uma classificação tanto para eliminar a fração muito fina que é rica em terra e areia (abaixo de 2 mm), como para separar os cavacos sobre-dimensionados (nós, lascas, etc.) para envio para repicagem. Os pedaços de casca muito grandes, na forma de fitas também interferem na classificação e no desempenho energético, podendo inclusive obstruir os sistemas de transporte e alimentação de cavacos.

A classificação dos cavacos é vital, pois oportuniza a alimentação de uma biomassa combustível mais adequada para a geração de energia térmica e elétrica.

As caldeiras de biomassa possuem diferentes conceitos e variam muito em termos de idades tecnológicas. Por essa razão, os rendimentos térmicos de caldeiras e queimadores de biomassa podem variar entre 70 a 90% com base no calor gerado e na quantidade de energia primária suprida.

Densificação da biomassa florestal (produção de briquetes ou péletes)

Levando em conta a escala de produção e a baixa densidade energética de alguns tipos de biomassa florestal, são necessários enormes volumes de material para estocar, manusear, transportar e alimentar os equipamentos queimadores. Isso tem levado a que muitos considerem a possibilidade de densificação da biomassa, ou seja, a produção de péletes ou briquetes de madeira densificada. Esses materiais possuem baixo teor de umidade (máximo 15%) e alta densidade em base de peso seco por volume sólido (cerca de 1.000 kg/m³).

A densificação da biomassa consiste na compactação a elevadas pressões, o que provoca a elevação da temperatura do processo para mais de 100°C. O aumento da temperatura colabora para a plastificação da lignina, o que conduz à adesão das partículas sem a utilização de produtos aglomerantes. Para que a aglomeração seja bem-sucedida, é necessária uma quantidade mínima de água nas partículas, algo entre 8% a 15% de umidade. Também é fundamental que o tamanho das partículas seja adequado à tecnologia sendo empregada.

Em geral, a umidade do material densificado de biomassa está por volta de 10 a 12%, sendo que a densidade base peso absolutamente seco do material sólido é de

aproximadamente 1.000 kg/m³ sólido (ou 1.100 kg na umidade de 10% por m³). Isso ocorre em função da intensa densificação do material por fortíssima prensagem (150-180 MPa), em geral sem aditivação química alguma.

Já a densidade aparente dos toretes empilhados do briquete está em cerca de 650 a 750 kg absolutamente secos por metro cúbico de toretes "empilhados", em função da disposição espacial dos mesmos.

Comparativamente à madeira ou à biomassa fragmentada e picada "in natura", que tem cerca de 130 a 200 kg secos/m³ de densidade aparente na forma de cavacos, pode-se concluir que a densificação definitivamente agrega densidade ao combustível e reduz seu espaço físico ocupado. Corresponde a uma densificação entre 2,5 a 5 vezes em relação à matéria-prima original fragmentada para compactação.

Como o poder calorífico da biomassa na forma seca é praticamente o mesmo para toras, cavacos ou briquetes (expressa como kcal/kg seco ou como GJ/t seca), os briquetes realmente elevam bastante a densidade energética em função dessa enorme densificação e de seu menor teor de umidade.

Uma alternativa tecnológica também promissora que tem surgido nos mercados consiste na produção de briquetes de biomassa torrificada ou torrefeita. Por torrefação entende-se uma pirólise simplificada, onde os briquetes são tratados em um forno com atmosfera não-oxidante a uma temperatura de 220 a 280°C. Alguns compostos mais facilmente degradados pelo calor se degradam e se liberam (hemiceluloses, extrativos, ácido acético, carboidratos simples, etc.) e formam um ar quente pobre em poder de combustão. Esse ar quente pode retornar para complemento de aquecimento na torrefação, gerando energia para aquecer o forno e continuar o processo sucessivamente. Na verdade, estamos produzindo um protótipo de carvão vegetal na forma de briquetes de biomassa torrada. Os briquetes torrificados possuem maior teor de carbono fixo, são resistentes, densos, têm baixíssima umidade (menos de 5%) e concentram ainda mais a energia. Seu poder calorífico pode atingir 20 até 24 GJ por tonelada tal qual, muito em função da elevação do teor de carbono da biomassa torrificada e do baixo teor de umidade nos biocombustíveis dessa biomassa. Os rendimentos para a conversão da biomassa original em material torrificado variam entre 60 a 80%. Quanto menor o rendimento, maior a densidade energética do produto resultante, porém a perda de peso pode ser grande e desestabilizar a estrutura do biocombustível compactado. Trata-se de mais uma oportunidade interessante para converter os resíduos florestais em excelentes e mais eficazes biocombustíveis sólidos.

A compactação de resíduos florestais e de biomassa torrificada em péletes ou briquetes pode ser uma das alternativas consideradas pelos que desejem melhorar a qualidade de seu biocombustível sólido.

Apesar dos custos da densificação ou da torrefação, os resultados podem ser positivamente significativos em função dos ganhos energéticos e da redução das necessidades em pesos e volumes de biomassa

Considerações finais

A temática acerca do uso energético da biomassa florestal é definitivamente extensa e não consegue ser coberta em apenas um único de nossos artigos. Por essa razão, deveremos voltar a lhes oferecer pelo menos mais dois artigos nas próximas edições da Eucalyptus Newsletter, um deles discutindo um pouco mais o conceito de *Florestas Energéticas* e o outro versando sobre rendimentos e

processos de *Conversão em Calor e Eletricidade* dessa energia primária da biomassa florestal.

Contamos com sua leitura e comentários sobre esse texto acima e com sua paciência para aguardar as futuras edições com mais novidades sobre esse interessante mundo da biomassa florestal dos eucaliptos para fins energéticos.

Referências e sugestões para leitura e navegação:

As literaturas brasileira e mundial são muito ricas em artigos, eventos, palestras, vídeos e outros tipos de material técnico sobre o uso da biomassa florestal para fins energéticos. Trata-se de um tema sempre atual e que tem despertado incontestável aumento de interesse em função dos incentivos e estímulos para a busca de fontes alternativas de energia que não sejam fósseis e que possam ser renováveis a custos acessíveis aos usuários.

Dessa forma, não foi difícil, mas também não foi fácil pelo excesso de disponibilidades, em selecionar umas dezenas de artigos para servir de embasamento a esse artigo que escrevemos. O tema é muito amplo e seria possível se escrever uma coleção de livros ao invés de um artigo simples como o que lhes oferecemos nesse texto. O artigo procurou ter um direcionamento prático e direto, por isso, essa seleção de referências da literatura está mais relacionada ao que procuramos elencar como foco do artigo, não sendo, portanto, uma busca exaustiva de muitos artigos, com variadas vertentes tecnológicas.

Espero que esses artigos possam ser de utilidade a vocês, pois foram escritos por uma ampla e diversificada seleção de autores de grande qualificação no setor de geração de energia a partir da madeira e da biomassa florestal dos eucaliptos.

RENABIO – Rede Nacional de Biomassa para Energia. Acesso em 20.11.2015:

http://www.renabio.org.br/publicacoes.htm (Publicações da Renabio)

Energia da biomassa. Portal São Francisco. Acesso em 20.11.2015:

http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/energia-da-biomassa/index.php

INEE – Instituto Nacional de Eficiência Energética. Publicações para downloading. Acesso em 20.11.2015:

http://www.inee.org.br/biomassa_downloads.asp?Cat=biomassa

Cavacos de madeira. Lippel Equipamentos. Acesso em 20.11.2015:

http://www.lippel.com.br/br/sustentabilidade/cavacos-de-madeira#.VINUyO9dFjo

As biorrefinarias integradas no setor brasileiro de fabricação de celulose e papel de eucalipto. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 29. 270 pp. (2015)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT29_BiorrefinariasCelulosePapel.pdf

Qualidade da madeira do eucalipto - Reflexões acerca da utilização da densidade básica como indicador de qualidade da madeira no setor de base florestal. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 41. 199 pp. (2015)

http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT41_Densidade_Basica_Madeira.pdf

Qualidade da madeira do eucalipto - Acerca dos acertos e erros na utilização da densidade básica como indicador de qualidade de madeiras. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 42. 177 pp. (2015)

http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT42_Densidade_Basica_Acertos&Erros.pdf

Cálculos, problemas e balanços aplicados ao setor de produção de celulose e papel de eucalipto: Parte 01: Uma centena de exemplos sobre qualidade e suprimento de madeira e processo de fabricação de celulose (Linha de fibras). C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 38. 177 pp. (2015)

http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT38 Calculos Setor Madeira Celulose.pdf

Cálculos, problemas e balanços aplicados ao setor de produção de celulose e papel de eucalipto: Parte 03: Noventa exemplos sobre geração e conservação de energia, recuperação do licor preto kraft, utilidades e polpação química sulfito. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 40. 234 pp. (2015)

http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT40_Calculos_Recuperacao_Utilidades_Energia.pdf

O potencial das florestas energéticas. L.C. Rezende. Canal Jornal da Bioenergia. (2015)

http://www.canalbioenergia.com.br/a-energia-das-florestas/

Producción de biomassa con espécies de *Eucalyptus.* F. Resquin. Jornada de Biomasa Forestal. INIA – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria de Uruguay. Apresentação em PowerPoint: 29 slides. (2015)

http://www.inia.uy/Documentos/Privados/INIA%20Tacuaremb%C3%B3/Biomasa%2029%20 octubre%202015/2%20-%20Fernando%20Resquin%20Producci%C3%B3n.pdf (em Espanhol)

Influência do espaçamento nas propriedades energéticas e biomassa de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. F.B. Wionzek. Dissertação de Mestrado. UNICENTRO – Universidade Estadual do Centro-Oeste. 76 pp. (2014)

http://www.unicentro.br/posgraduacao/mestrado/bioenergia/dissertacoes/Disserta_o_bioenergia_final_55d3614dd2100.pdf

Potencial energético da madeira de *Eucalyptus* sp. em função da idade e de diferentes materiais genéticos. A.C.O. Carneiro; A.F.N.M. Castro; R.V.O. Castro; R.C. Santos; L.P. Ferreira; R.A.P. Damásio; B.R. Vital. Revista Árvore 38(2): 375 – 381. (2014)

http://www.scielo.br/pdf/rarv/v38n2/19.pdf

Estimativa do poder calorífico de madeiras de acácia-negra e eucalipto do Município de Pelotas - RS. C.M. Couto. Trabalho de Conclusão de Curso. UFPel - Universidade Federal de Pelotas. 56 pp. (2014)

http://wp.ufpel.edu.br/esa/files/2014/10/TCC-CAROLINA-COUTO.pdf

Avaliação e modelagem do crescimento de florestas energéticas de eucalipto plantadas em diferentes densidades. I.P. Sartório. Dissertação de Mestrado. UFPR – Universidade Federal do Paraná. 137 pp. (2014)

http://dspace.c3sl.ufpr.br: 8080/dspace/bitstream/handle/1884/36422/R%20-%20D%20-%20IAN%20PEREIRA%20SARTORIO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Correlações entre as propriedades da madeira e do carvão vegetal de **híbridos de eucalipto.** V.C. Soares; M.L. Bianchi; P.F. Trugilho; A.J. Pereira; J. Höfler. Revista Árvore 38(3): 543 – 549. (2014)

http://www.scielo.br/pdf/rarv/v38n3/v38n3a17.pdf

Qualidade dos cavacos para combustão. Lippel Equipamentos. 03 pp. (2014)

 $\label{limit} http://www.lippel.com.br/lippel/uploads/downloads/05-05-2014-10-36 qualidade-dos-cavacos-para-combustao.pdf$

Desempenho silvicultural e avaliação econômica de clones híbridos de eucaliptos plantados em diferentes regimes de manejo para fins energéticos. F.H.L. Gadelha. Tese de Doutorado. UFRPE – Universidade Federal Rural de Pernambuco. 147 pp. (2014)

http://ppgcfufrpe.jimdo.com/app/download/7043585965/Fernando+Henrique+de+Lima+Gadelha.pdf?t= 1425043164

Importância e versatilidade da madeira de eucalipto para a indústria de base florestal. D. Longue Júnior; J.L. Colodette. Pesquisa Florestal Brasileira 33(76): 429 – 438. (2013)

http://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/528/343

Seleção de clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal e bioenergia por meio de técnicas univariadas e multivariadas. T.P. Protásio; A.M. Couto; A.A. Reis; P.F. Trugilho. Scientia Forestalis 41(97): 15 – 28. (2013) http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr97/cap02.pdf

Características energéticas da madeira e carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp. A.M.B. Chaves; A.T. Vale; R.C.N. Melido; V.P. Zoch. Enciclopédia Biosfera 9(17): 533 – 542. (2013)

http://www.conhecer.org.br/enciclop/2013b/CIENCIAS%20AGRARIAS/CARACTERISTICAS%20ENERGETICAS.pdf

Qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* em diferentes idades para a produção de bioenergia. T.A. Neves; T.P. Protásio; P.F. Trugilho; M.L.A. Valle; L.C. Sousa; C.M.M. Vieira. Revista de Ciências Agrárias 56(2): 139 – 148. (2013)

Impacto do teor de umidade e da espécie florestal no custo da energia útil obtida a partir da queima da lenha. J.M.M.A.P. Moreira; E.A. Lima; I.C.G.R. Goulart. Embrapa Florestas. Comunicado Técnico nº 293. 05 pp. (2012)

http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/65182/1/CT293.pdf

Energia da biomassa florestal. P.F. Trugilho. 4º Congresso Florestal Paranaense. 17 pp. (2012)

http://malinovski.com.br/CongressoFlorestal/Palestras/Palestra-05.pdf

Caracterização energética do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. D.A. Silva; B.V. Müller; E.C. Kuiaski; A.B. Cunha. 4º Congresso Florestal Paranaense. 07 pp. (2012)

http://malinovski.com.br/CongressoFlorestal/Trabalhos/05-Silvicultura/SIL-Artigo-36.pdf

Energia armazenada nos resíduos do desdobro de toras de *Eucalyptus* grandis. T.C. Monteiro; J.T. Lima; P.F. Trugilho. Ciência da Madeira 3(1): 33 – 42. (2012)

http://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/cienciadamadeira/article/view/4035/3179

Caracterização química e física da madeira de *Eucalyptus*. P.F. Trugilho; S.L. Goulart. EnerBiomassa12. Apresentação em PowerPoint: 16 slides. (2012)

http://2100.org/enerbiomassa/slides/A2/A2.1.pdf

Qualidade da madeira de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal. B.L.C. Pereira. Dissertação de Mestrado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 103 pp. (2012)

 $http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_arquivos/4/TDE-2012-08-29T101602Z-3902/Publico/texto\%20completo.pdf\\$

Qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* cultivados no sul de Minas Gerais. T. Andrade Neves. UFLA – Universidade Federal de Lavras. 95 pp. (2012)

http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/841/1/DISSERTA%c3%87%c3%830_%20Qualidade%20da%20madeira%20e%20do%20carv%c3%a3o%20vegetal%20de%20clones%20de%20Eucalyptus%20cultivados%20no%20sul%20de%20Minas%20Gerais.pdf

Uso da biomassa como alternativa energética. B.M. Cardoso. Trabalho de Conclusão de Curso. UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 112 pp. (2012)

http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10005044.pdf

Extrativos nas propriedades energéticas de *Eucalyptus* e *Pinus*. A.J.V. Zanuncio; P.F. Trugilho; J.R.C. Nobre. EnerBiomassa12. 01 pp. (2012)

http://www.enerbiomassa.2100.org/abstracts/bilingues/EB_en_br_PA-2.pdf

Propriedades da madeira e estimativas de massa, carbono e energia de clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes locais. L.C. Santos; A.M.M.L. Carvalho; B.L.C. Pereira; A.C. Oliveira; A.C.O. Carneiro; P.F. Trugilho. Revista Árvore 36(5): 971 – 980. (2012)

http://www.scielo.br/pdf/rarv/v36n5/19.pdf

Correlação entre teor de umidade e eficiência energética de resíduos de *Pinus* taeda em diferentes idades. T.S. Furtado; J.C. Ferreira; M.A. Brand; M.D. Neves. Revista Árvore 36(3): 577 – 582. (2012)

http://www.scielo.br/pdf/rarv/v36n3/v36n3a20.pdf

Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas. A.C. Vieira. Dissertação de Mestrado. UNIOESTE - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. 72 pp. (2012)

 $http://projetos.unioeste.br/pos/media/File/energia_agricultura/pdf/Dissertacao_Ana_C_Vieira.pdf$

Inovação tecnológica há mais de um século. R.E. Hamakada. Revista Opiniões 29. (2012)

http://florestal.revistaopinioes.com.br/revista/detalhes/9-inovacao-tecnologica-ha-mais-de-um-seculo/

Florestas energéticas. Revista Opiniões. Edição 29. (2012)

http://revistaonline.revistaopinioes.com.br/revistas/flo/71/#page/4

Caracterização energética de *pellets* de madeira. D.P. Garcia; J.C. Caraschi; G. Ventorim.7º Congresso Internacional de Bioenergia. 06 pp. (2012)

http://www.abipel.com.br/media/doc/CARACTERIZACAO_ENERGETICA_DE_PELLETS_DE_MADEIRA_7_Bioenergia.pdf

Perspectivas do setor de biomassa de madeira para a geração de energia. A.C.F. Vital; A.B. Hora. BNDES Setorial 33: 261 - 314. (2011)

 $http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/4030/BNDES_Perspectivas-do-setor-de-biomassa-de-madeira-para-gera%c3%a7%c3%a3o-de-energia.pdf?sequence=1&isAllowed=y$

Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. R.C. Santos; A.C.O. Carneiro; A.F.M. Castro; R.V.O. Castro; J.J. Bianche; M.M. Souza; M.T. Cardoso. Scientia Forestalis 39(90): 221 – 230. (2011)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr90/cap10.pdf

Caracterização dendroenergética de árvores de *Eucalyptus benthamii*. E.A. Lima; H.D. Silva; O.J. Lavoranti. Pesquisa Florestal Brasileira 31(65): 09 - 17. (2011)

http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/884534/1/edsonlima.pdf

Custos de produção das biomassas de eucalipto e capim-elefante para energia. L.R.M. Quéno; A.N. Souza; H. Ângelo; A.T. Vale; I.S. Martins. Cerne 17(3): 417 – 426. (2011)

http://www.scielo.br/pdf/cerne/v17n3/v17n3a17.pdf

Plantios adensados de eucaliptos: Será que esse novo modelo de silvicultura pode apresentar adequada sustentabilidade? C. Foelkel. Eucalyptus Newsletter 33. (2011)

http://www.eucalyptus.com.br/newspt_fev11.html#quatorze

Um guia referencial sobre ecoeficiência energética para a indústria de papel e celulose kraft de eucalipto no Brasil. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo no 19. 140 pp. (2010)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT19_EcoeficienciaEnerg.pdf

Rendimento volumétrico e energético de clones de híbridos de *Eucalyptus urophylla* (Cruzamento natural) e *Eucalyptus brassiana* (Cruzamento natural) na Chapada do Araripe – PE. F.H.L. Gadelha. Dissertação de Mestrado. UFRPE – Universidade Federal Rural de Pernambuco. 65 pp. (2010)

http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/5364/dissertacao_Fernan do%20Henrique%20de%20Lima%20Gadelha.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. R.C. Santos. Tese de Doutorado. UFLA – Universidade Federal de Lavras. 173 pp. (2010)

http://www.prpg.ufla.br/ct-madeira/wp-content/uploads/2012/07/Rosimeire-Cavalcante-dos-Santos-Tese1.pdf

Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus* pellita F. Muell. A.C. Oliveira; A.C.O. Carneiro; B.R. Vital; W. Almeida; B.L.C. Pereira; M.T. Cardoso. Scientia Forestalis 38(87): 431 – 439. (2010)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr87/cap10.pdf

Aproveitamento da biomassa florestal: Produção de energia verde no Brasil. Y.V. Abreu; C.M. Silva; H.R. Nascimento; S.M.G. Guerra. 48º Congresso SOBER. 16 pp. (2010)

http://sober.org.br/palestra/15/490.pdf

Produção de carvão vegetal utilizando madeira de florestas plantadas de eucalipto. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo nº 18. (2010)

http://www.eucalyptus.com.br/newspt_abril10.html#quatorze

Colheita mecanizada de biomassa florestal para energia. J.L. Canto. Tese de Doutorado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 139 pp. (2009)

http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/113/Tese_Juliana-Lorensi-do-Canto.pdf?sequence=1

Madeira para produção de carvão e biomassa. R. Almado. IPEF 2020 - Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Apresentação em PowerPoint: 44 slides. (2009)

http://www.ipef.br/apresentacao/ipef2020/IPEF2020_Tema%209_Biomassa.pdf

Crescimento, produção e propriedades da madeira de um clone de *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla* com enfoque energético. W.M.S. Santana. Dissertação de Mestrado. UFLA – Universidade Federal de Lavras. 104 pp. (2009)

http://repositorio.ufla.br/jspui/bitstream/1/3007/1/DISSERTA%c3%87%c3%830_Crescimen to%2c%20produ%c3%a7%c3%a3o%20e%20propriedades%20da%20madeira%20de%20u m%20clone%20de%20Eucalyptus%20grandis%20x%20E.%20urophylla%20com%20enfoqu e%20energ%c3%a9tico.pdf

Viabilidade econômica da produção de biomassa de eucalipto e de capim elefante para energia. L.R.M. Quéno. Dissertação de Mestrado. UnB – Universidade de Brasília. 77 pp. (2008)

http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/7547/1/2009 LaurentRogerMQueno.pdf

Capítulo 4 - Biomassa. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. 3ª Edição. (2008)

http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap4.pdf

http://www.aneel.gov.br/visualizar_texto.cfm?idtxt=1689 (Todos os capítulos do Atlas)

Biomassa de ciclos curtos (no Brasil e no exterior). S. Urquiaga; V.N.G. Mazzarella. Maden 2008. Apresentação em PowerPoint: 60 slides. (2008)

 $http://www.inee.org.br/down_loads/biomassa/Apresentação\%20Urquiaga_Mazzarella\%20-\%20campim\%20elefante-atual\%2002set.pdf$

Como evoluir a produtividade da cadeia de madeira energética. J.O. Brito. Maden 2008. Apresentação em PowerPoint: 44 slides. (2008)

http://www.inee.org.br/down_loads/biomassa/Rio%20de%20Janeiro%202008.pdf

Espécies florestais para produção de energia. C.R. Souza; C.P. Azevedo; R.M.B. Lima; L.M.B. Rossi. Embrapa CPAA. Circular Técnica nº 31. 08 pp. (2008) http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/669033/1/CircTec312008.pdf

Aproveitamento de cavacos atrai interesse internacional. F.C. Neutzling. Revista da Madeira 111. (2008)

http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1225&subject=Cavacos &title=Aproveitamento%20de%20cavacos%20atrai%20interesse%20internacional

Densificação da madeira. C. Fraza. Maden 2008. Apresentação em PowerPoint: 23 slides. (2008)

http://www.inee.org.br/down_loads/biomassa/Carlos%20Fraza%20Maden%202008.pdf

Consumo de lenha e produção de resíduos de madeira no setor comercial e industrial do Distrito Federal. R.A. Barroso. Dissertação de Mestrado. UnB – Universidade de Brasília. 65 pp. (2008)

http://repositorio.unb.br/bitstream/10482/1919/1/2008 RodrigoAlmeidaBarroso.pdf

Biomassa para energia. L.A.B. Cortez; E.E.S. Lora; E.O. Gómez. UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas. 29 pp. (2008)

http://www.nipe.unicamp.br/2013/docs/publicacoes/inte-biomassa-energia070814.pdf

Uso da madeira para fins energéticos. H.D. Silva. Maden 2008. Embrapa Florestas. Apresentação em PowerPoint: 35 slides. (2008)

http://www.inee.org.br/down_loads/biomassa/Apresentação%20Helton%20Rio%20de%20Ja neiro%20v2.pdf

Otimização do uso de lenha e cavaco de madeira para produção de energia em agroindústria Seropédica. M.D. Nascimento. Dissertação de Mestrado. UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". 103 pp. (2007)

 $http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90683/nascimento_md_me_botfca.pdf?\\sequence=1\&isAllowed=y$

O uso energético da madeira. J.O. Brito. Estudos Avançados 21(59): 185 - 193. (2007)

http://www.scielo.br/pdf/ea/v21n59/a14v2159.pdf

Florestas energéticas. Situação atual e perspectivas no Brasil. Caso V&M Florestal. M.E.L. Winter. Vallourec & Mannesmann. Apresentação em PowerPoint: 24 slides. (2007)

http://www.inee.org.br/down_loads/eventos/0945MarioWinter%20VM.ppt

Produtos e propriedades energéticas da madeira. P. Schürhaus.UNIUV – Centro Universitário de União da Vitória. 162 pp. (2007)

http://engmadeira.yolasite.com/resources/Energia%20da%20madeira.pdf

Aproveitamento da biomassa residual de colheita florestal. C.A. Ortolan; E.W. Azevedo; A.C. Antiqueira; F.A.S. Ortolan; H. Bonisch. Seminário de Atualização sobre Sistemas de Colheita de Madeira e Transporte Florestal. 10 pp. (2006)

http://www.ciflorestas.com.br/arquivos/doc_aproveitamento_florestal_11596.pdf

Caracterização físico-energética da madeira e produtividade de reflorestamentos de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis x E. urophylla.* V.E. Costa. Tese de Doutorado. UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". 114 pp. (2006)

http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arg0043.pdf

Uso da biomassa florestal na geração de energia. T.S. Soares; A.C.O. Carneiro; E.O. Gonçalves; J.G. Lellis. Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal. 09 pp. (2006)

http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/florestal1_000gapwcajw02wx5ok04xjloyxd3fpu2.pdf

Minerais e nutrientes das árvores dos eucaliptos: Aspectos ambientais, fisiológicos, silviculturais e industriais acerca dos elementos inorgânicos presentes nas árvores. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 02. 133 pp. (2006)

http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/capitulo_minerais.pdf

Casca da árvore do eucalipto: aspectos morfológicos, fisiológicos, florestais, ecológicos e industriais, visando a produção de celulose e papel. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 01. 109 pp. (2005)

http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/capitulo_casca.pdf

Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. W.F. Quirino; A.T. Valle; A.P.A. Andrade; V.L.S. Abreu; A.C.S. Azevedo. Revista da Madeira 89: 100 – 106. (2005)

http://www.funtecg.org.br/arquivos/podercalorifico.pdf

Produção de madeira para geração de energia elétrica numa plantação clonal de eucalipto em Itamarandiba - MG. M.D. Müller. Tese de Doutorado. UFV - Universidade Federal de Viçosa. 108 pp. (2005)

http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/31/129121_c.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Características de algumas biomassas usadas na geração de energia no **Brasil.** L. Calegari; C.E.B. Foelkel; C.R. Haselein; J.L.S. Andrade; P. Silveira; E.J. Santini. Biomassa e Energia 2(1): 37 – 46. (2005)

http://www.renabio.org.br/04-B&E-v2-n1-2005-p37-46.pdf

O estado-da-arte da qualidade da madeira de eucalipto para produção de energia: um enfoque nos tratamentos silviculturais. D.C. Barcellos; L.C. Couto; M.D. Müller; L. Couto. Biomassa e Energia 2(2): 141 – 158. (2005)

http://www.renabio.org.br/06-B&E-017-BarcellosDC-QualMadeira-2005-p141-158.pdf

Vias de valorização energética da biomassa. L.C. Couto; L. Couto; L.F. Watzlawick; D. Câmara. Biomassa e Energia 1(1): 71 – 92. (2004)

http://www.renabio.org.br/008-B&E-v1-n1-2004-71-92.pdf

Características da madeira de seis espécies de eucalipto plantadas em Colombo-PR. J.C.D. Pereira; P.P. Mattos; E.G. Schaitza. Embrapa Florestas. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento nº 15. 17 pp. (2003)

http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/281005/1/digitalizar0022.pdf

Produtividade e equivalência energética de *Eucalyptus* sp. em relação ao óleo combustível e à energia elétrica. C.R. Lima. Anais do 3º Encontro Energia no Meio Rural. 09 pp. (2003)

http://www.nipeunicamp.org.br/agrener/anais/2000/1_7.pdf

Quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado. A.T. Vale; M.A.M. Brasil; A.L. Leão. Ciência Florestal 12(1): 71 - 80. (2002)

http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/1702. http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/1702/977

Geração de energia elétrica a partir de biomassa no Brasil: situação atual, oportunidades e desenvolvimento. I.C. Macedo. CGEE - Centro de Gestão de Estudos Estratégicos. 11 pp. (2001)

http://www.cgee.org.br/arquivos/estudo003 02.pdf

Alternativas para a cogeração de energia em uma indústria de chapas de fibra de madeira. V.B. Pereira Júnior. Dissertação de Mestrado. UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". 101 pp. (2001)

http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90700/pereirajunior_vb_me_botfca.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no **Brasil.** J.C.D. Pereira; J.A. Sturion; A.R. Higa; R.C.V. Higa; J.Y. Shimizu. Embrapa Florestas. Série Documentos nº 38. (2000)

http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/doc38ID-Mw8eMekWla.pdf

Potencialidades energéticas de oito espécies florestais do estado do Rio de Janeiro. A.M. Andrade; L.M. Carvalho. Floresta e Ambiente 5(1): 24 – 42. (1996)

http://www.if.ufrrj.br/biolig/art_citados/Potencialidades%20energ%C3%A9ticas%20de%20o ito%20esp%C3%A9cies%20florestais%20do%20estado%20do%20Rio%20de%20Janeiro.pdf

Experiências de geração de energia elétrica a partir de biomassa no Brasil: Aspectos técnicos e econômicos. L.A.H. Nogueira; A.C.S. Walter. In: Memoria - Reunión regional sobre generación de electricidad a partir de biomassa. FAO – Food and Agriculture Organization. (1996)

http://www.fao.org/docrep/T2363S/t2363s0c.htm#experiências de geração de energia elétrica a partir

Generación eléctrica a partir de combustibles vegetales: Aspectos técnicos, económicos y ambientales. M.A. Trossero. In: Memoria - Reunión Regional sobre Generación de Electricidad a partir de Biomassa. FAO - Food and Agriculture Organization. (1996)

http://www.fao.org/docrep/T2363S/t2363s09.htm#generación eléctrica a partir de combustibles vegetales: aspectos (em Espanhol)

Faça um bom uso de sua floresta. C. Foelkel. 5º Congresso Florestal Brasileiro. 05 pp. (1986)

http://www.celso-

foelkel.com.br/artigos/Faca%20um%20bom%20uso%20de%20sua%20floresta.pdf

Umidade ao abate da madeira e da casca de *Eucalyptus grandis.* C.A. Busnardo; J.V. Gonzaga; S. Menochelli; E.P. Benites; C. Dias; C.E.B. Foelkel. 4° Congresso Florestal Brasileiro. Silvicultura 28: 749 - 753. (1983)

http://www.celso-

foelkel.com.br/artigos/outros/18_Umidade%20abate%20madeira%20e%20casca%20eucaly ptus%20grandis.pdf

Análise da produção energética e de carvão vegetal de espécies de eucalipto. J.O. Brito; L.E.G. Barrichelo; F. Seixas; A.J. Migliorini; M.C. Muramoto. IPEF 23: 53 – 56. (1983)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr23/cap08.pdf

Determinação das propriedades energéticas de resíduos de madeira em diferentes períodos de armazenamento. M.A. Brand; V.J. Costa; A. Durigon; M. Amorim. Tractebel Energia. 07 pp. (SD = Sem referência de data)

http://www.tractebelenergia.com.br/wps/wcm/connect/304a87b4-66c9-4dbc-9494-b4e6896c4328/numero3.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=304a87b4-66c9-4dbc-9494-b4e6896c4328

e

 $http://www.tractebelenergia.com.br/wps/wcm/connect/55d0b330-f0f8-437b-b128-dd9ba262aaaf/0403-018-2004_art.pdf?MOD=AJPERES\&CACHEID=55d0b330-f0f8-437b-b128-dd9ba262aaaf$

Eucalipto: realidade energética em Alagoas. Estudo Setorial. Log Estratégia. 75 pp. (SD = Sem referência de data)

http://www.logestrategia.com.br/cms/assets/uploads/_PUBLICACOES/_PDF/f405e06001c8252b3108fbe5773d33d5_EUCALIPTO%20FINAL.pdf

Tecnologia de produção de biomassa energética. Capítulo 02 – Florestas energéticas. H. Freitas. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Apresentação em PowerPoint: 18 slides. (SD = Sem referência de data)

http://docente.ifrn.edu.br/hannielfreitas/disciplinas/tecnologia-de-producao-de-biomassa-energetica/Capitulo%202%20-%20Florestas%20Energeticas.pdf

Compra de madeira energética. C. Foelkel. Pergunte ao Euca Expert. Pergunta 931. 04 pp. (SD = Sem referência de data)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaexpert/931_Madeira%20energetica.pdf

Poder calorífico da madeira de teca. C. Foelkel. Pergunte ao Euca Expert. Pergunta 923. 03 pp. (SD = Sem referência de data)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaexpert/923_Poder%20calorifico%20madeira%20de%20teca.pdf

Poder calorífico do eucalipto. C. Foelkel. Pergunte ao Euca Expert. Pergunta 654. 03 pp. (SD = Sem referência de data)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaexpert/Pergunta%20654.doc

Poder calorífico do licor. C. Foelkel. Pergunte ao Euca Expert. Pergunta 12. 04 pp. (SD = Sem referência de data)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaexpert/Pergunta%2012.doc



Eucalyptus Newsletter é um informativo técnico orientado para ser de grande aplicabilidade a seus leitores, com artigos e informações acerca de tecnologias florestais e industriais sobre os eucaliptos

Coordenador e Redator Técnico - Celso Foelkel

Editoração - Alessandra Foelkel (webmaster@celso-foelkel.com.br)

GRAU CELSIUS: Tel. (51) 9947-5999 Copyrights © 2012- 2016 - celso@celso-foelkel.com.br

32

Essa **Eucalyptus Newsletter** é uma realização da **Grau Celsius**. As opiniões expressas nos artigos redigidos por Celso Foelkel, Ester Foelkel e autores convidados, bem como os conteúdos dos websites recomendados

para leitura não expressam necessariamente as opiniões dos apoiadores, facilitadores e patrocinadores.

Caso você tenha interesse em **conhecer mais sobre a Eucalyptus Newsletter** e suas edições, por favor visite:

http://www.eucalyptus.com.br/newsletter.html

Descadastramento: Caso você **não queira continuar recebendo** a Eucalyptus Newsletter, o Eucalyptus Online Book e a PinusLetter, envie um e-mail para: webmanager@celso-foelkel.com.br

Caso esteja interessado em **apoiar ou patrocinar** as edições da Eucalyptus Newsletter, da PinusLetter, bem como os capítulos do Eucalyptus Online Book - click aqui - para saber maiores informações

Caso queira se **cadastrar** para passar a receber as próximas edições dirija-se a: http://www.eucalyptus.com.br/cadastro.html



33