



THIAGO CAMPOS MONTEIRO

**BALANÇO ENERGÉTICO DO
PROCESSAMENTO MECÂNICO DE TORAS DE
*Eucalyptus***

LAVRAS – MG

2011

THIAGO CAMPOS MONTEIRO

**BALANÇO ENERGÉTICO DO PROCESSAMENTO MECÂNICO DE
TORAS DE *Eucalyptus***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

PhD. José Tarcísio Lima

Co-orientadores

Dr. Giovanni Francisco Rabelo

Dr. José Reinaldo Moreira da Silva

LAVRAS – MG

2011

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Monteiro, Thiago Campos.

Balço energético do processamento mecânico de toras de
Eucalyptus / Thiago Campos Monteiro. – Lavras : UFLA, 2011.
68 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2011.

Orientador: José Tarcísio Lima.

Bibliografia.

1. Energia ativa. 2. Energia armazenada. 3. Serraria. 4.
Desdobro. 5. Eficiência energética. I. Universidade Federal de
Lavras. II. Título.

CDD – 674.0287

THIAGO CAMPOS MONTEIRO

**BALANÇO ENERGÉTICO DO PROCESSAMENTO MECÂNICO DE
TORAS DE *Eucalyptus***

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 17 fevereiro de 2011

Dr. Paulo Fernando Trugilho UFLA

Dr. Joaquim Paulo da Silva UFLA

PhD. José Tarcísio Lima

Orientador

Dr. Giovanni Francisco Rabelo

Dr. José Reinaldo Moreira da Silva

Co-orientadores

LAVRAS – MG

2011

A Deus, pela oportunidade concedida; aos amigos espirituais pelo acompanhamento neste trabalho; à CAPES, à Universidade Federal de Lavras, ao Departamento de Ciências Florestais e ao Programa de Ciência & Tecnologia da Madeira pelo apoio financeiro, físico, de material e de pessoal para a realização deste trabalho. Aos amigos *Allan, Gabriel, Thiza, Vanessa, Edy, Renato, Beca, Rodrigo* e *Kurumim* pela agradável convivência e incentivo.

AGRADEÇO

Ao *Prof. José Tarcísio Lima* pela orientação, incentivo e ensinamentos, aos *Prof. José Reinaldo, Gustavo, Lourival, Paulo Trugilho, Giovanni e Joaquim* pelos ensinamentos e troca de conhecimentos; ao Pesquisador *Alfredo Napoli* pelos conselhos; aos colegas e amigos *Tatti, Naty, Isabel, Jeyme, Raphael, Luana, Xisto, Bruna* (Fuapa), *Camilo, Tião, Selma, Rogério, Pedro, Sabrina, Lina, Thiago Protásio* e aos demais colegas da C&T da Madeira pela amizade, companheirismo e apoio; aos funcionários *Zé Fazenda, Sr Vico, Carlos, Chica, Cris, Wilson* por toda a atenção e informações para a realização deste trabalho.

OFEREÇO

Ao meu vô *Divino*, pelos primeiros discos de *Eucalyptus*... A minha vó *Maria do Carmo*, pelo exemplo de força e carinho; a *José Alberto*, meu pai (sempre presente) e minha mãe *Letícia*, que com sua simplicidade e amor incondicional me ensinaram os reais valores da vida.... ao *André* e a *Camila*, meus irmãos por todo incentivo e carinho ... À *Le*, que mesmo distante soube me incentivar e dar força para a realização deste trabalho com amor e palavras de incentivo.

DEDICO

RESUMO

Nas serrarias, a serra de fita e a serra circular são as principais máquinas que consomem energia no processo de desdobro de toras. Além de produzir madeira serrada, durante o desdobro também é gerado grande volume de resíduos. Eventualmente, esses resíduos podem ser queimados para geração de energia ou empregados para a confecção de outros itens. A madeira quando comparada a outros materiais como aço, concreto, alumínio, cerâmica, plástico, entre outros apresenta vantagens quanto a sua eficiência energética. Os principais objetivos deste trabalho foram avaliar a eficiência do balanço energético do desdobro das toras e verificar a influência das propriedades das toras no consumo energético das serras. Foram utilizadas dez toras de *Eucalyptus grandis* provenientes de um plantio com 15 anos de idade, retiradas de uma área da Universidade Federal de Lavras (UFLA). As toras foram serradas em uma serra de fita e em seguida os pranchões foram resserrados em uma serra circular. A energia elétrica consumida foi medida com um medidor multifuncional. A energia armazenada nos resíduos e na madeira serrada foi determinada através do poder calorífico inferior. O balanço energético foi calculado pela diferença entre a energia elétrica consumida nas serras e as energias armazenadas nos resíduos e na madeira serrada. O consumo de energia elétrica para produzir um metro cúbico de madeira serrada foi equivalente a 201,28 kWh. O saldo do balanço energético que considera a energia armazenada nos resíduos e na madeira serrada foi 2,2 vezes superior ao saldo que considerou apenas a energia dos resíduos. A propriedade da tora que mais influenciou a intensidade de energia consumida nos cortes foi sua massa ($R^2 = 0,61$). Os resultados também demonstraram que a produção de madeira serrada de *Eucalyptus grandis* tem potencial para ser auto-suficiente em energia elétrica.

Palavras-chave: Energia ativa. Energia armazenada. Serraria. Desdobro. Eficiência energética.

ABSTRACT

In sawmills, the band and circular saw are the main machines which consume energy in the sawing of logs. In addition to producing lumber, during the sawing it is also generated large amounts of waste. Eventually, this waste can be burned for energy or used for making other items. The wood when compared to other materials such as steel, concrete, aluminum, ceramic, plastic, presents among other advantages high energy efficiency. The main objective of this work was to evaluate the efficiency of the energy balance of the sawing of logs and the influence of the log properties in the energy consumption of the saws. This work used ten logs of *Eucalyptus grandis* plantation with 15 years of age, cut from an area of the Federal University of Lavras (UFLA). The logs were sawn using a band saw and then the boards were re-sawn in a circular saw. The consumed electrical energy was measured using a multifunctional meter. The energy stored both in the waste and in sawn wood was determined by the lower calorific value. The energy balance was calculated as the difference between the consumed electricity in the saws and the energy stored in the waste and sawn wood. The consumption of electrical energy to produce one cubic meter of sawn wood was equivalent to 201.28 kWh. The balance of energy that considers the energy stored in the waste and sawn wood was 2.2 times higher than the balance that considered only the energy from waste. The mass was the property of the log that most influenced the intensity of consumed energy in the cuts ($R^2 = 0.61$). The results also showed that the production of sawn timber of *Eucalyptus grandis* has the potential to be self-sufficient in electricity.

Keywords: Active power. Stored energy. Sawmill. Sawmill log. Energy efficiency.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	09
2	REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1	Produção de madeira serrada	11
2.2	Madeira e outros materiais	16
2.3	Energias envolvidas no desdobro das toras	19
2.4	Balanco energético	23
3	MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1	Preparo e medição das toras	26
3.2	Desdobro das toras	27
3.2.1	Desdobro na serra de fita	28
3.2.2	Resserra na serra circular	31
3.2.3	Rendimentos	33
3.2.4	Estudo dos tempos	34
3.2.5	Largura total de corte	34
3.3	Amostragem para ensaios e testes	35
3.4	Determinação da densidade básica, umidade e massa da tora	35
3.5	Energia armazenada na madeira	36
3.6	Consumo de energia	36
3.7	Influência das propriedades da tora no consumo de energia	38
3.8	Balanco energético	38
3.9	Análise estatística dos dados	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1	Propriedades das toras	41
4.2	Avaliação do processamento mecânico	43
4.2.1	Rendimentos	43
4.2.2	Somatória da largura de corte	45
4.2.3	Estudo dos tempos	45
4.3	Energia consumida nas serras	46
4.4	Influência das propriedades da tora no consumo de energia	50

4.4.1	Efeito do diâmetro da tora no consumo de energia.....	50
4.4.2	Efeito do somatório da largura de corte no consumo de energia.....	51
4.4.3	Efeito da massa úmida no consumo de energia.....	53
4.4.4	Efeito da densidade básica e teor de umidade no consumo de energia.....	54
4.4.5	Influência do aumento das propriedades no consumo de energia...	54
4.5	Energia armazenada nos resíduos.....	55
4.6	Balço energético.....	57
5	CONCLUSÕES.....	60
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61
	REFERÊNCIAS.....	62
	ANEXO A.....	68

1 INTRODUÇÃO

O principal consumidor de energia no Brasil é o setor industrial, responsável por 43,7% do consumo de energia elétrica (BRASIL, 2010). Na indústria madeireira, mais especificamente nas serrarias, o consumo de energia ocorre principalmente nas serras principais e secundárias, responsáveis pelo desdobro das toras e pranchões, respectivamente. A energia utilizada nas serras tem origem na queima de combustível fóssil, energia hidráulica ou queima dos resíduos, variando de acordo com a localização da serraria. O consumo de energia em uma serraria é um fator limitante, pois interfere nos custos de produção e até mesmo no funcionamento da empresa, quando distante da rede elétrica. A medição da energia consumida é realizada por medidores elétricos, instalados pela concessionária de energia ou pelo próprio usuário.

O consumo de energia para a produção de madeira serrada é baixo quando comparado com a produção de outros materiais (FERGUSON et al., 2010). A produção de madeira serrada é realizada com o desdobro de toras em uma serraria, e gera, além desta, resíduos na forma de costaneiras, aparas, serragem e casca. Eventualmente, os resíduos são queimados para a geração de energia elétrica, suprimindo totalmente ou parcialmente a energia consumida no desdobro das toras. A utilização desses resíduos para a geração de energia, substituindo, por exemplo, o combustível fóssil, é importante do ponto de vista ambiental (GUSTAVSSON et al., 2007). A energia armazenada nos resíduos pode ser mensurada pelo poder calorífico inferior ou líquido do resíduo.

A geração de energia é uma das principais responsáveis pela emissão dos gases do efeito estufa (GEE) em países industrializados. Além das emissões dos GEE, a geração de energia provoca impactos ambientais como a chuva ácida, a

destruição da biodiversidade e do patrimônio cultural, e a remoção da fauna, da flora e do solo (GUENA, 2007).

Sendo a madeira pioneira em diversos usos, apresentando vantagem ambiental e energética quando comparada aos seus materiais substitutos, e sendo escassos os trabalhos que avaliam os seus aspectos ambientais positivos, o presente trabalho teve como objetivos:

- a) Avaliar o balanço energético do desdobro das toras de *Eucalyptus grandis*;
- b) Verificar a influência das propriedades das toras no consumo energético das serras;
- c) Estudar as diferentes energias consumidas nas serras durante o desdobro;
- d) Verificar os rendimentos e o estudo de tempo do desdobro.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico resume-se a uma revisão de literatura geral sobre a produção de madeira serrada, as serras utilizadas na serraria, a madeira e outros materiais, as energias envolvidas no desdobro das toras e, por fim, uma abordagem sobre o cálculo do balanço energético na serraria.

2.1 Produção de madeira serrada

O uso da madeira na forma de serrados ocorre há milênios, quando os antigos utilizavam tábuas e pranchões na confecção de sarcófagos. Posteriormente, foram utilizados pelos fenícios, normandos e romanos para a construção de embarcações, seguidos pelos portugueses e espanhóis, nas grandes navegações (WILLISTON, 1976).

O primeiro equipamento para serrar a madeira era de bronze, chamado serra de cova e utilizado pelos egípcios. A serra era movida a mão para o desdobro de toras na produção de pranchões e tábuas. Essas mesmas serras, em pequena dimensão, eram utilizadas para a resserra dos pranchões e tábuas (WILLISTON, 1976).

Em 1555, surgiu a primeira serra de desdobro dotada de movimento alternativo. Essas serras eram movimentadas por um braço adaptado a um eixo de uma roda d'água. Outras serras alternativas foram aperfeiçoadas até que, em 1777, foi patenteada por Samuel Miller a primeira serra circular e, em 1800, Willian Newberry construiu a primeira serra de fita (WILLISTON, 1976).

A serraria é o local onde as toras são recebidas, armazenadas e transformadas em produtos como tábuas, ripas, dormentes, laminados, entre

outros. Após essa fase, as peças produzidas ficam estocadas por um período para a secagem natural ou industrial.

Hoje, no Brasil, os principais equipamentos utilizados nas serrarias são classificados em serras principais e secundárias ou auxiliares, localizados no pátio da serraria. Além dessas serras, uma serraria precisa de equipamentos para o preparo das toras, como descascadores, motosserras para traçamento e guas para movimentação das toras, equipamentos localizados no pátio de toras.

No desdobro principal são utilizadas as serras principais, que serram as toras longitudinalmente, transformando-as em blocos, pranchões ou tábuas. Esses equipamentos apresentam grande porte e geralmente consomem muita energia para seu funcionamento (ROCHA, 2002), em comparação com outras máquinas da serraria. As serras secundárias são equipamentos menores, utilizadas para serrar as peças obtidas no desdobro principal.

Dentre as serras principais e secundárias destacam-se a serra de fita e a circular. A serra de fita (Figura 1) é constituída essencialmente de uma lâmina contínua de aço tensionada por dois volantes. Os diâmetros dos volantes variam de 800 a 2000 mm, tendo o volante inferior maior massa (100 a 600 kg) para receber a força motriz e funcionar como reservatório de força cinética. A distância entre os dois volantes é regulada de acordo com o comprimento da lâmina, e após a regulagem ocorre o tensionamento da lâmina, fornecendo a rigidez para serrar (ROCHA, 2002).



Figura 1 Serra de fita e carro-porta tora (fundo) da Unidade Experimental de Desdobro e Secagem da Madeira – UFLA

A serra de fita apresenta como características grande velocidade de corte, pouca produção de serragem devido à pequena espessura das lâminas, e versatilidade, podendo desdobrar toras de grande e pequeno diâmetro e madeiras com elevada e baixa densidade. Além dessas vantagens, apresenta a possibilidade de boa produção com pouco consumo de energia, com potencia variando de 20 a 300 cv (ROCHA, 2002). Entre as serras de fita, podem-se citar: serra de fita simples, serra de fita horizontal, serra de fita dupla ou geminada e serra de fita tandem.

As serras de fita, quando utilizadas para o desdobro principal, geralmente utilizam um carro porta-tora móvel, que leva a tora de encontro a serra a uma velocidade de até 60 m/min, com controle automático ou manual (ROCHA, 2002).

As serras circulares apresentam a desvantagem de gerar elevada quantidade de serragem e são, frequentemente, empregadas para o corte de toras e para a produção de pranchões e tábuas em pequenas serrarias (GOMIDE, 1977). O mesmo autor relata que a particularidade dessa serra é a simplicidade da sua instalação, contendo basicamente um disco de aço dentado, um eixo motor comandado e um suporte, mesa ou charriot.

A serra circular secundária (Figura 2) está presente em praticamente todas as serrarias, independentemente do seu porte. As características dessa serra são semelhantes às da serra circular para o desdobro de toras, porém com discos menores. O avanço das peças pode ser automatizado ou manual. Entre as serras circulares, destacam-se: serra circular simples, serra circular dupla ou geminada, serra circular múltipla e serra circular de dois eixos.



Figura 2 Serra circular da Unidade Experimental de Desdobro e Secagem da Madeira – UFLA

Uma das desvantagens da serra circular é a dificuldade de fazê-la girar mantendo a lâmina vigorosamente num mesmo plano (GOMIDE, 1977). Por outro lado, o mesmo autor apresenta que a lâmina deve ser apertada entre duas falanges, as quais devem ter determinado diâmetro para que as lâminas do disco não sofram torção, o que gera uma perda na altura útil do disco cortante e, portanto reduz a altura de corte.

A indústria madeireira voltada à produção de madeira serrada no Brasil dispõe de aproximadamente 10.000 unidades, predominando as de pequeno porte (SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA - SBS, 2008). Destas, aproximadamente 60% estão localizadas nas regiões centre-oeste e norte do país. Nessas regiões predominam serrarias que utilizam árvores de folhosas (nativas),

enquanto nas regiões sul e sudeste a maioria das indústrias processam madeira de coníferas.

A madeira serrada de *Eucalyptus* também é utilizada em serrarias, principalmente as espécies *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus cloeziana*, *Eucalyptus grandis* entre outras (ANGELI, 2006).

Para a avaliação do desempenho de uma serraria, alguns parâmetros foram criados, com destaque para o rendimento e a eficiência. Segundo Vital (2008), no Brasil a maioria das serrarias apresenta rendimento e eficiência baixos, com equipamentos obsoletos e geração de grande quantidade de resíduos.

O rendimento na serraria é a relação entre o volume de madeira serrada num período ou turno e o volume de toras serradas. Diversos fatores influenciam no rendimento: a dimensão final das peças, o número de cortes realizado, maquinário, mão de obra especializada (LATORRACA, 2004), desdobro utilizado (LATORRACA, 2004; FERREIRA et al., 2004), dimensão da tora (LIMA et al., 2007; VITAL, 2008), além de outros parâmetros relacionados à qualidade da tora, descritos na Norma para Classificação de Toras de Madeira de Folhosas do Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal - IBDF (1984).

O desdobro de toras nativas, com maiores diâmetros, geralmente apresenta maiores rendimentos comparativamente com toras oriundas de reflorestamento, com pequeno diâmetro. Em trabalhos que avaliaram o rendimento do desdobro de toras de *Eucalyptus*, foram obtidos os seguintes rendimentos: Scanavaca Junior e Garcia (2003) encontraram valores médios de 42,54% na produção de madeira serrada de *Eucalyptus urophylla*, com 19 anos; Ferreira et al. (2004), valores entre 30,1 e 37,2%, sendo desconsiderados os pranchões centrais e as ripas retiradas das costaneiras. Quanto maior o valor agregado do produto, mais cortes serão realizados para sua produção e menor o

rendimento obtido, conforme encontrado por Amparado et al. (2008), que calcularam o rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus saligna* com 20 anos para a produção de peças livres de defeitos, e obtiveram rendimentos médios de 26%.

Devido aos baixos rendimentos em madeira serrada e a elevada geração de resíduos entre outros fatores, a indústria madeireira na Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), disposto na Lei nº6.938 de 1981, é classificada como “média” quanto às atividades potencialmente poluidoras e utilizadoras de recursos ambientais.

O aproveitamento dos resíduos é importante para reduzir os impactos ambientais e aumentar a lucratividade da indústria madeireira. Trabalhos realizados sobre o aproveitamento dos resíduos do desdobro de *Eucalyptus* têm sido desenvolvidos por vários autores: Vieira et al. (2010) utilizaram as costaneiras de *Eucalyptus* para produção de pequenos objetos; Rocha (2002) relata a organização da serraria integrada à indústria de painéis ou de celulose para o melhor aproveitamento dos resíduos; outra possibilidade de aproveitamento é a queima dos resíduos para geração de energia, muitas vezes substituindo combustíveis fósseis (GUSTAVSSON et al., 2007).

2.2 Madeira e outros materiais

O uso da madeira em estruturas remonta os primeiros tempos da vida do homem. A primeira viga provavelmente surgiu sob a forma de um tronco de árvore caído, apoiado às margens de um curso d'água, sobre o qual o homem pode passar seguramente. Com o passar dos anos, a madeira gradualmente foi sendo estudada até chegar ao estágio atual, em que é matéria prima para muitos produtos, como celulose e papel, fios para tecelagem, tintas, laminados,

compensados, chapas de composição, entre outros (PANSHIN; DE ZEEUW, 1980).

Hoje, na construção civil a madeira é utilizada de forma temporária, como fôrmas para concreto, andaimes e escoramentos e de forma definitiva, como estruturas de cobertura, esquadrias (portas e janelas), forros e pisos (ZENID, 2009). Poucos trabalhos avaliaram as diferentes aplicações da madeira na construção civil, porém estima-se que o consumo de madeira serrada no estado de São Paulo, a partir da floresta amazônica, em 2001, foi de 50% para estrutura de cobertura, 33% para andaimes e formas para concreto, 13% para forros, pisos e esquadrias e 4% em casas pré fabricadas (SOBRAL et al., 2002, citado por ZENID, 2009).

Com as pressões ambientais para a manutenção de biomas como a floresta amazônica e a mata atlântica, a madeira serrada de *Pinus* e *Eucalyptus* ganhou espaço para abastecer a indústria de madeira serrada, principalmente para uso na construção civil. Em 2009, foi estimado o consumo de 162,6 milhões de m³ de toras de florestas plantadas. Deste total, 18,8% foram destinados à indústria madeireira (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF, 2010).

O uso da madeira serrada como estruturas utiliza cálculos com base na norma NBR 7190 (ABNT, 1997). Os trabalhos que avaliaram a qualidade da madeira de *Eucalyptus* para uso estrutural na construção civil, conforme Carrasco e Moreira (2003), constataram o uso amplo e irrestrito desta madeira para projetos estruturais da indústria de construção civil.

Outros materiais, como o aço, o ferro, o concreto, a cerâmica, o alumínio e o plástico, concorrem com a madeira ou são utilizados associados com ela, porém apresentam desvantagens ambientais. Dentre os impactos provocados na produção desses materiais, pode-se citar a poluição do ar e da água, a geração de

resíduos sólidos e o elevado consumo de energia nas diversas etapas da sua manufatura.

Algumas técnicas comparam os impactos de diferentes materiais da construção civil. Dentre elas, a análise do ciclo de vida (ACV) se destaca. Do inglês *Life Cycle Assessment*, a ACV fornece uma estimativa do impacto de um material sobre o ambiente. Ferguson et al. (2010) a define como um procedimento ou método analítico, incluindo a elaboração e avaliação das entradas e saídas dos impactos potenciais de um produto ao longo do seu ciclo de vida.

A técnica mede os impactos causados por um determinado produto desde a extração da matéria prima, passando pelo processamento e/ou fabricação do objeto ou material, medindo toda a energia consumida nas diferentes etapas e a emissão de gases e resíduos sólidos e líquidos até a degradação dos materiais. Para exemplificar, a Figura 3 apresenta um esquema da ACV de uma construção de madeira oriunda de florestas da Suécia (GUSTAVSSON; SATHRE, 2006).

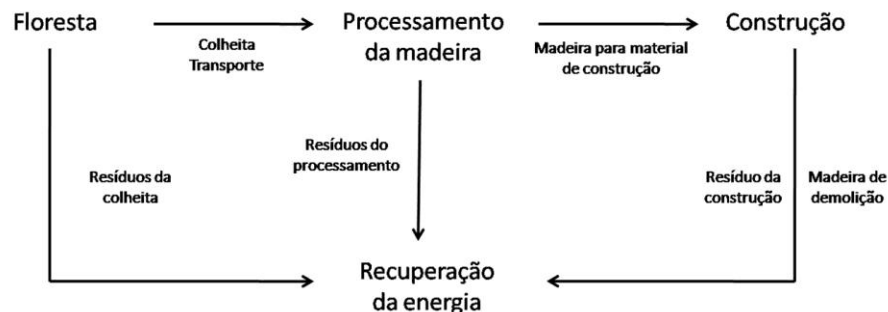


Figura 3 Esquema da análise do ciclo de vida de uma construção de madeira

Diversos trabalhos compararam a madeira com seus materiais substitutos utilizando a ACV. Sathre e Gustavsson (2009) compararam um edifício a base de madeira com outro de concreto armado e concluíram que a construção a base de madeira utilizou 28% menos energia e emitiu 45% menos carbono na atmosfera em comparação com a construção de concreto.

Já Upton et al. (2008) avaliaram a madeira como alternativa nas construções residenciais dos Estados Unidos. O sistema a base de madeira emitiu entre 20 e 25% a menos de gases do efeito estufa (GEE) quando comparados com sistemas a base de aço e concreto. Nesse trabalho, os autores obtiveram uma redução de 15 a 16% no consumo de energia devido ao conforto térmico da madeira, que possibilitou a redução no uso de equipamentos para aclimatação.

Devido à complexidade da ACV, alguns trabalhos fizeram uma análise parcial do ciclo de vida, como, por exemplo, Knight et al. (2005), que compararam a pré manufatura e a manufatura de portas de aço e de madeira. Os autores observaram que o consumo de energia foi 21,7 vezes menor, e a emissão de dióxido de carbono foi 26,85 vezes menor para a porta de madeira. Além dessas vantagens, a porta de madeira liberou menos resíduos sólidos na água.

Observando estes trabalhos, fica evidente a vantagem energética da madeira frente aos seus substitutos e a menor emissão de carbono na atmosfera durante a sua produção.

A vantagem energética da madeira deve-se, em parte, à energia armazenada em sua estrutura. A quantificação dessa energia é feita pela da determinação do poder calorífico. O poder calorífico superior (PCS) da madeira varia entre 3.560 (25 – 30% de umidade) e 4.700 (madeira seca) kcal/kg (ROCHA; KLITZKE, 1998). Vale et al. (2000) obtiveram PCS do fuste de *Eucalyptus grandis* igual a 4641 Kcal/Kg.

2.3 Energias envolvidas no desdobro das toras

No trabalho realizado por Brand et al. (2002), foram avaliados os consumos de energia elétrica e térmica em uma indústria de base florestal

composta por uma unidade de produção de laminados, uma unidade com a serraria e outra unidade para produção de painéis. Nesse trabalho, a serraria foi o setor que mais consumiu energia térmica e o segundo setor que mais consumiu energia elétrica.

Considerando a energia consumida na serraria, 70% foram na forma de energia térmica e 43% na forma de energia elétrica. A energia elétrica consumida na serraria é destinada ao suprimento de força motriz, alimentação de sistemas de iluminação, instrumentação e controle, sinalização e aquecimento (ROCHA, 2002). Dentre as formas de energia consumidas nas indústrias, vendidas pela concessionária de energia, podem-se citar três importantes: a energia elétrica ativa, reativa e aparente.

A energia elétrica ativa, normalmente expressa em kWh, é utilizada pelas máquinas para produzir o trabalho útil. A energia elétrica reativa, expressa em kVarh, é a energia que circula continuamente entre os diversos campos elétricos e magnéticos de um sistema de corrente alternada, sem produzir trabalho. A última energia envolvida é energia aparente, expressa em kVA, que é a energia total da instalação elétrica. A energia aparente é obtida pela soma vetorial da energia ativa com a energia reativa.

Em pequenas indústrias e residências, apenas a energia ativa (kWh) é cobrada. Em grandes indústrias, cobra-se também pela energia reativa, conforme pode ser verificado na conta de uma empresa no Anexo A. O ideal é que se tenha um baixo consumo de energia reativa, pois caso contrário haverá um elevado consumo de energia aparente.

Uma forma de avaliar a eficiência do consumo de energia é por meio do fator de potência. O fator de potência é o quociente da energia ativa (kWh) pela energia aparente (kVA). Um baixo fator de potência pode gerar multa para grandes empresas. No caso de pequenas empresas, o prejuízo financeiro é da

concessionária de energia, como ocorre na maioria das serrarias do Brasil, de pequeno porte (SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA - SBS, 2008).

Após o desdobro das toras e dos pranchões de *Eucalyptus*, uma grande quantidade de resíduos é gerada, cujo volume pode ser superior a 50% do volume das toras, conforme verificado nos rendimentos em madeira serrada obtidos em diversos trabalhos (FERREIRA et al., 2004; SCANAVACA JUNIOR; GARCIA, 2003; BATISTA; CARVALHO, 2007).

Os resíduos, quando queimados, geram energia térmica e, pelo uso de caldeiras, geram energia elétrica, podendo substituir a energia comprada da concessionária ou mesmo a queima de combustíveis fósseis. A queima desses resíduos para geração de energia, em países onde a matriz energética convencional é formada por combustíveis fósseis, é vantajosa do ponto de vista ambiental devido à redução da emissão de gases do efeito estufa (DOWAKI; MORI, 2005).

No Brasil este não é o caso, pois sua matriz energética é a energia hidráulica. Este fato ajuda o país a se manter abaixo da média mundial de emissão dos GEE, que foi de 2,37 tCO₂/tep¹, causada pela queima de combustíveis para geração de energia. No Brasil, a média de emissão dos GEE foi de 1,57 tCO₂/tep (BRASIL, 2007).

No entanto, muitas serrarias realizam a queima dos resíduos para geração de energia. Um dos motivos é o econômico, para a redução da demanda de energia da concessionária. As serrarias que trabalham com toras de reflorestamento são exemplos disso. Outro motivo é a localização da indústria,

¹ tep - tonelada equivalente de petróleo é a unidade básica adotada na composição do Balanço Energético Nacional – BEN.

quando ela está situada onde a linha de energia da concessionária não chega, como é o caso de muitas serrarias da Amazônia.

Para a geração de energia elétrica com a queima dos resíduos são necessárias caldeiras. As caldeiras já foram o principal meio para movimentar máquinas e outros equipamentos. Mesmo com o surgimento dos motores movidos a derivados de petróleo e elétricos, as caldeiras têm, ainda hoje, posição muito importante nos mais variados ramos da indústria (ROCHA; KLITZKE, 1998).

A energia gerada com a queima dos resíduos na caldeira pode ser utilizada de diferentes formas. O uso direto desta energia é pelo aproveitamento do vapor gerado, que é utilizado principalmente em processos de cozimento de madeira, aquecimento de madeira, aquecimento de prensas, secagem de madeira, geração de energia elétrica e outros (ROCHA; KLITZKE, 1998).

A eficiência energética desses equipamentos apresenta variação de acordo com o modelo do equipamento e também de acordo com o material queimado em seu interior. O poder calorífico representa a forma real de energia contida no material.

O poder calorífico superior (PCS) expressa a máxima quantidade de energia que um combustível pode liberar, considerando a madeira anidra. É obtido em bomba calorimétrica, onde a combustão é efetuada em ambiente com alta pressão de oxigênio saturado com vapor d'água (RESENDE, 2003). Esse parâmetro expressa a medida da quantidade máxima de energia que um combustível pode liberar quando queimado totalmente, normalmente em cal/g ou kcal/kg.

O poder calorífico inferior (PCI) é estimado por diferentes equações, que consideram parâmetros como PCS, carbono, hidrogênio, umidade, entre outros, e também é expresso em cal/g ou kcal/kg.

O poder calorífico inferior (PCI) é o poder calorífico armazenado como energia para um determinado sistema (ROCHA; KLITZKE, 1998). Os mesmos autores relatam que no PCI é descontada a quantidade de energia necessária para evaporar a água da umidade e a água formada durante a combustão do hidrogênio de constituição da madeira. Os autores apresentam que, na prática, o PCI expressa melhor o comportamento de um combustível, pois deste é descontado o calor latente de vaporização da água.

Outro poder calorífico pouco utilizado é o poder calorífico útil (PCU), que em valores é inferior ao PCI, pois considera as perdas de energia no processo de aproveitamento da energia.

Além da energia armazenada nos resíduos gerados na serraria, a madeira serrada também apresenta energia armazenada, podendo ser utilizada após seu descarte. Em análises como a do ciclo de vida do produto, quando a madeira serrada é descartada após seu uso, a energia produzida por sua queima é avaliada. É importante ressaltar que, com o passar dos anos, a madeira sofre a degradação, principalmente de organismos xilófagos, o que reduz seu teor energético.

A unidade de consumo para energia, conforme o sistema internacional de unidades é o quilowatt-hora (kWh). Para conversão de kcal em kWh utiliza-se o 1º princípio da termodinâmica, onde 1kWh equivale a 860 kcal.

2.4 Balanço energético

O balanço energético é calculado de diferentes formas. Nos trabalhos realizados com a ACV, os consumos de energia e a energia armazenada são estimados. O consumo de energia é avaliado em todas as etapas de produção da madeira serrada. São consideradas as energias consumidas no corte das árvores,

no traçamento do fuste, no transporte e carregamento das toras, no processamento mecânico das toras, no transporte da madeira serrada, na manufatura dos produtos (móveis, chapas, casas) à base de madeira, na energia consumida para manutenção do produto de madeira e, finalmente, na energia consumida para eliminação dos resíduos do produto.

A ACV também avalia a energia armazenada nos resíduos da manufatura dos produtos e a energia armazenada no produto quando for descartado. O balanço energético da ACV é a diferença entre a energia gasta na vida do produto e a energia armazenada no produto. Nessa avaliação, a madeira é vantajosa frente aos seus materiais substitutos devido à energia armazenada nas peças e resíduos (GUSTAVSSON; SATHRE, 2006; MACFARLANE, 2009).

Devido à complexidade do cálculo do balanço energético da ACV, outros trabalhos realizaram uma análise parcial de uma etapa da produção, considerando outras definições de balanço. Seixas et al. (2005) avaliaram o balanço energético do descascamento de toras de *Eucalyptus* para a produção de celulose, no campo e no pátio da indústria, e o transporte rodoviário da madeira com e sem casca. O balanço foi calculado pelo consumo de combustível no transporte rodoviário de madeira com casca, o consumo de energia com o descascamento na fábrica e a quantidade de energia disponível na casca para queima em caldeiras. Os autores consideraram a energia disponível na casca como a energia obtida pelo poder calorífico inferior (PCI). A queima da casca apresentou-se vantajosa do ponto de vista energético.

Já Brand et al. (2002) verificaram durante 19 meses os dados de energia consumida e volumes de toras e produtos formados em uma indústria. A indústria era composta por uma unidade de produção de laminados e uma unidade com a serraria, que juntas forneciam a matéria-prima para a unidade de produção de painéis. A energia armazenada nos resíduos foi calculada

considerando o volume de resíduos que entraram na caldeira e a energia obtida com a sua queima. A indústria, em geral, foi auto-suficiente em energia, tanto em termos de energia térmica como elétrica em todos os setores.

É importante ressaltar que, em vários trabalhos sobre consumo de energia, apenas a energia ativa (kWh) é considerada, como o realizado por Brand et al. (2002). Este fato deve-se aos trabalhos considerarem as medições obtidas em medidores de energia comuns, instalados nas indústrias, desconsiderando a energia reativa consumida. Apesar do gasto de energia reativa (kVArh), a energia ativa é a mais importante quando consideramos a energia efetivamente transformada em trabalho.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho foram utilizadas árvores de *Eucalyptus grandis* do campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras – MG. O plantio tinha idade de 15 anos e apresentava densidade populacional de aproximadamente 1000 árvores/ha.

Desse plantio foram escolhidas, ao acaso, 10 árvores livres de bifurcação e de defeitos aparentes de forma e superfície. As árvores foram cortadas próximas ao solo para melhor aproveitamento do fuste. O diâmetro médio das árvores a 1,30 m do solo para o corrente estudo foi de 301,3 mm.

As toras da base, apresentando 4,50 metros de comprimento, foram retiradas, sendo em seguida identificadas e transportadas para o pátio da Unidade Experimental de Desdobro e Secagem da Madeira (UEDSM), localizada no campus da UFLA.

3.1 Preparo e medição das toras

No pátio da UEDSM, as toras foram medidas e preparadas para o desdobro, conforme apresentado na Figura 4.

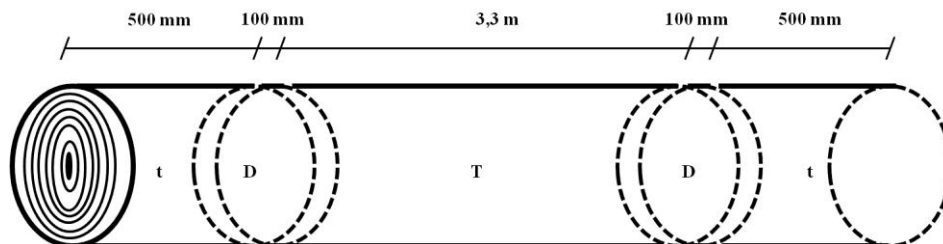


Figura 4 Retirada dos toretes (t), discos (D) e da tora (T) para realização do desdobro

De cada tora foram retirados dois torete de 500 mm de comprimento das extremidades, com a finalidade de eliminar as rachaduras da extremidade e

uniformizar seu comprimento. Dois discos, medindo cada um 100 mm de comprimento, foram retirados entre o torete e a tora principal para determinar a densidade básica e umidade das toras.

Na tora com 3,3 metros de comprimento foram mensurados dois diâmetros perpendiculares em cada extremidade utilizando uma suta e o comprimento com uma trena para determinação do volume das toras conforme a Equação 1, descrita na Norma para Classificação de Toras de Madeira de Folhosas do Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal - IBDF (1984).

$$V_t = 0,7854 \times D^2 \times L \quad (1)$$

Em que:

V_t = volume da tora (m^3);

D = diâmetro da tora (m);

L = comprimento da tora (m).

A espessura da casca foi medida com um paquímetro digital, com precisão de 0,01 mm, em oito pontos aleatórios ao longo da superfície rolante de cada tora. Para a determinação do volume da casca, foi determinado um novo volume da tora desconsiderando a espessura da casca nos diâmetros e, em seguida, calculou-se a diferença entre o volume da tora com casca e o volume da tora sem casca.

3.2 Desdobro das toras

O desdobro das toras foi realizado em uma serra de fita simples vertical, com volante de 1000 mm. As toras foram transportadas em um carro porta-tora com três garras independentes e capacidade para transportar toras de até aproximadamente 3,5 metros.

Objetivando a produção de peças, os cortes foram realizados de forma que a madeira serrada produzida tivesse as espessuras conforme a NBR 7190 (ABNT, 1997). Foram produzidas peças principais (terça e caibros) com área mínima das seções transversais de 5000 mm² e espessura mínima de 50 mm, e peças secundárias múltiplas (ripas), em que esses limites reduzem-se respectivamente a 1800 mm² e 18 mm.

3.2.1 Desdobro na serra de fita

Para a realização do desdobro na serra de fita, foram padronizados seis cortes em cada tora, percorrendo toda a extensão ao longo do seu eixo longitudinal. Essa metodologia foi adotada por meio de testes preliminares, nos quais foi observado que o número de cortes interferia no consumo de energia. Os cortes foram realizados conforme apresentado na Figura 5.

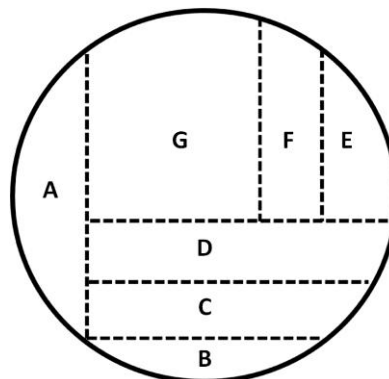


Figura 5 Seção transversal da tora com os cortes, representados pelas linhas pontilhadas

No primeiro corte foi retirada uma costaneira (A). Em seguida, a tora foi girada e a superfície serrada ficou para baixo. Um novo corte foi realizado, produzindo uma nova costaneira (B). Em seguida, dois pranchões (C e D) foram produzidos com espessura de 60 mm cada. O bloco restante foi novamente

girado e uma nova costaneira (E) foi retirada. Um pranchão (F) com 60 mm e um pranchão (G) com espessura variável foram produzidos.

Em cada pranchão foram medidas três larguras na superfície mais larga e três larguras na superfície mais estreita, utilizando uma régua graduada. A espessura foi determinada utilizando um paquímetro digital, com precisão de 0,01 mm, em três posições aleatórias. O comprimento dos pranchões foi considerado o mesmo das toras. A área da seção transversal dos pranchões foi calculada com base em um trapézio. Em seguida, a área transversal foi multiplicada pelo comprimento do pranchão, obtendo-se o volume de cada pranchão.

Para o cálculo do volume de serragem, foram realizadas medições das espessuras de corte utilizando um paquímetro digital, com precisão de 0,01 mm. Não foi considerada a espessura da lâmina como a espessura de corte devido às trepidações que ocorrem durante o corte nas serras e ao travamento e à torção dos dentes da serra; por isso, foram realizadas medições no terceiro corte de cada tora, durante a obtenção do pranchão C. Quatro posições equidistantes foram medidas, conforme Figura 6.

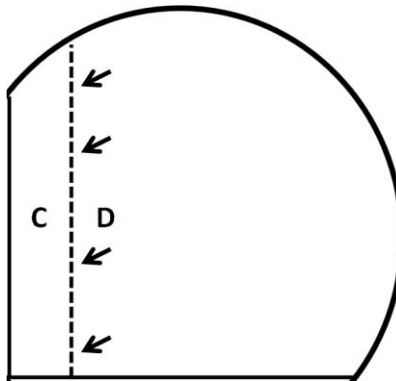


Figura 6 Seção transversal da tora, já retiradas duas costaneiras, com os locais das medições das espessuras (setas) no corte representado pela linha pontilhada

A largura do corte é igual à altura do corte, obtida por meio de três medições equidistante na superfície do pranchão ou costaneira retirada, e outras três medidas na superfície do pranchão ou bloco restante.

Conhecendo-se a espessura dos cortes, a largura de cada corte, obtida por meio das medições dos pranchões, e a extensão dos cortes por meio do comprimento dos pranchões, foi calculado o volume da serragem, conforme a Equação 2.

$$V_{ssf} = E_c \times L_{gc} \times C_c \quad (2)$$

Onde:

V_{ssf} : volume de serragem da serra de fita (m^3);

E_c : espessura do corte (m);

L_{gc} : largura do corte (m) e

C_c : comprimento do corte (m).

O volume de costaneiras foi calculado utilizando-se a Equação 3, pela diferença entre o volume da tora e os volumes dos pranchões e da serragem.

$$V_{cost} = V_t - (V_p + V_{ssf}) \quad (3)$$

Onde:

V_{cost} : volume de costaneira (m^3);

V_t : volume da tora (m^3);

V_p : volume dos pranchões (m^3).

3.2.2 Resserra na serra circular

Após as medições dos pranchões, estes foram resserrados em uma serra circular canteadeira modelo SCG 20, com 48 dentes.

Os quatro pranchões de cada tora foram resserrados. Onze cortes foram realizados em cada tora, distribuídos aleatoriamente pelos quatro pranchões. A

Figura 7 representa todos os 11 cortes realizados na seção transversal de uma tora, representando as linhas pontilhadas os cortes realizado com a serra circular.

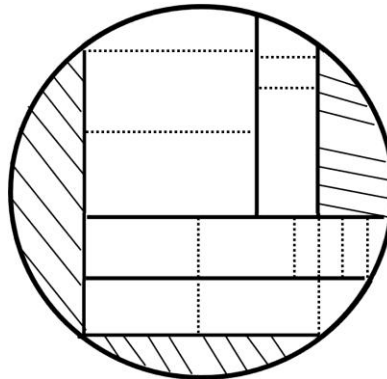


Figura 7 Seção transversal da tora, onde as linhas pontilhadas representam os cortes realizados com a serra circular

Em cada peça produzida foram medidas três larguras e três espessuras utilizando um paquímetro digital, com precisão de 0,01 mm, em três posições equidistantes de cada superfície. O comprimento das peças foi considerado o mesmo das toras. A área da seção transversal das peças foi calculada pela multiplicação da largura média pela espessura média. Em seguida, a área transversal da peça foi multiplicada pelo comprimento da peça, obtendo-se o volume de cada peça, conforme a Equação 4.

$$V_{pç} = A_p \times C_p \quad (4)$$

Onde:

$V_{pç}$: volume da peça (m^3);

A_p : área da seção transversal da peça (m^2);

C_p : comprimento da peça (m).

O volume total de madeira serrada da tora foi calculado com a soma das peças produzidas a partir desta, utilizando-se a Equação 5.

$$V_{ms} = \sum V_{pç} \quad (5)$$

Onde:

V_{ms} : volume de madeira serrada (m^3);

$\sum V_{pç}$: somatório do volume das peças de cada tora (m^3).

A espessura do corte realizado na serra circular foi determinada utilizando-se um paquímetro digital, com precisão de 0,01 mm. As medições foram realizadas aleatoriamente nos quatro pranchões da tora. A largura média de corte foi obtida por meio das medições das peças, e a extensão dos cortes, pelo comprimento das peças. O volume de serragem foi calculado conforme a Equação 6, com a multiplicação da espessura média do corte, largura média do corte e comprimento do corte.

$$V_{ssc} = E_c \times L_{gc} \times C_c \quad (6)$$

Onde:

V_{ssc} : volume de serragem da serra circular (m^3);

E_c : espessura do corte (m);

L_{gc} : largura do corte (m);

C_c : comprimento do corte (m).

O volume total de serragem nas serras foi calculado com a soma dos volumes de cada corte.

O volume de aparas foi calculado utilizando a equação 7, por meio da diferença entre o volume dos pranchões e o volume da madeira serrada e da serragem.

$$V_{ap} = V_p - (V_{ms} + V_{ssc}) \quad (7)$$

Onde:

V_{ap} : volume de apara (m^3);

V_p : volume dos pranchões (m^3);

V_{ms} : volume de madeira serrada (m^3).

3.2.3 Rendimentos

Como forma de avaliação do processo, foi calculado o rendimento em porcentagem para a madeira serrada (Equação 8) e as porcentagens de cada resíduo (costaneiras, aparas, serragem e casca), por meio da Equação 9:

$$— \quad (8)$$

$$— \quad (9)$$

Onde:

R: rendimento em madeira serrada, em %;

P: porcentagem de resíduo, em %;

M: volume de madeira serrada, em m³;

R: volume de resíduo, em m³;

T: volume da tora, em m³.

3.2.4 Estudo dos tempos

O ciclo de corte compreende diversas etapas, como o carregamento da tora da bancada até o carro porta-tora, o corte na serra, a viagem de volta do carro porta-tora após o corte, o giro da tora, o descarregamento, entre outros.

Para avaliação do consumo de energia dos cortes, foram avaliados os tempos em que ocorria efetivamente o corte, denominado de tempo efetivo de corte. Esse tempo considerou apenas os momentos em que as toras e os pranchões estavam sendo cortados.

O tempo entre o início do primeiro corte e o final do último corte na tora também foi considerado, incluindo a viagem de volta do carro porta-tora, o giro

das toras e o carregamento dos pranchões, e foi denominado tempo de processamento.

O tempo gasto em todos os cortes foi cronometrado em hora (h), minutos (min) e segundos (s).

3.2.5 Largura total de corte

Para verificar a influência da largura dos cortes no consumo de energia, foi realizada a soma das larguras dos seis cortes de cada tora, assim como a soma das larguras dos onze cortes nos pranchões por meio da Equação 10.

$$LCS = \sum LcSF + \sum LcSC \quad (10)$$

Onde:

LCS: somatória da largura de corte (m);

$\sum LcSF$: somatória da largura de corte da serra de fita (m);

$\sum LcSC$: somatória da largura de corte da serra circular (m);

3.3 Amostragem para ensaios e testes

Os discos, as cunhas opostas dos discos, as peças, os resíduos e a casca de cada tora foram preparados para a realização de ensaios físicos e determinação do poder calorífico. As peças, costaneiras e aparas de cada tora foram cortadas nas extremidades, produzindo corpos-de-prova; a serragem foi coletada após os cortes nas serras e a casca foi retirada das costaneiras.

Todas as amostras removidas das costaneiras, aparas e peças estavam livres de nós, e foram identificadas assim que cortadas. O poder calorífico da serragem foi considerado o mesmo do obtido nas peças.

3.4 Determinação da densidade básica, umidade e massa da tora

Para os testes de densidade básica e teor de umidade (U%) foram determinados: a massa úmida (μ) em balança de precisão digital; o volume verde (Vu) do corpo-de-prova, utilizando sistema para imersão da amostra de madeira em água; e a massa seca (ms), também obtida em balança de precisão digital.

A densidade básica (Db), em g/cm^3 , foi calculada conforme a NBR 11941 (ABNT, 2003). O teor de umidade (U%) foi considerado como o teor de umidade na base seca.

A massa da tora (Mt) foi calculada utilizando-se os valores obtidos da densidade básica, teor de umidade (U%) e volume da tora (Vt), conforme a Equação 11.

$$\text{---} \quad (11)$$

3.5 Energia armazenada na madeira

Os corpos-de-prova de madeira foram transformados em cavacos e moídos em moinho tipo *Willey*. As amostras produzidas foram armazenadas em embalagens, identificadas e separadas em madeira serrada, costaneiras juntamente com as aparas, serragem da serra de fita juntamente com a serragem da serra circular e cascas.

As amostras de cada embalagem foram homogeneizadas e derramadas em um agitador de peneiras, com batidas intermitentes para separar as diferentes granulometrias. A fração retida nas peneiras entre 40 e 60 mesh foi utilizada para a determinação do poder calorífico.

Inicialmente, foi determinado o poder calorífico superior (PCS) da madeira, de acordo com a NBR 8633 (ABNT, 1984), utilizando 0,5 g de amostra seca, sendo os valores fornecidos pelo equipamento em cal/g. Para isso, foi utilizada uma bomba calorimétrica instalada no Laboratório de Energia da Biomassa da UFLA.

Para se obter a energia armazenada na madeira serrada e nos resíduos, considerando a umidade presente, foi estimado o poder calorífico inferior (PCI) por meio da Equação 12:

$$\text{PCI} = \text{PCS} - 5,72 \times ((9 \times \text{H}) + \text{U}) \quad (12)$$

Onde:

H: teor de hidrogênio (%), obtido na análise química elementar;

U: teor de umidade (%).

3.6 Consumo de energia

Para a obtenção do consumo de energia elétrica dos equipamentos da serraria, foram realizadas medições com um medidor de energia multifuncional da marca *NANSEM*, modelo *SPECTRUM® S*. Esse equipamento apresenta em seu visor e armazena em sua memória diversas grandezas elétricas, como tensão, corrente, fator de potência, potência aparente, potência ativa, potência reativa indutiva e potência reativa capacitiva, além da energia ativa e reativa integradas no tempo.

Os equipamentos avaliados foram a serra de fita e a serra circular, que trabalham com os seguintes motores (Tabela 1):

Tabela 1 Características dos motores utilizados nas serras de fita e circular

Equipamentos	Motores Trifásicos (Weg)	
	Rotação por minuto	Voltagem
Serra de fita (40 CV)	1175	220/380
Carro porta-tora (7,5 CV)	1740	220/380
Serra circular (10 CV)	3480	220/380

Para a realização das medições, foram obtidos os tempos no início e final de cada corte, utilizando-se um cronômetro sincronizado com o medidor elétrico. No início e final de cada corte na tora eram marcados a hora, os minutos e os segundos. Após cada tora ser desdobrada, era reservado um intervalo de 15 minutos para iniciar os cortes em uma nova tora. Esse intervalo servia para retirar todos os resíduos de energia da rede, de forma que a nova medição coletasse apenas os dados da energia dos cortes da nova tora avaliada. Esse mesmo procedimento foi adotado para os cortes dos pranchões na serra circular.

Quando os cortes da serra circular foram finalizados, os dados da memória do equipamento foram transferidos para um computador e trabalhados em uma planilha eletrônica. Após as transformações, foram obtidos os consumos dos cortes de cada tora na serra de fita e dos cortes nos pranchões de cada tora e, em seguida, somados os consumos nas duas serras. As grandezas trabalhadas foram energia ativa (kWh), energia reativa (kVAr) e energia aparente (kVA), sendo a energia ativa a principal para este trabalho.

Após a apresentação dos valores de consumo de energia elétrica para o desdobro de uma tora e para a produção da madeira serrada dessa tora, os valores de consumo de energia foram calculados para serrar um metro cúbico de tora e para produzir um metro cúbico de madeira serrada.

3.7 Influência das propriedades da tora no consumo de energia

Foi criado um gráfico com o efeito das propriedades da tora sobre o consumo de energia elétrica nas serras. As propriedades das toras que apresentaram influência significativa sobre o consumo de energia foram analisadas, e determinadas a equação ajustada e o coeficiente de determinação (R^2).

Em seguida uma tabela foi criada, apresentando a influência do aumento de uma unidade da propriedade no consumo de energia elétrica, utilizando a equação obtida. O aumento no consumo de energia elétrica foi calculado pela substituição dos valores das variáveis independentes nas equações.

3.8 Balanço energético

A energia armazenada na madeira foi convertida de Kcal para kWh, para padronização das unidades. Para essa transformação foi considerado o 1º princípio da termodinâmica, onde 1 kWh equivale a 859,85 kcal.

O cálculo do balanço energético considerou a energia armazenada nos resíduos de cada tora, ou seja, a energia disponível na serragem, nas costaneiras, nas aparas e na casca. Em uma segunda simulação, além da energia dos resíduos foi considerada a energia armazenada na madeira serrada, sendo a energia armazenada nessa simulação equivalente à energia armazenada na tora.

A energia elétrica consumida foi considerada a energia ativa (kWh) gasta na serra de fita e na serra circular para serrar cada tora e para produzir a madeira serrada. O cálculo relacionando apenas a energia dos resíduos foi

realizado conforme a Equação 13 e o cálculo considerando a energia armazenada na madeira serrada empregou a Equação 14:

$$BE = (QCa + QS + QC + QA) - (QSF + QSC) \quad (13)$$

$$BEms = (QCa + QS + QC + QA + QMS) - (QSF + QSC) \quad (14)$$

Onde:

BE: Balanço energético (kWh);

BEms: Balanço energético considerando energia disponível na madeira serrada (kWh);

QCa: quantidade de energia disponível na casca (kWh);

QS: quantidade de energia disponível na serragem (kWh);

QC: quantidade de energia disponível nas costaneiras (kWh);

QA: quantidade de energia disponível nas aparas (kWh);

QSF: quantidade de energia consumida na serra de fita (kWh);

QSC: quantidade de energia consumida na serra circular (kWh);

QMS: quantidade de energia disponível na madeira serrada (kWh).

3.9 Análise estatística dos dados

Os parâmetros utilizados no balanço energético do desdobro da tora foram a média dos valores de energia consumida nos cortes de cada tora, a média das energias armazenadas nos resíduos e a média da energia armazenada na madeira serrada. Em seguida, foram calculados o desvio padrão e o coeficiente de variação.

Para a quantificação da energia armazenada nos diferentes resíduos foi gerada a análise de variância com precisão de 0,05 de significância, e em seguida foi realizado o teste de comparação múltipla entre médias para classificação da energia armazenada em cada resíduo.

Para avaliação da influência das propriedades das toras sobre o consumo de energia ativa das serras foram realizadas análises de regressão linear. Dos modelos ajustados verificaram-se o coeficiente de determinação (R^2), o erro padrão da estimativa e a significância do modelo ao nível de cinco por cento de significância utilizando o software de estatístico *R*.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir foram abordados os resultados e suas respectivas discussões acerca das propriedades das toras, da avaliação do processamento mecânico das toras, do consumo de energia nas serras, a influência das propriedades das toras no consumo de energia, a energia armazenada na madeira e o balanço energético.

4.1 Propriedades das toras

As propriedades avaliadas nas toras foram diâmetro, massa úmida, densidade básica e teor de umidade. Na Tabela 2 estão apresentados os valores médios das propriedades juntamente com seus coeficientes de variação.

Tabela 2 Médias e coeficiente de variação das propriedades das toras

Propriedade	Média	CV %
Diâmetro (m)	0,34	13,57
Massa úmida (kg)	194,98	27,49
Densidade básica (g/cm ³)	0,499	9,43
Umidade (%)	30,78	15,24
Espessura casca (mm)	8,37	27,88

O diâmetro médio das toras foi de 0,34 m, coerente com os outros diâmetros citados na literatura para a idade de 15 anos das toras. Rocha e Trugilho (2006) trabalharam com toras de *Eucalyptus* nas classes de 0,25 e 0,30 m para a idade de 13 anos, e perceberam que ocorreu uma pequena variação (CV = 13,57%) entre os diâmetros das toras. Esse fato demonstra certa homogeneidade nos diâmetros das toras serradas, sendo que esse fator interfere no rendimento de peças produzidas, conforme descrito por Lima et al. (2007) e Vital (2008).

A massa média das toras foi de 194,98 kg e o coeficiente de variação, de 27,49%. A massa foi relativamente baixa, visto que a umidade das toras estava próxima de 30%. Geralmente as toras são serradas com elevados teores de umidade, resultando em maiores massas. A variação da massa deve-se à variação dos parâmetros umidade, densidade básica e volume das toras.

A densidade básica média das toras foi de 0,499 g/cm³. Os valores são inferiores aos encontrados na literatura para *Eucalyptus grandis* na faixa de idade estudada. Rezende e Ferraz (1985) avaliaram a densidade básica de *Eucalyptus grandis* com treze anos e obtiveram valores entre 0,566 g/cm³ e 0,575 g/cm³. Tomazello filho (1985), avaliando a variação radial da densidade básica de *Eucalyptus grandis* com dez anos, encontrou o valor médio da densidade igual a 0,434 g/cm³. Queiroz et al. (2004) estudaram clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com seis anos de idade, que apresentavam densidades básicas de 447 g/cm³ e 552 g/cm³. O coeficiente de variação observado no presente estudo foi baixo (CV = 9,43%).

A umidade média das toras foi de 30,78%. Esse valor está abaixo do valor desejável para se realizar o desdobro nas toras. A tora recém cortada apresenta o teor de umidade ideal para o desdobro. A umidade próxima ao ponto de saturação das fibras ocorreu devido ao longo tempo que as toras ficaram armazenadas no pátio da serraria. A baixa variação da umidade nas toras é explicada, em parte, pela variação dos diâmetros, pois, conforme verificado por Rezende et al. (2011), quanto maior o diâmetro da tora, mais difícil é a saída de água desta.

A espessura média da casca foi de 8,37 mm e o coeficiente de variação foi de 27,88 %. A porcentagem de casca tende a diminuir com o aumento do diâmetro da árvore (VITAL et al., 1989).

4.2 Avaliação do processamento mecânico

Na Tabela 3 estão apresentados os valores médios das características de avaliação do desdobro, acompanhadas pelos seus coeficientes de variação.

Tabela 3 Rendimento médio em madeira serrada e porcentagem dos diferentes resíduos gerados no desdobro das toras, largura média dos cortes realizados e tempos de processamento e efetivo dos cortes

Parâmetro	Média	CV %
Rendimento madeira serrada (%)	43,84	14,24
Porcentagem de casca (%)	9,86	25,61
Porcentagem de serragem serra fita (%)	5,48	9,01
Porcentagem de serragem serra circular (%)	3,77	21,51
Porcentagem de costaneira (%)	24,82	19,62
Porcentagem de aparas (%)	12,22	28,16
Somatória da largura de corte (m)	1,95	13,65
Tempo de processamento	0h 13min 30s	12,07
Tempo efetivo de corte	0h 5min 5s	5,56

4.2.1 Rendimentos

O rendimento médio das peças produzidas foi de 43,84%. Considerando o total de peças produzidas, 47,84% foram classificadas como principais (terças e caibros) e 52,16%, peças secundárias múltiplas (ripas) conforme classificação da NBR 7190 (ABNT, 1997). Os 56,16% restantes foram resíduos gerados na forma de casca, serragem, costaneiras e aparas.

Os rendimentos obtidos do desdobro das toras para produção de madeira serrada estão de acordo com outros trabalhos que utilizaram madeiras de reflorestamento. Ferreira et al. (2004) avaliaram o rendimento em madeira serrada (volume da tora com casca) de dez clones de *Eucalyptus* e obtiveram valores de 30,1 para cortes de costaneiras a 1/3 do raio da tora, 35,2% para o

desdobro paralelo ao centro da tora e 37,2% para o desdobro paralelo à casca, desconsiderando os pranchões centrais e as ripas retiradas das costaneiras. Scanavaca Junior e Garcia (2003) encontraram rendimentos (volume da tora com casca) médios de 42,54% utilizando o primeiro corte paralelo à casca e os demais paralelos a este para a produção de madeira serrada de *Eucalyptus urophylla*, com 19 anos. Batista e Carvalho (2007) obtiveram rendimentos em madeira serrada de *Eucalyptus sp.* igual a 44,86%, valores muito próximos aos obtidos neste trabalho.

As porcentagens de resíduos, na ordem de 56,16 % (Tabela 3), estão de acordo com a literatura, conforme calculado subtraindo-se os rendimentos de madeira serrada dos trabalhos citados acima. A diferença entre as porcentagens obtidas por diversos trabalhos deve-se ao produto final obtido, aos equipamentos utilizados, à técnica de desdobro e à qualidade da tora (LIMA et al., 2007). Como exemplo da influência dessas propriedades, pode-se citar o trabalho realizado por Amparado et al. (2008), que calcularam o rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus saligna* com 20 anos para a produção de peças livres de defeitos (*clearboards*) e obtiveram rendimentos médios de 26%, e Ferreira et al. (2004), que verificaram a influência do método de desdobro no rendimento obtido. Nesses trabalhos não foram apresentados os rendimentos dos resíduos de forma detalhada.

A porcentagem de casca foi de 9,86 % (Tabela 3), coerentes com a literatura. A porcentagem de casca tende a diminuir conforme o aumento do volume das toras, conforme observado por Vital et al. (1989), que obtiveram para *Eucalyptus grandis* as porcentagens de 11,82% para toras com diâmetro entre 6,1 - 8 cm e 7,9% para toras com diâmetro entre 22,1 – 24 cm. Em outro trabalho, a porcentagem de casca em fustes de *Eucalyptus grandis* com sete anos foi de 14,4% (SEIXAS et al., 2005).

A variação presente no rendimento das peças foi baixa ($CV = 14,24\%$), o que deve-se provavelmente à uniformização dos cortes, que permite certa uniformização na produtividade das peças. A variação ocorrida nas porcentagens dos resíduos (casca, serragem, costaneiras e aparas) foi média. Um dos motivos é a padronização na retirada das peças, não importando quais resíduos estariam sendo gerados, se aparas ou costaneiras.

4.2.2 Somatória da largura de corte

A média da somatória das larguras dos cortes realizados foi de 1,95 m (Tabela 3). Desta extensão, a serra de fita realizou em média 1,25 m nos cortes das toras e a serra circular realizou em média 0,70 m de comprimento nos cortes dos pranchões. A variação relativamente baixa ($CV = 13,65\%$) na largura dos cortes demonstra a padronização realizada nos cortes e uniformização dos diâmetros da tora.

4.2.3 Estudo dos tempos

O tempo médio gasto para a produção de madeira serrada foi de 0h 13min 30s. Já o tempo médio efetivo de corte nas serra de fita e circular foi de 0h 5min 5s. A variação ocorrida nos dois tempos foi relativamente baixa, principalmente no tempo efetivo de corte.

Observando os valores, tem-se que 37,6 % do tempo foi aproveitado realmente serrando as toras e os pranchões. Os fatores que levaram à essa baixa porcentagem foram o tempo gasto para girar as toras no carro porta-tora, as viagens de volta do mesmo e a regulagem do bitolador, considerando a serra de fita.

Esse baixo valor deve-se também ao fato do trabalho ter sido realizado em uma serraria experimental, em que a velocidade do carro porta-tora foi ajustada para maior segurança dos usuários. Batista e Carvalho (2007) avaliaram uma serraria de pequeno porte no estado do Rio de Janeiro e denominaram de trabalho não produtivo a diferença entre o tempo de processamento e o tempo efetivo serrando. Eles avaliaram os tempos de trabalho não produtivo na parte da manhã e da tarde, na indústria, e obtiveram, respectivamente, 45,96 e 52,54% como resultado. Os mesmos autores colocaram em ordem de importância os seguintes motivos para o trabalho não produtivo: movimento do carro porta-tora, giro de 180° da tora no carro porta-tora, regulagem do bitolador no carro porta-tora, conserto do bitolador do carro porta-tora e regulagem da guia.

4.3 Energia consumida nas serras

A energia consumida nas serras de fita e circular foram as energias ativa (kWh), reativa (kVArh) e aparente (kVA). Na Tabela 4 estão apresentados os valores médios consumidos para serrar as toras nas serras de fita, posteriormente a resserra dos pranchões na serra circular e a soma das duas serras.

Tabela 4 Médias das energias ativa (EA, kWh), reativa (ER, kVArh) e aparente (EP, kVA) consumidas para serrar as toras na serra de fita, circular e em ambas

	Serra de Fita			Serra circular			Serras de Fita e Circular		
	EA	ER	EP	EA	ER	EP	EA	ER	EP
Média	18,30	50,86	54,15	8,49	9,48	13,45	26,79	60,34	67,60
CV %	4,95	1,61	1,64	14,00	16,66	8,27	7,20	2,71	2,09

Nota-se que na serra de fita ocorreu um elevado valor da energia reativa em comparação com a energia ativa. Esses valores de energia ativa e energia aparente produzem um baixo fator de potência, equivalente a 0,34.

A elevada energia reativa é, provavelmente, devido ao super dimensionamento do motor (40 cv) da serra de fita. Esses motores possivelmente foram dimensionados para cortar toras nativas, de grande diâmetro e elevada massa. Porém, com a pressão ambiental contra o uso de toras nativas e a disponibilidade de toras de reflorestamento, esses motores foram adaptados para essa matéria prima.

Apesar do motor super dimensionado, a potência do motor utilizado na serra de fita fica dentro do intervalo citado na literatura, conforme Rocha (2002), que relata o uso de motores nas serras de fita entre 20 e 300 cv, dependendo dos diâmetros dos volantes. Analisando os catálogos de empresas que fabricam serras de fita, com volante de 1000 mm, verifica-se que estas utilizam motores de 20 cv, metade da potência utilizada na serra deste estudo.

O problema da elevada energia reativa pode ser solucionado com a instalação de capacitores, que aumentam o fator de potência. Deve-se lembrar que a energia ativa é aquela realmente transformada em trabalho, sendo, portanto o foco deste estudo.

A variação ocorrida no consumo de energia ativa (kWh) para serrar as toras na serra de fita foi baixa ($CV = 4,95\%$), e para serrar os pranchões de cada tora na serra circular foi um pouco mais elevada ($CV = 14\%$). O fato da serra circular apresentar maior variação é, possivelmente, devido ao seu motor menos potente (10 cv), que reflete o modo de trabalhar do operador e as variações das propriedades da madeira. Essa variação é dificilmente percebida na serra de fita devido ao super dimensionamento do seu motor.

Analisando os resultados do consumo de energia ativa na Tabela 4, verifica-se que o consumo médio na serra de fita foi de 18,30 kWh e na serra circular foi de 8,49 kWh. O consumo total médio de energia ativa para serrar

cada tora foi de 26,79 kWh. Esses valores foram necessários para serrar uma tora com volume médio de 0,299 m³.

A energia ativa consumida apenas na serra de fita, considerando os momentos em que a serra não estava sendo utilizada, apresentou valor da moda igual a 4,61 kWh e a serra circular apresentou consumo igual a 1,73 para a mesma condição. Os consumos de energia ativa para serrar cada tora na serra de fita e na serra circular, juntamente com os intervalos entre uma tora e outra, estão apresentados no Gráfico 1.

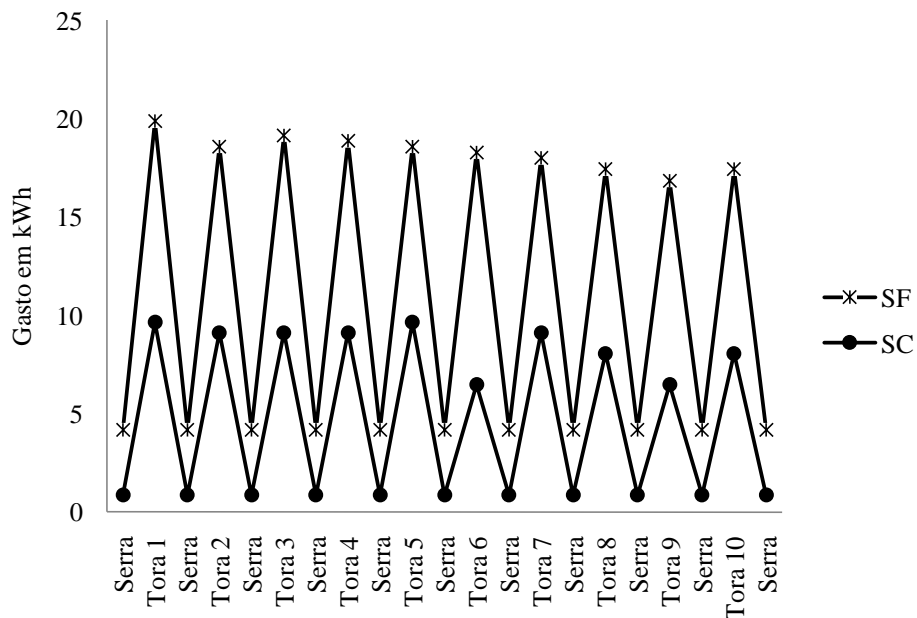


Gráfico 1 Consumo de energia ativa na serra de fita (SF) para serrar as toras e na serra circular (SC) para serrar os pranchões

A conversão dos valores de energia ativa da Tabela 4 para serrar um metro cúbico de toras e para produzir um metro cúbico de madeira serrada está apresentada na Tabela 5. Os cálculos para conversão consideraram o valor médio do volume das toras igual a 0,299 m³ e o volume médio da produção de madeira serrada por tora igual a 0,133 m³. Para o cálculo do consumo de energia

elétrica, considerou-se toras com as mesmas dimensões, aumentando apenas a quantidade de toras.

Tabela 5 Consumo em kWh para serrar um m³ de tora e para produzir um m³ de madeira serrada

Consumo (kWh/m ³)	
Tora	89,59
Madeira serrada	201,43

Observa-se que a energia consumida para serrar um m³ de tora foi de 89,36 kWh e para produzir um m³ de madeira serrada foi de 201,28 kWh. O maior consumo de energia para a produção de madeira serrada deve-se ao rendimento em peças, neste caso igual a 43,84%, tendo que consumir 2,2 m³ de tora para obter um m³ de peças.

O consumo de 201,28 kWh para produção de um metro cúbico de madeira serrada está de acordo com outros trabalhos citados na literatura. Brand et al. (2002) encontraram o consumo de 111,26 kWh/m³ e 1,43 tvaporh/m³ para produzir madeira serrada seca de *Pinus*, com rendimento de 38,62%. Kock (1976), citado por Brand et al. (2002) encontrou o consumo de 247 kWh e 3,17 t de vapor para produzir um metro cúbico de madeira serrada seca de *Pinus*, com rendimento de 35%.

Brand et al. (2002) justificam a diferença entre o consumo obtido em seu trabalho e o consumo obtido por Kock (1976) para produzir as peças de madeira serrada devido à diferença da eficiência dos equipamentos utilizados na produção. Porém, além deste fator, a forma da medição do consumo de energia, a qualidade e a precisão dos equipamentos utilizados para medição de energia são importantes.

O consumo de 201,28 kWh (Tabela 4) foi necessário para serrar um m³ de tora, incluindo o tempo não produtivo (a movimentação do carro porta-tora, regulagem do bitolador no carro porta-tora e regulagem da guia). Porém,

conforme Batista e Carvalho (2007), na indústria ocorrem outras duas circunstâncias em que as serras ficam ligadas, consumindo energia, que não foram analisadas neste trabalho: as demoras, ocasionadas devido ao manejo da tora na rampa até o carro porta-tora, empilhamento do semi bloco produzido, limpeza do fosso de serragem, problemas no trilho e o tempo ocioso, como o tempo perdido no atraso do trator abastecedor da rampa de toras e pausas diversas dos operadores.

A comparação entre os consumos de energia nos diferentes trabalhos deve ser feita com cuidado, pois os tempos avaliados e a qualidade dos medidores não foram apresentados na publicação. Outras informações importantes também não foram disponibilizadas, como o modelo de serra utilizada (serra de fita ou circular) e as potências dos respectivos motores. A matéria prima utilizada foi diferente, dificultando a comparação, as dimensões das toras não foram informadas e a madeira de *Pinus* estudada por Brand et al. (2002) é menos densa (415 kg/m^3).

4.4 Influência das propriedades da tora no consumo de energia

A seguir foi avaliada a influência do diâmetro da tora, do somatório da largura de corte, da massa úmida, da densidade básica e a umidade da tora no consumo de energia das serras.

4.4.1 Efeito do diâmetro da tora no consumo de energia

O Gráfico 2 apresenta o efeito do diâmetro da tora sobre o consumo de energia ativa para serrar as toras e os pranchões juntamente com a equação ajustada e o coeficiente de determinação (R^2).

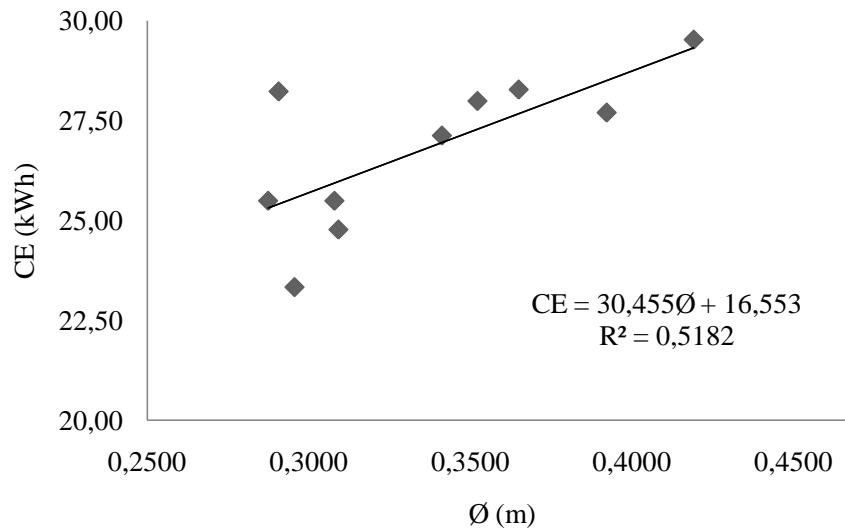


Gráfico 2 Efeito do diâmetro (\emptyset) da tora no consumo de energia (CE) para desdobrar as toras e a equação da reta

O diâmetro da tora explicou relativamente o consumo de energia das toras. A regressão linear demonstrou que o crescimento do diâmetro tende a aumentar o consumo de energia no processamento das toras e pranchões.

A equação $CE = 30,455\emptyset + 16,553$, com R^2 igual a 0,52, Erro padrão residual de 1,421, F de 8,606 sendo significativo ao nível de 5% de probabilidade, foi ajustada para estimar o efeito do diâmetro no consumo de energia. O aumento de um centímetros no diâmetro resultou em um aumento de 0,305 kWh no consumo de energia elétrica (Tabela 6).

4.4.2 Efeito do somatório da largura de corte no consumo de energia

O Gráfico 3 apresenta o efeito do somatório da largura de corte no consumo de energia ativa para serrar as toras e os pranchões juntamente com a equação ajustada e o coeficiente de determinação (R^2).

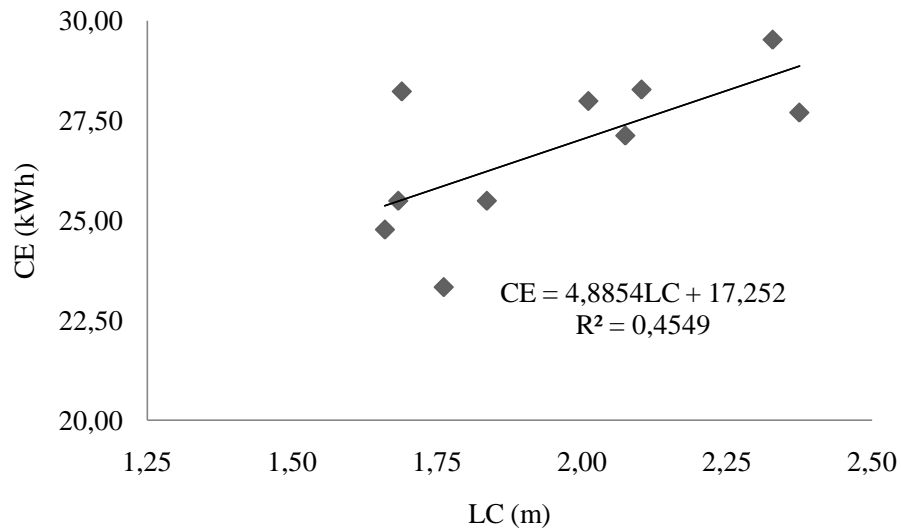


Gráfico 3 Efeito do somatório da largura dos cortes (LC) nas toras e pranchões no consumo de energia (CE) para desdobrar as toras

O somatório da largura dos cortes influenciou no consumo de energia menos que o diâmetro. Este fato deve-se possivelmente ao superdimensionamento do motor da serra de fita, que representou a maior porcentagem na somatória da largura dos cortes, tendo o motor refletido pouco a variação na somatória da largura de corte.

A equação $CE = 4,8854LC + 17,252$, com R^2 igual a 0,4549, erro padrão residual de 1,511, F de 6,676 sendo significativo ao nível de 5% de probabilidade, foi ajustada para estimar o efeito do diâmetro no consumo de energia. O aumento de 0,01 m na somatória da largura de corte resultou em um aumento de 0,049 kWh no consumo de energia elétrica (Tabela 6).

4.4.3 Efeito da massa úmida no consumo de energia

O Gráfico 4 apresenta o efeito da massa úmida da tora sobre o consumo de energia ativa para serrar as toras e os pranchões juntamente com a equação ajustada e coeficiente de determinação (R^2).

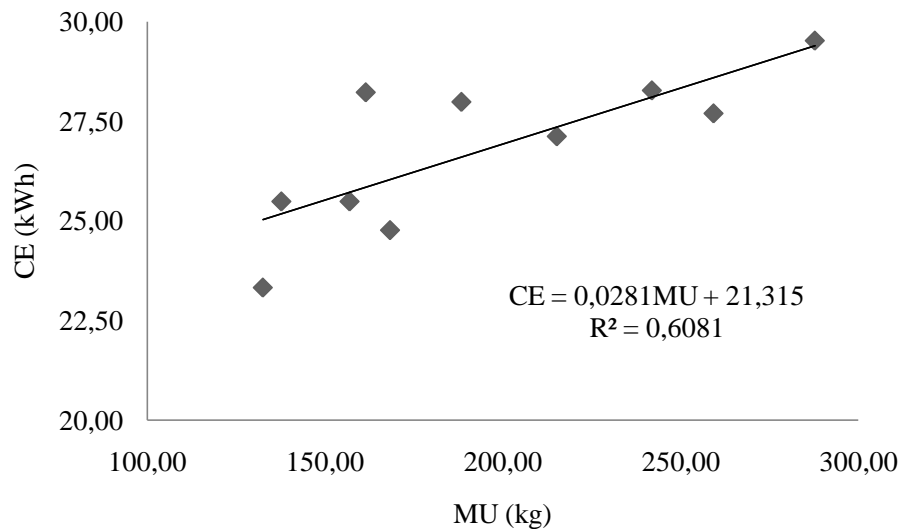


Gráfico 4 Efeito da massa úmida da tora (MU) no consumo de energia (CE) para desdobrar as toras

A massa da tora foi a propriedade avaliada que apresentou maior influência no consumo de energia durante o desdobro das toras. Este fato, possivelmente deve-se ao maior esforço do motor do carro porta-tora para transportar uma maior massa da tora.

A equação $CE = 0,0281MU + 21,315$, com R^2 igual a 0,6081, erro padrão residual de 1,281, F de 12,420 sendo significativo ao nível de 5% de probabilidade, foi ajustada para estimar o efeito do diâmetro no consumo de energia. O aumento de um quilograma na massa úmida da tora resultou em um aumento de 0,028 kWh no consumo de energia elétrica (Tabela 6).

4.4.4 Efeito da densidade básica e teor de umidade no consumo de energia

A densidade básica e o teor de umidade da tora não influenciaram no consumo de energia das serras. Esse resultado, possivelmente, deve-se à baixa variação ocorrida tanto na densidade básica quanto no teor de umidade das toras (CV = 9,43% e 15,24%, respectivamente). Para a melhor avaliação do efeito destas propriedades no consumo de energia, seria necessária a utilização de toras com grande amplitude de densidade básica e também com elevada amplitude de umidade, variando de toras recém cortadas até toras na condição de umidade de equilíbrio.

Os parâmetros das equações do efeito da densidade básica e do teor de umidade sobre o consumo de energia ativa para serrar as toras e os pranchões foram respectivamente de 0,04 e 0,03 para o coeficiente de determinação (R^2), 2,001 e 2,020 para o erro padrão residual e F não significativo ao nível de 5% de probabilidade igual a 0,371 e 0,217.

4.4.5 Influência do aumento das propriedades no consumo de energia

A Tabela 6 apresenta o aumento no consumo de energia de acordo com o aumento de uma unidade no diâmetro da tora, na largura de corte e na massa úmida.

Tabela 6 Aumento do consumo de energia em função do aumento nas propriedades da tora

Aumento	Consumo de energia (kWh)
1 cm no diâmetro	0,305
0,01 m na largura de corte	0,049
1 kg de massa úmida	0,028

O aumento de um centímetro no diâmetro da tora resultou em um aumento no consumo de energia igual a 0,305 kWh. O aumento de 0,01 metros na somatória da largura de corte resultou em um aumento de 0,049 no consumo de energia elétrica. O aumento de um quilograma na massa úmida da tora resultou em um aumento de 0,028 no consumo de energia elétrica.

Analisando os resultados da Tabela 6, observa-se que o incremento no diâmetro apresentou maior efeito no consumo de energia. Porém, observando-se a tabela juntamente com os gráficos dos efeitos das propriedades das toras no consumo de energia, nota-se que a propriedade mais significativa foi a massa úmida da tora, que foi a propriedade que na tabela apresentou o menor incremento no consumo de energia.

4.5 Energia armazenada nos resíduos

A energia armazenada na tora ficou distribuída entre os resíduos e na madeira serrada. A energia armazenada na madeira serrada e nos resíduos está apresentada na Tabela 7.

Tabela 7 Energia armazenada na madeira serrada e resíduos

	Volume (m ³)	kWh
Madeira serrada	0,133	439,03
Resíduos	0,167	388,60

Apesar do menor volume de madeira serrada (0,133 m³) em comparação com os resíduos (0,167 m³) gerados no desdobro das toras, a energia armazenada na madeira serrada foi superior. Esse fato deve-se à variação do teor energético nos diferentes resíduos. Vale ressaltar que a energia média da madeira, desconsiderando a casca, foi de 4730 kcal/kg, base poder calorífico superior (PCS). Esse valor está próximo ao obtido por Vale et al. (2000), que obtiveram PCS do fuste de *Eucalyptus grandis* igual a 4641 kcal/kg.

Os resíduos gerados no desdobro foram as costaneiras, aparas, serragem e casca. A proporção de cada um destes interferiu na energia total dos resíduos, conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8 Energia armazenada nos resíduos do desdobro das toras

	Apara e costaneira		Serragem		Casca	
	Vol. (m ³)	kWh	Vol. (m ³)	kWh	Vol. (m ³)	kWh
Média	0,110	273,77	0,027	67,15	0,030	47,68
CV %	27,99	28,49	13,87	16,65	35,41	36,41

A maior parte da energia estocada nos resíduos foi nas costaneiras e aparas, devido ao seu maior volume gerado e maior PCI. A casca, que apresentou maior volume em comparação à serragem, apresentou menos energia armazenada, pois o poder calorífico superior (PCS) obtido na bomba calorimétrica para a casca foi de 3845 kcal/kg e o PCS encontrado na serragem foi de 4715 kcal/kg.

A Tabela 9 apresenta o resumo da análise de variância, com nível de 95% de probabilidade, para os valores da energia armazenada nos diferentes resíduos (kWh), indicando que houve diferença significativa entre as energias armazenadas nos resíduos, e o coeficiente de variação do experimento foi baixo (9,56%).

Tabela 9 Resumo da análise de variância da energia armazenada nos resíduos, em kWh

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrado médio
Resíduo	2	2682869,18*
Erro	27	44156,43
Total corrigido	29	
CV %	9,56	
Média geral	2197,72	

Em que: * significativo a 5%.

A Tabela 10 apresenta a comparação entre os valores médios da energia armazenada nas costaneiras e aparas, na serragem, e na casca de *Eucalyptus*

grandis, sendo que todas as energias armazenadas foram calculadas em kWh utilizando-se como base o PCI.

Tabela 10 Energia armazenada em um m³ de cada resíduo

Resíduo	kWh/m ³	
Apara e costaneira	2483,29	a
Serragem	2500,64	a
Casca	1611,13	b

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente à 0,05 de significância.

Observa-se que não houve diferença entre a energia armazenada nas aparas e costaneiras e energia estocada na serragem. Possivelmente, esse fato deve-se a parte do volume de serragem obtida ter sido retirado no corte para a retirada das aparas e costaneiras. Já a energia da casca foi estatisticamente inferior às demais energias armazenadas nos resíduos.

4.6 Balanço energético

A Tabela 11 apresenta o balanço energético do desdobro das toras considerando a energia armazenada nos resíduos, e o balanço energético avaliando a energia armazenada nos resíduos e na madeira serrada.

Tabela 11 Média do balanço energético do desdobro de uma tora

	Balanço Energético (kWh)	
	Resíduos	Resíduos e Madeira serrada
Média	361,81	800,84
CV %	26,59	27,54

O balanço energético médio para serrar uma tora foi de 361,81 kWh considerando a energia armazenada nos resíduos, e 800,84 kWh analisando a energia armazenada no resíduo e na madeira serrada, ou seja, o equivalente à energia armazenada em uma tora. Esse saldo positivo foi obtido para desdobrar uma tora com volume médio de 0,299 m³ e produzir 0,133 m³ de peças. As variações ocorridas (CV = 26,59% e 27,54%) entre os balanços energéticos das

toras possivelmente devem-se aos diferentes rendimentos das peças e dos resíduos de cada tora, ou seja, uma tora gerou mais costaneira e aparas, outras geraram mais serragem e outras apresentavam maior volume de casca. A baixa diferença entre as variações dos dois balanços energéticos também pode ser explicada pela baixa variação entre os rendimentos em madeira serrada, conforme verificado na Tabela 3.

O saldo positivo do balanço energético indica que o desdobro das toras pode ser considerado auto-suficiente energeticamente. O saldo positivo do balanço energético para serrar uma tora é suficiente para serrar as dez toras, que somadas consumiram 267,89 kWh. O balanço energético positivo para o desdobro de toras também ocorreu no trabalho realizado em uma serraria por Brand et al. (2002), que consideraram a energia armazenada como a energia gerada por meio da queima dos resíduos em uma caldeira. Esses mesmos autores consideram o fato da grande quantidade de resíduos importante para o saldo positivo do balanço.

O saldo do balanço energético analisando a energia armazenada na madeira serrada e no resíduo foi 2,2 vezes superior ao saldo do balanço energético considerando apenas a energia armazenada nos resíduos. O balanço energético considerando a energia armazenada na madeira serrada e resíduos é importante para a análise de ciclo de vida da madeira. Porém, nesse saldo é desconsiderada a redução na energia armazenada na madeira serrada que ocorre com o passar dos anos devido a degradação, principalmente quando exposta à ação de organismos xilófagos.

Em trabalhos que consideram a análise do ciclo de vida dos materiais, em que é considerada a energia presente nos materiais quando são descartados, afirma-se que o balanço energético positivo da madeira ocorre devido à energia

armazenada nas peças e resíduos (GUSTAVSSON; SATHRE, 2006; MACFARLANE, 2009).

Na Tabela 12 estão apresentados os valores dos balanços energéticos analisando a energia armazenada nos resíduos e a energia armazenada nos resíduos e madeira serrada, para o desdobro de um metro cúbico de tora (com as mesmas dimensões, aumentando apenas a quantidade de toras) e para a produção de um metro cúbico de madeira serrada.

Tabela 12 Valor médio dos balanços energéticos do desdobro de um metro cúbico de tora e da produção de um metro cúbico de peça

	Balanço energético	
	Resíduos (kWh/m ³)	Resíduos e madeira serrada (kWh/m ³)
Tora	1206,92	2671,41
Peça	2718,56	6017,29

A diferença entre os balanços deve-se aos resíduos gerados. Para serrar 1 m³ de tora gera-se 0,5616 m³ de resíduos. Para produzir 1 m³ de madeira serrada gera-se 1,2524 m³ de resíduos.

5 CONCLUSÕES

Por meio das avaliações do consumo de energia da serra de fita e da serra circular para o desdobro das toras, da energia armazenada nos resíduos e na madeira serrada e dos efeitos das propriedades das toras no consumo de energia, pode-se concluir que:

- a) O rendimento médio do desdobro para a produção das peças foi de 43,84%;
- b) A energia reativa (kVArh) consumida na serra de fita foi muito elevada em comparação com a energia ativa (kWh);
- c) O gasto médio de energia ativa para serrar um metro cúbico de tora foi de 89,36 kWh, e o consumo médio de energia ativa para produzir 1 m³ de madeira serrada foi de 201,28 kWh;
- d) As propriedades da tora que mais influenciaram no consumo de energia dos cortes foram a massa ($R^2 = 0,61$) e o diâmetro ($R^2 = 0,52$). As propriedades teor de umidade e densidade básica não explicaram de forma significativa os consumos de energia;
- e) A energia armazenada nos resíduos foi de 2331,25 kWh/m³;
- f) O balanço energético apresentou saldo positivo em todas as análises. O balanço energético analisando a energia da madeira serrada e dos resíduos foi 2,2 vezes superior ao balanço energético avaliando a energia armazenada nos resíduos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A madeira foi um material pioneiro em diversos usos e, com o passar dos tempos, foi gradualmente sendo substituída ou sendo utilizada juntamente com outros materiais. Trabalhos como o de Ferguson et al. (2010) há muitos anos já apresentavam a madeira como um material ambientalmente correto quando comparado aos seus substitutos.

Com as questões ambientais sendo atualmente muito discutidas, muito pouco se tem falado sobre as vantagens ambientais do material madeira, principalmente a madeira obtida em reflorestamentos. Em tempos onde o crescimento econômico está intimamente relacionado à disponibilidade de energia nos países, e sendo a geração de energia o motivo de diversos impactos ao ambiente, este trabalho reforça as vantagens ambientais da madeira por sua eficiência energética.

Observando-se o processamento das toras, nota-se uma grande quantidade de energia armazenada nos resíduos, capaz de gerar energia para todo o processamento e ainda ser disponibilizada para a rede elétrica. Mostra-se, com este trabalho, a eficiência energética da madeira durante o seu processamento mecânico e ficam abertas as possibilidades de trabalhos considerando análises parciais do ciclo de vida de produtos a partir de madeira de reflorestamento, que apresentam potencial para melhorar ainda mais a imagem do material madeira.

REFERÊNCIAS

- AMPARO, K. F. et al. Caracterização do rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus saligna* Smith nas condições verde e seca. **Revista Forestal Venezolana**, Mérida, v. 52, n. 1, p. 71-76, 2008.
- ANGELI, A. Indicações para escolha de espécies de *Eucalyptus*. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 16, n. 95, p. 78-82, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11941. **Madeira - Determinação da densidade básica**. Rio de Janeiro, 2003.
- _____. NBR 7190. **Projeto de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro, 1997.
- _____. NBR 8633. **Carvão vegetal: determinação do poder calorífico**. Rio de Janeiro, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2009**. Brasília, 2010. 140 p.
- BATISTA, D. C.; CARVALHO, A. M. Avaliação do desempenho operacional de uma serraria através de estudo do tempo, rendimento e eficiência. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 75, p. 31-38, set. 2007.
- BRAND, M. A. et al. Balanço e rendimento energéticos de uma indústria integrada de base florestal. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 1, p. 45-53, jan./dez. 2002.

BRASIL. **Lei 6.938**, 31 ago. 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.html> Acesso em: 10 dez. 2010.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco energético nacional 2007**: ano base 2006. Rio de Janeiro, 2007. 60 p.

_____. **Balanco energético nacional 2010**: ano base 2009. Rio de Janeiro, 2010. 276 p.

CARRASCO, E. V. M.; MOREIRA, L. E. Uso da madeira de eucalipto em projetos construtivos. In: II SEMINÁRIO DE PRODUTOS SÓLIDOS DE MADEIRA DE EUCALIPTO, 2., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SIF, 2003. p. 105 – 130.

DOWAKI, K.; MORI, S. Biomass energy used in a sawmill. **Applied Energy**, Singapore, n.80, p. 327-339, 2005.

FERGUSON, I. et al. **Environmental properties of timber**. Disponível em: <<http://www.fwprdc.org.au/publications/online/epotbrochure/manufacture>>. Acesso em: 11 out. 2010.

FERREIRA, S. et al. Influência de métodos de desdobro tangenciais no rendimento e na qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus spp.* **Cerne**, Lavras, v. 10, n.1, p. 10-21, jan./jun. 2004.

GUENA, A. M. O. **Avaliação ambiental de diferentes formas de geração de energia elétrica**. 2007. 146 f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisa Energética e Nucleares, São Paulo, 2007.

GOMIDE, J. L. **Serraria**. Viçosa, MG: UFV, 1977. 119 p.

GUSTAVSSON, L. et al. Using biomass for climate change mitigation and oil use reduction. **Energy Policy**, Zurich, v. 35, p. 5671-5691, 2007.

GUSTAVSSON, L.; SATHRE, R. Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials. **Building and Environment**, Duisburg, v.41, p. 940-951, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL.
Norma para medição e classificação de toras de madeira de folhosas.
Brasília, 1984. 42 p.

KNIGHT, L. et al. Comparing energy use and environmental emissions of reinforced wood doors and steel doors. **Forest Products Journal**, Madison, v.55, n.6, p. 48-52, 2005.

KOCK, P. Material balances and energy required for manufacture of ten wood commodities. Energy and the wood products industry. **Forest Products**, Madison: [s.n.], 1976. 173 p.

LATORRACA, J. V. F. **Processamento mecânico da madeira**. Seropédica: UFRRJ, 2004. 116 p.

LIMA, J. T. et al. Aproveitamento de resíduos gerados no processamento da madeira de eucalipto. In: OLIVEIRA, J. T. S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro**. Jerônimo Monteiro: UFES, 2007. p. 255-290.

MACFARLANE, D. W. Potential availability of urban wood biomass in Michigan: Implications for energy production, carbon sequestration and sustainable forest management in the U.S.A. **Biomass and Bioenergy**, Aberdeen, v. 33, p. 628-634, 2009.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 4.ed. New York: Mc-Graw-Hill, 1980. 722 p.

QUEIROZ, S. C. S. et al. Influência da densidade básica da madeira na qualidade da polpa kraft de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Árvore**, Viçosa, MG, v.28, n.6, p. 901-909, 2004.

RESENDE, F. L. P. **Comparação entre as técnicas de análise termogravimétrica e leito fluidizado para pirólise de biomassa**. 2003. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

REZENDE, M. A.; FERRAZ, E. S. B. Densidade anual da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n. 30, p. 37-41, ago. 1985.

REZENDE, R. N; et al. Air drying of logs from a *Eucalyptus urophylla* clone for carbonization use. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 4, p. 565-572, 2011.

ROCHA, M. P. **Técnicas e planejamento em serrarias**. 2. ed. Curitiba: FUPEF, 2002. 121 p.

ROCHA, M. P.; KLITZKE, R. J. **Energia da madeira**. Curitiba: Fupef, 1998. 86 p.

ROCHA, M. P.; TRUGILHO, P. F. Qualidade de madeira serrada de *Eucalyptus dunnii* em função do método de desdobro e condição de umidade. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 4, p. 314-321, out./dez. 2006.

SATHRE, R.; GUSTAVSSON, L. Using wood products to mitigate climate change: External costs and structural change. **Applied Energy**, Singapore, v. 86, p. 251-257, 2009.

SCANAVACA JUNIOR, L.; GARCIA, J. N. Rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 63, p. 32-43, jun. 2003.

SEIXAS, F. et al. Balanço energético e econômico de duas alternativas de descascamento de madeira de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 67, p. 37-43, abr. 2005.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Fatos e números do Brasil florestal**. Disponível em: <www.sbs.org.br/fatosenumerosdobrasilflorestal.pdf> Acesso em: 15 dez. 2008.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus saligna* e *E. grandis*. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n. 29, p. 37-45, abr. 1985.

UPTON, B. M. R. et al. The greenhouse gas and energy impacts of using wood instead of alternatives in residential construction in the United States. **Biomass and Bioenergy**, Aberdeen, v. 32, p. 1-10, 2008.

VALE, A. T. et al. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* hill ex- maiden e *Acacia mangium* willd em diferentes níveis de adubação. **Cerne**, Lavras, v.6, n.1, p. 83-88, 2000.

VIEIRA, R. S. et al. Small wooden objects using eucalypt sawmill wood waste. **Bioresources**, Raleigh, v. 5, p. 1463-1472, 2010.

VITAL, B. R. **Planejamento e operação de serrarias**. Viçosa, MG: UFV, 2008. 211 p.



VITAL, B. R. et al. Influência da casca no rendimento e na qualidade do carvão vegetal de *Eucalyptus grandis*. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n. 41/42, p. 44-49, jan./dez. 1989.

WILLISTON, M. (Ed.). **Lumber manufacturing**: the design and operation of sawmills and planer mills. 2. ed. San Francisco: M. Freeman, 1976. 512 p.

ZENID, G. J. Você sabe de onde vem a madeira que você consome? In: _____ **Madeira**: uso sustentável na construção civil. 2. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2009. p. 16-20.

ANEXO A

Conta de energia de uma grande empresa destacando a energia reativa (kVArh) cobrada.

Distribuição S.A. www.cemig.com.br
Agência Virtual

Cemig Distribuição S.A. CNPJ 06.981.180/0001-16 / Inscrição Estadual 052.322136/0087 / Av. Barbacena, 1.200 - 1ª andar - Ala A1 - CEP 30190-131 - Belo Horizonte - MG

Referente a **OUT/2009** Nº DO CLIENTE
 Código de Débito Automático: **000090000373**

INSCRIÇÃO ESTADUAL 0000000000001
 NOTA FISCAL - CONTA DE ENERGIA ELÉTRICA - SÉRIE U - Nº000004877 - PTA Nº16.000114527.70

Classificação Poder: Público	Medição TMS Azul / A4	Datas de Leitura ANTERIOR: 01/09 ATUAL: 01/10 PRÓXIMA: 01/11	Datas da Nota Fiscal EMISSÃO: 01/10 APRESENTAÇÃO: 02/10	Nº DA INSTALAÇÃO 3009000037
--	---------------------------------	--	--	--

Informações Técnicas
Conforme demonstrativo anexo

<p>Informações Gerais Tarifa vigente conforme Res. Anel nº 797, de 07/04/09. Racionamento de 6,80%, valor R\$ 9.010,49. Lei Nº 10.833/03 e Anexo 1 da IN SRF Nº 306 de 12/03/03</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Descrição</th> <th>Quantidade</th> <th>Preço</th> <th>Valor (R\$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Demanda Ativa kW HFP/Unico</td> <td>1.300</td> <td>13,76498887</td> <td>17.894,49</td> </tr> <tr> <td>Demanda Ativa kW HP</td> <td>800</td> <td>49,18496717</td> <td>39.347,97</td> </tr> <tr> <td>Energia Ativa kWh HFP/Unico</td> <td>403.900</td> <td>0,19481549</td> <td>78.685,98</td> </tr> <tr> <td>Energia Ativa kWh HP</td> <td>41.300</td> <td>0,31705909</td> <td>13.094,54</td> </tr> <tr> <td>Energia Reativa kWh HFP/Unico</td> <td>8.400</td> <td>0,19481549</td> <td>1.636,45</td> </tr> <tr> <td>Energia Reativa kWh HP</td> <td>1.400</td> <td>0,31705909</td> <td>443,86</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Encargos / Cobrança</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td>Contrib. Custeio TUm - Pública</td> <td>13,91</td> </tr> <tr> <td>Imposto Retido - IRPJ</td> <td>1.848,31</td> </tr> <tr> <td>Imposto Retido - PIS/PASEP</td> <td>1.001,16</td> </tr> <tr> <td>Imposto Retido - COFINS</td> <td>4.620,76</td> </tr> <tr> <td>Imposto Retido - CSLL</td> <td>1.540,25</td> </tr> <tr> <td>Multa 2% conta de 09/2009 sobre R\$ 146.106,20</td> <td>2.922,12</td> </tr> </tbody> </table>	Descrição	Quantidade	Preço	Valor (R\$)	Demanda Ativa kW HFP/Unico	1.300	13,76498887	17.894,49	Demanda Ativa kW HP	800	49,18496717	39.347,97	Energia Ativa kWh HFP/Unico	403.900	0,19481549	78.685,98	Energia Ativa kWh HP	41.300	0,31705909	13.094,54	Energia Reativa kWh HFP/Unico	8.400	0,19481549	1.636,45	Energia Reativa kWh HP	1.400	0,31705909	443,86	Contrib. Custeio TUm - Pública	13,91	Imposto Retido - IRPJ	1.848,31	Imposto Retido - PIS/PASEP	1.001,16	Imposto Retido - COFINS	4.620,76	Imposto Retido - CSLL	1.540,25	Multa 2% conta de 09/2009 sobre R\$ 146.106,20	2.922,12
Descrição	Quantidade	Preço	Valor (R\$)																																						
Demanda Ativa kW HFP/Unico	1.300	13,76498887	17.894,49																																						
Demanda Ativa kW HP	800	49,18496717	39.347,97																																						
Energia Ativa kWh HFP/Unico	403.900	0,19481549	78.685,98																																						
Energia Ativa kWh HP	41.300	0,31705909	13.094,54																																						
Energia Reativa kWh HFP/Unico	8.400	0,19481549	1.636,45																																						
Energia Reativa kWh HP	1.400	0,31705909	443,86																																						
Contrib. Custeio TUm - Pública	13,91																																								
Imposto Retido - IRPJ	1.848,31																																								
Imposto Retido - PIS/PASEP	1.001,16																																								
Imposto Retido - COFINS	4.620,76																																								
Imposto Retido - CSLL	1.540,25																																								
Multa 2% conta de 09/2009 sobre R\$ 146.106,20	2.922,12																																								

<p>Indicadores de Qualidade de Fornecimento</p> <p>LAVRAS Região: DIST. DISTR. DE LAVRAS Mês: 08/2009 DIC FIC OMC Consideradas Aparente 2,53 1,00 7,93 as interrupções Permitido 35,00 28,00 17,00 acima de 5 Min. Tensão: Nominal = 13,8 kV Min. = 12,9 kV Máx. = 14,5 kV</p>	<p style="text-align: center;">Informações de Faturamento</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">VENCIMENTO 20/10/2009</td> <td style="width: 50%;">VALOR A PAGAR R\$ 145.028,86</td> </tr> </table> <p style="text-align: center; font-size: small;">Reservado ao Fisco ABC6.C3EA.7BFC.3C72.D22C.78F2.81FA.C498</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Base de cálculo(R\$)</th> <th>ICMS Alíquota(%)</th> <th>Valor(R\$)</th> <th>PASEP (R\$)</th> <th>COFINS (R\$)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>151.103,31</td> <td>6</td> <td>9.066,20</td> <td>1.526,13</td> <td>7.026,30</td> </tr> </tbody> </table>	VENCIMENTO 20/10/2009	VALOR A PAGAR R\$ 145.028,86	Base de cálculo(R\$)	ICMS Alíquota(%)	Valor(R\$)	PASEP (R\$)	COFINS (R\$)	151.103,31	6	9.066,20	1.526,13	7.026,30
VENCIMENTO 20/10/2009	VALOR A PAGAR R\$ 145.028,86												
Base de cálculo(R\$)	ICMS Alíquota(%)	Valor(R\$)	PASEP (R\$)	COFINS (R\$)									
151.103,31	6	9.066,20	1.526,13	7.026,30									

Mês/Ano	DEMANDA (kW)		ENERGIA (kWh)		HR
	HP	HFP	HP	HFP	
SET/09	700	1.085	36.400	384.300	0
AGO/09	686	1.008	33.600	358.400	0
JUL/09	714	1.099	37.600	378.000	0
JUN/09	721	1.113	36.400	388.500	0
MAI/09	721	1.162	35.700	374.500	0
ABR/09	756	1.337	40.800	429.100	0
MAR/09	560	1.162	76.800	331.800	0
FEV/09	602	1.078	18.200	259.700	0
JAN/09	0	0	38.200	409.500	0
DEZ/08	756	1.268	35.000	406.700	0
NOV/08	749	1.358	39.900	412.300	0
OUT/08	763	1.239	43.400	409.500	0

Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL - 167 - Ligação gratuita de telefones fixos e tarifada na origem para telefones celulares. Ouvidoria CEMIG: (31) 3508-3838

CEMIG Distribuição S.A.	Unidade de Leitura 91140179	Conta Contrato 000090000373	Vencimento 20/10/2009	Total a Pagar R\$ 145.028,86
-----------------------------------	--------------------------------	--------------------------------	--------------------------	--