

O ESTADO-DA-ARTE DA QUALIDADE DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA: UM ENFOQUE NOS TRATAMENTOS SILVICULTURAIS¹

The State of the Art of Eucalypt Timber Quality for Energy Production: a Focus on Silvicultural Treatments

Daniel Camara Barcellos², Luiz Carlos Couto³, Marcelo Dias Müller⁴ e Laércio Couto⁵

Resumo: O uso da madeira de reflorestamento como insumo energético ganhou força no final da década de 1960, com a Lei de Incentivos Fiscais para o Reflorestamento, quando a área plantada passou de 400 mil para aproximadamente 6 milhões de hectares, com a finalidade de atender principalmente às indústrias siderúrgica e de celulose e papel. Nesse contexto, o gênero *Eucalyptus*, como já discutido por vários autores, se destacou como principal material genético propício para o reflorestamento, em função de suas características ecológicas, de grande plasticidade ambiental e alta produtividade, bem como das várias qualidades tecnológicas da madeira para a indústria. As principais características da madeira que influenciam a sua qualidade como insumo energético são: densidade (ligada ao teor de lignina na madeira), poder calorífico, umidade e teor de minerais. Com o desenvolvimento da pesquisa florestal, descobriu-se que esses fatores (qualidade da madeira e produtividade florestal) podem ser influenciados pelo manejo da floresta, por meio de tratamentos silviculturais. Os principais tratamentos aplicados a uma floresta que influenciam a qualidade da madeira para energia e a produtividade da floresta são: controle do espaçamento, fertilização mineral, aplicação de desbastes e escolha do material genético. Sendo assim, o presente trabalho teve por objetivo dissertar a respeito da influência de tratamentos silviculturais na qualidade da madeira de eucalipto para energia.

Palavras-chave: eucalipto, qualidade da madeira, madeira para energia, silvicultura.

Abstract: The use of reforestation wood as energetic input has increased in the late 1960 s, with the law of Fiscal Incentives for Reforestation, with the planted area (400 thousand) reaching approximately 6 million hectares to meet the demand of the metallurgical and cellulose & paper industries. Within this contexts the genus *Eucalyptus*, as previously discussed by several authors, has been highlighted as the main genetic material adequate for reforestation, in function of its ecological characteristics i.e., great environmental plasticity and high productivity, as well as various wood technological qualities suitable for the industry the main wood characteristics influencing its quality as energetic input are: density (associated to lignin content), calorific power, moisture and mineral content. As forest research developed, it was verified that these factors (wood quality and productivity) may be influenced by forest management, by means of silvicultural treatments. The major treatments applied to a forest influencing wood quality for forest energy and productivity are: spacing control, mineral fertilization, pruning and choice of genetic material. Thus, the objective of this work is to address the influence of silvicultural treatments on eucalypt wood quality for energy purposes.

Keywords: eucalypt, timber quality, timber for energy, silviculture.

¹ Recebido para publicação em 4.5.2006 e aceito em 23.6.2006.

² Engenheiro Florestal, M.S., Doutorando do Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal do Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa – DEF/UFV, 36570-000 Viçosa-MG, <camara@uai.com.br>.

³ Ph. D. Prof. do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA.

⁴ Engenheiro Florestal, D.S. em Silvicultura e Produção de Biomassa para Energia, consultor Agroflor Engenharia, <agroflorconsultoria@yahoo.com.br>. ⁵ Engenheiro Florestal, Ph.D., Presidente da Rede Nacional de Biomassa para Energia – RENABIO, <presidência@renabio.org.br>.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Uso da madeira para energia no Brasil

O uso da madeira plantada para fins energéticos no País remonta o final do século XIX, quando a Cia. Paulista de estradas de ferro precisou replantar suas terras com árvores de rápido crescimento, para suprir com madeira as locomotivas a vapor, o mais importante meio de transportes de passageiros e de carga da época (MAGALHÃES, 2001).

Em 1937, após a implantação da maior usina integrada a carvão vegetal do mundo, a segunda usina de aço da Belgo-Mineira, iniciaram-se de maneira pioneira na América Latina os plantios de eucaliptos para produção de carvão vegetal para suprir os altos-fornos (MATARELLI et al., 2001).

Dos anos 1960 aos 80, durante a vigência dos incentivos fiscais, foram plantados cerca de 6 milhões de hectares, cerca de metade no Estado de Minas Gerais, sendo a maioria deles plantios de eucaliptos. Esses plantios reverteram o quadro de consumo de carvão vegetal, que passou a basear-se em florestas plantadas, em substituição a florestas nativas (ASSIS, 2001).

Hoje, são quatro os grandes setores no Brasil que consomem madeira para energia (BRITO; CINTRA, 2004):

O setor que mais utiliza consome madeira é o de transformação, que consome cerca de 39% da madeira destinada para energia. Ele é representado principalmente pelo setor de produção de carvão vegetal, em decorrência da demanda existente pelo produto no setor siderúrgico, sendo grande parte da madeira utilizada proveniente de florestas plantadas, na sua maioria representada por florestas de eucaliptos.

Como segundo importante consumo de madeira para energia aparece o setor

residencial, que utiliza cerca de 32% da madeira. Nesse setor a madeira é usada para cocção de alimentos e, em menor escala, para aquecimento domiciliar. Estima-se que cerca de 30 milhões de pessoas no País sejam dependentes da madeira como fonte energética domiciliar.

O terceiro mais importante setor consumidor de madeira para energia é o industrial, consumindo 21% do total. Eles estão relacionados a milhares de empreendimentos industriais do ramo do cimento, químico, alimentos, bebidas, papel e celulose e cerâmicas.

O setor agrícola coloca-se como o quarto grande demandador de madeira para energia, consumindo cerca 6% do total. O principal uso é a secagem de produtos agrícolas, principalmente grãos. O interessante é que, apesar de representar apenas 6%, esse volume chega a ser duas vezes maior que o volume de madeira usada para produção brasileira de chapas de madeira e similares.

1.2 Potenciais de uso da madeira para energia no Brasil

Além dos usos tradicionais de madeira para energia, há ainda um enorme espaço disponível para valorização adicional dos recursos florestais no panorama energético nacional, o que poderia incluir (BRITO; CINTRA, 2004):

1. A complementação da geração hidrelétrica através de usinas termelétricas que queimam madeira de reflorestamento, ou mesmo de manejo florestal.
2. A utilização, em áreas distantes de campos de petróleo e das refinarias, de óleos vegetais combustíveis extraídos de plantas florestais, substituindo o óleo diesel.
3. A utilização de gasogênios à lenha ou a carvão vegetal para produção de calor industrial e para o acionamento de motores.

4. Incentivo à utilização de lenha para cocção de alimentos em áreas rurais, mediante pequenos reflorestamentos, e utilização de fogões mais eficientes.

Considerando o uso final da madeira, parte-se do princípio de que a madeira deve possuir certas qualidades que atendam a certas características relacionadas ao seu uso final. O eucalipto, por ser uma madeira de elevada versatilidade e elevada produtividade, atende, na maioria dos casos, à necessidade energética do País.

1.3 O setor florestal no Brasil

O setor florestal tem uma significativa contribuição na economia do País, uma vez que representa aproximadamente 5% do PIB e 8% das exportações nacionais. Além disso, gera 1,6 milhão de empregos diretos, 5,6 milhões de empregos indiretos e uma receita anual de R\$ 20 bilhões, e, ainda, paga anualmente R\$ 3 bilhões de impostos.

Atualmente o setor conta com aproximadamente 3 milhões de hectares de florestas plantadas com eucaliptos em todo Brasil, sendo Minas Gerais o Estado com maior área plantada (aproximadamente 1,6 milhão de hectares) (COUTO et al. 2004b).

Considerando o potencial representado pelo eucalipto como produtor de madeira de qualidade, há condições ambientais e conhecimentos silviculturais suficientes para dar ao País vantagem comparativa na produção de matéria-prima oriunda de florestas renováveis.

No Brasil, a implantação de vastas áreas de florestas puras, cerca de 6,4 milhões de hectares, na grande maioria formadas por espécies exóticas, é conseqüência da evolução de toda uma estrutura industrial, que tem por objetivo atender à demanda das regiões mais desenvolvidas do País, com matéria-prima necessária para produção de papel,

celulose, chapas, aglomerados, lenha, carvão vegetal, fabricação de móveis, etc. (SCHUMACHER; POGGIANI, 1993).

Diversas práticas silviculturais favorecem a obtenção de madeira de melhor qualidade, como o desbaste, a desrama e a fertilização mineral, além de outros cuidados necessários para que uma floresta cresça.

1.4 O eucalipto

As espécies do gênero *Eucalyptus*, introduzidas no Brasil para fins de reflorestamento, apresentam um ciclo de corte relativamente curto e com elevada produtividade (SCHUMACHER; POGGIANI, 1993, citado por FREITAS et al., 2004).

Segundo Oliveira (1999), o gênero *Eucalyptus* pertence à família Myrtaceae e conta com aproximadamente 70 gêneros e 3.000 espécies. Proveniente da Austrália, foi introduzido no Brasil em 1868, no Rio Grande do Sul e no Rio de Janeiro. Até o início do século, as espécies de *Eucalyptus* eram utilizadas apenas como arborização de ruas, ou como quebra-ventos. A cultura em larga escala foi iniciada em 1903, no Estado de São Paulo.

O *Eucalyptus* é caracterizado pela elevada plasticidade, ou seja, grande capacidade de adaptações às condições ambientais. Quanto à latitude, observa-se que as maiores florestas, com as melhores espécies do gênero, se encontram em latitudes acima de 20°. Ele pode ser cultivado desde a beira mar até as regiões muito elevadas, como o caso do *E. globulus*, cultivado a 1.400 m de altitude, na África. Os eucaliptos prosperam em grande diversidade de clima, com a literatura citando valores mínimos de -10 °C para plantações de *E. veriminalis*, até 55 °C, em plantações de *E. corynocalyx*, *E. bicolor* e *E. microtheca*. Ele também parece não ser muito exigente quanto às condições edáficas (ANDRADE, 1961).

Além da grande plasticidade, o gênero também se destaca pelo seu rápido crescimento, devido ao grande avanço das práticas silviculturais, ao manejo e, principalmente, ao melhoramento genético das espécies (ANDRADE, 1961).

Segundo Silva (2001), quanto à estrutura anatômica da madeira de eucalipto, deve ser destacada a formação de tiloses nos vasos de boa parte das espécies, o que, às vezes, pode levar à sua completa obstrução, bem como o pequeno diâmetro das pontuações aureoladas que fazem a confecção entre os fibrotraqueídeos ou entre estes e os elementos vasculares, que por sua vez podem causar manchas na madeira e, conseqüentemente, diminuir seu valor agregado, principalmente para produção de móveis. Essas características estão diretamente associadas com a permeabilidade do cerne da madeira de eucalipto. As pontuações dos diâmetros diminutos são responsáveis, em grande parte, pela dificuldade de secagem e pela tratabilidade desses lenhos. Por apresentar constituição anatômica relativamente simples e homogênea, quanto à morfologia dos elementos anatômicos, a madeira de eucalipto caracteriza-se por trabalhabilidade relativamente fácil, podendo conseguir cortes e superfícies de qualidade, sem maiores dificuldades. Por outro lado, a identificação das espécies de eucalipto é muito difícil, não somente pelas variações morfológicas determinadas pelo ambiente, mas também pelo freqüente fenômeno de hibridação, fazendo com que a constituição anatômica seja muito homogênea entre as espécies. Bamber (1985), citado por Silva (2001), estudando a anatomia de várias espécies de eucalipto, concluiu que é grande a variação das propriedades anatômicas entre e dentro das espécies e que o conhecimento dessa variação é de suma importância quando se pretende iniciar o desenvolvimento de determinada espécie para qualquer uso final da madeira.

Silva (2001) afirmou ainda que, quanto à massa específica aparente, a madeira de

eucalipto varia desde as mais leves, até aquelas bastante pesadas, com valores entre 0,40 e 1,20 g cm⁻³. Com relação à composição química, as diversas madeiras de eucalipto apresentam variações nos seus elementos: 40 a 62% de celulose, 12 a 22% de hemicelulose e 15 a 22% de lignina. Há uma variação na composição química entre espécies, entre árvores de uma espécie e dentro da própria árvore. Em geral, a madeira de eucalipto difere mais de outras latifoliadas no teor de extrativos.

Um aspecto positivo em relação à madeira de eucalipto é o grande espectro de propriedades, em função das diferentes espécies que são facilmente cultivadas no País. Têm-se desde madeiras leves e de baixa durabilidade, até aquelas madeiras aptas às utilizações.

2 ÍNDICES DE QUALIDADE

Deve-se sempre procurar definir quais itens de qualidade são ou não importantes para se produzir madeira para energia.

Antes de avaliar como intervenções silviculturais afetam a qualidade da madeira, é preciso saber quais índices de qualidade (características técnicas da biomassa) são importantes para produção de energia. Dentre elas podem ser citadas:

1. Densidade.
2. Teor de minerais.
3. Poder calorífico.
4. Composição química (elementar e imediata).
5. Umidade.

2.1 Densidade da madeira

A densidade da madeira é um dos índices mais importantes e mais utilizados, pois interfere em diversas propriedades da madeira.

Oliveira (1988), em um trabalho desenvolvido com madeira de *Eucalyptus*, fez algumas correlações entre a densidade de madeira e outros parâmetros anatômicos e químicos, são eles:

1. O aumento de densidade da madeira é acompanhado pelo aumento da espessura da parede das fibras, pela redução do lúmen e pelo aumento no comprimento das fibras.
2. À medida que os teores de lignina e de extrativos se elevam, a densidade aumenta, proporcionalmente.
3. A densidade da madeira é reduzida com aumento do teor de holocelulose.

O *Forest Products Laboratory* (1974) classificou a densidade da madeira nos termos apresentados no Quadro 1.

A partir do conceito físico mais elementar, pode-se conceituar a densidade como quantidade de massa, expressa em peso, contida na unidade de volume. Em se tratando de madeira, a densidade pode ser absoluta, expressa em g cm^{-3} ou em kg m^{-3} , ou relativa,

quando comparada com a densidade absoluta da água destilada, insenta de ar, à temperatura de $3,98\text{ }^{\circ}\text{C}$, com densidade de $1,0\text{ g cm}^{-3}$. Nos sistemas CGS e SI, o número que exprime a densidade absoluta coincide com o número adimensional, que exprime a densidade relativa (VITAL, 1984).

As variações de densidade entre as diversas espécies de madeira são devido às diferenças das espessuras da parede celular, das dimensões das células, das inter-relações entre esses dois fatores e da quantidade de componentes extratáveis presentes por unidade de volume (PANSIN; ZEEW, 1982). Variações na densidade da madeira de mesma espécie, ocasionadas por idade da árvore, genótipo, índice de sítio, clima, localização geográfica, tratos culturais etc., são decorrentes de alterações nos fatores citados inicialmente. Os efeitos, em geral, são interativos e difíceis de ser avaliados isoladamente (VITAL, 1984).

Com base em um levantamento bibliográfico realizado por Silva (2001), embora existam inúmeras exceções, a maioria dos resultados obtidos leva à conclusão que :

a) a densidade da madeira de uma determinada árvore depende significativamente da densidade da madeira de seus ascendentes, em virtude de boa herdabilidade;

b) madeiras com quantidade elevada de extrativos levam a resultados contraditórios da densidade básica;

c) há diminuição da densidade básica no sentido base-topo, com exceção das madeiras de bases expandidas, que crescem em regiões alagadas; e aumento da densidade no sentido casca-medula;

d) há aumento da densidade básica em função da idade da árvore. Normalmente, a densidade aumenta com rapidez durante o período juvenil, depois de maneira mais lenta, até atingir a maturidade, permanecendo mais ou menos constante daí para frente;

Quadro 1 – Classificação da densidade da madeira de acordo com o *Forest Products Laboratory* (1974)

Table 1 – *Wood density classification according to the Forest Products Laboratory (1974)*

| Intervalo de Densidade (g cm^{-3}) | Tipo de Madeira |
|---|-----------------------|
| - a 0,20 | extremamente leve |
| 0,20 a 0,25 | excessivamente leve |
| 0,25 a 0,30 | muito leve |
| 0,30 a 0,36 | leve |
| 0,36 a 0,42 | moderadamente leve |
| 0,42 a 0,50 | moderadamente pesada |
| 0,50 a 0,60 | pesada |
| 0,60 a 0,72 | muito pesada |
| 0,72 a 0,86 | excessivamente pesada |
| 0,86 em diante | extremamente pesada |

Fonte: Vital (1984).

e) a madeira de lenho tardio apresenta uma densidade básica maior que a da madeira de lenho juvenil;

f) a taxa de crescimento, para a maioria das espécies, não afeta a densidade de maneira uniforme. Para as folhosas, a elevação da taxa de crescimento, dentro de certos limites, ocasiona aumento da densidade da madeira. As coníferas, aparentemente, sofrem redução na densidade quando ocorre aumento na taxa de crescimento, conforme observado por diversos pesquisadores citados por Vital (1984); e

g) a densidade básica da madeira apresenta tendência de valores maiores à medida que as latitudes avançam para os trópicos, quando, quase sempre, tal situação está associada com zonas de baixa altitude, baixa precipitação, baixa umidade relativa, temperaturas elevadas e clima seco .

2.2 Minerais na madeira

Os minerais presentes na madeira são importantes do ponto de vista energético pois podem, quando queimados em fornalhas, caldeiras etc., formar incrustações nos equipamentos e nas tubulações. No setor de transformação, quando se produz carvão vegetal para ser usado na siderurgia, ele deve possuir baixo teor de minerais, pois esses causam problemas sérios na qualidade do aço produzido. O problema é ainda maior na produção de ligas metálicas.

O teor de minerais da madeira, usualmente expresso como teor de cinzas, corresponde, em geral, a menos de 1% da base de madeira absolutamente seca. Muitos desses minerais encontram-se presentes em combinação com compostos orgânicos, e os complexos formados desempenham funções fisiológicas. Os principais minerais encontrados são cálcio, magnésio, fósforo e silício. Em algumas espécies, principalmente na casca, o teor de cinzas é elevado. O silício, na forma de sílica, SiO_2 , por exemplo, às vezes é

abundante em algumas matérias-primas fibrosas, especialmente em alguns resíduos agrícolas como palhas e bagaço de cana e casca de arroz. Entretanto, a variedade de outros elementos minerais é alta, se bem que a maioria ocorre apenas em quantidades desprezíveis (ANDRADE, 1989).

Ao falar dos minerais, é importante que se leve em consideração a quantidade presente de casca, de lenho juvenil e de lenho tardio.

A proporção da madeira juvenil existente em uma tora é uma característica que depende fundamentalmente da idade da árvore, bem como do ambiente e do manejo, entretanto à mesma idade e em condições semelhantes de ambiente e de manejo, pode-se verificar que existe grande variabilidade nesse aspecto. Em algumas espécies e indivíduos, a formação de madeira juvenil estende-se por vários anos, enquanto em outras a formação de madeira “madura” se inicia mais cedo. O que caracteriza essas variações são as diferenças que se estabelecem nas proporções de madeira juvenil em relação à “madeira” acumulada no tronco.

Essa característica parece estar associada à velocidade com que a transição da fase juvenil para a fase adulta ocorre. É notável a variação que existe quanto ao início da mudança de fase entre as várias árvores do povoamento. Algumas árvores mudam de fase já no primeiro ano, enquanto outras levam até seis anos para manifestar a transição da fase juvenil para a fase adulta. As árvores que mudam de fase mais rapidamente apresentam menor quantidade de madeira juvenil, pois iniciam a produção de madeira madura mais cedo; ao contrário, árvores que demoram a mudar de fase passam vários anos produzindo madeira juvenil, resultando em uma proporção maior dessa madeira. A velocidade de mudança de fase é uma característica sob forte controle genético (ZOBEL; JETT, 1995), o que significa que a quantidade de madeira juvenil pode ser

reduzida através da seleção. Outro aspecto citado por esses autores é que a qualidade da madeira juvenil apresenta grande variação entre árvores e que ela também pode ser melhorada geneticamente.

A casca é a camada externa ao câmbio que recobre o tronco, os galhos e as raízes das árvores, chegando, em média, entre 10 e 15% do peso da árvore. A casca é composta de vários tipos de células, e sua estrutura é complicada em comparação com a da madeira. Adicionalmente às variações que ocorrem dentro da mesma espécie, dependendo de fatores como idade e condições de crescimento das árvores, cada espécie é conhecida por características específicas de sua casca.

A casca contém de 2-5% de sólidos inorgânicos, base peso seco da casca (determinado como cinzas). Os principais sais que existem na madeira são carbonatos de metais alcalinos e alcalino-terrosos, os quais constituem mais de 80% das cinzas. Os metais estão presentes na forma de vários sais, incluindo oxalatos, fosfatos, silicatos etc. Alguns deles estão ligados a grupos de ácidos carboxílicos da substância casca. O potássio e cálcio são metais predominantes. A maioria do cálcio ocorre como cristais de oxalato de cálcio, depositados nas células do parênquima axial. Os fosfatos estão presentes na forma de éster e tem papel ativo no metabolismo, logo concentram-se nas zonas meristemáticas. A sílica ou ocorre combinada aos carboidratos, formando ésteres, ou se deposita como cristais. A casca também contém traços de elementos como boro, cobre e manganês (ANDRADE, 1989).

A casca de essências florestais apresenta algumas possibilidades de uso. Dentre estas pode-se citar a produção de energia, através da queima em caldeiras, como matéria orgânica para cobertura do solo e na fabricação de substratos orgânicos, além da produção de taninos, que pode ser um uso potencial para esse material (MIRANDA, 2000).

Um outro fator de influência de minerais na madeira é o diâmetro da lenha. Árvores com diâmetros maiores apresentam, caracteristicamente, taxas mais elevadas de madeira inativa de cerne, enquanto as árvores com diâmetros menores apresentam, proporcionalmente, maiores quantidades de madeira ativa de alburno, estando, portanto, mais capacitadas para a translocação de quantidades maiores de matérias minerais, dentre os quais se encontra o fósforo.

No Quadro 2 estão os teores médios de alguns minerais presentes na madeira de eucalipto.

Em um estudo realizado por Brito e Barrichelo (1978), pode-se verificar que a quantidade de cinzas produzidas na casca é de 300 a 2.000% maior que no lenho (Quadro 3). É nas cinzas que está presente a maioria dos minerais da madeira.

Freitas et al. (2004), fizeram um estudo similar, considerando a exportação de nutrientes ao analisar a madeira e a madeira com casca, e constataram que a exportação de nutrientes (minerais) é bem maior na madeira com casca (Quadro 4). Nesse mesmo estudo, eles avaliaram ainda quanto cada parte da árvore (folhas, galhos, galhos mortos, casca e fuste) contribui na remoção dos

Quadro 2 – Elementos minerais presentes na madeiras de *E. grandis*

Table 2 – Mineral elements present in *E. grandis* woods

| Elemento Mineral | Teor (ppm) |
|------------------|------------|
| Nitrogênio | 617,00 |
| Potássio | 375,00 |
| Cálcio | 325,00 |
| Magnésio | 85,00 |
| Manganês | 30,00 |
| Ferro | 25,00 |
| Fósforo | 18,60 |
| Zinco | 1,50 |

Fonte: Kimo (1986).

macronutrientes (minerais) do solo (Quadro 5), ficando esses alocados na biomassa.

Árvores de *E. grandis* acumulam grandes quantidades de Ca e K no fuste, em relação a outros nutrientes e a outros componentes da biomassa acima do solo, o que pode ocorrer em função da alta produtividade de biomassa do fuste em relação à biomassa de

Quadro 3 – Teores de cinzas da madeira e da casca de eucalipto e pinus

Table 3 – Wood and bark ash contents in eucalypto and pinus

| Espécie | | Média (%) |
|--|---------|-----------|
| <i>E. grandis</i> | Madeira | 0,31 |
| | Casca | 6,40 |
| <i>E. saligna</i> | Madeira | 0,41 |
| | Casca | 6,14 |
| <i>E. microcorys</i> | Madeira | 0,41 |
| | Casca | 1,57 |
| <i>E. tereticornis</i> | Madeira | 0,52 |
| | Casca | 1,97 |
| <i>E. resinifera</i> | Madeira | 0,30 |
| | Casca | 1,34 |
| <i>P. caribaea</i> var. <i>hondurensis</i> | Madeira | 0,10 |
| | Casca | 0,40 |

Fonte: Brito e Barrichelo (1978), citado por Andrade (1989).

Quadro 4 – Nutrientes presentes na madeira e na madeira com casca de *E. grandis*

Table 4 – Nutrients in wood and wood with bark of *E. grandis*

| Nutriente | (%)(¹) | |
|-----------|-----------------------------|-----------------------------|
| | Madeira do Tronco sem casca | Madeira do tronco com casca |
| N | 21 | 70 |
| P | 24 | 75 |
| K | 63 | 81 |
| Ca | 53 | 83 |
| Mg | 46 | 55 |

(¹) Valores em porcentagem referem-se à quantidade de nutrientes exportados, considerando o estoque total de nutrientes da biomassa acima do solo.

Fonte: Freitas et al. (2004).

copa, bem como pelo fato de Ca apresentar grande teor na casca (FREITAS et al., 2004).

Kaka e Goring (1983), citados por Andrade (1989), detectaram que o conteúdo de minerais no lenho inicial é maior do que aquele encontrado no lenho tardio, em razão de a primeira região ser uma área de intensa atividades fisiológicas.

Quadro 5 – Teor médio de nutrientes nos componentes da biomassa de *E. grandis* acima do solo

Table 5 – Mean nutrient content in *E. grandis*, biomass above ground

| Componente da biomassa | Nutriente (g kg ⁻¹) | | | | |
|------------------------|---------------------------------|------|------|-------|------|
| | N | P | K | Ca | Mg |
| Folhas | 18,71 | 1,01 | 7,11 | 27,75 | 3,19 |
| Galhos vivos | 4,12 | 0,67 | 2,88 | 14,97 | 1,73 |
| Galhos mortos | 4,74 | 0,19 | 1,11 | 13,45 | 1,50 |
| Casca | 3,27 | 1,29 | 3,40 | 33,63 | 3,29 |
| Madeira | 0,82 | 0,21 | 1,10 | 1,50 | 0,13 |

Fonte: Freitas et al. (2004).

2.3 Poder calorífico

O poder calorífico da madeira pode ser definido como a quantidade de calor (energia térmica) liberada durante a combustão completa de uma unidade de massa ou volume do combustível (kcal kg⁻¹ ou Kcal m⁻³) (NOGUEIRA et al., 2000).

A madeira possui, em média, 4.400 kcal kg⁻¹. No Quadro 6 está uma comparação entre diversos combustíveis, e como eles podem ser relacionados com a madeira.

2.4 Composição química

Composição química elementar: corresponde ao conteúdo porcentual em massa dos principais elementos que constituem a biomassa, geralmente referido à matéria seca, ou seja, sem considerar a presença de água.

Quadro 6 – Poder calorífico de alguns combustíveis

Table 6 – Carorific power of some fuels

| Combustível | kcal kg ⁻¹ |
|----------------|-----------------------|
| Celulose | 3.797 |
| Lignina | 5.995 |
| Amido/açúcar | 3.797 |
| Carbono puro | 8.049 |
| Casca | 4.991 |
| Madeira | 4.394 |
| Lenha | 3.300 |
| Carvão vegetal | 6.800 |
| Coque | 7.308 |
| Petróleo | 10.800 |
| Óleo diesel | 10.750 |
| Gás natural | 8.622 |
| Propano | 21.997 |
| Butano | 28.446 |

Fonte: adaptado de Couto et al. (2004b).

São normalmente apresentados valores para carbono (C), hidrogênio (H), enxofre (S), oxigênio (O), nitrogênio (N) e cinzas (A) (NOGUEIRA et al., 2000).

Composição química imediata: refere-se ao conteúdo porcentual, com base na massa do combustível, do carbono fixo (F), das matérias voláteis (V), das cinzas (A) e,

eventualmente, da umidade (W) (NOGUEIRA et al., 2000).

Como pode ser verificado no Quadro 7, a madeira é basicamente composta de oxigênio, hidrogênio e carbono. O carbono equivale a aproximadamente 50%, o oxigênio a 44% e o hidrogênio a 6% da composição química da madeira. A lignina, a celulose e as hemiceluloses são basicamente constituídas por esses elementos. A celulose apresenta 45% de carbono, enquanto a lignina possui de 61-67% de carbono.

O Quadro 8 mostra as características de algumas espécies de eucaliptos que são importantes para uso como fonte energética.

2.5 Umidade

Umidade pode ser definida como a medida de quantidade de água livre na biomassa e que pode ser avaliada pela diferença entre os pesos de uma amostra, antes e logo após ser submetida a secagem. É possível apresentar os valores de umidade em base seca ou base úmida, conforme a condição de referência adotada (NOGUEIRA et al., 2000).

O fato de a umidade ser colocada como uma característica técnica na produção de

Quadro 7 – Características técnicas de diferentes tipos de biomassa em base seca

Table 7 – Technical characteristics of different types of biomass on a dry basis

| Tipo de Biomassa | Composição Elementar (%) | | | | | | Composição Química Imediata (%) | | |
|------------------|--------------------------|------|-------|------|------|-------|---------------------------------|-------|-------|
| | C | H | O | N | S | A | V | A | F |
| Eucalipto | 49,00 | 4,87 | 43,79 | 0,30 | 0,01 | 0,72 | 81,42 | 0,79 | 17,82 |
| Pinho | 49,29 | 4,99 | 44,36 | 0,06 | 0,03 | 0,30 | 82,54 | 0,29 | 17,70 |
| Casca de arroz | 40,96 | 4,30 | 34,86 | 0,40 | 0,02 | 18,34 | 64,47 | 17,89 | 16,67 |
| Bagaço de cana | 44,80 | 4,35 | 39,55 | 0,38 | 0,01 | 9,79 | 73,78 | 11,27 | 14,95 |
| Casca de coco | 48,23 | 4,23 | 33,19 | 2,98 | 0,12 | 10,25 | 67,95 | 8,25 | 23,80 |
| Sabugo de milho | 46,58 | 4,87 | 44,46 | 0,47 | 0,01 | 1,40 | 80,10 | 1,36 | 18,54 |
| Ramas de algodão | 47,05 | 4,35 | 40,97 | 0,65 | 0,21 | 4,89 | 73,29 | 4,51 | 21,20 |

Fonte: Lora (1997).

Quadro 8 – Características de algumas espécies de eucalipto na idade de 10,5 anos, plantadas em espaçamento de 3,0 x 2,0 metros

Table 8 – Characteristics of some eucalyptus species at the age of 10.5 years, planted on 3.0 x 2.0 spacing

| Propriedade | Espécie | | | | |
|---|-------------------------|----------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| | <i>E. camaldulensis</i> | <i>E. citriodora</i> | <i>E. grandis</i> | <i>E. saligna</i> | <i>E. urophila</i> |
| Densidade básica (g cm ⁻³) | 0,687 | 0,73 | 0,479 | 0,548 | 0,564 |
| Teor de lignina (%) | 30,6 | 22,4 | 23,9 | 26,3 | 27,3 |
| Rendimento em carvão vegetal | 34,7 | 32,6 | 33,7 | 33,7 | 34,1 |
| Teor de carbono fixo (%) | 15,4 | 17,3 | 18,7 | 14,7 | 16,3 |
| Teor de materiais voláteis (%) | 84,1 | 81,1 | 80,7 | 84,8 | 82,8 |
| Teor de cinzas (%) | 0,5 | 1,6 | 0,6 | 0,5 | 0,9 |
| PCS da madeira (kcal kg ⁻¹) | 5.085 | 4718 | 4340 | 4633 | 4312 |
| PCS do carvão (kcal kg ⁻¹) | 7.977 | 8.088 | 6.626 | 6.972 | 7.439 |

Fonte: Pereira et al. (2000), citado por Couto et al. (2003c).

madeira para energia é porque, na maioria das vezes, é necessário que a madeira seja pelo menos parcialmente seca, antes de ser usada como fonte energética.

A presença de água na madeira representa a redução do poder calorífico, em razão da energia necessária para evaporá-la. Além disso, se o teor de umidade for muito variável, o controle do processo de combustão pode se tornar difícil (LADEIRA, 1992, citado por COTTA, 1996).

Quadro 9 estão alguns valores médios do poder calorífico correlacionados com a umidade para madeira.

Quadro 9 – Poder calorífico médio da lenha, considerando diferentes umidades

Table 9 – Medium calorific power of wood, considering different moistures

| Umidade da Lenha (%) | Poder Calorífico (kcal kg ⁻¹) |
|----------------------|---|
| 50 | 1.990 |
| 35 | 2.770 |
| 20 | 3.550 |
| 10 | 4.070 |

Fonte: Barcellos et al. (2003).

3 INTERVENÇÕES SILVICULTURAIS

Para melhorar a qualidade da madeira existem alguns procedimentos básicos, como práticas silviculturais, escolha de genótipo e qualidade de sítio. Pode, ainda, ocorrer a interação desses três fatores.

Por práticas silviculturais, têm-se:

1. fertilização;
2. espaçamento;
3. desrama;
4. desbaste; e
5. controle de pragas e doenças.

Entre os diversos fatores condicionantes da produção florestal, o espaçamento e a fertilização exercem papéis fundamentais no estabelecimento, na condução da floresta e nos custos de produção, uma vez que podem influenciar a taxa de crescimento das árvores, a qualidade da madeira, a idade de corte, bem como as práticas de implantação, manejo e colheita (BALLONI; SIMÕES, 1980, citados por BERGER, 2000).

Serão destacados a seguir, quatro pontos considerados importantes do ponto de vista energético, a saber: fertilização, espaçamento, desrama e desbaste e melhoramento genético.

3.1 O efeito da fertilização

Os solos brasileiros são bastante intemperizados, logo a aplicação de fertilizantes químicos torna-se uma técnica de extrema importância para se obter ganhos de produtividade.

Os elementos minerais são absorvidos de várias formas pelas plantas e desempenham diferentes funções dentro dela. Existe um grande número de elementos minerais na natureza e que são absorvíveis pelas plantas, sendo alguns tóxicos e outros indispensáveis à sua sobrevivência.

Dentre esses elementos destacam-se os essenciais, que compreendem os nutrientes essenciais à sobrevivência da planta, porque fazem parte de compostos ou participam de reações sem a qual a planta não completa seu ciclo. São divididos em macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn e Co) (MALAVOLTA, 1997).

A separação entre macro e micronutrientes baseia-se apenas na concentração em que o elemento aparece na matéria seca, o que vai ser refletir nas quantidades exigidas, contidas, ou fornecidas (pelo solo, pelo adubo ou por ambos). As quantidades dos macronutrientes são dadas em kg ha^{-1} , enquanto as de micronutrientes aparecem em uma escala 1.000 vezes menor, isto é, em g ha^{-1} (MALAVOLTA, 1997).

Os macronutrientes possuem características e funções específicas dentro das plantas, e que serão mostrados de forma resumida a seguir, com base em (MALAVOLTA, 1997).

Nitrogênio: o N participa das estruturas dos aminoácidos e proteínas, bases nitrogenadas e ácidos nucléicos, enzimas e coenzimas, vitaminas, glicose e lipoproteínas, pigmentos e produtos secundários. Participa também dos processos de absorção iônica,

foto-síntese, respiração, síntese, multiplicação e diferenciação celular. Dos três nutrientes considerados como macronutrientes principais (N, P, K), o nitrogênio é o que exerce efeitos mais rápidos e pronunciados sobre o desenvolvimento das plantas. Sua função básica é estimular-lhes o crescimento vegetativo, sendo responsável pela cor verde-escura da sua folhagem, e quando as plantas estão bem nutridas, controla a sua absorção de potássio, fósforo e outros nutrientes. Promove grande desenvolvimento do sistema radicular, proporcionando às plantas condições de exploração de maior volume de solo.

Fósforo: o fósforo participa de um grande número de compostos das plantas, essenciais em diversos processos metabólicos. O elemento está também presente nos processos de transferência de energia. O seu suprimento adequado, desde o início do desenvolvimento vegetal, é importante para formação dos primórdios das partes reprodutivas e, em quantidades adequadas, estimula o desenvolvimento radicular, é essencial para a boa formação de frutos e sementes e incrementa a precocidade da produção. Possui relação importante com outros nutrientes, contribuindo para o melhor aproveitamento do potássio pelas plantas e controlando os efeitos que podem produzir o excesso de nitrogênio e de cálcio no solo.

Potássio: as exigências do K pelas culturas é muito grande. No entanto, ele não tem função estrutural nas plantas; o seu papel mais importante é o de ativador enzimático. Acredita-se que o potássio funcione como ativador por determinar mudanças na conformação da enzima, expondo os seus sítios ativos para combinação com o substrato. Dentro da planta, o potássio exerce diversas funções, como: regulador da turgidez do tecido; ativador enzimático; abertura e fechamento dos estômatos; transporte de carboidratos; controle da transpiração; resistência a geadas, secas e salinidade; etc.

Enxofre: as funções que o enxofre desempenha na vida das plantas podem ser divididas em estruturais, uma vez que está presente nos aminoácidos (cistina, cisteína, metionina e taurina), em todas as proteínas, vitaminas e coenzimas (tiamina e biotina), nos ésteres com polissacarídeos (membranas); e em metabólicas, pois é componente essencial do anel de tiamina, uma vitamina como a biotina. Devido à sua participação em um número tão grande de compostos e de reações, a falta do S provoca uma série de distúrbios metabólicos, como: diminuição na fotossíntese e na atividade respiratória; queda na síntese de proteínas, com o aparecimento de altas relações de Nsolúvel/Nprotéico; redução no teor de gorduras; e diminuição na fixação livre e simbiótica no N₂ do ar.

Cálcio: o Ca integra a parede celular e também exerce importante papel na absorção iônica, particularmente na correção do efeito da concentração hidrogeniônica excessiva. O cálcio é um nutriente extremamente importante na nutrição das plantas e o mais abundante nelas, depois do potássio. Grande parte dele está localizado nas folhas, devendo ser ressaltado que as mais velhas apresentam os maiores conteúdos. É muito importante no desenvolvimento e funcionamento das raízes e necessário na formação de folhas normais. A translocação de carboidratos e proteína e o seu armazenamento, durante a formação da semente, são influenciados pelo cálcio.

Magnésio: é um constituinte da clorofila: correspondendo a 2,7% do seu peso molecular; representa cerca de 10% do teor total de Mg na folha. Os plastídios, entretanto, têm mais magnésio além daquele contido na clorofila. Também tem a função de ativador enzimático, sendo o elemento que ativa mais enzimas do que qualquer outro. Na literatura mais antiga, o Mg⁺² seria o “carregador” do P, pois em sua presença ocorre aumento da absorção de fósforo pelas plantas.

Mas os efeitos dessas práticas sobre a qualidade da madeira, segundo Gonçalves et al. (2004), são bastante inconsistentes.

Esses autores citam o exemplo de um manejo que incluiu espaçamento, fertilização e irrigação para plantios de *Eucalyptus globulus* em Portugal, que não influenciou a densidade básica e o comprimento das fibras. Em contrapartida, no Congo, a aplicação de fertilizantes, aliada a diferentes espaçamentos, acelerou o crescimento e a densidade da madeira. Em termos conclusivos, os autores verificaram que de, modo geral, o uso de fertilizantes aumenta, ou então não afeta, a qualidade da madeira, mas incrementa a quantidade de nutrientes. Nesse mesmo trabalho ainda especulam que a fertilização, quando há água disponível, pode provocar um efeito positivo, promovendo crescimento durante o desenvolvimento da densidade do lenho tardio.

Vital (1990), citando Larson (1967, 1974), relatou que a fertilização é a ferramenta mais comum e talvez de ação mais efetiva que se dispõe para melhorar a qualidade do sítio e, com isto, aumentar a taxa de crescimento, podendo a quantidade, o tipo e a época de aplicação dos fertilizantes vir a ocasionar alterações na qualidade da madeira; no entanto essas mudanças dependem da espécie e da fertilidade do solo.

Vital (1990) também destacou que as diversas propriedades da madeira não respondem de forma homogênea à fertilização mineral, e isto ocorre devido às variações naturais das características genéticas e das diferentes condições ambientais a que estão sujeitas as espécies produtoras de madeira. Relatou ainda, citando vários autores, a existência de resultados conflitantes sobre o efeito da fertilização sobre a densidade da madeira, havendo desde a redução até o aumento e a não-alteração da característica com o uso da fertilização. No entanto enfatizou que, se houver diminuição, o peso de

madeira produzida por hectare será maior devido ao grande crescimento volumétrico. O autor, citando LARSON, destacou ainda que o efeito da fertilização mineral é secundário, sendo decorrente do maior crescimento da copa, de da maior eficiência para realização da fotossíntese e da conseqüente alteração no padrão de crescimento. Esse fato também foi relatado em HARRIS et al. (1978), que constataram que o efeito da falta de nutrientes sobre as propriedades da madeira aos oito anos foi bastante secundário, embora o crescimento tenha sido muito mais vigoroso nos locais mais enriquecidos com N e P.

Zobel e Van Buijtenen (1989) e Zobel (1992), após a análise de vários trabalhos, fizeram diversas generalizações do efeito da fertilização sobre a qualidade da madeira de várias espécies. Para folhosas têm-se:

1. A fertilização pode causar degradação na qualidade dos produtos sólidos da madeira pelas mudanças na forma da árvore, como brotações epicórnicas, mas geralmente isso não é o caso. A maioria dos trabalhos mostra que é pequeno o efeito da fertilização sobre as propriedades da madeira de espécies de folhosas, sendo a madeira satisfatória tanto para usos de produtos sólidos quanto para produção de fibras.
2. Algumas deficiências minerais, como de cálcio ou fósforo, causam aumento na densidade na madeira. Já o manganês, se deficiente para algumas espécies, causa diminuição da densidade.
3. Há alguns registros de que o N reduz o tamanho da célula, a espessura da parede e a densidade, da mesma maneira que ocorre em coníferas, mas esses resultados não são consistentes.
4. O aumento de volume, conseguido pela fertilização, compensa a perda de qualidade nas propriedades, salvo raras exceções.

Pela leitura de vários trabalhos sobre os efeitos da fertilização referente à qualidade

da madeira de diferentes espécies, observa-se que, na maioria das vezes, a densidade é o principal índice que caracteriza essa qualidade.

Berger (2000), em seu estudo sobre crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* sob o efeito do espaçamento e da fertilização, concluiu que o fator adubação teve influência sobre a variável densidade básica, tendo a maior dose de adubo (800 kg ha⁻¹) proporcionado um aumento significativo dessa característica em relação à menor dose utilizada (400 kg ha⁻¹).

Kauter et al. (2003) relataram que existem poucos estudos que relacionam a influência dos fertilizantes sobre as características de qualidade, mas enfoca que a fertilização tem influência nas taxas de crescimento, portanto em locais pobres deve haver o suprimento ao longo dos anos, sendo o efeito mais relevante para espécies de ciclo curto.

Em eucalipto com seis anos de idade, Andrade et al. (1994) não constataram diferenças significativas entre as principais características dendrométricas das árvores, em virtude de diferentes adubações e calagens efetuadas no plantio. Além disso, verificou-se que a porcentagem média do cerne, do alburno e da casca também não respondeu à fertilização. O lenho médio das árvores fertilizadas apresentou, em relação à testemunha, fibras com menor diâmetro de espessura de parede. Os teores médios de lignina não diferiram estatisticamente entre si, e houve diminuição dos teores de extrativos em água quente no lenho.

No Brasil, onde há grande uso da madeira com finalidades energéticas, cuja qualidade ideal depende da densidade, pois quanto maior a densidade, maior é o poder calorífico, alguns estudos têm sido realizados, como é o caso de Vale et al. (2000), que verificaram que a fertilização com NPK não influenciou o poder calorífico das espécies

E. grandis e *A. mangium*. Todavia, em decorrência da fertilização, houve aumento de massa seca e energia na forma de calor disponibilizado pelo fuste de *E. grandis*, o que não ocorreu para *A. mangium*. Em outro estudo nessa linha constatou-se que a aplicação de fosfato-de-araxá e calcário calcítico provocou aumentos significativos nos teores de cinza do carvão vegetal, ao contrário do sulfato de cálcio. Os teores de materiais voláteis e os rendimentos gravimétricos e em carbono fixo não acusaram efeitos diante das diferentes adubações e calagens (ANDRADE, 1993).

Em estudos realizados por Andrade (1993), percebe-se o repasse de elementos minerais aplicados no solo para a madeira. Os compostos minerais, ao serem incorporados ao solo, liberam os elementos que são absorvidos e imobilizados na biomassa.

Existe uma correlação entre qualidade do solo e qualidade da madeira, logo solos ricos em componentes minerais propiciarão que os minerais estejam presentes em maiores quantidades na madeira.

A fertilização mineral do solo é uma técnica largamente utilizada para incrementar a produção de biomassa florestal de uma determinada área.

3.2 O efeito do espaçamento

A densidade de árvores por hectare é uma das ferramentas mais usadas pelo silvicultor para controlar o crescimento e a qualidade. A densidade do talhão tem grande influência na qualidade da madeira formada. O espaçamento influencia as características de ramificações e a taxa de crescimento, afetando as propriedades da madeira.

A densidade do talhão pode ser controlada de duas maneiras:

1. pelo espaçamento inicial nas plantações; e
2. pelo desbaste dos talhões já estabelecidos.

Esses dois métodos de controle de densidade do talhão podem resultar na produção de diferentes tipos de madeira.

O espaçamento na plantação causa grande efeito nas propriedades da madeira, pois pode alterar a forma da árvore, especialmente o tamanho dos galhos e seus defeitos associados à reação da madeira. Por exemplo, Polge (1969) descobriu que plantações mais espaçadas possuem nós maiores e mais madeira juvenil que as árvores desenvolvidas em espaçamentos mais densos. O risco de infecção é menor em plantações mais espaçadas. No entanto, Polge (1969) resume que "...podemos predizer que plantações mais espaçadas não irão produzir produtos de qualidade similar àqueles de plantações mais densas".

As principais alterações, em função da alteração do espaçamento, que podem ocorrer na qualidade da madeira estão associadas ao número e à dimensão dos nós, à proporção de casca, bem como às variações nas suas propriedades físicas e mecânicas, que, por sua vez, são decorrentes de diferenças de densidade (VITAL; DELLA LUCIA, 1987)

Vital e Della Lucia (1987) constataram que o espaçamento não influenciou nas características físicas da madeira (densidade da madeira, densidade da casca, peso da madeira, peso de casca e peso de madeira com casca entre as classes de diâmetro) de *E. grandis* e *E. urophilla* (a 5% de probabilidade). No entanto, foi verificado aumento de peso, por unidade de área, diretamente proporcional ao número de árvores por hectare, ao passo que o peso médio por árvore foi inversamente proporcional à densidade do plantio.

O efeito do espaçamento sobre a densidade básica da madeira não é tão bem definido. Em alguns trabalhos, a densidade básica mostra tendências de diminuir com o aumento do espaçamento, em função da maior proporção de madeira juvenil. A madeira juvenil, formada durante a fase de maior taxa

de crescimento, geralmente apresenta menor densidade. Em espaçamentos menores reduz-se a quantidade de madeira juvenil, o que pode reduzir a porção de madeira com menor densidade (SCOLFORO, 1998)

Garlett (1995) estudou a influência do espaçamento na qualidade da madeira de *E. grandis* em cinco espaçamentos diferentes (1,0 x 1,0 x 3,0 m; 1,0 x 2,0 x 3,0 m; 1,0 x 1,0 x 5,0 m; 1,0 x 2,0 x 5,0 m; e 3,0 x 2,0 m). Os níveis de espaçamento não apresentaram diferenças significativas nas dimensões das fibras, na densidade básica da madeira e no teor de extrativos, no entanto foi observado aumento dessas variáveis com espaçamento. Os espaçamentos maiores produziram maiores valores de teor lignina e redução nos valores de teor de celulose.

Ferreira et al. (1997), citados por Couto et al. (2002), observaram o efeito de cinco espaçamentos (3,0 x 1,0 m; 3,0 x 1,5 m; 3,0 x 2,0 m; 3,0 x 3,0 m e 3,0 x 4,0 m) e detectaram que os dois maiores espaçamentos apresentaram madeiras com maior densidade.

Estudos realizados por Couto et al. (2004), com plantios experimentais de *Eucalyptus* no município de Itamarandiba – MG, têm demonstrado que, nos primeiros anos de vida, plantios com espaçamentos menores têm produzido material com maior poder calorífico. Os estudos foram realizados, utilizando cinco espaçamentos diferentes, todos com 3 m de distância entre linhas e distâncias de 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 e 3,0 m entre plantas. Tem-se verificado que à medida que o espaçamento diminui o poder calorífico aumenta.

Considerando que a madeira é basicamente composta de celulose, hemicelulose e lignina, significa dizer que o poder calorífico será o reflexo da proporção desses componentes na madeira (Quadro 6). Como a lignina possui maior poder calorífico, é de se esperar que quanto maior o seu teor na madeira maior seja o poder calorífico.

Deve-se salientar também que a casca possui maior poder calorífico que a madeira, o que é importante, pois caso a casca venha a ser usada com fonte de combustível junto com a madeira, esta irá fornecer um incremento em termos energéticos.

Em um trabalho realizado por Berger (2000), em que foram considerados espaçamento e fertilização, o fator espaçamento (espaço vital) influenciou significativamente a densidade básica, devendo ser ressaltado que o maior espaço vital (12 m²) esteve associado ao aumento desta característica. Entre os menores espaçamentos (6 e 9 m²), essa diferença não foi estatisticamente válida. A densidade básica da madeira aumentou em até 4% do menor (6 m²) para o maior espaço vital (12 m²) na dosagem de 400 kg ha⁻¹ de adubo, e até 5% para 800 kg ha⁻¹. A maior diferença observada foi entre o tratamento 1 (6 m² e 400 kg ha⁻¹ de adubo) e o tratamento 6 (12 m² e 800 kg ha⁻¹ de adubo), que aumentou em cerca de 7% (BERGER, 2000).

3.3 Desrama e desbaste

O efeito desejado da desrama é melhorar a qualidade da árvore e, conseqüentemente, a sua forma. Ela é feita para promover a maior proporção de madeira mais clara. Segundo Silva (2001), citando Evans (1985), a poda ou desrama deve ser realizada logo após o fechamento da copa, a uma altura mínima de 2 m, com as seguintes vantagens:

1. Permitir o acesso ao talhão para acesso ao talhão para inspeção e marcação do desbaste.
2. Reduzir o risco de incêndios, diminuindo a chance do fogo atingir a copa das árvores.
3. Facilitar o corte das árvores nas operações de desbaste.
4. Produzir madeira livre de nós na base da árvore, onde se concentra a tora de maior diâmetro. A poda pode ser feita em todo o talhão ou em algumas árvores seletivamente. Em geral, a poda é feita nos

primeiros anos do plantio de eucalipto e, como ainda na fase jovem não há como selecionar os melhores fenótipos, recomenda-se a poda em todas as árvores.

Do ponto de vista energético, a desrama é de pouca importância.

Os resultados do desbaste sobre as propriedades da madeira são consideravelmente uniformes, embora pesquisadores ocasionais relatem resultados diretamente opostos. As tendências gerais são:

1. O desbaste melhora a qualidade da madeira porque aumenta o número de toras no corte final com maiores diâmetros e de melhor qualidade para produtos sólidos de madeira.
2. A madeira removida no desbaste de um talhão jovem terá grande proporção de madeira juvenil, logo terá menor densidade e maior teor de minerais, mas o corte final terá menos. Os desbastes terão propriedades de fibras uniformes, proporcionando mais eficiência durante a manufatura. A proporção de madeira juvenil na colheita final será substancialmente menor em um talhão desbastado do que em um não-desbastado. Notavelmente, a liberação das árvores geralmente melhora a qualidade de produtos de madeira sólida. Se for considerado o uso final da madeira como fonte de energia, os desbaste são pouco importantes.

3.4 Melhoramento genético

Em vários trabalhos, de diversos autores, constatou-se que a qualidade da madeira pode ser melhorada, ou seja, suas propriedades podem ser controladas e, ou, seus defeitos minimizados. Para que seja possível estabelecer um programa de melhoramento genético florestal é importante que o setor industrial tenha definido muito bem os parâmetros de qualidade, para obtenção de um determinado produto final desejado.

É de fundamental importância o conhecimento da existência de variabilidade nas características de interesse e o nível de seu controle genético, quando se considera o desenvolvimento de programas de melhoramento genético para determinada finalidade. Segundo Zobel e Jett (1995), a existência de variabilidade fenotípica entre espécies, procedências, famílias e indivíduos (clones) para as características de interesse e o forte controle genético envolvido na expressão da grande maioria dessas características asseguram a possibilidade de obtenção de madeira de alta qualidade para suprir as necessidades industriais, a partir da implementação de programas dessa natureza. Pode-se concluir que se existe variabilidade e se a participação dos componentes genéticos na manifestação das características for expressiva, é possível promover alterações desejadas nas características sob seleção. A escolha da espécie é a forma mais simples de exploração da variabilidade.

4 Conclusão

Os estudos sobre os efeitos das intervenções silviculturais na qualidade da madeira enfocam como principal característica de qualidade a densidade, provavelmente por ela ser fundamental na definição de diversos usos da madeira. No entanto, esses estudos são em pequeno número, se comparados à grande quantidade de trabalhos que enfocam o efeito sobre a produtividade volumétrica.

Pela análise dos trabalhos encontrados, foi possível concluir que as alterações provocadas pelos tratamentos silviculturais são pequenos, ou são perceptíveis ao se considerar a gama de variáveis envolvidas quando uma árvore cresce.

Em geral, a madeira para energia, seja ela para produção de carvão ou uso em caldeiras, deve possuir as seguintes qualidades:

- elevada densidade;
- alto teor de lignina;

- elevado poder calorífico;
- baixa umidade (qualidade não da madeira mas do produto energético); e
- baixo teor de minerais.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, A. M. **Influência da casca de *Eucalyptus grandis* W. HILL ex MAIDEN no rendimento e qualidade de carvão vegetal.** 1989. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1989.
- ANDRADE, A. M. **Efeitos da fertilização mineral e da calagem na produção e na qualidade da madeira e do carvão de eucalipto.** 1993. 105 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.
- ANDRADE, A. M. et al. **Efeitos da fertilização mineral e da calagem do solo na produção e na qualidade da madeira de eucalipto.** *Revista Árvore*, v. 18, n. 1, p. 69-78, 1994.
- ANDRADE, E. N. **O eucalipto.** 2.ed. Jundiá: Companhia Paulista de Estradas de Ferro, 1961. 667 p.
- ASSIS, J. B. **A política florestal em Minas Gerais.** In: **Biomassa: energia nos trópicos em Minas Gerais.** 2001. p. 115-131.
- BARCELLOS, D. C. et al. **Análise da geração de energia a partir da biomassa.** Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais. 2003.
- BERGER, R. **Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da fertilização.** 2000. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade de Santa Maria, Santa Maria, 2000.
- BRITO, J. O.; CINTRA, T. C. **Madeira para energia no Brasil: realidade, visão estratégica e demanda de ações.** *Biomassa & Energia*, v. 1, n. 2, p. 157-163, 2004.
- COTTA, A. M. G. **Qualidade do carvão vegetal para siderurgia.** Viçosa, MG: DEF/UFV, 1996. (Monografia)
- COUTO, L. et al. **Espaçamentos de plantio de espécies de rápido crescimento para dendroenergia.** Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais, 2002.
- COUTO, L. et al. **Espécies cultivada para produção de biomassa para geração de energia.** Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais, 2003.
- COUTO, L. et al. Programa de pesquisa para avaliação de densidades de plantio e rotação de plantações de rápido crescimento para produção de biomassa. *Biomassa & Energia*, v.1, n. 1, p. 107-112, 2004.
- COUTO, L. C. et al. Vias de valorização energética da biomassa. *Biomassa & Energia*, v. 1, n.1, p. 71-92, 2004b.
- FREITAS, R. et al. Biomassa e conteúdo de nutrientes em povoamento de *Eucalyptus grandis* W. HILL ex MAIDEN Plantado em Solo Sujeito a Arenização, no município de Alegrete-RS. *Biomassa & Energia*, v. 1, n. 1, p. 93-104, 2004.
- GARLET, V.N. **Influência do espaçamento das árvores de *Eucalyptus grandis* na qualidade da madeira para a produção de polpa celulósica Kraft.** 1995. 118 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1995.
- GONÇALVES, J. L. M. et al. Silvicultural effects on the productivity and wood quality of eucalypt plantations. *Forest Ecology and Management*, v.193, p. 45-61, 2004.
- KAUTER, D.; LEWANDOWSKI, I.; CLAUPEIN, W. Quantity and quality of harvestable biomass from Populus short rotation coppice for solid fuel use – a review of the physiological basis and management influences. *Biomass and Bioenergy*, n. 24, p. 411-427, 2003.
- KIMO, J. W. **Aspectos químicos da madeira de *Eucalyptus grandis*, W. HILL ex MAIDEN, visando à produção de polpa celulósica.** 1986. 45 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1986.

- LORA, E. E. S. Perspectivas da utilização da biomassa com fins energéticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26.; SIMPÓSIO: TECNOLOGIA E APLICAÇÃO RACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA E DE FONTES RENOVÁVEIS NA AGRICULTURA, 1997, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: UFPB. 1997.
- MAGALHÃES, J. R. A energia que vem da floresta. In: BIOMASSA; ENERGIA QUE VEM DOS TRÓPICOS EM MINAS GERAIS. 2001. p. 133-144.
- MALAVOLTA, E. et al. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** 2.ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.
- MATARELLI, F. A.; LOPES, L. E. F., CASTRO, L. F. A. Siderurgia a carvão vegetal. In: Biomassa: Energia nos Trópicos em Minas Gerais. 2001. p. 145-161.
- MIRANDA, G. M. **Análise econômica de dois sistemas de descascamento de madeira de eucalipto.** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2000. 45 p.
- NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S.; TROSSERO, M. A.; FRISK, T. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações.** Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2000.
- OLIVEIRA, E. **Correlação entre parâmetros de qualidade da madeira e do carvão de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex Maiden).** 1988. 47 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1988.
- OLIVEIRA, J. T. S. Problemas e oportunidades com a utilização da madeira de eucalipto. In: WORKSHOP – **Técnicas de abate,** processamento e utilização da madeira de eucalipto, 1999, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1999. p. 39-45.
- POLGE, H. Influence of fertilizer application on the wood properties of *Pinus pinaster*. **Annual Science Forestiers**, v. 26, n. 1, p. 45-64, 1969.
- SCHUMACHER, M. V.; POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* DEHNH, *Eucalyptus grandis* HILL ex MAIDEN e *Eucalyptus torelliana* f. MUELL, plantados em Anhembi, SP. **Ciência Florestal**, v. 3, n. 1, p. 9-18, 1993.
- SCOLFORO, J. R. S. **Manejo florestal.** Lavras: UFLA/FAEPE, 1998. 443 p.
- SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* HILL ex. MAIDEN, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira.** 2001. 160 f. Dissertação (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.
- VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; CARVALHO, C. M.; VEIGA, R. A. A. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* HILL ex MAIDEN e *Acacia mangium* WILLD em diferentes níveis de adubação. **Revista Cerne**, v. 6, n. 1, p. 83-88, 2000.
- VITAL, B. R. Reflexos da fertilização mineral na qualidade e na utilização da madeira. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Eds.). **Relação solo-eucalipto.** Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p. 323-330.
- VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M. Efeito do espaçamento na produção, peso e na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* aos 52 meses de idade. **Revista Árvore**, v. 11, n. 2, p. 132-145, 1987.
- VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira.** Viçosa, MG: Sociedade de Investigações Florestais, 1984. 21 p.
- ZOBEL, B. J.; JETT, J. B. **Genetics of wood production.** Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1995. 337 p.
- ZOBEL, B. J. Silvicultural effects on wood properties. Piracicaba: IPEF INTERNATIONAL, n. 2, p. 31-38, 1992.
- ZOBEL, B. J.; Van BUIJTENEN, J. P. **Wood variation: its causes and control.** Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1989. 363 p.