

MARCELO DIAS MÜLLER

**PRODUÇÃO DE MADEIRA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA NUMA PLANTAÇÃO CLONAL DE EUCALIPTO
EM ITAMARANDIBA, MG**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de “*Doctor Scientiae.*”

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2005**

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

M953p
2005

Müller, Marcelo Dias, 1976-

Produção de madeira para geração de energia elétrica numa plantação clonal de eucalipto em Itamarandiba, MG / \c Marcelo Dias Müller. – Viçosa : UFV, 2005.

xiii, 94f. : il. ; 29cm.

Orientador: Laércio Couto.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 84-94.

1. Energia da biomassa - Minas Gerais. 2. Reflorestamento. 3. Eucalipto. 4. Energia elétrica - Produção. 5. Madeira como combustível. 6. Biomassa florestal. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

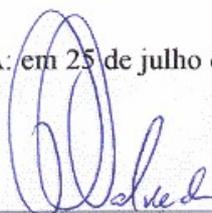
CDO adapt. CDD 634.9081

MARCELO DIAS MÜLLER

**PRODUÇÃO DE MADEIRA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA NUMA PLANTAÇÃO CLONAL DE EUCALIPTO
EM ITAMARANDIBA, MG**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de “*Doctor Scientiae*.”

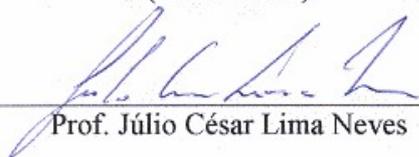
APROVADA: em 25 de julho de 2005



Prof. Sebastião Renato Valverde
(Conselheiro)



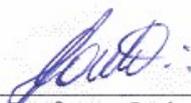
Prof. Hélio Garcia Leite
(Conselheiro)



Prof. Júlio César Lima Neves



Prof. José Otávio Brito



Professor Laércio Couto
(Orientador)

***À minha esposa e eterna companheira Andreia,
ao meu pai Ronaldo e
minha mãe Adelaide.***

AGRADECIMENTOS

Ao amigo Rodrigo e sua família pela inestimável colaboração.

Aos meus amigos Jéferson, Tsukamoto e Dário pela valiosa ajuda, apoio, pelos conselhos e principalmente pela grande amizade.

À Kátia e Tatiana pelo grande e indispensável apoio, sem o qual este trabalho não seria viável.

Ao professor Laércio Couto pela confiança e pelos valiosos ensinamentos ao longo do tempo em que trabalhamos juntos.

À Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG e Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, financiadoras do projeto.

Aos engenheiros da CEMIG, Ênio Marcus e Márcio Corrêa, pela contribuição e empenho fundamentais para a realização deste trabalho.

Aos Professores Hélio Garcia Leite, Sebastião Renato Valverde, Júlio César Lima Neves, José Otávio Brito, Márcio Lopes da Silva e Luiz Carlos Couto pela participação no trabalho e pelas valiosas contribuições.

À ACESITA Energética, na pessoa do Dr. Paulo Sadi Siloch, do Engenheiro Florestal Eduardo e do gerente do viveiro Antenor, que nos acompanhou e forneceu todo o apoio logístico e a infra-estrutura necessária para a realização dos trabalhos.

À Universidade Federal de Viçosa, ao Departamento de Engenharia Florestal e à CAPES pela oportunidade de realizar este curso.

BIOGRAFIA

Marcelo Dias Müller, filho de Ronaldo Garry Müller e Adelaide Dias Müller, nascido em junho de 1976, na cidade de Porto Alegre.

Gaúcho de nascença, mas mineiro no coração. Foi em Minas que fixei residência depois de passar pelo Rio de Janeiro, Brasília, Olinda e Resende.

Tive o grande privilégio de estudar e me formar pelo Colégio Militar (Rio de Janeiro e Brasília) em 1993, onde fiz muitas amizades e recebi os ensinamentos que sempre nortearam a minha vida pessoal e profissional.

Em 1996 ingressei no curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa, onde estudei até completar minha formação em janeiro de 2000. Neste mesmo ano, dei início ao curso de Mestrado em Ciências Florestais na mesma instituição. Em agosto de 2002 fiz transferência automática de curso para o doutorado, concluindo os requisitos necessários para a obtenção do título de Doutor, nesta especialidade, em julho de 2005.

ÍNDICE

	Página
RESUMO.....	X
ABSTRACT.....	XII
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	8
2.1. CENÁRIO MUNDIAL.....	8
2.2. GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE BIOMASSA	10
2.2.1. <i>Recursos Dendroenergéticos.....</i>	<i>12</i>
2.2.2. <i>Tecnologias de Conversão</i>	<i>13</i>
2.2.3. <i>Produção e Consumo de Bioeletricidade no Brasil.....</i>	<i>16</i>
2.3. CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DO USO DA BIOMASSA NA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE	20
2.4. O PAPEL DAS PLANTAÇÕES FLORESTAIS DE CURTA ROTAÇÃO NO FORNECIMENTO DE MATÉRIA-PRIMA PARA A GERAÇÃO ELÉTRICA.....	22
2.4.1. <i>Perfil Histórico das Plantações Energéticas no Brasil</i>	<i>22</i>
2.4.2. <i>Estado da Arte do Uso da Biomassa Florestal na Geração de Eletricidade</i>	<i>25</i>
2.5. POLÍTICA BRASILEIRA (POLÍTICAS GOVERNAMENTAIS) DE INCENTIVO ÀS FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA	28
2.6. MUDANÇAS CLIMÁTICAS, PROTOCOLO DE QUIOTO, MDL E AS PERSPECTIVAS FUTURAS PARA PROJETOS DE REFLORESTAMENTO.....	29
2.6.1. <i>Mudanças Climáticas.....</i>	<i>29</i>

2.6.2. <i>O Protocolo de Quioto, Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL e outros mecanismos de flexibilização.</i>	34
2.6.3. <i>Perspectivas Futuras no Campo da Silvicultura</i>	36
3. MATERIAL E MÉTODOS	39
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO	39
3.2. INSTALAÇÃO E MEDIÇÃO DO EXPERIMENTO	41
3.3. COLETA DE DADOS	43
3.3.1. <i>Dendrometria</i>	43
3.3.2. <i>Densidade da Madeira</i>	43
3.3.3. <i>Poder Calorífico da Madeira</i>	43
3.3.4. <i>Balanço de Nutrientes</i>	44
3.4. TRATAMENTO DOS DADOS	45
3.4.1. <i>Determinação do Incremento Corrente Mensal e Incremento Médio Mensal</i>	45
3.4.2. <i>Estimação da Área Basal, Volume e Biomassa por hectare.</i>	45
3.4.3. <i>Análise estatística</i>	46
3.4.4. <i>Quantidade de energia por hectare e área necessária em função da potência instalada (MW)</i>	47
3.4.5. <i>Análise Econômica</i>	49
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.1. AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO	53
4.2. DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE ENERGIA POR HECTARE	58
4.3. DETERMINAÇÃO DA ÁREA NECESSÁRIA EM FUNÇÃO DA POTÊNCIA INSTALADA	60
4.4. BALANÇO NUTRICIONAL.....	63
4.4.1. <i>Biomassa e conteúdo de nutrientes</i>	63
4.4.2. <i>Reposição nutricional</i>	67
4.4.3. <i>Fertilidade do Solo</i>	73
4.5. ANÁLISE ECONÔMICA	75
5. CONCLUSÕES	82
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

ÍNDICE DE QUADROS

	Página
Quadro 1 – Tecnologias de geração elétrica com biomassa.....	14
Quadro 2 – Composição da Matriz Elétrica Nacional.....	16
Quadro 3 – Quantidade de empreendimentos em operação, construção e com outorga concedida pela ANEEL, por tipo de biomassa combustível.....	18
Quadro 4 - Usinas do tipo UTE (usinas termelétricas em operação) a base de resíduos de madeira	19
Quadro 5 – Seqüestro de carbono em um reflorestamento energético de eucalipto (em t de CO ₂)	37
Quadro 6 – Custos de implantação em diferentes espaçamentos	50
Quadro 7 – PCS da madeira e da casca, nos diferentes espaçamentos na idade de 24 meses.....	59
Quadro 8 - Poder Calorífico Superior (1.000 kcal.ha ⁻¹)	59
Quadro 9 – Peso de matéria seca (t.ha ⁻¹) copa x fuste	64
Quadro 10 – Quantidade de nutrientes alocados nos diversos compartimentos em árvores de eucalipto aos 24 meses de idade, nos espaçamentos estudados.....	65
Quadro 11 – Porcentagem de nutrientes alocados na biomassa por compartimento em cada espaçamento estudado	66
Quadro 12 – Necessidade de reposição nutricional considerando cada compartimento da árvore, aos 24 meses de idade, nos espaçamentos estudados.....	68
Quadro 13 - Utilização da árvore inteira (A.I.) x utilização da madeira com casca (Mcc).....	69

Quadro 14 – Utilização da árvore inteira (A.I.) x utilização da madeira sem casca (Msc)	69
Quadro 15 – Retorno de nutrientes ao solo no sistema em que são deixados no campo a galhada e a folhagem.....	70
Quadro 16 - Retorno de nutrientes ao solo no sistema em que são deixadas no campo a galhada, a folhagem e a casca	71
Quadro 17 – Necessidade de reposição nutricional via fertilização considerando: utilização da árvore inteira (A.I.) x utilização da madeira sem casca (Msc).....	72
Quadro 18 - Balanço da Reposição Nutricional via fertilização	72
Quadro 19 – Resultados das análises de solo	74
Quadro 20 – Custos de implantação, manutenção e colheita para cada planta, considerando a área de plantio necessária nos espaçamentos estudados.	75
Quadro 21 – Receitas (R\$) x Potência Instalada (MW)	76
Quadro 22 – Receita/t de C fixada em cada tratamento	76
Quadro 23 – Receita (R\$) obtida a partir do C estocado na madeira aos 24 meses de idade x potência instalada, em cada espaçamento estudado	77
Quadro 24 – Receita total (R\$) em cada tratamento.....	77
Quadro 25 – Resultados da análise econômica: Potência Instalada 1MW.....	78
Quadro 26 - Resultados da análise econômica: Potência Instalada 5MW	78
Quadro 27 - Resultados da análise econômica: Potência Instalada 10MW	79
Quadro 28 - Resultados da análise econômica: Potência Instalada 1MW, considerando C estocado na madeira.....	80
Quadro 29 - Resultados da análise econômica: Potência Instalada 5MW, considerando C estocado na madeira.....	80
Quadro 30 - Resultados da análise econômica: Potência Instalada 10MW, considerando C estocado na madeira.....	81

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 – Esquema de uma termelétrica à lenha.....	13
Figura 2 – Participação dos recursos energéticos na matriz elétrica.	17
Figura 3 – Projeção da participação de Fontes Alternativas de Energia (PCH, Biomassa e Eólica) na matriz elétrica nacional.	20
Figura 4 – Região de localização do experimento.....	39
Figura 5 – Vista geral do local do experimento.....	42
Figura 6 – Crescimento do DAP em diferentes espaçamentos.....	54
Figura 7 – Crescimento em área basal média/ha em diferentes espaçamentos e idades.	55
Figura 8 – Ajuste de equações de área basal média/ha nos diferentes espaçamentos em função da idade.	56
Figura 9– Volume (em $m^3 \cdot ha^{-1}$) em diferentes espaçamentos na idade de 24 meses.....	57
Figura 10 – Peso de Biomassa seca (em $t \cdot ha^{-1}$) em diferentes espaçamentos, na idade de 24 meses.	57
Figura 11 – PCS/ha em diversos espaçamentos, na idade de 24 meses.	60
Figura 12 – Área (ha) necessária para atender à demanda de diferentes plantas (potência instalada) em função do espaçamento (m).....	63

RESUMO

MÜLLER, Marcelo Dias, D.S., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2005. **Produção de Madeira para Geração de Energia Elétrica numa Plantação Clonal de Eucalipto em Itamarandiba, MG.** Orientador: Laércio Couto. Conselheiros: Sebastião Renato Valverde e Hélio Garcia Leite.

Este trabalho teve como objetivo principal mostrar o potencial da biomassa de eucalipto para a geração de energia elétrica distribuída, por meio da simulação de um projeto piloto de reflorestamento com eucalipto. Foi implantado um experimento em áreas da ACESITA energética, no município de Itamarandiba – MG, utilizando o delineamento experimental em blocos ao acaso (3 repetições), no esquema de parcelas subdivididas (“Split Plot in time”). As parcelas foram constituídas por 5 espaçamentos iniciais de plantio e a subparcela, pelas épocas de medição (7, 12, 18 e 24 meses). A partir dos dados de produção em biomassa/hectare foi calculada a área necessária para atender a três plantas com diferentes capacidades instaladas (1MW, 5MW e 10MW). Para avaliação da viabilidade econômica, foram considerados os custos de implantação, manutenção e colheita por hectare, para cada espaçamento, nos três diferentes cenários. Em seguida foi realizada uma projeção de receitas com a comercialização de créditos de carbono. Foram estimados o VPL, o B(C)PE, a relação B/C e a TIR para a avaliação dos tratamentos. A fim de avaliar os aspectos ambientais relacionados com o sistema de manejo adotado, foram realizadas análises químicas para a determinação da quantidade de nutrientes alocados nos compartimentos das árvores (copa e fuste). A área de plantio necessária para atender a cada planta apresentou relação inversa com a densidade de plantio. A produção de eletricidade, nas condições específicas deste trabalho, se mostrou viável para os espaçamentos 3,0x0,5

e 3,0x1,0 em diferentes taxas de juros e para o espaçamento 3,0x1,5 na taxa de juros de 8%. Quando considerada a receita adicional proveniente da comercialização de créditos de carbono, observou-se um acréscimo da atratividade dos espaçamentos estudados, tornando viáveis os espaçamentos 3,0x1,5 e 3,0x2,0 (este último sendo viável somente para as taxas de juros de 8 e 10%). Com relação ao balanço nutricional da exploração da floresta aos 24 meses de idade, em todos os casos observou-se que 21 a 23% dos nutrientes estão alocados na copa, 63 a 67% estão alocados na casca e 11 a 16% estão alocados no lenho. A exploração florestal aos 24 meses de idade tem maior impacto, principalmente, na exportação de P, Ca, Mg e K (em menor proporção) que apresentam maiores concentrações na casca (93,82%, 90,81%, 96,97% e 42,5% respectivamente). Considerando o balanço nutricional, a necessidade de reposição de nutrientes, devido à exploração, foi inversamente proporcional à densidade de plantio. Considerando o sistema de exploração da madeira sem a casca, a necessidade de reposição nutricional, via fertilização, é drasticamente reduzida em função do retorno proporcionado pela manutenção da biomassa de copa e da casca no sítio florestal. Isto se constitui um indicativo de que a silvicultura com eucalipto representa um importante meio de produção de biomassa como insumo para a geração elétrica distribuída.

ABSTRACT

MÜLLER, Marcelo Dias, D.S. Universidade Federal de Viçosa, July 2005.
Timber Production for Electrical Energy Generation from a Clonal Eucalypt Plantation in Itamarandiba, MG. Adviser: Laércio Couto.
Committee members: Sebastião Renato Valverde and Hélio Garcia Leite.

The main objective of this work was to show the potential of eucalypt biomass for the cogeneration of distributed electric energy by using a simulation based on a pilot eucalypt reforestation project. A research trial was established in area belonging to ACESITA Energética, in Itamarandiba, MG, by using a statistical design of Randomized Blocks (3 replications), with Split Plots in time. The treatments consisted of 5 initial planting spacings with measurements taken at the ages of 7, 12, 18 e 24 months. Based on the production data in terms of biomass per hectare it was estimated the area needed to supply three power plants with different capacity to generate electricity (1MW, 5MW e 10MW). To evaluate the economic feasibility of those plants it was taken into consideration the establishment, tending and harvesting costs per hectare of the eucalypt plantations for each different spacing. The next step consisted in estimating the revenues obtained with the commercialization of carbon credits. The Present Net Worth (PNW), the Benefit (Cost) Periodical-Equivalent (B(C)PE), the Benefit/Cost (B/C) and the Internal Rate of Return (IRT) were used to evaluate the treatments under the economics point of view. To evaluate the environmental aspects related to the adopted forest management system several chemical analysis were carried out to determine the amount of nutrients in different parts of the trees (crown, stem, bark). The area needed to be planted to supply each electrical facility was inversely proportional to the density of the eucalypt plantation. Electricity production for the conditions of this work was economically

feasible for the initial planting spacings of 3.0 m x 0.5 m and 3.0 m x 1.0 m for different values of interest rates and for the 3.0 m x 1.5 m spacing at an interest rate of 8% per year. When considering the additional revenue accrued from the commercialization of carbon credits it was possible to note an increase of the economic feasibility of the studied initial spacings, making it possible to use also the 3.0 m x 1.5 m and the 3.0 m x 2.0 m (this last one being feasible only for the interest rates of 8% and 10% per year). Regarding the nutritional balance during the harvesting operation of the plantations at the age of 24 months it was observed in all treatments that 21% to 23% of the nutrients were located in the crown of the trees with 7% in the bark and finally, 11% and 16% in the wood in the stem. Cropping the plantations at the age of 24 months has a greater impact mainly in the export of P, Ca, Mg and K (the last one in small proportion) which are concentrated more in the bark (93,82%, 90,81%, 96,97% e 42,5% respectively). Considering the nutritional balance the need to replace nutrients due to the harvesting of the eucalypt plantations was inversally proportional to the density of the plantation. In case of harvesting and debarking the trees in the field the need to replace nutrients in the field is drastically reduced due to the amount of nutrients left in the site through the bark and the crown of the trees. This work shows that short rotation eucalypt plantations with high density of trees per hectare is an important source of forest biomass to be used in the cogeneration of distributed electricity.

1. INTRODUÇÃO

Com o advento da Revolução Industrial, as relações de produção foram fortemente alteradas, a produtividade do trabalho experimentou um rápido crescimento e, conseqüentemente, o incremento da quantidade de bens e serviços oferecidos à população. Desde então, a ampliação da infra-estrutura energética passou a ser percebida como elemento indutor do processo de desenvolvimento econômico.

Neste sentido, a política energética nacional, especialmente no período pós-guerra, foi forçada a se alinhar com as tendências mundiais, cuja orientação principal era o aumento da oferta de energia, a custos baixos, para os setores econômicos. Sendo assim, todos os esforços foram canalizados no sentido de financiar a construção da infra-estrutura energética para atender à crescente demanda do setor industrial, bem como para reduzir a dependência externa por petróleo.

Essa política foi centrada no monopólio de empresas estatais com significativo suporte do Estado para seus investimentos, o que permitiu uma rápida expansão da oferta de eletricidade e de derivados do petróleo no território nacional, com qualidade e preços baixos, bem como na integração das infra-estruturas energéticas regionais, com exceção da região Amazônica (OLIVEIRA et al., 1998).

Com isso, o País experimentou um período de rápida industrialização e crescimento econômico. Entretanto, essa expansão setorial não se deu de forma equitativa entre as regiões e, conseqüentemente, não foi suficiente para atender plenamente as necessidades sociais, levando a um alargamento da distância do padrão de vida da população entre o campo e a cidade.

A política de desenvolvimento adotada no País foi orientada pela urbanização em detrimento do desenvolvimento rural. Nesse processo, a deficiência de infra-estrutura na zona rural brasileira surgiu como um fator impeditivo ao desenvolvimento econômico do campo, incentivando o contínuo inchaço das metrópoles urbanas (OLIVEIRA, 2001).

O acesso à energia, especialmente a eletricidade, reconhecidamente se constitui em um importante fator de desenvolvimento regional, principalmente nas áreas rurais. A par disso, por meio da análise de dados do Balanço de Energia Útil, pode-se observar que as fontes de energia que apresentaram maior crescimento no setor agropecuário, nas últimas décadas, foram o óleo diesel e a eletricidade, cuja finalidade principal é a geração de força motriz, o que aponta o uso produtivo como principal eixo motor do crescimento do consumo de energia no campo.

Segundo PEREIRA (1992), a utilização produtiva da eletricidade está relacionada ao nível de renda do produtor, um dos fatores determinantes da capacidade de investimento. Os usos produtivos dependem também do nível de desenvolvimento local e do acesso a crédito, serviços de extensão, insumos e máquinas agrícolas.

Sendo assim, pode-se observar que o adequado atendimento energético a estas comunidades pode agir como um dos principais fatores de fixação do homem no campo, o que é de extrema importância para o setor urbano, uma vez que significa garantia de alimentos mais baratos e de melhor qualidade, desenvolvimento no interior do país, zelo pelo meio ambiente e pelos recursos naturais (OLIVEIRA, 2003).

No Brasil, estima-se que cerca de 7 a 9% da população (12-15 milhões de pessoas) não tem acesso à eletricidade. SCHELEDER (1998) identifica um

“mercado invisível” representado por cerca de 3 milhões de propriedades e mais de 100 mil comunidades não atendidas por eletricidade, o que significa a necessidade de 15 a 20 mil MW. No campo, a situação é ainda mais grave, pois se estima que cerca de 22% dos domicílios não têm acesso à eletricidade (OLIVEIRA, 2003).

Essa demanda reprimida é caracterizada pela forte relação que existe entre a oferta de energia e o nível de renda de uma população. O baixo consumo de eletricidade nessas áreas se deve à escassez de recursos financeiros, que por sua vez é uma consequência da falta de infra-estrutura de oferta para o atendimento à demanda por necessidades básicas, bem como para as atividades produtivas.

RAPOSO (1999) afirma que, segundo levantamentos do Banco Mundial, para cada R\$ 1,00 investido em eletrificação, são gerados R\$ 3,00 na economia local, podendo chegar a R\$ 5,00 de investimento no restante da economia.

OLIVEIRA (2001) cita que a abrangência dos impactos associados ao aumento da oferta de energia, especialmente na forma de eletricidade, não estão circunscritos às populações favorecidas, mas atravessam as fronteiras das comunidades, alcançando diversos níveis da esfera econômica, social e ambiental.

A par de tudo o que foi exposto acima, cumpre ressaltar que mesmo sendo um grande mercado potencial, devido à fraca economia de escala (pequeno tamanho das cargas existentes, alto grau de isolamento e dispersão dos pólos consumidores e baixo nível de renda das populações rurais), os investimentos para o atendimento dessa demanda reprimida não são atrativos (CORREIA et al., 2002).

Dentro desse contexto, as fontes renováveis de energia revestem-se de notável importância na construção de sistemas descentralizados de suprimento em pequena escala, uma vez que permitem a descentralização da geração por meio do aproveitamento de recursos naturais locais, bem como a

compatibilização da potência gerada de acordo com uma demanda específica, aumentando a auto-suficiência dessas regiões e reduzindo o custo da energia.

Tendo em vista o desenvolvimento tecnológico, as principais fontes renováveis de recursos energéticos são: a biomassa, a energia solar e a energia eólica.

A biomassa, por seu turno, apresenta uma particularidade em relação às outras fontes energéticas: o resultado do processo de conversão pode gerar três tipos de combustíveis diferentes (sólido, líquido ou gasoso), o que se configura em uma vantagem em relação às outras fontes energéticas, uma vez que confere certa flexibilidade de adaptação tecnológica de acordo com a situação. Outra característica importante desse recurso é a variedade de “formas” encontradas com potencial para aproveitamento energético, quais sejam: resíduos culturais agrícolas e florestais (provenientes das atividades de cultivo – manutenção, tratamentos culturais e colheita), resíduos industriais (resultantes do processamento da matéria-prima – serrarias, produção de cana-de-açúcar, produção de celulose e papel, etc.), plantios energéticos e florestas nativas.

A biomassa florestal, historicamente, constitui-se em um importante insumo energético para a humanidade, principalmente naqueles países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento.

A valorização da biomassa como insumo energético moderno surgiu na década de 70 com as crises do petróleo (1973 e 1979). Na ocasião, a biomassa passou a ser considerada como alternativa viável para atendimento às demandas por energia térmica e de centrais elétricas de pequeno e médio porte. Entretanto, a partir de 1985, os preços do petróleo voltaram a despencar, diminuindo novamente o interesse em energias alternativas. Mais tarde, na década de 90, a biomassa volta a ganhar destaque no cenário energético mundial devido ao desenvolvimento de tecnologias mais avançadas de transformação, pela ameaça de esgotamento das reservas de combustíveis fósseis e pela incorporação definitiva da temática ambiental nas discussões sobre desenvolvimento sustentável. Outro fator determinante foi a assinatura

do Protocolo de Quioto em 1997, onde ficou estabelecido que os países em desenvolvimento deverão promover reduções significativas nas emissões de gases de efeito estufa, indicando que a participação de energias renováveis tenderá a ocupar um lugar de destaque na matriz energética mundial (NOGUEIRA et.al., 2000; BARROS & VASCONCELOS, 2001).

No Brasil, as fontes renováveis de energia representam 43,8% da matriz energética, enquanto no mundo essa taxa é de 14% e nos países desenvolvidos é de 6%. Desses 43,8% de energia renovável, 14,6% correspondem à energia hidráulica e 29,2% à energia de biomassa, sendo que aproximadamente 12,9% são de origem florestal (lenha e carvão vegetal). A biomassa florestal representa, portanto, a terceira fonte de energia da matriz nacional. Mais especificamente, com relação à geração de energia elétrica, a fonte energética mais representativa é a hidráulica com participação de 74,3%. Comparativamente à estrutura mundial (onde a participação da energia hidráulica é de 16,6%) nota-se que a hidroeletricidade no Brasil apresenta um peso bastante significativo (BRASIL, 2004).

À luz do conhecimento atual, face às perspectivas de esgotamento das fontes energéticas não-renováveis, ressalta-se a necessidade de se repensar o processo de desenvolvimento econômico de forma a não comprometer o atendimento à demanda das gerações futuras.

Dentro desse contexto, o uso da biomassa como insumo para a geração de energia elétrica reveste-se de notável importância na busca de alternativas energéticas, tendo em vista que se trata de uma fonte renovável e descentralizada, que promove a geração de empregos no campo e renda adicional.

A utilização da biomassa como insumo energético é uma tendência mundial. A motivação para esta nova tendência é a necessidade de redução na utilização de derivados de fontes fósseis, como forma de se tornar independente dos países exportadores, bem como reduzir as emissões de gases nocivos à atmosfera.

Na maioria dos casos, o aproveitamento da biomassa se faz pela utilização de resíduos agrícolas e florestais, resíduos gerados na indústria florestal (licor negro, serragem, maravalhas, ponteiros, etc.) e do lixo urbano. Entretanto, considerando um cenário de expansão da geração de eletricidade a partir da biomassa, o suprimento de matéria-prima estaria condicionado à expansão da atividade agrícola e florestal, bem como da indústria.

Da mesma forma, vale considerar que o aproveitamento de resíduos culturais (agrícolas e florestais) como fonte de insumos para geração de energia elétrica, implica na remoção de uma importante fonte de nutrientes e matéria orgânica¹ para o solo, o que não é interessante do ponto de vista tanto econômico como ambiental.

Por outro lado, a implantação de plantações florestais (florestas ou plantações energéticas) com finalidade exclusiva de produção de biomassa destinada à geração de eletricidade, cria uma perspectiva ambiental mais sustentável, uma vez que o sistema de produção contempla o aproveitamento da madeira e, conseqüentemente, o retorno dos resíduos culturais (galhos, folhas e ponteiros) para o solo.

Ciente dos avanços tecnológicos conquistados tanto na área da geração de eletricidade, a partir de biomassa, quanto na silvicultura brasileira (aumento de produtividade, melhoramento genético, redução de custos, etc.) é possível vislumbrar um cenário favorável ao desenvolvimento de plantações energéticas (florestas energéticas) como fonte de matéria-prima para geração elétrica.

Sendo assim, este trabalho teve como objetivo principal mostrar o potencial da biomassa florestal para a geração de energia elétrica no Brasil, por meio da simulação de um projeto piloto de reflorestamento com um clone de eucalipto. Mais especificamente, objetivou-se determinar a densidade de

¹ REZENDE et.al (1983), observaram que apesar de representar apenas 20% da biomassa total da árvore, a copa retém entre 50 e 60% dos nutrientes, com destaque para N, P e K (essa tendência não é observada no caso do Ca, que é imobilizado em maior quantidade – em torno de 60% – na casca).

plantio, produção de biomassa, bem como os aspectos econômicos da geração elétrica a partir da biomassa florestal, considerando as receitas advindas da obtenção de créditos de carbono, uma vez que além da produção de energia elétrica, o projeto procurou contemplar a comercialização de Certificados de Redução de Emissões (CRE's), no âmbito do MDL, tal como preconiza o Protocolo de Quioto.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. CENÁRIO MUNDIAL

O uso da biomassa na geração de eletricidade vem crescendo continuamente ao longo da última década, incentivado principalmente pelas pressões ambientais, no sentido de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e aumentar o uso de fontes renováveis.

No documento intitulado “White Paper for a Community Strategy”, elaborado pela European Commission’s 1997, são claras as intenções da Comunidade Européia em dobrar a quota de fontes renováveis no consumo total de energia doméstica, de 6% (em 1995) para 12% (em 2010). No caso da biomassa, isto representa um incremento de 90 milhões de toneladas em óleo equivalente (de 45 Mtoe para 135 Mtoe).

Na União Européia, países como a Finlândia, Suécia, Áustria, Dinamarca e Alemanha já possuem programas bastante avançados de produção de energia elétrica a partir de biomassa. Na Finlândia, Suécia e Áustria a bioeletricidade representa 22%, 18% e 12%, respectivamente, do suprimento de energia primária. Fundamentalmente, existem duas razões principais para que estes países estejam na vanguarda da bioeletricidade: a primeira é a disponibilidade de biomassa – a Finlândia e a Suécia possuem as

maiores áreas florestadas da Europa – e a segunda é que estes países possuem ambiciosos programas políticos para o incentivo ao uso de fontes renováveis (CALLAGHAN, 2003).

A par disso, cumpre ressaltar o papel pioneiro da Finlândia no uso da bioenergia no contexto mundial. Aproximadamente 20% da energia primária e 11% da eletricidade são supridas por combustíveis derivados da madeira e a meta para 2025 é dobrar esta participação. As principais fontes de biomassa são resíduos gerados na indústria de base florestal, resíduos florestais (colheita) e árvores de pequenas dimensões que são transformados em cavacos.

A política energética do governo finlandês tem como objetivo criar condições de assegurar o fornecimento de energia, manter os preços competitivos e possibilitar o cumprimento dos compromissos de redução das emissões. Para tanto, foi criado um amplo programa de governo, no sentido de promover a utilização de energias renováveis, que contempla: isenção de taxas para consumidores de combustíveis derivados de biomassa; subsídios à produção de eletricidade a partir de biomassa; financiamento de investimentos em projetos de conservação da energia, eficiência energética, redução de impactos da geração, aquisição de equipamentos para produção de cavacos, etc.; subsídios para produtores de combustíveis de origem florestal (plantações florestais destinadas à produção de biomassa para a geração de eletricidade); suporte financeiro do governo para o desenvolvimento e comercialização de tecnologia (TEKES, 2002; HAKKILA, 2003).

Na Alemanha, visando o incentivo do uso da biomassa na geração elétrica, o governo criou uma lei de subsídios à implantação de projetos de até 20 MW (que excedam a uma eficiência mínima viável), denominada “*biomass law*”.

Política semelhante vem sendo adotada no Reino Unido, onde já existe um grande número de plantas à biomassa em fase de planejamento ou em construção. O consumo de eletricidade no país é derivado basicamente da utilização do carvão mineral (33%), gás (33%) e energia nuclear (26%). A

meta do governo é atingir a cota de 10% de geração elétrica a partir de fontes renováveis até 2010 (CULSHAW, 2000).

Um importante projeto que merece destaque é o *Arable Biomass Renewable Energy – ARBRE*, implantado em Yorkshire, Reino Unido. Este projeto foi concebido com a finalidade de se tornar a primeira planta comercial (10MW) a partir da Gaseificação Integrada da Biomassa em Ciclos Combinados (*Biomass-Integrated Gasification Combined Cycle – B-IGCC*). A planta é alimentada por resíduos de cultivo de willow.

Países como a Índia, Tailândia e China também têm criado mecanismos de incentivos a projetos baseados na geração elétrica com biomassa (CALLAGHAN, 2003).

Em 2001, na Austrália, foi criado o *Renewable Energy (Electricity) Act 2000*, que define uma política de expansão da geração elétrica a partir de fontes renováveis. Essa política especifica os resíduos florestais e as plantações energéticas de curta rotação como as principais fontes de insumos para a geração de energia renovável (BOROUGH, 2002).

Nos Estados Unidos a biomassa representa apenas 3% da matriz energética. Entretanto o governo americano tem intenção de triplicar essa participação até 2010. A produção de eletricidade a partir da biomassa no país se deve, principalmente, à utilização de resíduos industriais para autogeração (WRIGHT & KSZOS, 1999).

2.2. GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE BIOMASSA

Tradicionalmente, o aproveitamento energético da biomassa consiste na produção de energia térmica. Contudo, após as crises do petróleo foram desenvolvidas uma série de tecnologias para geração de energia elétrica a partir da madeira.

No Brasil a produção de energia elétrica a partir da biomassa é estimada em cerca de 3% (10TWh) da energia elétrica total² (MACEDO, 2001).

Segundo esse autor, a produção de eletricidade a partir da biomassa apresenta duas características fundamentais:

- Baixa densidade energética por unidade espacial, o que significa altos custos para coleta e transporte;
- Forte economia de escala das tecnologias de conversão (investimento por unidade de insumo cai, e eficiência de conversão aumenta com a capacidade).

Neste sentido, considera-se que um dos fatores mais importantes no uso da biomassa como insumo energético, independentemente da técnica empregada, refere-se ao custo de coleta e transporte da matéria-prima.

Desse modo, as principais fontes de biomassa para conversão seriam (MACEDO, 2003):

- Resíduos de cultivo (agrícolas e florestais – palha de cana, palha de arroz, casca de árvores, galhos, ramos, etc.);
- Resíduos de processamento industrial (bagaço de cana, casca de arroz, serragem, maravalhas, cantoneiras, etc.);
- Plantações energéticas (florestas comerciais).

No Brasil, as necessidades energéticas são supridas pela biomassa sob a forma de:

- Carvão vegetal: utilizado como redutor em fornos siderúrgicos e fábricas de cimento, bem como para cocção de alimentos;
- Lenha para queima direta: utilizada em padarias, restaurantes, hotéis, fábricas de cerâmica, olarias, etc.;
- Lenha e cavacos de madeira para alimentar usinas termelétricas a vapor;

² Sendo 4.1 TWh na co-geração (indústria da cana-de-açúcar), 2.9 TWh na indústria de papel e celulose e cerca de 3TWh em diversas unidades utilizando resíduos agrícolas (MACEDO, 2001)

- Sistemas de gaseificação da madeira e do carvão vegetal para produção de calor industrial, combustível para motores e turbinas, gás redutor para siderurgia, gás de síntese para metanol, amônia e outros;
- Aproveitamento de resíduos³: resíduos gerados na colheita e no extrativismo florestal (casca, ramos e galhos) e em processos industriais (serragem, maravalhas, restos de serrarias, moinha de carvão e licor negro) são aproveitados em sistemas de co-geração, usinas termelétricas e refinarias de biomassa. O setor mais intensivo no uso da biomassa residual para autogeração é o setor de celulose e papel, que possui uma potência instalada de cerca de 1.500 MW.

2.2.1. Recursos Dendroenergéticos

De acordo com NOGUEIRA et al. (2000), recursos dendroenergéticos são produtos diretos e indiretos da madeira, tais como: madeira, resíduos de exploração, resíduos industriais (serragem, maravalhas, tocos e ponteiros, licor negro, etc.).

Dessa forma, podem-se citar como principais fontes desses recursos:

- Indústrias de base florestal: fonte de resíduos do processamento da madeira. Nesta classe estão enquadradas as serrarias, laminarias, fábricas de painéis, etc.;
- Indústria do reflorestamento: fonte de resíduos gerados na exploração de povoamentos florestais e madeira, no caso de plantações energéticas;
- Exploração de Florestas Nativas: fonte de resíduos de exploração e madeira para energia;
- Cultivos agrícolas: fonte de resíduos culturais e industriais;

³ Vale destacar as experiências da Cenibra, em Minas Gerais, que tem uma unidade de 100MW; da Aracruz, no Espírito Santo, com uma unidade de 140MW, alimentadas por resíduos de madeira; e o programa de termelétricas a resíduos de madeira no Rio Grande do Sul (BARROS & VASCONCELOS, 2001).

- Cultivos energéticos: fonte de combustíveis tais como óleo (biodiesel) e álcool.

2.2.2. Tecnologias de Conversão

As tecnologias mais difundidas de produção de eletricidade a partir da biomassa podem ser divididas em dois grupos:

- Ciclos a vapor baseados na combustão da biomassa em caldeiras convencionais;
- Gaseificação da madeira em leito móvel ou fluidizado com utilização do gás em turbinas.

Conforme observado por BARROS & VASCONCELOS (2001) e MACEDO (2003) a tecnologia consolidada no Brasil é a do ciclo a vapor (Rankine - Figura 1) em pequenas escalas, com a queima exclusiva de resíduos, ou conjunta com outros combustíveis (*co-firing*). Entretanto, as plantas que utilizam este processo operam com baixa eficiência (entre 14-25%).

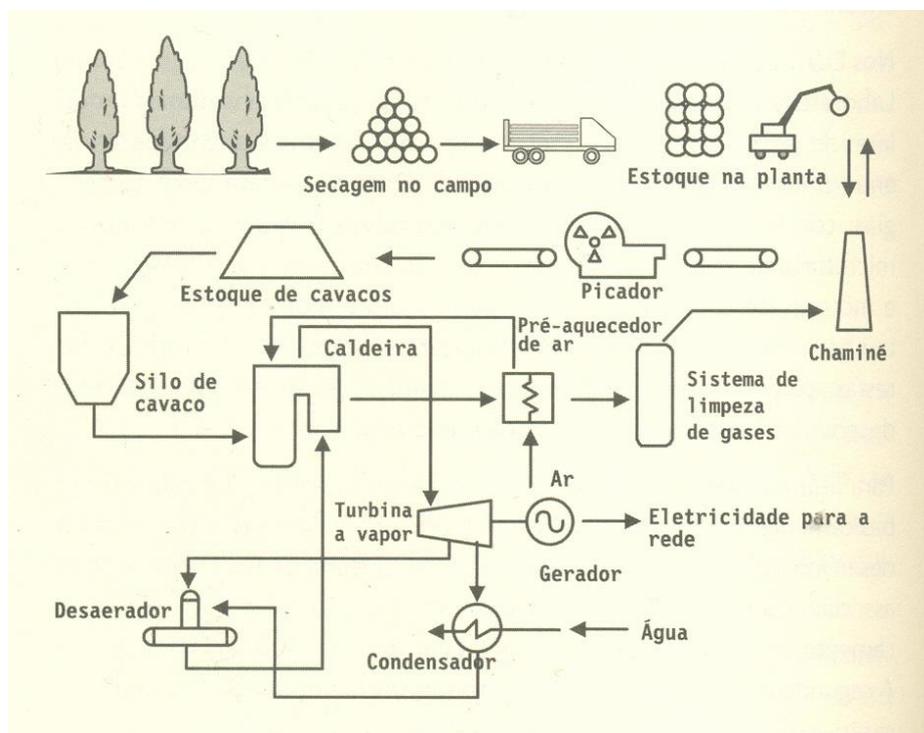


Figura 1 – Esquema de uma termelétrica à lenha.

Fonte: BARROS & VASCONCELOS (2001).

A tecnologia de gaseificação da biomassa ainda não atingiu um nível comercial, em função de alguns ajustes que se fazem necessários para viabilizar esta tecnologia (MACEDO, 2003), bem como pela queda no preço do petróleo. Sistemas de gaseificação da biomassa, em leito fluidizado com utilização do gás em turbinas, encontram-se em desenvolvimento no mundo. Esses sistemas operam com eficiência entre 40-45% (NOGUEIRA et al., 2000).

O Quadro 1 apresenta uma comparação entre essas duas tecnologias, com valores de referência para suas características básicas, faixa típica de aplicação e estado atual de desenvolvimento tecnológico.

Quadro 1 – Tecnologias de geração elétrica com biomassa

Tecnologia	Eficiência %	Custo U\$/kW	Capacidade kW	Estado da Arte da Tecnologia
Caldeiras e turbinas à vapor	20	1.000	>1.000	Tecnologia pronta
Gaseificadores e turbinas à gás	>30	1.500	>5.000	Em desenvolvimento

Fonte: adaptado de NOGUEIRA et al. (2001).

Como exemplo, pode-se citar os sistemas BIG/GT (*Biomass Integrated Gasification – Gas Turbine*), que consistem de ciclos combinados com gaseificadores e turbinas à gás, que permitem a conversão da energia química da biomassa com eficiência igual ou maior do que a geração com combustíveis fósseis, a preços competitivos. Vale ressaltar que estes sistemas ainda não estão sendo aplicados em escala comercial.

No Brasil, o uso desse sistema tem no projeto SIGAME (Sistema Integrado de Gaseificação de Madeira para Produção de Eletricidade) sua primeira utilização como demonstração (BARROS & VASCONCELOS, 2001).

Segundo MACEDO (2001; 2003), os tipos de biomassa disponíveis em cada região é que definem as tecnologias comerciais disponíveis. As tecnologias são divididas em três escalas:

- Geração em pequena escala (menor do que 1MW): são utilizadas onde há baixa disponibilidade de biomassa. Os sistemas podem ser à vapor (alternativos, ou mesmo turbina) ou com gaseificadores de biomassa acoplados a motores (diesel ou otto);
- Geração em média/grande escala (dezenas de MW) – ciclos à vapor: empregada na indústria da cana-de-açúcar e de celulose/papel (co-geração);
- Geração em média/grande escala (dezenas de MW) – ciclos de gaseificação/turbinas à gás: esta tecnologia ainda se encontra em desenvolvimento. No Brasil, existem dois projetos em execução: utilização de cavacos de madeira (Bahia) e bagaço/palha de cana (Copersucar – São Paulo).

Mais recentemente, PINATTI et.al. (2003) introduziram o conceito do craqueamento sequencial da biomassa por meio de processos termoquímicos, com poluição nula (Refinaria de Biomassa). A refinaria de biomassa utiliza qualquer tipo de biomassa (resíduos agrícolas, florestais, madeira, lixo orgânico, etc.) e dentre os produtos gerados está a energia elétrica. Uma das características mais interessantes da RB é a mobilidade do reator de pré-hidrólise⁴, que possibilita a operação próxima às fontes de produção e elimina o frete de transporte da biomassa. A utilização dessa tecnologia se reveste de notável sofisticação, uma vez que apresenta um potencial de substituição de praticamente 82% das fontes energéticas da matriz energética nacional. Assim, produtos energéticos, como derivados do petróleo e hidroeletricidade, poderiam passar a ocupar lugar na pauta de exportações brasileiras.

⁴ A pré-hidrólise é uma das fases do processo, onde a biomassa é convertida em dois produtos: celulignina combustível e pré-hidrolisado (solução de açúcares).

2.2.3. Produção e Consumo de Bioeletricidade no Brasil

A fonte hidráulica, como já foi mencionada anteriormente, apresenta uma forte predominância na matriz elétrica nacional. A biomassa aparece em 4º lugar com cerca de 3,0% (Quadro 2 e Figura 2).

Quadro 2 – Composição da Matriz Elétrica Nacional

Tipo		Capacidade Instalada		Total		%
		Nº de usinas	MW	Nº de usinas	MW	
Hidro		571	70.042	571	70.042	70,14%
Gás	Natural	70	8.976	94	9.878	9,89%
	Processo	24	902			
Petróleo	Óleo Diesel	461	4.093	480	5.261	5,27%
	Óleo Residual	19	1.168			
Biomassa	Bagaço de Cana	217	2.168	255	3.060	3,06%
	Licor Negro	12	666			
	Madeira	22	200			
	Biogás	2	20			
	Casca de Arroz	2	6			
Nuclear		2	2.007	2	2.007	2,01%
Carvão Mineral		7	1.415	7	1.415	1,42%
Eólica		11	29	11	29	0,03%
Importação	Paraguai		5.650		8.170	8,18%
	Argentina		2.250			
	Venezuela		200			
	Uruguai		70			
Total			99.862		99.862	100,00%

Fonte: adaptado de ANEEL, 2005 (www.aneel.gov.br).

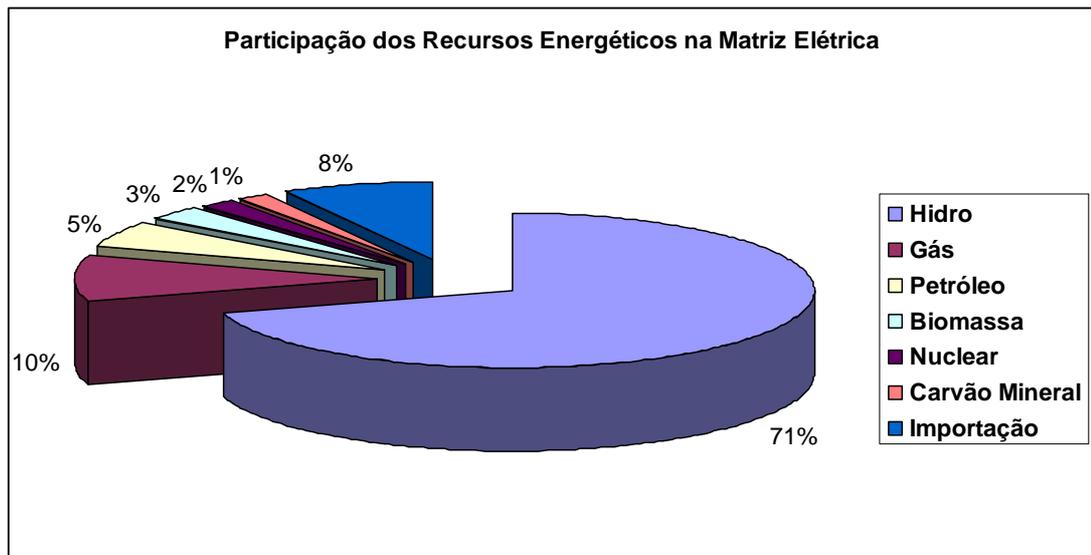


Figura 2 – Participação dos recursos energéticos na matriz elétrica.

Os principais investimentos do país na área de combustíveis de biomassa são: bagaço de cana, licor negro, resíduos de madeira, biogás e casca de arroz. Existem ainda algumas iniciativas, bastante modestas, com o aproveitamento do carvão vegetal. O Quadro 3 apresenta, mais detalhadamente, a distribuição desses investimentos por tipo de combustível.

Quadro 3 – Quantidade de empreendimentos em operação, construção e com outorga concedida pela ANEEL, por tipo de biomassa combustível

Operação			
Combustível	Quantidade	Potência (MW)	%
Licor Negro	12	666	21,76
Casca de Arroz	2	6	0,21
Bagaço de Cana-de-açúcar	217	2.168	70,86
Resíduos de Madeira	21	192	6,26
Biogás	2	20	0,65
Carvão Vegetal	1	8	0,26
Total	255	3.060	100
Construção			
Combustível	Quantidade	Potência (kW)	%
Resíduos de Madeira	2	19,5	6,3
Bagaço de Cana-de-açúcar	5	166	53,58
Licor Negro	1	117	37,8
Carvão Vegetal	1	7,2	2,33
Total	9	309,7	100
Outorga			
Combustível	Quantidade	Potência (kW)	%
Resíduos de Madeira	12	67	21,68
Bagaço de Cana-de-açúcar	14	148	48,01
Casca de Arroz	4	26	8,38
Biogás	8	63,6	20,64
Carvão Vegetal	1	4	1,3
Total	39	308,6	100

Fonte: ANEEL, 2005 (www.aneel.gov.br).

No Brasil, atualmente existem 18 usinas do tipo UTE (Usinas Termelétricas) em operação, à base de resíduos de madeira, que geram 160.632 kW (Quadro 4). Existem ainda duas usinas em construção que deverão gerar 19.500 kW e mais 12 usinas outorgadas, com previsão de geração de mais 66.832 kW, segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL.

Quadro 4 - Usinas do tipo UTE (usinas termelétricas em operação) a base de resíduos de madeira

Usina	Potência (kW)	Município
Ripasa	49.630	Limeira – SP
Tramontina	1.500	Belém – PA
Rigesa	7.500	Três Barras – SC
Central Termelétrica de Geração (Forjasul)	1.800	Encruzilhada do Sul – RS
CISFRAMA	4.000	Canoinhas – SC
Miguel Forte	6.000	União da Vitória – PR
Pizzatto	2.000	General Carneiro – PR
Piratini	10.000	Piratini – RS
Itacoatiara	9.000	Itacoatiara – AM
Pampa	400	Belém – PA
PIE-RP	27.800	Ribeirão Preto – SP
Araguassu	1.200	Porto Alegre do Norte – MT
Gaseifamaz I	27	São Paulo – SP
Lages	28.000	Lages – SC
Rohden	3.500	Salete – SC
Egídio	2.125	Juruena – MT
Battistella	3.150	Rio Negrinho – SC
Terranova I	3.000	Rio Negrinho – SC

Fonte: ANEEL (adaptado).

Segundo os estudos do Plano Decenal de Expansão 2003-2012, realizados pelo Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos – CCPE/Ministério das Minas e Energia, publicado em 2002, as Fontes Alternativas de Energia (FAE) deverão apresentar um crescimento exponencial na participação da geração elétrica até 2012 (Figura 3).

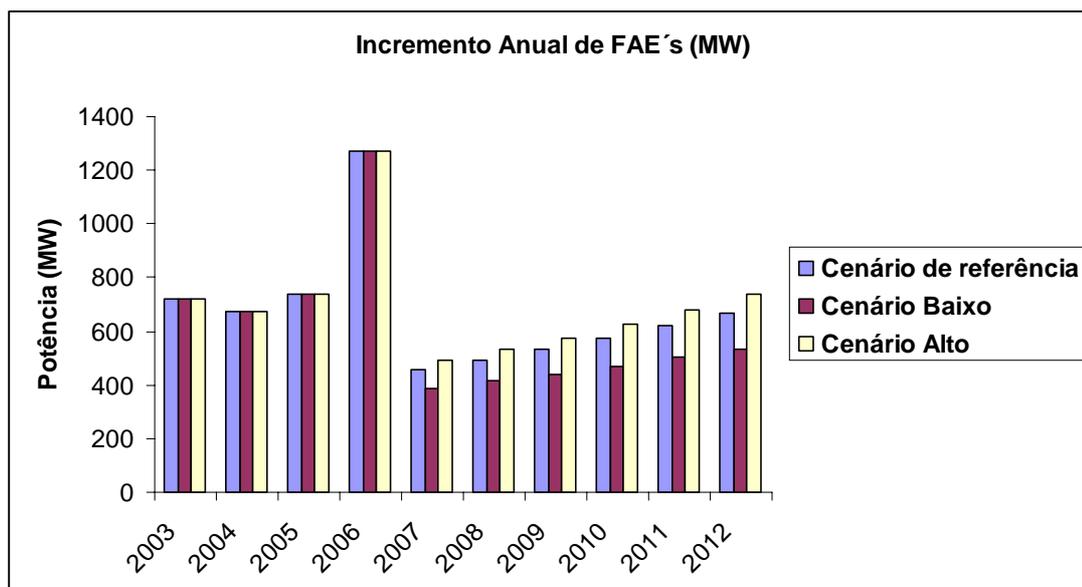


Figura 3 – Projeção da participação de Fontes Alternativas de Energia (PCH, Biomassa e Eólica) na matriz elétrica nacional.

Fonte: adaptado de MME (2002).

2.3. CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DO USO DA BIOMASSA NA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE

A produção de eletricidade a partir de biomassa, no Brasil, se dá essencialmente pelo aproveitamento de resíduos (de cultivo ou de processos industriais).

Dentro desse contexto, o aproveitamento energético de resíduos lignocelulósicos se reveste de notável importância, uma vez que consiste na geração de uma fonte alternativa de energia, bem como na solução de um grande problema ambiental e econômico que é a disposição final de resíduos gerados nas cadeias produtivas dos setores agrícola e florestal.

Entretanto, o aproveitamento energético de resíduos de biomassa, em sua forma primária, apresenta uma série de limitações que são descritas e discutidas a seguir:

1. Heterogeneidade do material: a desuniformidade da matéria-prima (granulometria, teor de umidade, poder calorífico, etc.) implica em custos adicionais para sua transformação e homogeneização;

2. Baixa densidade energética espacial: o que onera a coleta e o transporte da matéria prima;
3. Disponibilidade x distribuição espacial: por natureza essa biomassa se encontra dispersa (espacialmente);
4. Demanda x oferta: sendo um subproduto de outras atividades, a oferta de matéria-prima está atrelada ao desempenho da atividade geradora de resíduos;
5. Redução da fertilidade do solo: o aproveitamento de resíduos culturais representa a retirada, do sítio florestal, de uma importante fonte de retorno de nutrientes para o solo.

Sendo assim, pode-se observar que o aproveitamento energético da biomassa na forma de resíduos apresenta algumas limitações importantes e que deveriam ser consideradas no planejamento e tomadas de decisões relacionadas a projetos dessa natureza.

Nesse contexto, a silvicultura visando à produção de biomassa, especificamente para a geração elétrica, ganha destaque, uma vez que apresenta potencial para solucionar grande parte dos problemas citados, conforme é descrito a seguir:

1. Homogeneidade do material: material genético uniforme, selecionado;
2. Aumento da densidade energética espacial: a produção é concentrada em um local;
3. Disponibilidade x distribuição espacial: é possível planejar a localização da produção de matéria-prima;
4. Demanda x oferta: a produção de matéria-prima não está atrelada a nenhuma outra atividade. Portanto, a oferta depende tão somente do planejamento da produção florestal;
5. Fertilidade do solo: o aproveitamento apenas do componente lenhoso, permite que sejam deixados no solo a galhada e a folhagem, havendo o retorno de quantidades significativas de nutrientes pelo processo de mineralização.

2.4. O PAPEL DAS PLANTAÇÕES FLORESTAIS DE CURTA ROTAÇÃO NO FORNECIMENTO DE MATÉRIA-PRIMA PARA A GERAÇÃO ELÉTRICA

Conforme observado por vários autores, dentre eles MACEDO (2001; 2003) e VERWIJST (2004), as plantações energéticas têm um potencial bastante promissor como fonte de biomassa para a geração de eletricidade.

MACEDO (2003) destaca ainda que com as altas produtividades obtidas em plantações florestais (particularmente do gênero *Eucalyptus*)⁵ os custos de geração da eletricidade com madeira de reflorestamento podem ser minimizados, tornando o investimento mais atrativo.

As plantações energéticas são sistemas que visam maior produção de biomassa por unidade de área, em um menor espaço de tempo. Assim, aliado ao conceito de plantações energéticas, surge o conceito de plantios de curta rotação.

2.4.1. Perfil Histórico das Plantações Energéticas no Brasil

O eucalipto foi introduzido no Brasil no início deste século, por volta de 1905, com a finalidade de obtenção de lenha e produção de dormentes de madeiras para estradas de ferro no Estado de São Paulo, pela Companhia Paulista Estradas de Ferro (ANDRADE, 1928).

O próximo grande passo da cultura do eucalipto foi o estabelecimento, a partir de 1940, de plantações em regiões onde havia mineração de ferro, principalmente na região da Bacia do Rio Doce, como uma alternativa de insumo energético (carvão vegetal) em substituição ao coque no processo de beneficiamento do minério de ferro na siderurgia (CHANDLER, 1998).

Em 1967 foi promulgada a Lei de Incentivos Fiscais, que teve grande importância para o setor florestal brasileiro, uma vez que permitiu que parte do imposto devido pelas empresas fosse aplicado em florestamento e

⁵ Atualmente níveis de produtividade considerados bons, giram em torno de 35-45m³.ha⁻¹.ano. Entretanto com o melhoramento genético, a produção de híbridos e a clonagem podem ser observados valores mais expressivos girando em torno de 60-80m³.ha⁻¹.ano (COUTO et al., 2003).

reflorestamento. Em 1974, foi criado pelo Banco do Brasil um programa de incentivos fiscais chamado Fiset (Fundo de Investimentos Setoriais - Florestamento), por meio do qual as empresas da Região Sudeste poderiam deduzir 17,5% do seu imposto de renda em programas de reflorestamento (GUERRA, 1995). Assim, grandes maciços florestais com eucaliptos foram formados e grandes áreas foram ocupadas com esta atividade.

Com a crise do petróleo, na década de 70, e o conseqüente aumento no custo do barril, fez-se premente a necessidade de substituição do petróleo por fontes alternativas de energia. Desse modo, as plantações florestais, com finalidade energética, tornaram-se uma importante fonte alternativa em substituição ao petróleo e seus derivados (SMITH, 1989).

Em Minas Gerais o eucalipto foi introduzido por volta de 1937, pela Companhia Siderúrgica Belgo Mineira, com a finalidade de produzir carvão para atender à produção de aço na siderurgia (MAGALHÃES, 1993).

A C.S. Belgo Mineira, instalada em 1937, e a ACESITA, instalada em 1949, criaram os seus serviços florestais, que foram os embriões de suas empresas subsidiárias, operando no setor de reflorestamento com eucaliptos. Dessa forma, a C.S. Belgo Mineira criou a C.A.F. (Companhia Agrícola e Florestal Santa Bárbara) e a ACESITA criou a ACESITA ENERGÉTICA (GUERRA, 1995).

A utilização de espaçamentos reduzidos foi uma técnica muito utilizada no Brasil, entre o final da década de 70 e início da década de 80. Em 1979, por exemplo, conforme relata COSCARELLI (2001), a Florestal Acesita introduziu o conceito de florestas superdensas, plantando até 40.000 mudas por hectare, quando o padrão era de 2.000 mudas.

Na década de 80, surgiu o neologismo “florestas energéticas”, utilizado para definir as plantações com grande número de árvores por hectare⁶ e, conseqüentemente, com ciclo curto, que tinha como finalidade a produção do maior volume de biomassa por área em menor espaço de tempo

⁶ Os espaçamentos de plantio mais utilizados eram de 1,0 x 1,5m, 2,5 x 1,0m, 2,0 x 1,0m.

(MAGALHÃES, 1982; MAGALHÃES, 2001). No entanto, essas experiências não apresentaram os resultados esperados, em função do pouco conhecimento técnico, da qualidade do material genético e do baixo desenvolvimento da silvicultura na época. Esse período foi marcado, essencialmente, por uma maioria de plantios com baixa produtividade e grande mortalidade, além dos impactos sobre a fertilidade e umidade do solo.

Como se pode observar, o desenvolvimento da eucaliptocultura, como fonte de insumo energético, foi fundamentado na produção de carvão vegetal para abastecer a indústria siderúrgica. Não se pensava em geração elétrica a partir de biomassa florestal naquela época.

Atualmente, com os avanços tecnológicos conquistados tanto na área de geração quanto na área da silvicultura no Brasil, tornam-se promissoras as expectativas quanto ao uso da biomassa florestal como insumo para a geração de energia elétrica.

Cabe ressaltar que diversos países têm investido em projetos de desenvolvimento de tecnologias para tornar viável economicamente a utilização de fontes alternativas. Cenários energéticos para as próximas décadas, feitos por empresas multinacionais de energia, bem como por entidades internacionais, como o IPCC (*International Panel for Climate Change*), prevêem lugar de destaque para a biomassa (BARROS & VASCONCELOS, 2001).

PINATTI et al. (1999) observaram que a produção de eletricidade a partir de biomassa florestal, por meio da tecnologia BEM (Biomassa – Energia – Materiais), baseada na pré-hidrólise da biomassa, apresenta custos competitivos com a geração hídrica e fóssil.

Dentro do contexto desse trabalho, cumpre ressaltar o papel das plantações de curta rotação como meio de produção de biomassa de forma econômica, social e ambientalmente sustentável.

2.4.2. Estado da Arte do Uso da Biomassa Florestal na Geração de Eletricidade

As principais espécies, difundidas pelo mundo, utilizadas na produção de biomassa para geração de energia são: o eucalipto (*Eucalyptus*), willow (*Salix*) e poplars (*Populus*). Outras espécies, tais como algaroba (*Prosopis*), Leucena (*Leucaena leucocephala*), acácia (*Acacia*), bracatinga (*Mimosa scabrella*) e gmelina (*Gmelina*) também apresentam grande potencial (COUTO et al., 2003).

Os principais exemplos do uso de biomassa florestal na geração de eletricidade no mundo são: Nicarágua, Austrália, Índia, Estados Unidos, Canadá, Suécia, Reino Unido e Brasil.

Na Nicarágua, a biomassa representa cerca de 62% da oferta de energia primária na matriz energética. A eletricidade responde por apenas 6% do consumo final de energia, sendo que somente 48% da população tem acesso a essa forma de energia. Grande parte (60%) da eletricidade é obtida por meio de combustíveis fósseis. A crise energética e a crescente demanda por energia abriram uma oportunidade para o setor açucareiro nicaraguense, setor mais importante da economia do país. Os engenhos açucareiros são auto-suficientes em energia elétrica, produzida pela utilização do bagaço da cana, em ciclos Rankine à vapor. Entretanto, o abastecimento de biomassa se dá apenas na época de safra (6 meses). Na entressafra, tanto o engenho quanto a planta elétrica ficam inativos. Com isso, vale ressaltar a iniciativa de dois engenhos (Victoria de Julio e San Antonio) que complementam a produção de eletricidade na entressafra a partir de biomassa florestal, produzida em plantios de *Eucalyptus camaldulensis*, em sistema de curta rotação (4-6 anos) e densidade de plantio de 2.200 plantas por hectare, estabelecidos com a finalidade única de abastecer as plantas elétricas desses engenhos (WIJK & BROCK, 1998).

Espécies do gênero *Eucalyptus*, denominadas “mallees” (ricas em óleos essenciais), estão sendo amplamente plantadas na Austrália, como estratégia para a redução de problemas de salinidade do solo, em áreas de baixa

pluviosidade (região oeste da Austrália). Além das suas características de rusticidade e adaptação a tais ambientes, a escolha da espécie se deve ao seu grande potencial comercial. Tendo em vista que a produção de óleos contempla somente a utilização das folhas, foi proposto um sistema integrado de processamento da árvore, onde se faz o aproveitamento da madeira para a produção de carvão e vapor (queima dos gases), em ciclos de 2 anos (BAKER et al., 1999; BARTLE & GILES, 2000).

Na Índia, no estado de Guarajat, funciona uma planta alimentada com madeira proveniente de plantios específicos para a produção de biomassa para eletricidade. Da mesma forma, nas Filipinas há um planejamento para construção de plantas (totalizando 200 MW) que serão abastecidas por plantios de *Leucena leucocephala* (FAO, s.d.).

Em países como Estados Unidos, Canadá, Suécia e Reino Unido, a espécie mais difundida é o willow, em função de sua adaptação às condições ambientais e produtividade. O sistema utilizado para cultivo de willow, tendo em vista a produção de biomassa, consiste no plantio de 15.300 plantas/hectare e ciclos de 4 a 5 anos (KENNEY et al., 1996; LARSSON et al., 1998; ARMSTRONG et al., 1999).

Nos Estados Unidos, foi criada uma organização denominada *Salix Consortium*, cujo objetivo é promover o desenvolvimento do cultivo do willow para a produção de biomassa, a fim de abastecer usinas termelétricas à carvão mineral em sistemas de co-combustão (*co-firing*). Resultados significativos com utilização de madeira de willow são relatados por VOLK et al. (1999) e WRIGHT et al. (2000). Segundo WRIGHT (2000), o willow é a única espécie que está sendo plantada com a finalidade energética. A área plantada, seja para fins comerciais ou de demonstração, é de aproximadamente 600 hectares (todos em Nova York).

O projeto ARBRE, no Reino Unido, deverá atender ao consumo doméstico de aproximadamente 33.500 pessoas. A planta será abastecida por biomassa produzida em uma área de 2.000 hectares de plantios de salgueiro (willow) de curta rotação (HILTON, 2000).

No Brasil, a primeira iniciativa de expressão foi o caso da COPENER – Copener Energética S.A., próximo a Salvador – BA. A empresa foi criada em 1980, com o objetivo de produzir eletricidade a partir da madeira produzida em plantações de eucalipto, para atender à demanda do complexo petroquímico da Petrobrás em Camaçari. Entretanto, com a redução dos preços do barril de petróleo, a companhia foi obrigada a rever seus objetivos.

Anos mais tarde, com o desenvolvimento da tecnologia, especialmente do sistema BIG/GT (*Biomass Integrated Gasifier/Gas Turbine*), foi criado um projeto de demonstração denominado Projeto Sigame (*Sistema Integrado de Gaseificação de Madeira para Produção de Eletricidade*), que conta com a participação da Eletrobrás, Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF) e do Banco Mundial e, cujo objetivo é demonstrar a viabilidade técnica e comercial do uso da biomassa para geração de eletricidade. A unidade de demonstração deverá ser implantada no município de Mucuri – BA. De acordo com COUTO & BETTERS (1995), a região Nordeste apresenta um potencial de transformação de 197 milhões de steres de madeira/ano em 19,673 mil MW/ano.

Um estudo detalhado da CHESF, indica ainda um potencial de produção de 12,6 EJ/ano (considerando a conversão termoelétrica de 20%, isto representaria 85 GW) em uma área de 50 milhões de hectares, com reflorestamento de eucalipto a um custo médio de US\$ 1.36/GJ, o que é significativamente atrativo se comparado com as projeções de custos estimados entre US\$ 1.5 e 2.0/GJ, num horizonte de 20 anos para os Estados Unidos (MACEDO, 2001).

Outro estudo importante foi realizado pelo Centro Clima (2003), onde foi estudada a viabilidade de utilização de biomassa florestal para geração de eletricidade em uma usina termelétrica, no estado de Rondônia. Neste estudo foi feita uma simulação das projeções econômicas do projeto, considerando a sua inclusão em um projeto de MDL, e concluiu-se pela viabilidade do projeto.

2.5. POLÍTICA BRASILEIRA (POLÍTICAS GOVERNAMENTAIS) DE INCENTIVO ÀS FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA

Visando incentivar o desenvolvimento de fontes alternativas de energia, o principal instrumento da política energética nacional é a Lei 10.438 de 26 de abril de 2002, que dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária e cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa) e a Conta de Desenvolvimento Energético.

O Proinfa tem a finalidade de aumentar a participação da energia elétrica gerada a partir de unidades de produção baseadas em biomassa, energia eólica e pequenas centrais hidrelétricas (PCH's). Na primeira etapa de execução do programa serão contratados 3.300 MW de energia renovável, distribuídas igualmente entre as três fontes (MME, s.d.). A etapa seguinte será desenvolvida de forma que essas fontes atendam até 10% do consumo final de eletricidade, em um prazo de 20 anos.

Objetivando a promoção do uso da biomassa para fins energéticos no Brasil, o Ministério de Minas e Energia – MME, assinou um “Implementing Agreement” com a Agência Internacional de Energia – IEA Bioenergy, pelo período de 2001-2003. Na ocasião, o representante brasileiro neste “Implementing Agreement” era o Dr. Marcelo Khaled Poppe, Diretor do Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético – DNDE/SEM/MME, e seu suplente o Dr. Manoel Fernandes Martins Nogueira, Coordenador Geral de Tecnologias de Energia do DNDE.

Após uma análise criteriosa dos grupos de trabalho que compõe a IEA Bioenergy, concluiu-se que o que mais se encaixava aos objetivos brasileiros era o Task 30 – Short Rotation Crops for Bioenergy Systems.

Para liderar esse grupo, o então Diretor do Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético – DNDE/SEM/MME, Dr. Marcelo Khaled Poppe indicou, por meio do ofício de 11 de março de 2002, nº06/2002 – DNDE, o Prof. Laércio Couto, pesquisador do Departamento de Engenharia

Florestal da Universidade Federal de Viçosa, para ser o Task Leader brasileiro do Task 30 – Short Rotation Crops for Bioenergy Systems.

Com a inserção do Brasil neste grupo, tornou-se necessária a criação de uma rede de trabalho envolvendo pesquisadores, instituições de pesquisa, órgãos governamentais e empresas que atuam nessa área. A concepção dessa rede se deu na ocasião da realização do I Workshop Internacional sobre Sistema de Produção Sustentável de Bioenergia, ocorrido em outubro de 2002 na cidade de Belo Horizonte – MG, em uma reunião com o então secretário do Dr. Marcelo Poppe, o Dr. Manoel Nogueira. Com isso, em 18 de novembro foi criada a Rede Nacional de Biomassa para Energia – RENABIO.

2.6. MUDANÇAS CLIMÁTICAS, PROTOCOLO DE QUIOTO, MDL E AS PERSPECTIVAS FUTURAS PARA PROJETOS DE REFLORESTAMENTO

2.6.1. Mudanças Climáticas

Desde o período da revolução industrial e ao longo dos últimos 150 anos vem ocorrendo um aumento significativo nas concentrações dos chamados Gases de Efeito Estufa (GEE's) na atmosfera terrestre, devido principalmente ao uso intensivo de combustíveis fósseis e ao desmatamento.

De acordo com o IPCC (2001), a concentração de dióxido de carbono na atmosfera saltou de 285 ppm para 366 ppm, no período entre 1850 e 1998, o que representou um aumento de 28% na concentração de dióxido de carbono na atmosfera. O relatório ainda estima que esses níveis deverão dobrar até 2070.

Como se pode observar, esse agravamento das mudanças climáticas está fortemente atrelado ao desenvolvimento econômico e ao consumo humano (SCARPINELLA, 2002).

Ainda segundo o autor, as principais atividades causadoras do aumento de GEE's são: a geração de energia, CFC, agricultura, desmatamento e processos industriais.

Os principais marcos históricos que envolvem as iniciativas mundiais relacionadas às mudanças climáticas são apresentados por Yu (2004) e descritos a seguir.

A primeira iniciativa, no sentido de se estudar a situação do planeta, foi a realização, em 1979, da Primeira Conferência Mundial sobre o Clima, onde foi reconhecida a gravidade do problema.

Na década seguinte, inúmeros trabalhos científicos relacionando o aumento das emissões de gases de efeito estufa por atividades antrópicas com o aquecimento global, começaram a despertar o interesse público para o problema das mudanças climáticas e suas futuras implicações no ambiente global.

Em 1989, com as pressões ambientais e o apelo da sociedade pela criação de um tratado mundial para regulamentar as questões referentes a esse tema, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a Organização Meteorológica Mundial (OMM) estabeleceram o Painel Intergovernamental em Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC*), que ficou responsável pela avaliação do conhecimento existente, até então, sobre a mudança do clima e que passou a ser a principal referência nas negociações da Convenção Quadro sobre Mudanças Climáticas. Esta avaliação resultou na elaboração do Primeiro Relatório de Avaliação sobre o aumento da temperatura no globo devido à intensificação do efeito estufa, em 1991.

Já em 1992, a Organização das Nações Unidas estabelece o Comitê Intergovernamental de Negociação para a Convenção - Quadro sobre Mudança do Clima (INC/FCCC), que mais tarde culminou na criação da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – CQNUMC (*UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change*).

No mesmo ano, ocorre no Rio de Janeiro a Conferência Mundial sobre o Meio Ambiente – a Cúpula da Terra – que na ocasião foi aberta às assinaturas de todos os chefes de estado presentes e, ao mesmo tempo, foram aprovados mais quatro importantes documentos: a Declaração do Rio sobre

Meio Ambiente, a Agenda 21, a Convenção sobre a Biodiversidade e a Declaração dos Princípios de Manejo, Conservação e Desenvolvimento Sustentável para Todos os Tipos de Florestas.

A CQNUMC entrou em vigor em 1994 e nos anos seguintes a evolução das discussões relacionadas à questão se deu por meio de reuniões denominadas Conferência das Partes (COP), realizadas anualmente, conforme relata TSUKAMOTO FILHO (2003):

***Conferência das Partes 1 – COP 1:** Realizada em 1995, em Berlim, Alemanha. Nesse evento foi elaborado o Mandato de Berlim, que pôs em marcha um processo de dois anos para a discussão de um Protocolo à Convenção que definisse novos compromissos legais, para possibilitar ações para a primeira década do século 21, tornando mais severas as obrigações dos países desenvolvidos.*

***Conferência das Partes 2 – COP 2:** Ocorreu em 1996, em Genebra, Suíça. Na ocasião foi assinada a Declaração de Genebra, contemplando o acordo para a criação de obrigações legais com alusão à redução de GEE ainda a ser implementado na COP 3.*

***Conferência das Partes 3 – COP 3:** Essa Conferência foi realizada em 1997, em Quioto, Japão, destacando-se como uma das mais importantes, uma vez que durante sua realização foi estabelecido entre as Partes um acordo onde se encontram definidas metas de redução da emissão de GEE para os países do Anexo I, além de critérios e diretrizes para a utilização dos mecanismos de mercado. Este acordo ficou conhecido como Protocolo de Quioto.*

***Conferência das Partes 4 – COP 4:** Foi realizada em Buenos Aires, Argentina, em 1998. O Protocolo conseguiu implementar metas e obteve adesão dos EUA, que deu outro rumo aos objetivos propostos. Nesse evento, foi criado o Plano de Ação Buenos Aires, com o objetivo de colocar em prática as definições do Protocolo de Quioto, o que deveria ocorrer até o ano de 2000.*

Conferência das Partes 5 – COP 5: *Em cumprimento ao Plano de Ação Buenos Aires foram realizadas reuniões técnicas e processo de consulta nessa Conferência, que ocorreu em 1999 em Bonn, Alemanha.*

Conferência das Partes 6 – COP 6: *A COP 6 foi realizada em Haia, Holanda, em 2000. Não foi possível estabelecer as regras operacionais do Protocolo de Quioto, em especial devido a divergências entre os Estados Unidos e os países europeus. Em função do impasse criado a Conferência foi suspensa.*

Conferência das Partes 6,5 – COP 6,5: *Também conhecida como COP 6 - Bis, foi realizada em julho de 2001 em Bonn, Alemanha. Esse evento foi considerado uma continuação da COP 6. O Protocolo obteve novos rumos com a retomada das negociações, resultando no “Acordo de Bonn”. Esse acordo político garantiu a sobrevivência do Protocolo de Quioto. Esta Conferência foi considerada um sucesso. O Protocolo chega mais próximo à ratificação, mesmo sem o apoio dos EUA.*

Conferência das Partes 7 – COP 7: *As partes reuniram-se em Marrakesh, Marrocos, de 29 de outubro a 9 de novembro de 2001, para transformar em decisões práticas o “Acordo de Bonn” e definir regras operacionais do Protocolo de Quioto, resultando no chamado “Acordo de Marrakesh”. Como resultados da COP 7, merece destaque a declaração que foi enviada a RIO+10, realizada em 2002, na África do Sul, onde é enfatizada a estreita relação que existe entre o desenvolvimento sustentável e mudanças climáticas; são reafirmadas como prioridades dos países em desenvolvimento a erradicação da pobreza e o desenvolvimento; e, é chamada a atenção dos países para a sinergia que existe entre as UNFCCC, Biodiversidade e Desertificação (ROCHA, 2002). Outro resultado importante foi a indicação do Conselho Executivo do MDL, do qual faz parte um brasileiro. Este Conselho estará autorizado a aprovar metodologias de “baseline”, planos de monitoramento e limites para projetos; designar entidades operacionais; e desenvolver e manter registros dos Projetos de MDL. Decidiu-se facilitar um pronto começo para o MDL antes mesmo da ratificação do Protocolo,*

permitindo as Partes da Convenção iniciar seus projetos e comercializar seus respectivos créditos no mercado, desde que estes tenham sido aprovados pelo Comitê Executivo. Foi estabelecido ainda que o Comércio de Emissões possa ter a participação dos países que ainda não ratificaram o Protocolo, iniciando uma comercialização gradativa de créditos, permitindo uma contabilização futura.

Conferência das Partes 8 – COP 8: *Foi realizada em Nova Delhi, Índia, em 2002. Não alcançou o sucesso desejado, embora tenha ocorrido acordo entre as Partes em torno da Declaração de Delhi, a qual reafirmou o desenvolvimento e a erradicação de pobreza como prioridades nos países em desenvolvimento, bem como a diferenciação das responsabilidades e prioridades de desenvolvimento nacionais e circunstâncias na implementação dos compromissos da UNFCCC. Outro fato importante foi o acordo das Partes em relação às regras e aos procedimentos do MDL, concluindo as diretrizes da revisão dos artigos 5, 7 e 8 do Protocolo de Quioto e proporcionando orientação adicional para o Fundo LDC – Least Developed Countries (recurso financeiro para as Partes não incluídas no Anexo I). Embora a Declaração de Delhi não tenha iniciado um diálogo formal sobre a ampliação dos compromissos futuros, informalmente as discussões começaram.*

Conferência das Partes 9 – COP 9: *Realizada em Milão, Itália, em dezembro de 2003. Teve a participação de mais de 5000 pessoas, representando 166 países. Esse evento foi muito importante para o avanço das discussões e dos trabalhos em torno do MDL. As Partes tomaram numerosas decisões e concluíram vários assuntos, os quais incluíram: a) as definições e modalidades de inclusão de atividades de florestamento e reflorestamento sob o MDL; b) a orientação da boa prática sobre o LULUCF; c) o Fundo Especial para mudanças climáticas (SCCF); d) o Fundo para os países em desenvolvimento (Fundo LDC).*

Nesta ocasião, é importante considerar que houve um significativo avanço com o fechamento de um “pacote de regras” que definem os

parâmetros de aceitação de projetos de florestamento e reflorestamento junto à Convenção do Clima, visando a obtenção de créditos de carbono, no escopo do MDL.

Em dezembro de 2004, ocorreu a décima e última conferência das partes (COP 10), em Buenos Aires – Argentina. Com a entrada em vigor do Protocolo de Quioto, em fevereiro de 2005, essas reuniões passaram a ser denominadas Encontros das Partes (*Meeting of the Parts – MOP*). O ponto principal de interesse do Brasil nesta reunião era a definição com relação aos Projetos Florestais de Pequena Escala. Neste sentido, foi adotado um pacote de regras que busca conduzir a redução dos custos transacionais destes projetos, podendo viabilizar sua implantação em pequenas áreas. O documento que estabelece tais regras foi agora encaminhado à Junta Executiva do MDL, que deverá criar padrões e metodologias simplificadas para serem aplicados nos projetos.

2.6.2. O Protocolo de Quioto, Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL e outros mecanismos de flexibilização.

O Protocolo de Quioto é um documento que estabelece um acordo de redução de GEE's, por parte dos países desenvolvidos, em 5,2% até 2012, em relação aos níveis observados em 1990 (SCARPINELLA, 2002). Para entrar em vigor, é necessária a assinatura de pelo menos 55 Partes da Convenção, somando no mínimo 55% das emissões totais de CO₂ em 1990.

No entanto, o estabelecimento de tais metas não agradou os governos dos países desenvolvidos, principalmente dos Estados Unidos, sob a alegação de que o seu cumprimento representaria um grande sacrifício de suas economias. De fato, o prazo estabelecido no acordo exige uma mudança radical em toda a infra-estrutura produtiva desses países (baseada fundamentalmente na utilização de combustíveis fósseis), o que na prática poderia acarretar grandes prejuízos a essas economias.

Sendo assim, foram criados três mecanismos de flexibilização, que têm por objetivo reduzir os custos da mitigação do efeito estufa por parte dos países desenvolvidos (SCARPINELLA, 2002; YU, 2004):

1. **Comércio de Emissões:** As Partes incluídas no Anexo B do Protocolo de Quioto, correspondente ao Anexo I da Convenção, podem participar do comércio de emissões com o objetivo de cumprir os compromissos assumidos no Artigo 3 do Protocolo de Quioto. Tal comércio deve ser suplementar às ações domésticas com vistas a atender aos compromissos quantificados de limitação e redução de emissões, assumidos sob esse artigo;
2. **Implementação Conjunta:** A Implementação Conjunta (ou Joint Implementation) corresponde ao Artigo 6 do Protocolo de Quioto. Neste mecanismo, segundo o Protocolo, “qualquer Parte incluída no Anexo I pode transferir para ou adquirir de qualquer outra dessas Partes, unidades de redução de emissões resultantes de projetos visando à redução das emissões antrópicas por fontes ou o aumento das remoções antrópicas por sumidouros de GEE em qualquer setor da economia”;
3. **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL:** O MDL teve origem na proposta apresentada pelo Brasil em maio de 1997 ao Secretariado da Convenção em Bonn, Alemanha, com o objetivo de estabelecer elementos para a definição do Protocolo à Convenção. A proposta brasileira consistia na criação de um Fundo de Desenvolvimento Limpo que seria formado por meio de contribuições dos países desenvolvidos que não cumprissem suas metas de redução. Tal fundo seria utilizado para desenvolver projetos em países em desenvolvimento. Em Quioto a idéia do fundo foi transformada, estabelecendo-se o MDL, que consiste na possibilidade de que um país que tenha compromisso de redução (Anexo I) financie projetos nos países em desenvolvimento como forma de cumprir parte de seus

compromissos. A idéia consiste em que um projeto gere certificados de reduções de emissões, devendo estes implicar reduções de emissões adicionais àquelas que ocorreriam na ausência do projeto, garantindo assim benefícios reais, mensuráveis e de longo prazo para a mitigação da mudança do clima (PACIORNICK e MACHADO FILHO, 2000).

A partir do estabelecimento desses mecanismos, o foco da discussão tem migrado para o seqüestro de C florestal como uma das alternativas de compensação das emissões dos países industrializados. De acordo com REZENDE et al. (2001), estes mecanismos podem ser vistos como mecanismos financeiros que visam transformar os GEE's em *commodities* com valores monetários, os quais irão incentivar investimentos em atividades mitigadoras dos efeitos da mudança no clima.

De acordo com o Fundo Brasileiro de Desenvolvimento Sustentável (FBDS), são aplicações potenciais dos projetos para o MDL: eficiência energética (eletricidade e combustíveis fósseis na indústria, no transporte e em usos públicos); planejamento urbano para a redução de emissão de combustíveis; fontes alternativas de energia: co-geração, gás natural, geração de energia de pequeno porte (pequenas e microcentrais hidroelétricas), energia eólica, solar térmica, fotovoltaica e biomassa; manejo sustentável de resíduos industriais urbanos e rurais; reflorestamento; recursos hídricos, matas ciliares e compensação ambiental (TSUKAMOTO FILHO, 2003).

2.6.3. Perspectivas Futuras no Campo da Silvicultura

A atividade de silvicultura apresenta grande potencial para seqüestrar carbono da atmosfera, por meio da alocação de carbono na biomassa produzida com o crescimento da floresta.

O Quadro 5 apresenta estimativas de estoque de carbono em um reflorestamento energético com eucalipto.

Quadro 5 – Sequestro de carbono em um reflorestamento energético de eucalipto (em t de CO₂)

Ano	Lote 1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Lote 5	Lote 6	Lote 7	Total
0	-	-	-	-	-	-	-	-
1	27.948	-	-	-	-	-	-	27.948
2	55.896	27.948		-	-	-	-	83.844
3	83.845	55.896	27.948	-	-	-	-	167.689
4	111.793	83.845	55.896	27.948	-	-	-	279.482
5	139.741	111.793	83.845	55.896	27.948	-	-	419.223
6	167.689	139.741	111.793	83.845	55.896	27.948	-	586.912
7	195.638	167.689	139.741	111.793	83.845	55.896	27.948	782.550
8	19.349	195.638	167.689	139.741	111.793	83.845	55.896	773.951
9	38.698	19.349	195.638	167.689	139.741	111.793	83.845	756.753
10	58.046	38.698	19.349	195.638	167.689	139.741	111.793	730.954
11	77.395	58.046	38.698	19.349	195.638	167.689	139.741	696.556
12	96.744	77.395	58.046	38.698	19.349	195.638	167.689	653.559
13	116.093	96.744	77.395	58.046	38.698	19.349	195.638	601.963
14	135.441	116.093	96.744	77.395	58.046	38.698	19.349	541.766
15	16.668	135.441	116.093	96.744	77.395	58.046	38.698	539.085
16	33.336	16.668	135.441	116.093	96.744	77.395	58.046	533.723
17	50.003	33.336	16.668	135.441	116.093	96.744	77.395	525.680
18	66.671	50.003	33.336	16.668	135.441	116.093	96.744	514.956
19	83.339	66.671	50.003	33.336	16.668	135.441	116.093	501.551
20	100.007	83.339	66.671	50.003	33.336	16.668	135.441	485.465
21	116.674	100.007	83.339	66.671	50.003	33.336	16.668	466.698

Fonte: CENTRO CLIMA (2003).

Com os avanços conquistados nas últimas Conferências das Partes (COP 9 e COP 10), abriu-se um grande espaço para a silvicultura, em pequena escala, como atividade elegível no MDL.

No Brasil já existem alguns projetos em andamento, dentre os quais vale destacar o da empresa Plantar S.A., em Curvelo – MG. Trata-se de um projeto de substituição energética, combinado com sequestro de carbono (YU, 2004). A expectativa é, após o ciclo de 21 anos, a comercialização de 12 milhões de toneladas de CO₂ com países desenvolvidos.

TSUKAMOTO FILHO (2003) cita ainda outros projetos estruturados para estudar a fixação de C em plantações florestais. Um exemplo é o projeto "Estoque de C e de nutrientes e crescimento de florestas submetidas à exploração convencional e de baixo impacto e em assentamentos, na região noroeste do Estado de Mato Grosso", executado pela *Cornell University* (USA) e pela Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT. Esse projeto foi aprovado pela NASA e faz parte do programa LBA-ECO II. Outro exemplo é o projeto de “Determinação de biomassa e conteúdo de C em seringueiras de três idades”, executado pelo Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), em parceria com outras instituições internacionais de pesquisa e ensino. Esse projeto compara a fixação de C pela seringueira e pela pastagem. A escolha pela seringueira decorreu do grande volume de informações que o IAPAR dispõe sobre a cultura. Por sua vez, a pastagem foi selecionada por ser a linha de base mais utilizada na área florestal em projetos de MDL.

Mais especificamente com relação à geração elétrica, destaca-se um estudo realizado pelo CENTRO CLIMA (2003), sobre a viabilidade de utilização de biomassa florestal para geração elétrica, em uma usina termelétrica, acoplada a uma Pequena Central Hidrelétrica no estado de Rondônia. Neste estudo ficou comprovada a viabilidade de adoção do MDL por meio da geração de eletricidade a partir de biomassa florestal.

BALTEIRO & ROMERO (2003) aplicaram o conceito de captura de carbono como instrumento para o manejo florestal. Segundo os autores, a consideração do carbono seqüestrado no sistema de manejo da floresta, gera mudanças significativas no cálculo da idade técnica e econômica de rotação.

NISHI et al. (2005) aplicaram o mesmo conceito para o estudo da viabilidade econômica de três projetos florestais (eucalipto, pinus e seringueira). Neste trabalho os autores concluíram que a comercialização de CRE's proporcionou aumento na viabilidade econômica dos projetos.

Dessa forma, pode-se depreender que existe um grande nicho, ainda não explorado, para o desenvolvimento da atividade de silvicultura.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha (Figura 4) abrange grande parte do nordeste do Estado de Minas Gerais e pequeno setor do sudeste da Bahia. Está compreendida entre os paralelos 16° e 18°S e os meridianos 39° e 44°W, totalizando uma área de 70.315 km². Desta área, 66.319 km² situam-se em Minas Gerais, enquanto 3.996 km² pertencem à Bahia. A bacia abarca 11,3% da área de Minas Gerais e apenas 0,8% da Bahia, equivalendo a 6,1% da área combinada dos dois estados (IBGE, 1997).



Figura 4 – Região de localização do experimento.

A bacia do rio Jequitinhonha encerra características climáticas que variam do clima semi-árido a úmido, com totais pluviométricos anuais compreendidos entre 600 e mais de 1.600 mm, irregularmente distribuídos ao longo do ano. As chuvas concentram-se basicamente em seis meses do ano (outubro a março), sendo o trimestre dezembro/fevereiro responsável por mais de 50% da precipitação total. O fenômeno conhecido como "veranico" traz conseqüências calamitosas para a agricultura e a vida das comunidades da área. O fato é mais grave por ocorrer em pleno período das chuvas, sendo de difícil previsão, geralmente coincidindo com um período de elevadas temperaturas e, conseqüentemente, condicionando altas taxas de evapotranspiração potencial.

A temperatura média anual acusa pouca variação, situando-se na faixa de 21 a 24°C. O mês mais quente é fevereiro e o mais frio é junho. As zonas serranas, atenuadas pelo efeito da altitude, apresentam temperaturas mais amenas, contrapondo-se às áreas deprimidas (vales), onde os índices térmicos são mais elevados.

A evapotranspiração potencial situa-se na faixa dos 800 a 1.200 mm. A umidade relativa do ar varia entre 60 e 80% de média anual, sendo mais baixa nas áreas mais deprimidas e mais altas nos extremos orientais e ocidentais da bacia.

Em função do binômio evapotranspiração potencial alta e pluviometria baixa, a bacia apresenta, como um todo, níveis de deficiência hídrica elevados, situados na faixa de 0 a 600 mm anuais, perdurando por períodos que vão de 1 a 12 meses. Os índices mais baixos distribuem-se a noroeste e na baixa bacia, com valores entre 0 e 200 mm; nos setores mais meridionais e extremo setentrional, registram-se valores medianos; na média bacia e setores mais deprimidos registram-se valores mais elevados, oscilando entre 300 a 600 mm na região de Araçuaí/Itinga, Minas Gerais.

O experimento foi implantado em dezembro de 2002, na Fazenda Campo Branco de propriedade da ACESITA Energética, no município de Itamarandiba, Minas Gerais. Segundo GOLFARI (1975) Itamarandiba está

inserida na região 7, localizada no setor a Oeste e norte da Serra do Espinhaço, com altitude variando entre 600 e 1000 m. O clima é classificado como subtropical úmido subúmido. A temperatura média anual varia de 19° a 20°C, sendo que a do mês mais frio fica entre 15,5 °C e 18,5 °C e a do mês mais quente entre 21 °C e 24 °C. Não ocorrem geadas. A precipitação média varia de 1150 a 1450 mm com um período de 4 a 6 meses de seca apresentando déficit hídrico de 60 a 120 mm anuais. A evapotranspiração potencial varia entre 900 e 1100 mm.

Os solos predominantes na região são luvisolos férricos ferralsolos ácidos e arenosolos e a tipologia florestal predominante é o cerrado com seus diferentes tipos, desde os cerradões a campos, com pequenas ocorrências de matas semicaducifolias e caducifólias, especialmente nos afloramentos com calcário.

A principal característica favorável ao reflorestamento é a topografia suavemente ondulada a ondulada, que possibilita a mecanização. Entretanto, a fertilização mineral é um fator imprescindível, uma vez que os solos são bastante pobres.

3.2. INSTALAÇÃO E MEDIÇÃO DO EXPERIMENTO

Foi utilizado o delineamento experimental em blocos ao acaso, no esquema de parcelas subdivididas, onde a parcela foi representada pelo espaçamento e a subparcela pela idade de aferição dos dados.

Cada parcela experimental foi constituída de 6 linhas de plantio e em cada linha foram plantadas 28 árvores, perfazendo um total de 168 árvores por tratamento (Figura 5).

O material genético utilizado foi um clone de um híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis*.

Foram estabelecidos 3 blocos, cada qual contemplando 5 tratamentos (espaçamentos). Foi mantido o espaçamento de 3 metros entre linhas e entre as plantas os espaçamentos variaram de 0,5 a 3 metros. Assim, os espaçamentos

utilizados foram: 3,0 m x 0,5 m; 3,0 m x 1,0 m; 3,0 m x 1,5 m; 3,0 m x 2,0 m e 3,0 m x 3,0 m.

A partir do 6º mês até o 24º mês, foram realizadas coletas semestrais dos dados de campo, sendo mensurados o diâmetro a altura do peito (DAP) e altura total das árvores.



Figura 5 – Vista geral do local do experimento.

3.3. COLETA DE DADOS

3.3.1. Dendrometria

Foram coletados dados de altura total e DAP de 8 árvores selecionadas ao acaso, em cada tratamento.

Com a finalidade de determinar o volume sólido (m³) e a densidade, aos 24 meses de idade, foi abatida e cubada a árvore média em cada tratamento. Para isto foi utilizado o método de Smalian, com seções a cada 1,5 m.

3.3.2. Densidade da Madeira

Para a determinação da densidade da madeira, foram retirados discos (de aproximadamente 5 cm de espessura) a cada 1,5 metros, de cada árvore abatida (na cubagem). A partir desses discos foram retiradas amostras para a determinação em laboratório pelo método de imersão.

A densidade básica média de cada árvore foi calculada como sendo a média ponderada da densidade de cada disco, utilizando como fator de ponderação o volume da tora segundo a fórmula de Smalian.

Para o cálculo da densidade básica foi utilizada a expressão:

$$DB = \frac{M_s}{V_v}$$

Onde:

DB = Densidade básica (g/cm³);

V_v = volume dos corpos de prova verdes (cm³);

M_s = massa dos corpos de prova absolutamente secos (g).

3.3.3. Poder Calorífico da Madeira

O Poder Calorífico Superior (PCS) da madeira foi determinado a partir do método da bomba calorimétrica. A fórmula final, para o cálculo do poder calorífico, utilizada foi:

$$P_{CS} = \frac{C \cdot \Delta t - (c1 + c2)}{m}$$

Onde:

P_{CS} = poder calorífico superior, em cal/g ou kcal/kg;

C = constante do calorímetro = 2461,98 (obtido através de inúmeros testes para calibração);

Δt = Diferença de leituras dos termômetros (antes e após queima - Temperatura final - Temperatura inicial);

$c1$ = Correção em calorias para cada centímetro de fio queimado = 2,3 cal/cm (dados médios de laboratório indicam que geralmente todo o fio é queimado gerando cerca de 20 calorias);

$c2$ = Correção para calorias para titulação em ácido nítrico, em ml (dados médios de laboratório indicam 3 ml para carvão e 2 ml para madeira);

m = massa inicial em gramas.

3.3.4. Balanço de Nutrientes

- **Biomassa e conteúdo de nutrientes**

Primeiramente foi realizada a determinação da biomassa de copa existente por unidade de área. Para isto, foi retirada toda a copa (galhos e folhas) das árvores abatidas e o material foi levado para estufa, devidamente acondicionado, para a determinação do peso seco.

Foram retiradas amostras da copa (galhos + folhas), da madeira e da casca para determinação da quantidade de nutrientes alocados em cada compartimento da árvore.

Com isso, foi possível determinar o balanço nutricional considerando três situações distintas: i) a utilização da árvore inteira (copa + lenho); ii) a utilização do lenho (madeira + casca) e iii) a utilização da madeira sem a casca.

Os cálculos de reposição nutricional foram feitos com base na eficiência de aproveitamento de nutrientes. Sendo assim, os valores correspondentes às quantidades removidas pela exploração foram

multiplicados pelo valor complementar à porcentagem de eficiência de aproveitamento para gerar o valor de necessidade de reposição (p.ex.: eficiência de aproveitamento de $P = 20\%$, então multiplica-se o valor de P removido por 0,8 e adiciona-se o valor correspondente à quantidade removida). Foram utilizados valores médios de eficiência de aproveitamento nutricional ($N = 50\%$; $P = 20\%$; $K = 70\%$; Ca e $Mg = 60\%$).

- **Fertilidade do Solo**

Foram retiradas três amostras compostas, de 0-20 cm e de 20-40 cm de profundidade, em cada tratamento. As amostras foram retiradas nas entrelinhas, com auxílio de um trado, e foi adotado um caminhar diagonal às linhas de plantio.

3.4. TRATAMENTO DOS DADOS

3.4.1. Determinação do Incremento Corrente Mensal e Incremento Médio Mensal

De posse dos dados de inventário, primeiramente foram determinados o Incremento Corrente Periódico – ICP e o Incremento Médio Mensal – IMM.

$$ICP = \frac{DAP(i_2) - DAP(i_1)}{P}$$
$$IMM = \frac{DAP(i_2)}{I}$$

Onde:

DAP = diâmetro a altura do peito (em cm);

i_1 = idade no início do período (em meses);

i_2 = idade do povoamento no final do período (em meses);

P = período entre uma coleta de dados e outro (em meses);

I = idade do povoamento (em meses).

3.4.2. Estimativa da Área Basal, Volume e Biomassa por hectare.

A área basal/ha foi calculada a partir dos dados de DAP , por meio da seguinte expressão:

$$B = \frac{\pi(DAP)^2}{4}$$

Onde:

DAP = diâmetro a altura do peito (em cm);

B = área basal (em ha).

O volume individual (V) das árvores foi calculado a partir dos dados da cubagem, considerando os diâmetros com e sem casca, por meio da fórmula de Smalian:

$$V = \frac{\pi}{80.000} (D_1^2 + D_2^2) L$$

Onde:

D_1 = diâmetro na base do tronco, em cm;

D_2 = diâmetro a 50% do comprimento do tronco, em cm;

L = comprimento do tronco, em m.

A biomassa de madeira/ha foi determinada multiplicando-se o valor do volume (em $m^3 \cdot ha^{-1}$) pela densidade da madeira.

Conforme apresentado por TSUKAMOTO FILHO (2003), o percentual de carbono fixado na madeira é de 50% do peso da biomassa seca. Dessa forma adotou-se um fator de 0,5 para o cálculo da quantidade de Carbono (C) na madeira.

3.4.3. Análise estatística

Foi realizada uma análise de variância do modelo em parcelas subdivididas, para verificar as diferenças entre os valores de área basal entre espaçamentos.

O modelo citado a seguir foi ajustado para cada espaçamento.

$$\ln B = \beta_0 + \beta_1 * I$$

Onde:

B = área basal;

I = idade (em meses).

3.4.4. Quantidade de energia por hectare e área necessária em função da potência instalada (MW)

Para o cálculo da quantidade de energia por hectare, expressa em kcal.ha^{-1} , multiplicou-se o peso de matéria seca pelo poder calorífico da madeira, em cada tratamento.

O cálculo considerou a utilização da madeira com e sem casca. Para tanto, multiplicou-se o peso seco da madeira pela porcentagem de madeira (em cada espaçamento) e posteriormente pelo PCS.

A partir dos resultados de volume e biomassa, bem como de poder calorífico da madeira, foi calculada a área necessária para abastecer uma unidade de geração (por MW gerado).

Na simulação, foram considerados três cenários diferentes: uma planta de 1MW, 5MW e 10MW.

Dessa maneira, foi considerado um modelo de cálculo proposto por CARVALHO (s.d):

- Fator de carga de 0,60;
- Fator de disponibilidade de 0,97.

A produção de energia dessa central, em 1 ano:

$$\text{Potência (em KW)} \times 24 \text{ horas} \times 365 \text{ dias} \times 0,97 \times 0,60 = X \text{ kWh.}$$

Considerando uma eficiência termodinâmica da ordem de 33%, calcula-se o consumo de energia térmica:

$$3 \times X \text{ kWh} = Y \text{ kWh térmicos.}$$

Para gerar esta energia, calcula-se o consumo de lenha (kg):

$$Y \text{ kWh} \times 860 \text{ kcal/kWh/PCS kcal/kg} = X \text{ kg de lenha.}$$

Admitindo uma eficiência de 80% na conversão árvore => lenha => calor, serão necessários $X \text{ kg de lenha} / 0,8 = Y \text{ toneladas (t) de lenha.}$

Por fim, a área necessária para atender à demanda de lenha, em função da potência instalada, foi calculada dividindo-se o consumo de lenha pela produção (em t/ha).

3.4.5. Análise Econômica

Para esta análise foram considerados (Quadro 6):

- a) Custos de implantação da planta: U\$ 1.200,00/MW⁷
- b) Custos de implantação do povoamento: elaboração do projeto, construção de estradas e aceiros, limpezas da área, preparação do solo (subsolagem), combate a formigas, alinhamento e balizamento, mistura e distribuição de corretivos, fertilização, reforma de aceiros, plantio e replantio de mudas e irrigação;
- c) Custos de manutenção do povoamento: capinas manuais, combate a formigas e conservação de estradas e aceiros;
- d) Custos de colheita e transporte;
- e) Taxa de desconto de 8%, 10% e 12%.

⁷ Considerando U\$ 1,00 = R\$ 2,37

Quadro 6 – Custos de implantação em diferentes espaçamentos

Especificação	Tratamento				
	3,0x0,5	3,0x1,0	3,0x1,5	3,0x2,0	3,0x3,0
	R\$/ha				
Implantação (Ano 0)					
<i>Infra-estrutura</i>	263,40	263,40	263,40	263,40	263,40
<i>Mecanizado</i>					
- Aração	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
- Gradagem	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
- Transporte de mudas	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
<i>Manual</i>					
- Combate à formiga -1	18,90	18,90	18,90	18,90	18,90
- Combate à formiga -2	3,78	3,78	3,78	3,78	3,78
- Combate à formiga -3	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37
- Alinhamento e balizamento	4,49	4,49	4,49	4,49	4,49
- Corretivo	9,32	9,32	9,32	9,32	9,32
- Adubação	20,16	20,16	20,16	20,16	20,16
- Coveamento e plantio	141,61	141,61	121,38	121,38	121,38
- Capina	101,15	101,15	101,15	101,15	101,15
<i>Insumos</i>					
- Formicida (Combate 1)	31,20	31,20	31,20	31,20	31,20
- Formicida (Combate 2)	5,20	5,20	5,20	5,20	5,20
- Formicida (Combate 3)	5,20	5,20	5,20	5,20	5,20
- Calcário	210,00	210,00	210,00	210,00	210,00
- Adubo NPK (0,150 kg/planta)	590,00	295,00	196,66	147,50	98,53
- Mudas (+ 10% replantio)	733,33	366,70	244,40	183,40	122,20
<i>Custo da terra</i>	120,00	120,00	120,00	120,00	120,00
SUBTOTAL	2.351,61	1.689,98	1.449,11	1.338,95	1.228,78
<i>Primeira manutenção (ano 1)</i>	147,26	147,26	147,26	147,26	147,26
<i>Colheita*</i>	781,51	651,94	520,48	469,85	362,28

* considerando o custo R\$ 7,91/m³cc

Tendo em vista que a análise considerou a comparação entre três plantas com diferentes potências instaladas (1MW, 5MW e 10MW), os custos de implantação foram multiplicados pela área necessária (para cada espaçamento) para atender à demanda de cada planta.

Com relação às receitas, foi considerado o preço de venda da energia de biomassa de R\$ 57,35/MW, conforme apresentado por LIMA et al. (s.d.).

Foram inseridas na análise as receitas obtidas com a venda de créditos de carbono (U\$ 5,63/t⁸), considerando a hipótese de inclusão do projeto no MDL.

⁸ Considerando U\$ 1,0 = R\$ 2,37

A análise econômica considerou a utilização dos seguintes critérios (SILVA et al., 2002):

- Valor Presente Líquido (VPL): diferença entre o valor presente das receitas subtraído o valor presente dos custos. Se o VPL é maior do que zero, o projeto é considerado viável. O projeto que apresenta maior VPL é considerado o mais atraente. É importante ressaltar que, para utilização deste método, faz-se necessária a definição de uma taxa de desconto. O cálculo do VPL se dá segundo a equação a seguir:

$$VPL = \left[\sum_{j=0}^n R_j (1+i)^{-j} \right] - \left[\sum_{j=0}^n C_j (1+i)^{-j} \right]$$

Onde:

R_j = receita líquida no final do ano ou do período j considerado;

C_j = custo no final do ano ou do período j considerado;

j = período (meses);

i = taxa de desconto anual;

n = duração do projeto, em anos, ou em número de períodos de tempo.

- Taxa Interna de Retorno (TIR): é a taxa de desconto que iguala o valor presente das receitas ao valor presente dos custos, ou seja, iguala o VPL a zero. Também pode ser entendida como a taxa percentual de retorno do capital investido. Neste caso não se faz necessária a definição de uma taxa de desconto. O cálculo é feito a partir da equação:

$$\sum_{j=0}^n R_j (1+i)^{-j} = \sum_{j=0}^n C_j (1+i)^{-j}$$

Os termos são os mesmos definidos para a equação anterior.

- Benefício Periódico Equivalente (BPE): este critério transforma o valor atual do projeto, ou o seu VPL em fluxo de receitas ou custos periódicos e contínuos, equivalentes ao custo atual.

$$B(C)PE = \frac{VPL[(1+i)^t - 1](1+i)^{nt}}{(1+i)^{nt} - 1}$$

Onde:

n = duração do projeto (meses);

t = número de períodos de capitalização;

- Razão Benefício/Custo (B/C): consiste na razão entre o valor atual das receitas e o valor atual dos custos. O projeto é viável economicamente quando a razão B/C é maior do que um. O cálculo é feito a partir da equação:

$$R_i = \frac{VB_{(i)}}{VC_{(i)}}$$

Onde:

R_i = razão benefício/custo à taxa de desconto i ;

$VB_{(i)}$ = valor presente à taxa i da seqüência de benefícios;

$VC_{(i)}$ = valor presente à taxa i da sucessão de custos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO

Tendo em vista que o experimento foi acompanhado até 2 anos (24 meses), foi feita uma avaliação preliminar do crescimento em diâmetro (Diâmetro a Altura do Peito - DAP) e área basal (B). Os tratamentos com menor densidade de plantio apresentam os maiores valores de DAP. Com isso, nota-se que o incremento médio mensal apresenta uma relação direta com o aumento do espaçamento de plantio (Figura 6).

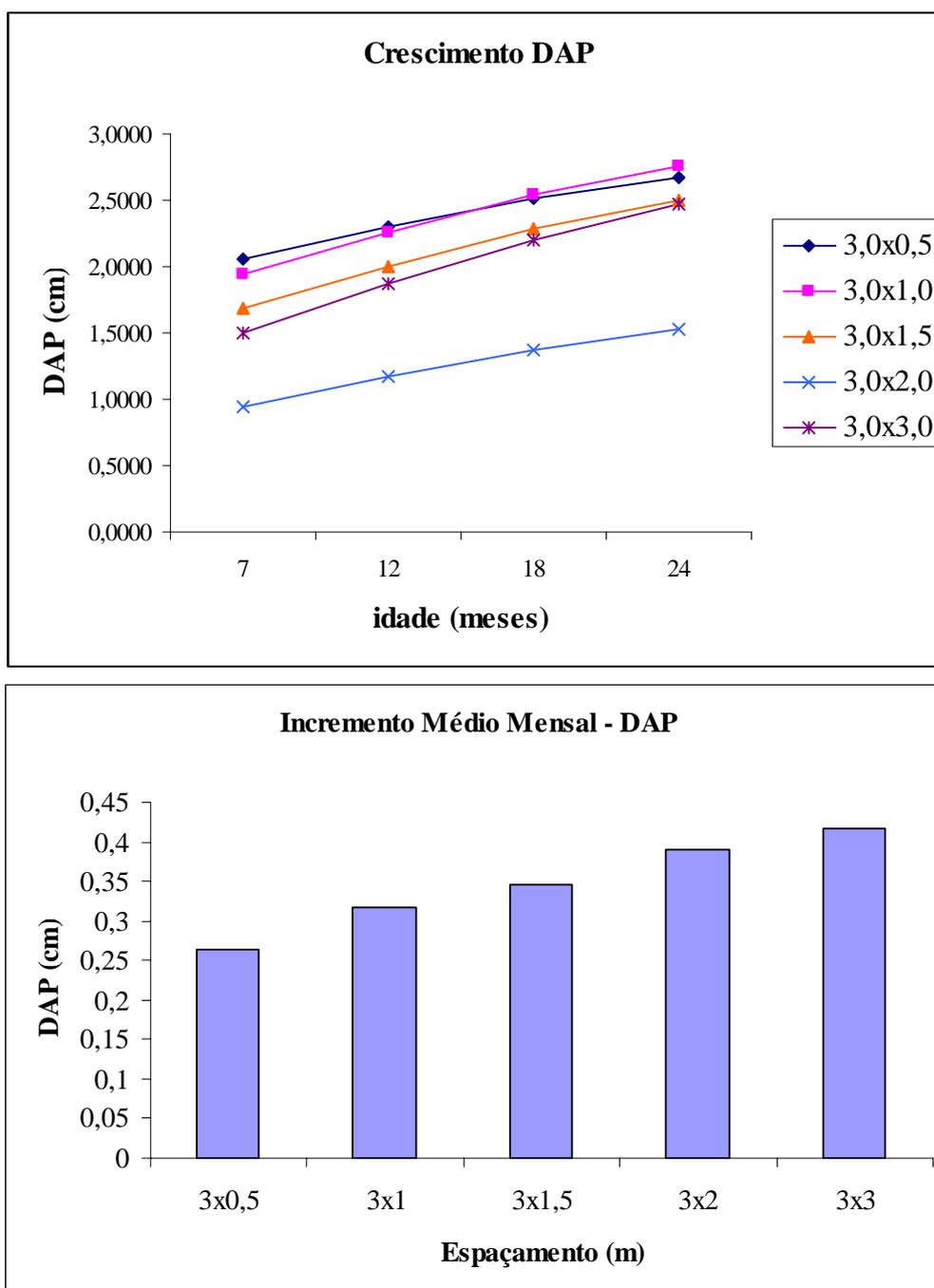


Figura 6 – Crescimento do DAP em diferentes espaçamentos.

Por outro lado, a área basal apresentou valores decrescentes com o aumento do espaçamento entre plantas, o que já era esperado (Figura 7).

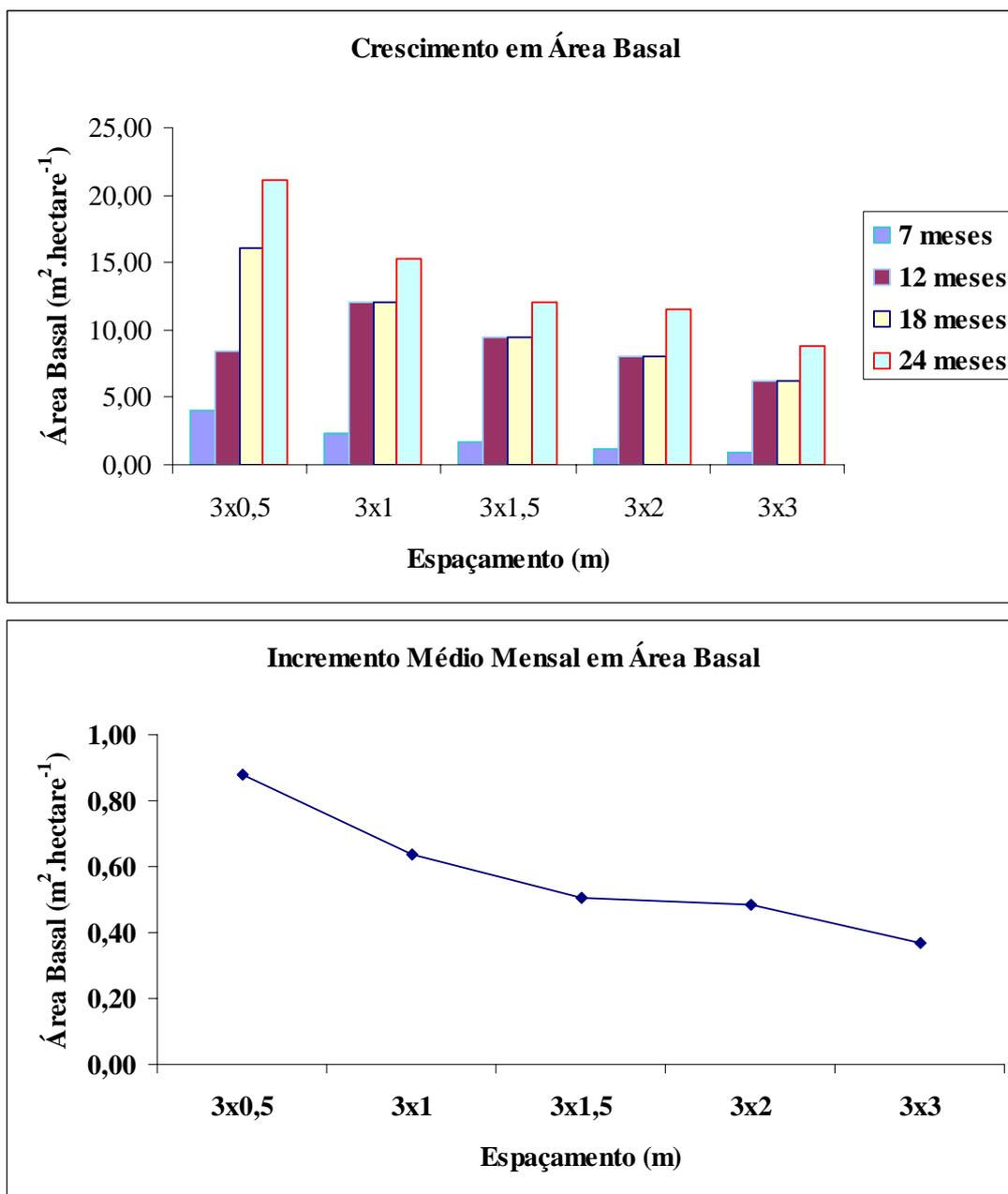


Figura 7 – Crescimento em área basal média/ha em diferentes espaçamentos e idades.

Pode-se observar, na Figura 8, a tendência de crescimento em área basal, nos diferentes espaçamentos e idades. A curva de crescimento mais acentuada é observada no espaçamento 3,0x0,5 m e a curva menos acentuada no espaçamento 3,0x3,0 m. Esta tendência se justifica em função da maior competição entre plantas nos espaçamentos mais reduzidos, o que proporciona maior incremento corrente anual.

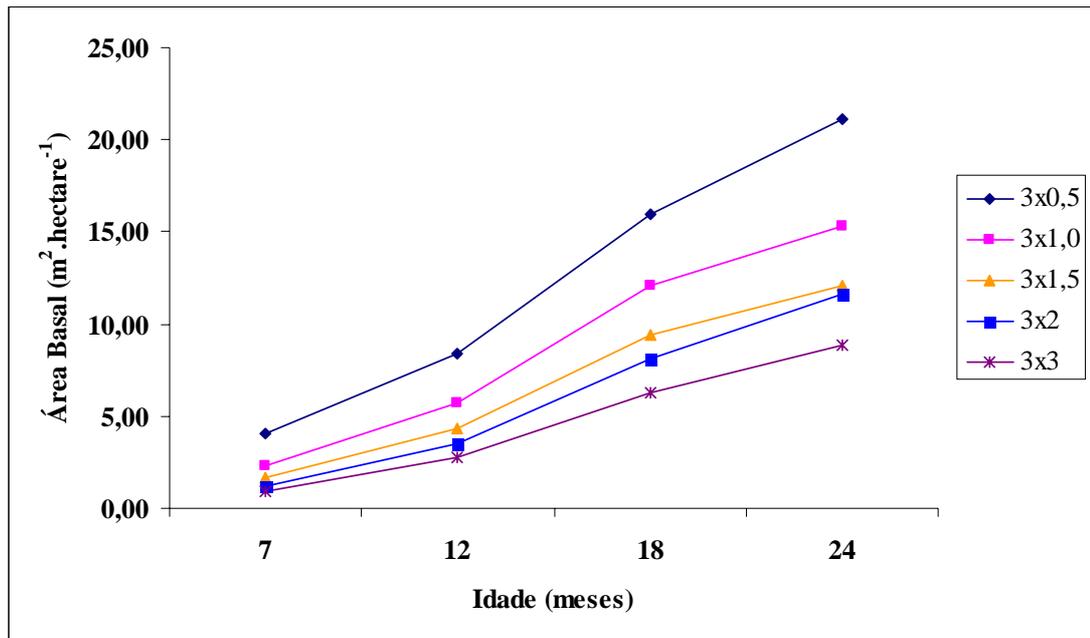


Figura 8 – Ajuste de equações de área basal média/ha nos diferentes espaçamentos em função da idade.

As equações ajustadas para cada espaçamento são apresentadas a seguir:

$$3,0x0,5: LnB = 0,84038436 + 0,098014548*I (r^2 = 0,95211)$$

$$3,0x1,0: LnB = 0,239865947 + 0,111966008*I (r^2 = 0,9296)$$

$$3,0x1,5: LnB = -0,09971175 + 0,116633732*I (r^2 = 0,9260)$$

$$3,0x2,0: LnB = -0,56133641 + 0,134291436*I (r^2 = 0,9379)$$

$$3,0x3,0: LnB = -0,72614129 + 0,129698298*I (r^2 = 0,9383)$$

Com relação ao volume e peso da biomassa seca, foi observada uma relação direta com a densidade de plantio, ou seja, nos tratamentos com maiores densidades de plantio foram observados os maiores volumes de madeira e peso de biomassa seca (Figura 9 e Figura 10).

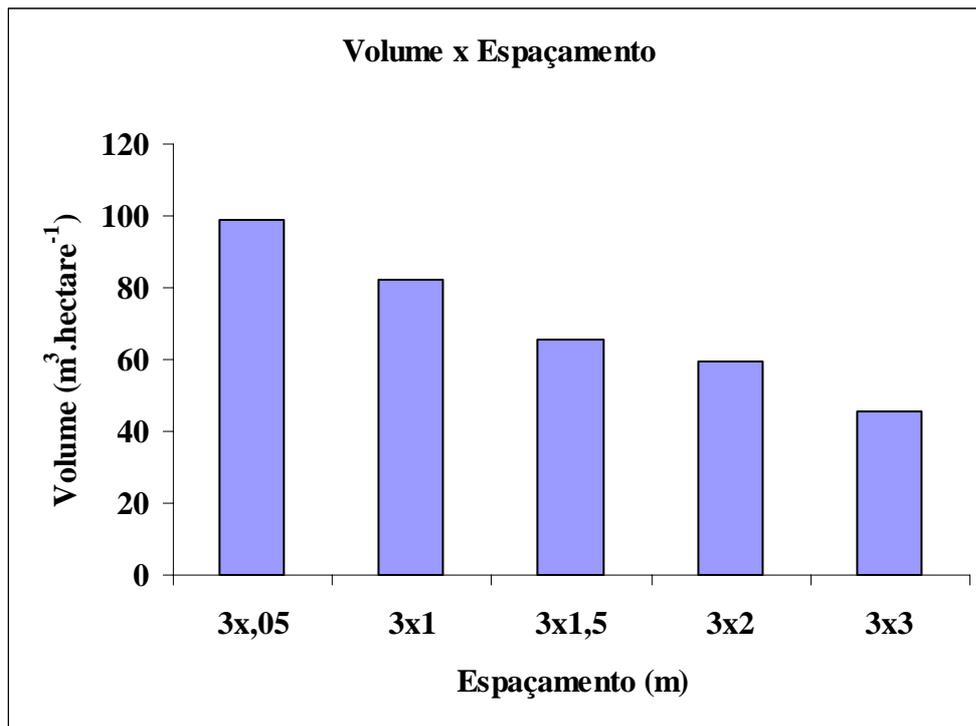


Figura 9 – Volume (em m³.ha⁻¹) em diferentes espaçamentos na idade de 24 meses.

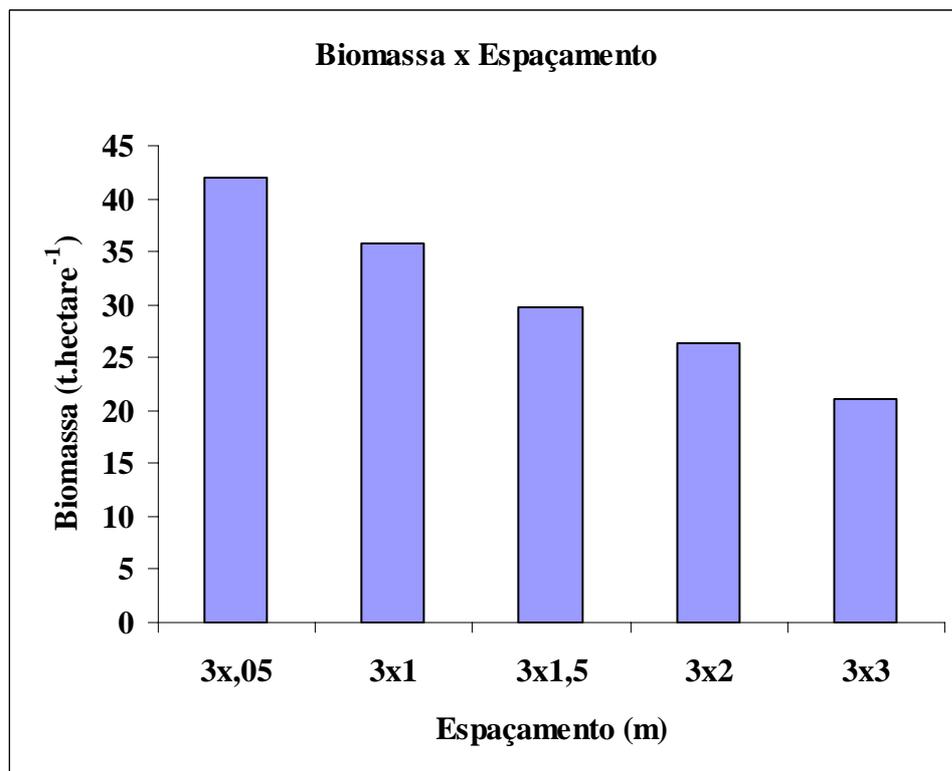


Figura 10 – Peso de Biomassa seca (em t.ha⁻¹) em diferentes espaçamentos, na idade de 24 meses.

Os resultados apresentados acima são corroborados por uma série de autores que têm desenvolvido vários trabalhos a respeito da influência da densidade de plantio no crescimento e produção de plantações florestais. Dentre estes trabalhos vale ressaltar os desenvolvidos por COELHO et al. (1970), COUTO (1977), CAMPOS et al. (1990), KLEIN et al. (1992), GOMES (1994), SOUZA (1995), LEITE et al. (1997), GOMES et al. (1997), ASSIS et al. (1999), LADEIRA (1999), SCHNEIDER et al. (2000), SCHNEIDER et al. (2001), LELES et al. (2001).

De modo geral, em todos esses estudos pode-se observar uma tendência clara de aumento do DAP com o aumento da área útil por planta, ou seja, do espaçamento entre plantas. Em contrapartida os parâmetros área basal e volume total apresentam tendências decrescentes com o aumento do espaçamento entre plantas.

Por outro lado, vale ressaltar que com o tempo, a quantidade de madeira estocada em um determinado sítio tende a se igualar em diferentes espaçamentos, sendo que nos plantios mais densos ocorre a estagnação do crescimento em idades mais jovens, e nos plantios com espaçamentos mais amplos a estagnação do crescimento ocorre em idades mais avançadas. Isto pode ser muito importante do ponto de vista econômico, visto que, pode-se economizar no custo de implantação, na colheita e transporte de madeira nos espaçamentos maiores (MELLO et al., 1971; RESENDE et al., 1983; KLEIN & FREITAS, 1988; MORA, 1986; GORGULHO et al., 1991; LISITA et al., 1997, FERREIRA et al., 1997).

4.2. DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE DE ENERGIA POR HECTARE

Para a determinação da quantidade de energia por hectare, fez-se necessário, primeiramente, a determinação do poder calorífico da madeira nos diversos tratamentos (Quadro 7).

Como se pode observar pelos resultados apresentados, o poder calorífico da madeira não apresentou nenhuma tendência lógica com relação à densidade de plantio.

Quadro 7 – PCS da madeira e da casca, nos diferentes espaçamentos na idade de 24 meses

Tratamento (m)	Bloco	PCS (Kcal/Kg)	
		Casca	Madeira
3,0x0,5	R1	3914	4466
	R2	3988	4653
	R3	4012	4362
3,0x1,0	R1	4183	4515
	R2	4093	4512
	R3	4124	4327
3,0x1,5	R1	3961	4197
	R2	3959	4197
	R3	3995	4203
3,0x2,0	R1	3747	4742
	R2	3772	4739
	R3	3801	4436
3,0x3,0	R1	4122	4362
	R2	4097	4420
	R3	3981	4418

O Poder Calorífico Superior da madeira estocada por hectare foi calculado a partir desses dados, sendo os resultados apresentados no Quadro 8.

Quadro 8 - Poder Calorífico Superior (1.000 kcal.ha⁻¹)

Blocos	Tratamento (m)				
	3,0x0,5	3,0x1,0	3,0x1,5	3,0x2,0	3,0x3,0
R1	156.947,65	163.604,70	128.606,70	139.558,23	105.011,82
R2	222.764,56	174.943,61	118.234,27	132.599,28	89.948,30
R3	187.555,50	138.953,96	128.784,43	95.674,86	83.280,97
Média	189.089,23	159.167,42	125.208,46	122.610,90	92.747,024

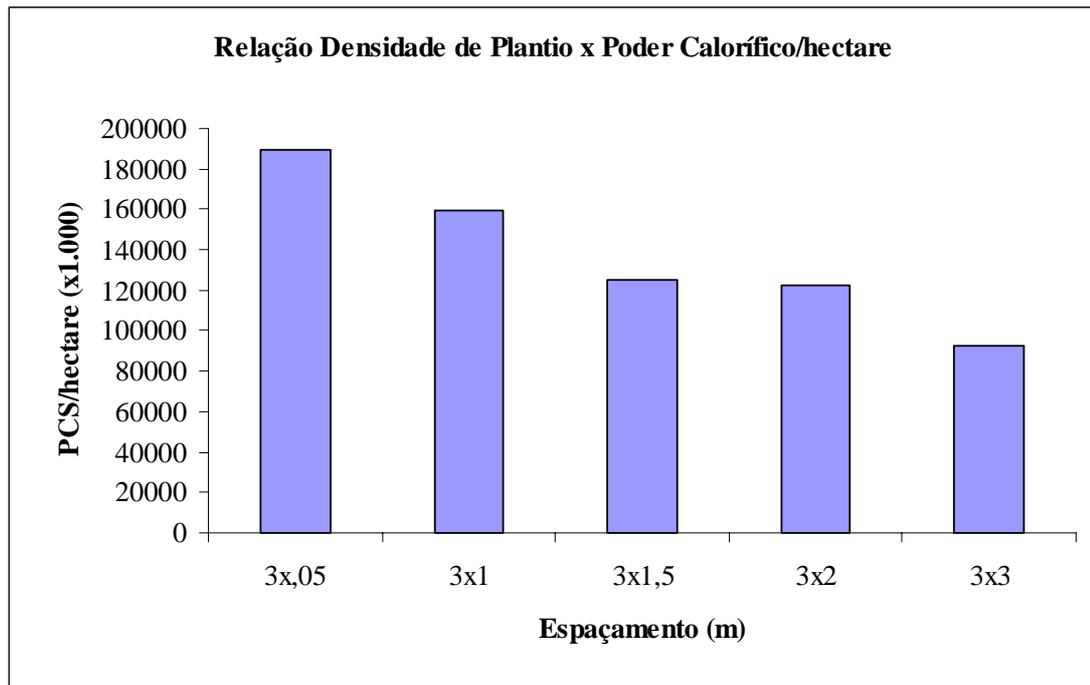


Figura 11 – PCS/ha em diversos espaçamentos, na idade de 24 meses.

Na Figura 11 (acima) se observa uma nítida tendência de aumento da quantidade de energia por hectare, com o aumento da densidade de plantio. Isto se deve, possivelmente, à maior quantidade de biomassa seca nos tratamentos com maior densidade de plantio.

4.3. DETERMINAÇÃO DA ÁREA NECESSÁRIA EM FUNÇÃO DA POTÊNCIA INSTALADA

A seguir são apresentados os resultados de consumo de lenha, em toneladas (t), e a área, em hectares (ha), necessária para atender à demanda em função da potência instalada.

Planta de 1 MW

Capacidade: 1000 KW

Produção de energia no período de 1 ano: 5.098.320 kWh

Consumo (kWh térmico): 15.294.960 kWh térmicos

Consumo de lenha:

Tratamento (m)	Lenha (t)		
	R1	R2	R3
3,0x0,5	2.356,23	2.261,54	2.412,41
3,0x1,0	2.330,66	2.332,21	2.431,92
3,0x1,5	2.507,25	2.507,25	2.503,67
3,0x2,0	2.219,09	2.220,50	2.372,17
3,0x3,0	2.412,41	2.380,75	2.381,83

Área necessária:

Tratamento (m)	Área (ha)		
	R1	R2	R3
3,0x0,5	67	47	56
3,0x1,0	64	60	76
3,0x1,5	82	89	82
3,0x2,0	75	79	110
3,0x3,0	100	117	126

Planta de 5 MW

Capacidade: 5.000 KW

Produção de energia no período de 1 ano: 25.491.600 kWh

Consumo (kWh térmico): 76.474.800 kWh térmicos

Consumo de lenha:

Tratamento (m)	Lenha (t)		
	R1	R2	R3
3,0x0,5	11.781,16	11.307,69	12.062,05
3,0x1,0	11.653,30	11.661,05	12.159,62
3,0x1,5	12.536,26	12.536,26	12.518,36
3,0x2,0	11.095,46	11.102,48	11.860,83
3,0x3,0	12.062,05	11.903,77	11.909,16

Área necessária:

Tratamento (m)	Área (ha)		
	R1	R2	R3
3,0x0,5	335	236	281
3,0x1,0	322	301	379
3,0x1,5	409	445	409
3,0x2,0	377	397	550
3,0x3,0	501	585	632

Planta de 10 MW

Capacidade: 10.000 KW

Produção de energia no período de 1 ano: 50.983.200 kWh

Consumo (kWh térmico): 152.949.600 kWh térmicos

Consumo de lenha:

Tratamentos (m)	Lenha (t)		
	R1	R2	R3
3,0x0,5	23.562,32	22.615,37	24.124,10
3,0x1,0	23.306,61	23.322,10	24.319,23
3,0x1,5	25.072,51	25.072,51	25.036,72
3,0x2,0	22.190,92	22.204,96	23.721,67
3,0x3,0	24.124,10	23.807,54	23.818,32

Área necessária:

Tratamento (m)	Área (ha)		
	R1	R2	R3
3,0x0,5	670	472	561
3,0x1,0	643	602	757
3,0x1,5	818	890	817
3,0x2,0	754	794	1100
3,0x3,0	1002	1170	1264

Pela análise dos resultados acima, pode-se depreender que a área necessária para atender à demanda de uma unidade de geração, apresenta relação direta com o aumento do espaçamento. Da mesma forma, com o aumento da potência instalada, aumenta a área necessária para atender a demanda. Esta comparação pode ser mais bem visualizada pela observação da Figura 12.

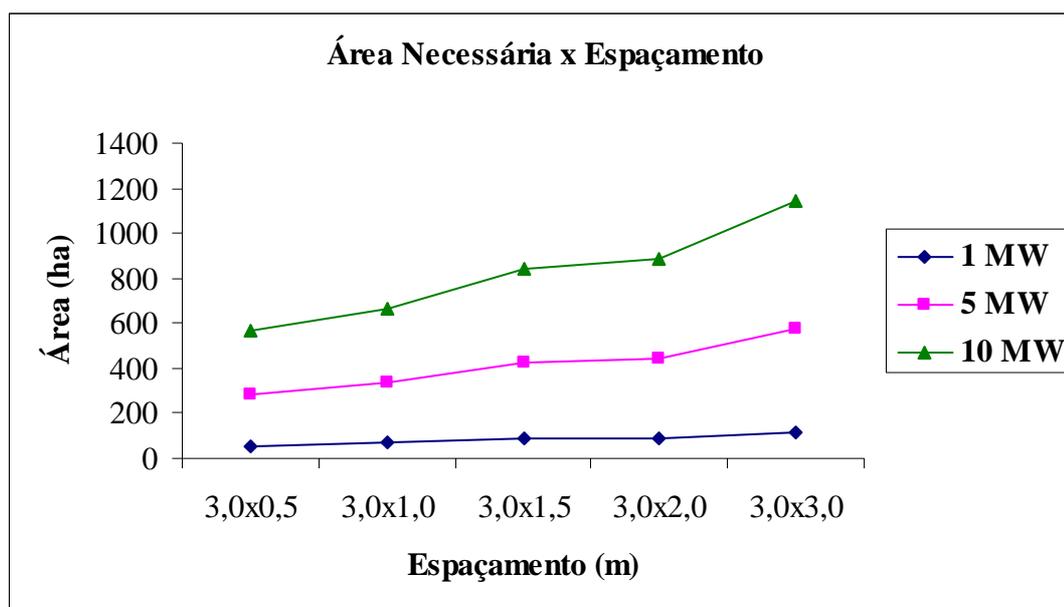


Figura 12 – Área (ha) necessária para atender à demanda de diferentes plantas (potência instalada) em função do espaçamento (m).

4.4. BALANÇO NUTRICIONAL

4.4.1. Biomassa e conteúdo de nutrientes

A dimensão da exportação de nutrientes minerais com a exploração de biomassa está relacionada com uma série de fatores tais como: espécie, qualidade do local, componente explorado, volume de biomassa explorada, taxa de produção de biomassa, densidade de plantio, idade de corte e perdas indiretas envolvidas no esquema de manejo da plantação (LIMA, 1996; BOUILLET & BERNHARD-REVERSAT, 2001). Vários autores, dentre eles SCHUMACHER & POGGIANI (1993) e COSTA (1990), ressaltam que os nutrientes se distribuem diferentemente nas distintas partes da árvore. A distribuição de nutrientes, nas diversas partes da árvore, segue a seguinte tendência: folhas > casca > ramos > lenho (REZENDE et al., 1983; SCHUMACHER & POGGIANI, 1993).

A ciclagem de nutrientes é um dos aspectos fundamentais para a sustentabilidade da atividade florestal. O manejo florestal deve possibilitar a

manutenção de um fluxo contínuo entre o que é depositado no solo e o que é assimilado pelas raízes (SCHUMACHER & CALDEIRA, 2001).

De acordo com VITAL et al. (1999), as saídas de nutrientes por meio da exploração florestal (tronco = lenho + casca) para *E. saligna* com 7 anos de idade representam 66,2% de N, 81,1% de P, 69,9% de K, 79,7% de Ca e 75,6% de Mg. Desse modo, 34,2% de N, 19,9% de P, 30,1% de K, 20,3% de Ca e 24,3% de Mg são deixados no campo.

De um modo geral, o fuste (lenho + casca) representa cerca de 70-80 % da biomassa acima do solo e a copa (folhas + galhos) representa cerca de 20-30% do total.

A copa, por sua vez, é responsável por cerca de 24% do acúmulo de nutrientes contido na biomassa total, com destaque para o N, P e K. Por outro lado, o Ca e o Mg apresentam as maiores concentrações (cerca de 60%) na casca (SCHUMACHER & POGGIANI, 1993; VITAL et al., 1999)

Com relação à produção de biomassa aérea neste experimento, o Quadro 9, a seguir, apresenta a relação entre biomassa de copa x biomassa de fuste para cada tratamento.

Quadro 9 – Peso de matéria seca (t.ha⁻¹) copa x fuste

Tratamento (m)	Peso de matéria seca (t/ha)				% da biomassa total		
	Copa	Fuste		Total	Copa	Fuste	
		lenho	casca			lenho	casca
3,0x0,5	12,16	42,01	6,19	60,35	20,14%	69,60%	10,26%
3,0x1,0	10,18	35,71	5,29	51,18	19,89%	69,77%	10,34%
3,0x1,5	8,72	29,82	4,53	43,06	20,25%	69,24%	10,51%
3,0x2,0	8,53	26,33	4,23	39,08	21,83%	67,36%	10,81%
3,0x3,0	6,99	21,09	3,54	31,62	22,09%	66,71%	11,20%

No Quadro 10, a seguir, pode-se observar a quantidade de nutrientes alocados em cada compartimento da árvore.

Quadro 10 – Quantidade de nutrientes alocados nos diversos compartimentos em árvores de eucalipto aos 24 meses de idade, nos espaçamentos estudados

Esp.	Compartimentos	Nutrientes				
		N	P	K	Ca	Mg
		t.ha ⁻¹				
3,0x0,5	Folhas/ramos	0,03173	0,00000	0,00650	0,01174	0,00000
	casca	0,02970	0,00248	0,02202	0,08204	0,01018
	madeira	0,01579	0,00012	0,01680	0,00336	0,00042
	Total	0,07722	0,00259	0,04533	0,09714	0,01060
3,0x1,0	Folhas/ramos	0,03627	0,00000	0,00509	0,00507	0,00000
	casca	0,02210	0,00249	0,01602	0,08405	0,01157
	madeira	0,01341	0,00000	0,01419	0,00286	0,00036
	Total	0,07178	0,00249	0,03530	0,09198	0,01193
3,0x1,5	Folhas/ramos	0,02856	0,00000	0,00406	0,00523	0,00000
	casca	0,02194	0,00196	0,01291	0,07208	0,00920
	madeira	0,00917	0,00000	0,01200	0,00239	0,00030
	Total	0,05966	0,00196	0,02897	0,07970	0,00950
3,0x2,0	Folhas/ramos	0,03216	0,00000	0,00401	0,00348	0,00000
	casca	0,02124	0,00169	0,00876	0,07870	0,00987
	madeira	0,00769	0,00007	0,00974	0,00211	0,00026
	Total	0,06109	0,00176	0,02252	0,08429	0,01013
3,0x3,0	Folhas/ramos	0,02517	0,00023	0,00608	0,00210	0,00000
	casca	0,01685	0,00131	0,00744	0,06399	0,00840
	madeira	0,00734	0,00015	0,00771	0,00169	0,00021
	Total	0,04936	0,00169	0,02123	0,06777	0,00861

Quadro 11 – Porcentagem de nutrientes alocados na biomassa por compartimento em cada espaçamento estudado

Esp.	Compartimento	Nutrientes					% Totais
		N	P	K	Ca	Mg	
% por compartimento							
3,0x0,5	Folhas/ramos	41,09%	0,00%	14,35%	12,09%	0,00%	21,46%
	casca	38,46%	95,48%	48,59%	84,45%	96,04%	62,87%
	madeira	20,45%	4,52%	37,07%	3,46%	3,96%	15,67%
	Total	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
3,0x1,0	Folhas/ramos	50,53%	0,00%	14,42%	5,52%	0,00%	21,75%
	casca	30,79%	100,00%	45,39%	91,38%	97,01%	63,81%
	madeira	18,68%	0,00%	40,19%	3,11%	2,99%	14,43%
	Total	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
3,0x1,5	Folhas/ramos	47,87%	0,00%	14,03%	6,56%	0,00%	21,05%
	casca	36,77%	100,00%	44,56%	90,44%	96,86%	65,68%
	madeira	15,36%	0,00%	41,42%	2,99%	3,14%	13,26%
	Total	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
3,0x2,0	Folhas/ramos	52,65%	0,00%	17,82%	4,13%	0,00%	22,06%
	casca	34,76%	95,92%	38,92%	93,37%	97,40%	66,89%
	madeira	12,58%	4,08%	43,26%	2,50%	2,60%	11,05%
	Total	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%
3,0x3,0	Folhas/ramos	50,99%	13,53%	28,64%	3,09%	0,00%	22,59%
	casca	34,13%	77,69%	35,03%	94,42%	97,55%	65,91%
	madeira	14,87%	8,78%	36,33%	2,49%	2,45%	11,50%
	Total	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Pode-se observar, no Quadro 11, que a copa representa 20 a 22% da biomassa total e retém 20 a 23% dos nutrientes; a casca representa 10 a 11% da biomassa total e retém 62 a 67% dos nutrientes; e o fuste representa 67 a 70% da biomassa total e retém 11 a 16% dos nutrientes.

Com relação a alocação de cada nutriente nos diversos compartimentos das árvores, aos 24 meses de idade, verificou-se que cerca de 50% do N está alocado na copa, 35% na casca e 17% na madeira; o P, Ca e Mg apresentam maiores concentrações na casca (94%, 91% e 97% respectivamente) e o K apresenta uma distribuição maior entre a casca e a madeira (18% na copa, 42,5% na casca e 40% na madeira).

Isto significa que a exploração florestal nessa idade, representa um grande impacto na fertilidade do solo, pela remoção de nutrientes, particularmente o P, Ca e Mg.

SCHUMACHER & CALDEIRA (2001) observaram valores de 77,8% da biomassa total representada pelo tronco e 22,2% representada pela copa em um povoamento de *Eucalyptus globulus*. Com relação ao conteúdo de nutrientes, nos diversos compartimentos da planta, observou-se que para os elementos N e P, as folhas apresentam os maiores valores com relação aos outros componentes. Com relação ao Ca, foram observados valores de 67,9 % acumulados na casca e na madeira.

4.4.2. Reposição nutricional

Com base nos resultados acima, foi calculada a necessidade de reposição nutricional considerando a remoção dos diversos componentes com a exploração florestal aos 24 meses (Quadro 12).

Quadro 12 – Necessidade de reposição nutricional considerando cada compartimento da árvore, aos 24 meses de idade, nos espaçamentos estudados

Esp.	Compartimento	Prod.	Reposição via fertilização				
		MST	N	P	K	Ca	Mg
		t.ha ⁻¹	t.ha ⁻¹				
3,0x0,5	Folhas/ramos	12,2	0,04759	0,00000	0,00845	0,01644	0,00000
	Casca	6,2	0,04455	0,00446	0,02863	0,11486	0,01425
	Madeira	42,0	0,02369	0,00021	0,02184	0,00470	0,00059
	Total	60,4	0,11583	0,00467	0,05892	0,13600	0,01484
3,0x1,0	Folhas/ramos	10,2	0,05441	0,00000	0,00662	0,00710	0,00000
	Casca	5,3	0,03315	0,00447	0,02083	0,11767	0,01620
	Madeira	35,7	0,02011	0,00000	0,01845	0,00400	0,00050
	Total	51,2	0,10767	0,00447	0,04589	0,12878	0,01670
3,0x1,5	Folhas/ramos	8,7	0,04284	0,00000	0,00528	0,00732	0,00000
	Casca	4,5	0,03291	0,00352	0,01678	0,10092	0,01289
	Madeira	29,8	0,01375	0,00000	0,01560	0,00334	0,00042
	Total	43,1	0,08949	0,00352	0,03766	0,11158	0,01330
3,0x2,0	Folhas/ramos	8,5	0,04825	0,00000	0,00522	0,00488	0,00000
	Casca	4,2	0,03186	0,00304	0,01139	0,11018	0,01381
	Madeira	26,3	0,01153	0,00013	0,01267	0,00295	0,00037
	Total	39,1	0,09163	0,00317	0,02928	0,11801	0,01418
3,0x3,0	Folhas/ramos	7,0	0,03776	0,00041	0,00791	0,00293	0,00000
	casca	3,5	0,02527	0,00236	0,00967	0,08958	0,01176
	madeira	21,1	0,01101	0,00027	0,01003	0,00236	0,00030
	Total	31,6	0,07404	0,00304	0,02760	0,09488	0,01205

A partir desses dados foi possível calcular o balanço nutricional considerando a exploração da árvore inteira, da madeira com casca e da madeira sem casca, conforme é mostrado nos Quadros 13 e 14.

Quadro 13 - Utilização da árvore inteira (A.I.) x utilização da madeira com casca (Mcc)

Esp.	Quantidade de nutrientes (t.ha ⁻¹)									
	N		P		K		Ca		Mg	
	AI	Mcc	AI	Mcc	AI	Mcc	AI	Mcc	AI	Mcc
3,0x0,5	0,0772	0,0455	0,0026	0,0026	0,0453	0,0388	0,0971	0,0854	0,0106	0,0106
3,0x1,0	0,0718	0,0355	0,0025	0,0025	0,0353	0,0302	0,0920	0,0869	0,0119	0,0119
3,0x1,5	0,0597	0,0311	0,0020	0,0020	0,0290	0,0249	0,0797	0,0745	0,0095	0,0095
3,0x2,0	0,0611	0,0289	0,0018	0,0018	0,0225	0,0185	0,0843	0,0808	0,0101	0,0101
3,0x3,0	0,0494	0,0242	0,0017	0,0015	0,0212	0,0152	0,0678	0,0657	0,0086	0,0086

Quadro 14 – Utilização da árvore inteira (A.I.) x utilização da madeira sem casca (Msc)

Esp.	Quantidade de nutrientes (t.ha ⁻¹)									
	N		P		K		Ca		Mg	
	AI	Msc	AI	Msc	AI	Msc	AI	Msc	AI	Msc
3,0x0,5	0,07722	0,01579	0,00259	0,00012	0,04533	0,01680	0,09714	0,00336	0,01060	0,00042
3,0x1,0	0,07178	0,01341	0,00249	0,00000	0,03530	0,01419	0,09198	0,00286	0,01193	0,00036
3,0x1,5	0,05966	0,00917	0,00196	0,00000	0,02897	0,01200	0,07970	0,00239	0,00950	0,00030
3,0x2,0	0,06109	0,00769	0,00176	0,00007	0,02252	0,00974	0,08429	0,00211	0,01013	0,00026
3,0x3,0	0,04936	0,00734	0,00169	0,00015	0,02123	0,00771	0,06777	0,00169	0,00861	0,00021

O sistema de exploração no qual são deixadas no campo apenas a galhada e a folhagem, e a madeira é explorada com casca, proporciona o retorno de maiores quantidades de N ao solo e de menores quantidades de K e Ca (Quadro 15).

Quadro 15 – Retorno de nutrientes ao solo no sistema em que são deixados no campo a galhada e a folhagem

t.ha⁻¹					
Esp.	N	P	K	Ca	Mg
3,0x0,5	0,0317	0,0000	0,0065	0,0117	0,0000
3,0x1,0	0,0363	0,0000	0,0051	0,0051	0,0000
3,0x1,5	0,0286	0,0000	0,0041	0,0052	0,0000
3,0x2,0	0,0322	0,0000	0,0040	0,0035	0,0000
3,0x3,0	0,0252	0,0002	0,0061	0,0021	0,0000
%					
	N	P	K	Ca	Mg
3,0x0,5	41,09	0,00	14,35	12,09	0,00
3,0x1,0	50,53	0,00	14,42	5,52	0,00
3,0x1,5	47,87	0,00	14,03	6,56	0,00
3,0x2,0	52,65	0,00	17,82	4,13	0,00
3,0x3,0	50,99	13,53	28,64	3,09	0,00

No sistema de exploração onde a madeira é explorada sem a casca, ou seja, a casca é deixada no campo, o aporte de nutrientes ao solo é bastante maior. Isto evidencia a importância, do ponto de vista de fertilidade do solo, da exploração da madeira sem a casca em sistemas de curta rotação para geração de energia elétrica (Quadro 16).

Quadro 16 - Retorno de nutrientes ao solo no sistema em que são deixadas no campo a galhada, a folhagem e a casca

t.ha⁻¹					
Esp.	N	P	K	Ca	Mg
3,0x0,5	0,06143	0,00248	0,02852	0,09378	0,01018
3,0x1,0	0,05837	0,00249	0,02111	0,08913	0,01157
3,0x1,5	0,05050	0,00196	0,01697	0,07732	0,00920
3,0x2,0	0,05340	0,00169	0,01278	0,08219	0,00987
3,0x3,0	0,04202	0,00154	0,01352	0,06608	0,00840
%					
	N	P	K	Ca	Mg
3,0x0,5	79,55	95,48	62,93	96,54	96,04
3,0x1,0	81,32	100,00	59,81	96,89	97,01
3,0x1,5	84,64	100,00	58,58	97,01	96,86
3,0x2,0	87,42	95,92	56,74	97,50	97,40
3,0x3,0	85,13	91,22	63,67	97,51	97,55

Dessa forma, pode-se depreender que a necessidade de reposição nutricional via fertilização será muito menor no sistema em que a casca é deixada no campo, conforme se pode observar pelos dados apresentados no Quadro 17 .

Quadro 17 – Necessidade de reposição nutricional via fertilização considerando: utilização da árvore inteira (A.I.) x utilização da madeira sem casca (Msc)

Esp.	Quantidade de Nutrientes (t.ha ⁻¹)									
	N		P		K		Ca		Mg	
	AI	Msc	AI	Msc	AI	Msc	AI	Msc	AI	Msc
3,0x0,5	0,1158	0,0237	0,0047	0,0002	0,0589	0,0218	0,1360	0,0047	0,0148	0,0006
3,0x1,0	0,1077	0,0201	0,0045	0,0000	0,0459	0,0184	0,1288	0,0040	0,0167	0,0005
3,0x1,5	0,0895	0,0137	0,0035	0,0000	0,0377	0,0156	0,1116	0,0033	0,0133	0,0004
3,0x2,0	0,0916	0,0115	0,0032	0,0001	0,0293	0,0127	0,1180	0,0029	0,0142	0,0004
3,0x3,0	0,0740	0,0110	0,0030	0,0003	0,0276	0,0100	0,0949	0,0024	0,0121	0,0003

Quadro 18 - Balanço da Reposição Nutricional via fertilização

Esp.	t.ha ⁻¹					%				
	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
3,0x0,5	0,0921	0,0045	0,0371	0,1313	0,0143	79,55%	95,48%	62,93%	96,54%	96,04%
3,0x1,0	0,0876	0,0045	0,0274	0,1248	0,0162	81,32%	100,00%	59,81%	96,89%	97,01%
3,0x1,5	0,0757	0,0035	0,0221	0,1082	0,0129	84,64%	100,00%	58,58%	97,01%	96,86%
3,0x2,0	0,0801	0,0030	0,0166	0,1151	0,0138	87,42%	95,92%	56,74%	97,50%	97,40%
3,0x3,0	0,0630	0,0028	0,0176	0,0925	0,0118	85,13%	91,22%	63,67%	97,51%	97,55%

Os valores apresentados no Quadro 18, representam a diferença entre os dois sistemas. Esta diferença significa a magnitude da redução da necessidade de reposição nutricional via fertilização. Como se pode observar, com a exploração da madeira sem a casca há uma redução drástica na necessidade de reposição nutricional via fertilização para todos os elementos.

Cabe considerar que, além do aspecto meramente quantitativo da quantidade de nutrientes no solo, o retorno da biomassa da copa e da casca ao sítio florestal, representa um importante fator de melhoria nas qualidades físicas e químicas do solo, pelo estímulo à atividade biológica, formação de agregados (com conseqüente impacto na estrutura do solo), aumento da capacidade de troca catiônica, aumento da porosidade (proporcionando melhor desenvolvimento do sistema radicular), maior retenção de umidade, etc. Além disso, serve como proteção física do solo contra o efeito da chuva e do tráfego de máquinas pesadas (utilizadas no processo de colheita e transporte da floresta).

4.4.3. Fertilidade do Solo

A análise de solo realizada revelou que, aos 24 meses de idade, em todos os tratamentos, o solo apresentou baixos teores de nutrientes (principalmente P, K, Ca e Mg), baixa capacidade de troca catiônica (soma de bases muito baixa), alumínio trocável e acidez potencial muito alta. Em contrapartida foi observado um ótimo teor de matéria orgânica, o que significa potencial de reposição de nutrientes por meio da mineralização (Quadro 19).

Quadro 19 – Resultados das análises de solo

Esp.	Prof. (cm)	PH	P	K	Na	Ca 2+	Mg 2+	Al 3-	H + Al	SB	(t)	(T)
		H ₂ O	mg/dm ³			cmolc/dm ³				cmolc/dm ³		
3,0x0,5	0-20	4,60	1,73	15,33		0,13	0,13	1,63	10,56	0,31	1,94	10,87
	20-40	4,67	1,07	12,00		0,27	0,20	1,37	9,68	0,50	1,86	10,18
3,0x1,0	0-20	4,70	2,13	12,00		0,07	0,03	1,50	10,89	0,13	1,63	11,02
	20-40	4,67	1,33	11,00		0,03	0,03	1,40	10,23	0,09	1,49	10,32
3,0x1,5	0-20	4,67	2,23	15,00		0,03	0,03	1,87	11,44	0,10	1,97	11,54
	20-40	4,60	1,67	13,67		0,10	0,07	1,53	10,45	0,20	1,73	10,65
3,0x2,0	0-20	4,70	2,70	14,00		0,10	0,07	1,40	10,89	0,20	1,60	11,09
	20-40	4,63	2,37	12,00		0,10	0,07	1,07	9,90	0,20	1,56	10,10
3,0x3,0	0-20	4,70	2,77	13,00		0,10	0,03	1,53	10,45	0,17	1,70	10,62
	20-40	4,70	1,63	17,00		0,07	0,03	1,37	9,79	0,15	1,51	9,94

Continuação...

Esp.	Prof. (cm)	V	m	ISNa	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
		%		dag/kg	mg/L	mg/dm ³						
3,0x0,5	0-20	2,67	84,33		7,34	7,40	0,43	187,67	3,93	0,43	1,15	17,00
	20-40	4,67	75,67		6,87	5,80	0,40	187,67	3,70	0,43	0,93	16,46
3,0x1,0	0-20	1,00	91,67		8,43	6,37	0,27	204,90	5,53	0,43	0,86	17,01
	20-40	0,67	94,00		6,08	5,50	0,17	182,73	2,90	0,43	0,86	14,76
3,0x1,5	0-20	0,67	94,33		9,00	6,90	0,20	195,03	3,20	0,43	1,08	15,85
	20-40	2,00	88,67		7,78	6,40	0,13	180,27	2,93	0,40	0,86	15,29
3,0x2,0	0-20	1,67	86,33		7,31	5,90	0,37	177,80	7,00	0,40	0,93	16,42
	20-40	2,00	87,00		7,83	5,50	0,23	177,83	5,77	0,43	0,86	14,73
3,0x3,0	0-20	1,33	90,67		8,65	6,47	0,20	185,20	4,90	0,40	1,00	17,00
	20-40	1,00	91,67		7,13	5,83	0,23	177,80	3,40	0,40	0,93	14,72

4.5. ANÁLISE ECONÔMICA

Os custos de implantação, manutenção e colheita do, considerando a área total necessária para atender a demanda de cada planta, não apresentaram uma tendência definida (Quadro 20). Pode-se observar que o sistema com maior espaçamento entre plantas (3,0x3,0 m) apresentou os maiores custos de implantação e o espaçamento 3,0x0,5 m o menor custo de implantação, considerando as três plantas. Isto se deve à interação entre as variáveis: produção volumétrica, custo por hectare e área necessária de plantio.

Quanto aos custos de manutenção foram observados valores crescentes com o aumento do espaçamento, o que é atribuído à maior área de plantio requerida nos maiores espaçamentos. Já os custos relativos à colheita apresentaram valores decrescentes com o aumento do espaçamento, tendo em vista que são influenciados pelo volume/hectare.

Quadro 20 – Custos de implantação, manutenção e colheita para cada planta, considerando a área de plantio necessária nos espaçamentos estudados

R\$ x potência instalada ano 1			
	1 MW	5 MW	10 MW
3,0x0,5	136102	682078	1363371
3,0x1,0	159618	799658	1597749
3,0x1,5	200379	1004248	2007713
3,0x2,0	209786	1052064	2104129
3,0x3,0	271712	1360909	2721819
R\$ x potência instalada ano 2 (manutenção)			
3,0x0,5	8345	41822	83595
3,0x1,0	9817	49185	98272
3,0x1,5	12370	61996	123944
3,0x2,0	12959	64991	129981
3,0x3,0	16837	84331	168662
R\$ x potência instalada ano 2 (colheita)			
3,0x0,5	44285	221948	443636
3,0x1,0	43463	217749	435063
3,0x1,5	43720	219121	438069
3,0x2,0	41347	207362	414724
3,0x3,0	41420	207465	414929

As receitas obtidas com a venda da eletricidade são crescentes com o aumento da capacidade instalada (Quadro 21).

Quadro 21 – Receitas (R\$) x Potência Instalada (MW)

Potência Instalada	Unidade	MWh	Receita (R\$)
1MW	MWh	5.098,32	292.388,65
5 MW	MWh	25.491,60	1.461.943,26
10 MW	MWh	50.983,20	2.923.886,52

Tendo em vista a perspectiva futura de comercialização de créditos de carbono com a fixação nos sistemas adotados, foi realizada uma projeção das receitas obtidas. Esta receita é função da quantidade de carbono estocado na madeira, e conseqüentemente da quantidade de biomassa presente por unidade de área. Sendo assim, observou-se que as receitas decrescem com o aumento do espaçamento (Quadro 22).

Quadro 22 – Receita/t de C fixada em cada tratamento

Tratamento	Toneladas de carbono/ha				U\$/t de C	Receita	
	R1	R2	R3	Média		U\$/ha	R\$/ha
3,0x0,5	17,57	23,94	21,50	21,00	5,63	118,24	280,24
3,0x1,0	18,12	19,39	16,06	17,85	5,63	100,52	238,22
3,0x1,5	15,32	14,09	15,32	14,91	5,63	83,94	198,93
3,0x2,0	14,72	13,99	10,78	13,16	5,63	74,11	175,64
3,0x3,0	12,04	10,18	9,43	10,55	5,63	59,37	140,71

Por outro lado, quando se considera a área de plantio para atender cada planta em diferentes espaçamentos, pode-se observar que os valores das receitas tendem a se aproximar (Quadro 23).

Quadro 23 – Receita (R\$) obtida a partir do C estocado na madeira aos 24 meses de idade x potência instalada, em cada espaçamento estudado

Esp.	Área x potência instalada			Receita C x Potência instalada		
	1 MW	5 MW	10 MW	1 MW	5 MW	10 MW
3,0x0,5	57	284	568	15.880,28	79.588,25	1.590.83,09
3,0x1,0	67	334	667	15.881,55	79.566,58	1.589.74,34
3,0x1,5	84	421	842	16.776,76	83.751,18	1.674.36,05
3,0x2,0	88	441	883	15.456,00	77.514,17	1.550.28,35
3,0x3,0	114	573	1145	16.088,29	80.582,16	1.611.64,32

Assim, a receita total foi calculada somando-se a receita obtida com a venda de eletricidade e a receita obtida com carbono estocado na madeira (Quadro 24).

Quadro 24 – Receita total (R\$) em cada tratamento

Tratamento	1 MW	5 MW	10 MW
3,0x0,5	308.268,94	1.541.531,51	3.082.969,61
3,0x1,0	308.270,20	1.541.509,84	3.082.860,86
3,0x1,5	309.165,41	1.545.694,44	3.091.322,57
3,0x2,0	307.844,65	1.539.457,43	3.078.914,87
3,0x3,0	308.476,94	1.542.525,42	3.085.050,84

No Quadro 25 são apresentados os valores obtidos para os critérios utilizados, para os 5 tratamentos e potência instalada de 1MW, considerando taxas de juros alternativas variando entre 8, 10 e 12% com idade de corte de 2 anos. Nos Quadros 26 e 27 são apresentados os resultados para plantas de 5MW e 10MW respectivamente.

Quadro 25 – Resultados da análise econômica: Potência Instalada 1MW

Esp.	Taxa	Parâmetros Econômicos			
		VPL	B/C	B(C)PE	TIR
3,0x0,5	8%	68.879,92	1,38	38.625,74	
	10%	61.355,87	1,34	35.352,67	31,98%
	12%	54.233,72	1,30	32.089,99	
3,0x1,0	8%	44.000,29	1,21	24.674,01	
	10%	36.501,02	1,18	21.031,54	21,60%
	12%	29.402,78	1,14	17.397,57	
3,0x1,5	8%	1.360,25	1,01	762,78	
	10%	-6.301,52	0,97	-3.630,87	8,35%
	12%	-13.368,99	0,95	-7.910,40	
3,0x2,0	8%	-6.557,14	0,97	-3.677,04	
	10%	-14.094,29	0,94	-8.121,00	0,00%
	12%	-21.227,48	0,92	-12.560,26	
3,0x3,0	8%	-72.136,35	0,78	-40.451,85	
	10%	-79.605,95	0,75	-45.868,19	0,00%
	12%	-86.674,05	0,73	-51.284,87	

Quadro 26 - Resultados da análise econômica: Potência Instalada 5MW

Esp.	Taxa	Parâmetros Econômicos			
		VPL	B/C	B(C)PE	TIR
3,0x0,5	8%	342.294,28	1,38	191.948,10	
	10%	304.691,75	1,34	175.560,49	31,80%
	12%	269.097,85	1,30	159.224,69	
3,0x1,0	8%	221.496,57	1,21	124.208,46	
	10%	183.888,27	1,18	105.954,67	21,60%
	12%	148.291,05	1,15	87.743,53	
3,0x1,5	8%	3.867,04	1,00	2.168,52	
	10%	-33.483,18	0,97	-19.292,69	8,20%
	12%	-68.832,27	0,94	-40.727,93	
3,0x2,0	8%	-36.640,10	0,97	-20.546,64	
	10%	-74.303,17	0,94	-42.812,78	0,00%
	12%	-109.947,64	0,91	-65.055,81	
3,0x3,0	8%	-363.480,31	0,78	-203.828,57	
	10%	-400.814,63	0,75	-230.945,57	0,00%
	12%	-436.142,14	0,73	-258.064,48	

Quadro 27 - Resultados da análise econômica: Potência Instalada 10MW

Esp.	Taxa	Parâmetros Econômicos			
		VPL	B/C	B(C)PE	TIR
3,0x0,5	8%	685.641,21	1,38	384.486,50	
	10%	610.427,29	1,34	351.722,39	31,85%
	12%	539.231,06	1,30	319.062,00	
3,0x1,0	8%	445.024,42	1,22	249.556,00	
	10%	369.792,73	1,18	213.071,05	21,77%
	12%	298.583,97	1,15	176.671,57	
3,0x1,5	8%	8.712,14	1,00	4.885,50	
	10%	-65.994,48	0,97	-38.025,39	8,22%
	12%	-136.698,54	0,94	-80.884,27	
3,0x2,0	8%	-73.280,19	0,97	-41.093,28	
	10%	-148.606,34	0,94	-85.625,56	0,00%
	12%	-219.895,27	0,91	-130.111,62	
3,0x3,0	8%	-726.960,62	0,78	-407.657,15	
	10%	-801.629,27	0,75	-461.891,15	0,00%
	12%	-872.284,29	0,73	-516.128,97	

Nas três situações o espaçamento 3,0x0,5 m se apresentou como o mais atrativo seguido do espaçamento 3,0x1,0 m. O espaçamento 3,0x1,5 m apresenta atratividade somente se for considerada a taxa de juros de 8%. Os espaçamentos 3,0x2,0 m e 3,0x3,0 m não apresentam atratividade.

Nos Quadros 28, 29 e 30 são apresentados os resultados da análise, considerando a comercialização de créditos de carbono.

Quadro 28 - Resultados da análise econômica: Potência Instalada 1MW, considerando C estocado na madeira

Esp.	Taxa	Parâmetros Econômicos			
		VPL	B/C	B(C)PE	TIR
3,0x0,5	8%	86.270,57	1,48	48.377,88	
	10%	78.255,94	1,44	45.090,33	38,10%
	12%	70.669,25	1,40	41.814,86	
3,0x1,0	8%	62.058,36	1,31	34.800,42	
	10%	54.068,47	1,27	31.153,74	27,30%
	12%	46.505,66	1,23	27.517,31	
3,0x1,5	8%	20.384,93	1,08	11.431,24	
	10%	12.399,09	1,05	7.144,24	13,34%
	12%	4.840,86	1,02	2.864,33	
3,0x2,0	8%	12.557,59	1,05	7.041,91	
	10%	4.542,97	1,02	2.617,61	11,18%
	12%	-3.042,35	0,99	-1.800,16	
3,0x3,0	8%	-50.724,86	0,84	-28.444,94	
	10%	-58.691,47	0,81	-33.817,47	0,00%
	12%	-66.230,19	0,79	-39.188,28	

Quadro 29 - Resultados da análise econômica: Potência Instalada 5MW, considerando C estocado na madeira

Esp.	Taxa	Parâmetros Econômicos			
		VPL	B/C	B(C)PE	TIR
3,0x0,5	8%	429.452,15	1,48	240.823,55	
	10%	389.390,94	1,44	224.363,35	37,94%
	12%	351.468,89	1,40	207.963,48	
3,0x1,0	8%	311.967,51	1,31	174.941,78	
	10%	271.901,20	1,27	156.666,88	27,36%
	12%	233.976,46	1,24	138.443,43	
3,0x1,5	8%	103.722,67	1,08	58.164,48	
	10%	63.785,16	1,05	36.752,40	13,44%
	12%	25.986,15	1,02	15.375,95	
3,0x2,0	8%	59.223,18	1,05	33.210,54	
	10%	19.165,49	1,02	11.042,97	11,00%
	12%	-18.746,45	0,98	-11.092,24	
3,0x3,0	8%	-256.235,60	0,84	-143.689,04	
	10%	-296.059,31	0,81	-170.586,55	0,00%
	12%	-333.744,04	0,79	-197.475,72	

Quadro 30 - Resultados da análise econômica: Potência Instalada 10MW, considerando C estocado na madeira

Esp.	Taxa	Parâmetros Econômicos			
		VPL	B/C	B(C)PE	TIR
3,0x0,5	8%	859.854,65	1,48	482.180,03	
	10%	779.726,25	1,44	449.270,84	37,98%
	12%	703.876,46	1,40	416.482,37	
3,0x1,0	8%	625.785,71	1,31	350.921,37	
	10%	545.642,90	1,27	314.394,24	27,43%
	12%	469.783,76	1,24	277.970,17	
3,0x1,5	8%	208.344,34	1,09	116.833,09	
	10%	128.465,19	1,05	74.020,42	13,46%
	12%	52.863,22	1,02	31.279,07	
3,0x2,0	8%	118.446,35	1,05	66.421,07	
	10%	38.330,99	1,02	22.085,95	11,00%
	12%	-37.492,90	0,98	-22.184,48	
3,0x3,0	8%	-512.471,20	0,84	-287.378,08	
	10%	-592.118,62	0,81	-341.173,11	0,00%
	12%	-667.488,08	0,79	-394.951,44	

Os resultados obtidos apontam a mesma tendência observada para o cenário anterior. O aumento de atratividade proporcionado por essa receita adicional tornou o espaçamento 3,0x2,0 m viável considerando as taxas de 8 e 10%.

5. CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados pode-se inferir que:

- O crescimento em área basal/hectare apresentou uma relação direta com a densidade de plantio, ou seja, nos tratamentos com maior densidade de plantas por hectare foram observados os maiores valores de área basal. Estes valores decrescem com a diminuição dessa densidade. A mesma tendência foi observada para as variáveis volume e biomassa;
- É importante observar que na idade de 24 meses a floresta ainda não atingiu a idade de corte (subestocada), de forma que a sua exploração para geração de eletricidade acarretaria o não aproveitamento de todo o potencial de produção de biomassa dessa floresta;
- A densidade da madeira não apresentou diferença significativa entre os diferentes espaçamentos, na idade estudada;
- O poder calorífico da madeira apresentou diferenças entre os tratamentos, não revelando, entretanto, nenhuma relação direta com a densidade de plantio. Por outro lado, a interação biomassa/hectare x poder calorífico da madeira indicou uma relação direta com a densidade de plantio, revelando maior quantidade de energia/unidade de área nos menores espaçamentos;

- A área de plantio necessária para atender a uma unidade de geração foi inversamente proporcional à densidade de plantio;
- A produção de eletricidade a partir de biomassa florestal, nas condições específicas deste trabalho, se mostrou viável para diferentes taxas de juros, nos espaçamentos 3,0x0,5 m, 3,0x1,0 m e para o espaçamento 3,0x1,5 m considerando somente a taxa de juros de 8%;
- O sistema que apresentou o maior VPL, razão B/C e B(C)PE foi o espaçamento 3,0x5,0 m para diferentes taxas de juros nas três situações, sendo considerado, portanto, o mais atrativo;
- A projeção de receitas com a comercialização de créditos de carbono, proporcionou um aumento significativo no VPL, B(C)PE e TIR. Assim os espaçamentos 3,0x1,5 m e 3,0x2,0 m (considerando as taxas de 8 e 10%) tornaram-se viáveis;
- Com relação à fertilidade do solo, foi observado que há uma grande remoção de nutrientes do site (alocados na biomassa). As características químicas do solo revelam baixos teores de nutrientes, baixa soma de bases, altos teores de alumínio trocável e alta acidez potencial;
- O balanço nutricional considerando os sistemas de exploração: i) árvore inteira; ii) madeira com casca e iii) madeira sem casca, revelou que quando a madeira é explorada sem a casca, ou seja, deixando-se a biomassa de casca e copa no solo, há um retorno bastante expressivo de nutrientes ao solo, tendo em vista que, nesta idade a maioria dos nutrientes está alocada na copa e na casca das árvores.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília: ANEEL, 2002, 153p.
- ANDRADE, E.N. **O eucalipto e suas aplicações**. São Paulo: Typ Brasil de Rotschild, 1928. 143p.
- ASSIS, R. L.; FERREIRA, M.M.; MORAIS, E.J.; FERNANDES, L.A. Produção de biomassa de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake, sob diferentes espaçamentos na região do cerrado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v.23, n.2, 1999, p.151-156.
- BAKER, T.; BARTLE, J.; DICKSON, R.; POLGLASE, P.; SCHUCK, S. Prospects for bioenergy from short-rotation crops in Australia. In: THIRD MEETING OF IEA BIOENERGY, TASK 17, 1999, Alburn. **Proceedings...**Alburn, 1999, p.1-15.
- BALTEIRO, L.D.; ROMERO, C. Carbon captured as a new instrument in forest management: some implications. **Scientia Forestalis**, 2003, n.63, p.103-114.
- BARROS, D.M.; VASCONCELOS, E.C. Termelétricas a Lenha. In: MELLO, M.G. (Ed). **Biomassa: Energia dos Trópicos em Minas Gerais**. Belo Horizonte: LabMídia/FAFICH, 2001, p. 221-241.
- BARTLE, J.; GILES, R. Mallee: a new short-rotation crop for the western Australian wheatbelt. In: FOURTH MEETING OF IEA BIOENERGY, TASK 17, 2000, Albany, Australia. **Proceedings...**Albany, Australia, 2000, p.33-42.

- BOROUGH, C. **Plantations for bioenergy**. Sydney: BioEnergy Australia Ltd., 2002, 10p.
- BOUILLET, J.P.; BERNHARD-REVERSAT, F. **Effect of exotic tree plantations on plant diversity and biological soil fertility in the Congo savanna: with special reference to eucalypts**. Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research, 2001. 71p.
- BRASIL – Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional**. Brasília: MME, 2004, 169 p.
- CALDEIRA, M.V.W.; SCHUMACHER, M.V.; RONDON NETO, R.M.; WATZLAWICK, L.F.; SANTOS, E.M. Quantificação da biomassa acima do solo de *Acacia mearnsii* De Wild., procedência Batemans Bay – Austrália. **Ciência Florestal**, v.11, n.2, p79-91, 2001.
- CALDEIRA, M.V.W. **Quantificação da biomassa e do conteúdo de nutrientes em diferentes procedências de Acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.)** Santa Maria, 1998. 96p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, 1998.
- CALLAGHAN, L. Biomass: the age-old renewable fuel: legislation facilitating technical and commercial development. **REFOCUS: The International Renewable Energy Magazine**, Ed MAR/APR, 2003, p. 22-25.
- CAMPOS, J.C., LEITE, H.G. SOUZA, R.N. et al. Relações entre espaçamento, volume e peso de madeira em plantações de eucalipto. **Revista Árvore**, v.14, n.2, 1990, p.119-133.
- CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G. **Mensuração Florestal: perguntas e respostas**. Viçosa: UFV, 2002. 407p.
- CARVALHO, J. F. s.d. Biomassas utilizáveis industrialmente como fonte de energia primária. Confederação nacional da Indústria. Coleção José Ermírio de Moraes vol. 8. In: Biomassa – Coadjuvante na oferta total de energia. 109 p.
- CENTRO CLIMA. **Geração de energia elétrica por meio de uma usina atermelétrica movida a biomassa para operar acoplada a uma Pequena Central Hidrelétrica em Rondônia**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2003, 16p.
- CHANDLER, D.; HANSON, R. **Brazilian experiences in the production of Eucalyptus for energy**. Brasília: Winrock International, 1998, 148p.

- COELHO, A.S.R.; MELLO, H.A.; SIMÕES, J.M. Comportamento de espécies de eucaliptos face o espaçamento. **IPEF**, Piracicaba, n.1, 1970, p.29-55.
- COELHO, J.C. **Biomassa, biocombustíveis, bioenergia**. Brasília: Ministério das Minas e Energia, 1982. 100p.
- COELHO, S.T. **Mecanismos para a implantação da co-geração de eletricidade a partir de biomassa: um modelo para o Estado de São Paulo**. São Paulo: USP, 1999, 278p. (Tese de Doutorado em Energia) – Universidade de São Paulo, 1999.
- CORREIA, J.; PEREIRA, O.S.; BARRETO, .E. et al. **Perspectivas para universalização da eletrificação no Estado da Bahia**. In: Universalização do Serviço de Energia Elétrica – Aspectos Jurídicos, Tecnológicos e Sócio-Econômicos, organizado por James Correia, André Valente e Osvaldo Soliano Pereira, UNIFACS, Salvador, 2002.
- COSCARELLI, E.G.V. Pequena história de uma grande floresta. In: MELLO, M.G. (Ed). **Biomassa: Energia dos Trópicos em Minas Gerais**. Belo Horizonte: LabMídia/FAFICH, 2001, p. 103-114.
- COSTA, L.M. Manejo de solos em áreas reflorestadas. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Editora Folha de Viçosa, p237-264, 1990.
- COUTO, L. **Influência do espaçamento no crescimento do *Eucalyptus urophylla* de origem híbrida, cultivado na região de Coronel Fabriciano, Minas Gerais**. Viçosa, MG: UFV, 1977, 45 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1977.
- COUTO, L.; BETTERS, D.R. **Short-rotation Eucalypt Plantations in Brazil: Social and Enviromental Issues**. ORNL/TM-12846, 34p.
- COUTO, L.; MÜLLER, M.D.; NOGUEIRA DIAS, A.; TSUKAMOTO FILHO, A.A.; FONSECA, E.M.B; CORRÊA, M.R. **Espécies Cultivadas para Produção de Biomassa para Energia**. Belo Horizonte: CEMIG, 2003. 35p.
- CULSHAW, D. UK country report energy crops: progress and problems. In: FOURTH MEETING OF IEA BIOENERGY, TASK 17, 2000, Albany, Australia. **Proceedings...**Albany, Australia, 2000, p.15-17.

- D'ÁVILA, S.G.; MAKRAY, Z.T. Gaseificadores de Madeira – Aspectos Técnicos e Econômicos. In: Gaseificação da Madeira e do Carvão Vegetal, compilado Waldir Resende Penedo. Fundação Centro tecnológico de Minas Gerais – CETEC. Belo Horizonte: Série de Publicações Técnicas, 1981. p73-80.
- DOAT, J.; PETROF, G. La caracterization des bois tropicaux. Reve bois et forêts des tropiques. **Nogent-Sur Marne**, 1975, (159): 55-72.
- FAO – Organizacion de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion. **Madera para producir energía**. Roma, Itália: Departamento de Montes, sd.
- FELKER, P.; SMITH, D.; WIESMAN, C.; BINGHAM, R.L. Biomass production of *Prosopis alba* clones at two non-irrigated field sites in semi-arid south Texas. **For. Ecol. Manage**, 1989, 29:135-150.
- FERREIRA, G.W.; GONZAGA, J.V.; FOELKEL, C.E.B.; ASSIS, T.F.; RATNIEKS, E.; SILVA, M.C.M. Qualidade da celulose Kraft-antraquinona de *Eucalyptus dunnii* plantado em cinco espaçamentos em relação ao *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Ciência Florestal**, v.7, n.1, 1997, p.41-63.
- GOLFARI, L. **Zoneamento ecológico do Estado de Minas Gerais para Reflorestamento**. Belo Horizonte: PNUD/FAO/IBDF-BRA/71/545, 1975. 65p. (Série Técnica 3).
- GOMES, R.T. **Efeito do espaçamento no crescimento e nas relações hídricas de *Eucalyptus* spp. na região de cerrado de Minas Gerais**. Viçosa, MG: UFV, 1994, 85p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1994.
- GOMES, F.S.; MAESTRI, R.; SANQUETTA, C.R. Avaliação da produção em volume total e sortimento em povoamentos de *Pinus taeda* L. submetidos a diferentes condições de espaçamento inicial e sítio. **Ciência Florestal**, v.7, n.1, 1997, p.101-126.
- GORGULHO, E.P.; RAMALHO, M.P.; SOARES, A.R. Avaliação de progênies de *Eucalyptus pyrocarpa* L. Jonhson & Blaxel, em diferentes espaçamentos de plantio. **Revista Árvore**, v.15, n.3, 1991, p.207-216.
- GUERRA, C. **Meio Ambiente e Trabalho no Mundo do Eucalipto**. 2ed. Belo Horizonte: Agência Terra, 1995. 143p.
- HAKKILA, P. **Developing technology for large-scale production of forest chips**. Helsinki: TEKES, 2003, 54p. (Interin Report).

- HAQ, Z. **Biomass for electricity generation**. Washington, D.C: Energy Information Administration, 2003, 18p.
- HILTON, B. The establishment of short-rotation coppice at the commercial scale in the UK – the ARBRE experience. In: LAST MEETING OF IEA BIOENERGY, TASK 17, 2000, Netherlands/Sweden. **Proceedings...** Netherlands/Sweden, 2000, p.41 (Abstract).
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Diagnóstico Ambiental da Bacia do Rio Jequitinhonha: diretrizes gerais para ordenação territorial**. Salvador, BA: IBGE, Diretoria de Geociências 1ª Divisão de Geociências do Nordeste – digeo 1/ne .1, 1997, 64p.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate Change 2001 – Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Contribution of working group II to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. McCarthy, J. J. et al. (Eds) Cambridge University Press, Cambridge: United Kingdom and New York. 2001
- JUVENAL, T.L.; MATTOS, R.L.G. O Setor Florestal no Brasil e a Importância do Reflorestamento. **BNDES Setorial**, n. 16, 2002. p. 3-30.
- KOLM, L. **Ciclagem de nutrientes e variações do microclima em plantações de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden manejados através de desbastes seletivos**. Piracicaba: ESALQ, 2001. 73p. (Dissertação de Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2001.
- KLEIN, J.E.M., FREITAS, A.J.P. Influência do espaçamento na produção de *Eucalyptus saligna* Smith. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 6., 1988, Nova Prata. **Anais...** Nova Prata, 1988, p. 479-492.
- KLEIN, J.E.M.; SCHNIDER, P.R.; FINGER, C.A.G.; FLEIG, F.D. Produção de madeira e casca de Acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild) em diferentes espaçamentos. **Ciência Florestal**, v.2, n.1, 1992, p.87-97.
- LADEIRA, B.C. **Crescimento, produção e eficiência nutricional de *Eucalyptus* spp., sob três espaçamentos, em uma seqüência de idades**. Viçosa, MG: UFV, 1999, 132p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1999.

- LEITE, F.P.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; SANS, L.M.; FABRES, A.S. Crescimento de *Eucalyptus grandis* em diferentes densidades populacionais. **Revista Árvore**, v.21, n.3, 1997, p.313-321.
- LELES, P.P.S.; REIS, G.G.; REIS, M.G.F.; MORAIS, E.J. Crescimento, produção e alocação de matéria seca *E.camaldulensis* e *E. pellita* sob diferentes espaçamentos na região do cerrado, MG. **Scientia Forestalis**, n.59, 2001, p.77-87.
- LIMA, W.P. **Impacto Ambiental do Eucalipto**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo (2ed), 1996. 301p.
- LISITA, A.; LEITE, H.G.; CAMPOS, J.C.C.; REGAZZI, A.J.; LELLIS, V.G.S. Efeitos de reespaçamento na produção, no diâmetro médio e na estrutura de povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis*. **Revista Árvore**, v.21, n.4, 1997, p.473-482.
- LOPES, I.V. **O mecanismo de desenvolvimento limpo – MDL: guia de orientação**. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 2002, 90p.
- LORA, E. E. S. Perspectivas da utilização da biomassa com fins energéticos. XXVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. In: Simpósio: Tecnologia e Aplicação Racional de Energia Elétrica e de Fontes Renováveis na Agricultura. Campina Grande: UFPB, 1997, 176p.
- MACEDO, I.C. **Estado da arte e tendências tecnológicas para energia**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos – CGEE, 2003, 90p.
- MACEDO, I.C. **Geração de energia elétrica a partir de biomassa no Brasil: situação atual, oportunidades e desenvolvimento**. Brasília: CGEE, 2001, 10p.
- MAGALHÃES, J.G.R. Tecnologia de obtenção da madeira. In: **Uso da madeira para fins energéticos**. Belo Horizonte, MG: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC, 1982, p.56-66.
- MAGALHÃES, J.L. Futuro do carvão vegetal no contexto nacional e internacional. In: Anais I Simpósio Brasileiro de Pesquisa Florestal, Society for Forest Research, 1993. p. 240-259.
- MAIURI, D.R. **A regionalização da geração de energia como fator de desenvolvimento: o caso da região de Itapeva SP**. São Paulo: USP, 2001, 130p. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo, 2001.

- MELLO, H.A. Influência da espécie, do espaçamento e da idade no custo de produção da madeira industrial. **IPEF**, v.2, n.3, 1971, p.13-14.
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Arranjo Produtivo Local – Madeira é Móveis: Viabilização da madeira de eucalipto no Norte de Minas Gerais e Vale do Jequitinhonha na fabricação de móveis e produtos de madeira com maior valor agregado. Brasília: MCT/ Secretaria de Estado de Ciência e Tecnologia, 2001, 10p.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. **Plano Decenal de Expansão: 2003-2012**. Brasília: MME/CCPE, 2002, 77p.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. **Plano de Longo Prazo Projeção da Matriz: 2022**. Brasília: MME/DNPE, 2002, 78p.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. **Proinfa Biomassa: Guia de habilitação biomassa**. Brasília: MME, sd., 43p.
- MITRE, M.N. Caldeiras para Queima de Madeira e Bagaço. In: Produção e Utilização de Carvão Vegetal, compilado Waldir Resende Penedo. Fundação Centro tecnológico de Minas Gerais – CETEC. Belo Horizonte: Série de Publicações Técnicas, 1982. p319-348.
- MORA, A.L. **Interação com espaçamento e locais em clones de Eucalyptus spp. no norte do Estado da Bahia**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1986. 116 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 1986.
- NISHI, M.H.; JACOVINE, L.A.G.; SILVA, M.L.; VALVERDE, S.R.; NOGUEIRA, H.P.; ALVARENGA, A.P. Influência dos créditos de carbono na viabilidade financeira de três projetos florestais. **Revista Árvore**, v.29, n.2, 2005, p.263-270.
- NOGUEIRA, L.A.H.; LORA, E.E.S.; TROSSERO, M.A.; FRISK, T. **Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações**. Brasília: ANEEL, 2000. 144p.
- NOGUEIRA, L.A.H.; LORA, E.E.S.; TROSSERO, M.A.; FRISK, T. **Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações**. Brasília: ANEEL, 2000, 144p.

- OLIVEIRA, A.; GUITIERREZ, M.; LOSEKANN, L.D. **Energia e Desenvolvimento Sustentável**. Rio de Janeiro: Instituto de Economia UFRJ/ Min. das Minas e Energia (Relatório Final), 1998, 160p.
- OLIVEIRA, A.S. **Análise das modalidades e procedimentos simplificados do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – os projetos de pequena escala e a geração de energia renovável para o atendimento de residências rurais e isoladas**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2003, 236p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.
- OLIVEIRA, L.C. **Perspectivas para a eletrificação rural no novo cenário econômico institucional do setor elétrico brasileiro**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2001, 130p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.
- PACIORNIK, N.; MACHADO FILHO, H. O. Política e instrumentos legais internacionais da Convenção das Nações Unidas sobre a mudança no clima. In: MOREIRA, A. G.; SCHWARTZMAN, S. **As mudanças climáticas globais e os ecossistemas brasileiros**. 2000. p. 13-22.
- PINATTI, D.G.; SOARES, A.G.; CONTE, R.A.; ROMÃO, E.L.; OLIVEIRA, I.; FERREIRA, J.C. Perspectivas do uso sustentado da biomassa na matriz energética brasileira. In: 56º Congresso Anual da ABM, Rio de Janeiro, 2003. sp.
- RAPOSO, P. **Programa leva energia ao campo**. Gazeta Mercantil, 11 de setembro de 1999.
- REIS, M.G.F.; BARROS, N.F. Ciclagem de nutrientes em plantio de eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Editora Folha de Viçosa, p265-301, 1990.
- REIS, G.G.; REIS, M.G.F. Competição por luz, água e nutrientes em povoamentos florestais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA FLORESTAL, 1, 1993, Belo Horizonte. **Anais...**Belo Horizonte: SIF, 1993, p. 161-172.
- REMADE – Revista da Madeira. Carvão Vegetal – Importância do Eucalipto para a Indústria de Carvão Vegetal. Remade, nº59, ano 11, setembro de 2001.
- REMADE – Revista da Madeira. **Uso energético requer planejamento racional**. Remade, nº72, ano 13, maio de 2003.

- RESENDE, J.L.P.; BARROS, N.F.; MORAES, T.S.A.; MENDES, C.J. Produção e macronutrientes em florestas de eucalipto em duas densidades de plantio. **Revista Árvore**, v.7, n.2, 1983, p. 165-176.
- RESENDE, R.R.; VALE, A.B.; SOARES, T.S.; SILVA, M.L.; COUTO, L.; VALE, R.S. Emprego de um modelo de crescimento e produção para determinação da rotação em povoamentos de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 28, n. 2, 2004, p. 219-225.
- REZENDE, D.; MERLIN, S.; SANTOS, M. **Seqüestro de carbono – uma experiência concreta**. 2. ed. Palmas: Instituto Ecológica, 2001, 178 p.
- SCARPINELA, G.A. **Reflorestamento no Brasil e o Protocolo de Quioto**. São Paulo: USP, 2002, 182p. (Dissertação de Mestrado) – Universidade de São Paulo, 2002.
- SCHELEDER, E.M.M. **O mercado invisível**. Brasília: MME/Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético, 1998, sp.
- SENELWA, K.; SIMS, R.E.H. Fuel characteristics of short rotation Forest biomass. **Biomass and Bioenergy**, n.17, 1999, p. 127-140.
- SILVA, M.L.; JACOVINE, L.A.G.; VALVERDE, S.R. **Economia Florestal**. Viçosa: UFV, 2002, 178p.
- SMITH, E.B. **Determinação da rotação econômica para *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex Maiden), destinado à produção de carvão vegetal**. Viçosa, MG: UFV, 1989. 69p, Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1989.
- SCHNEIDER, P.R.; FLEIG, F.D.; FINGER, C.A.G.; KLEIN, J.E.M. Crescimento da Acácia-negra, *Acacia mearnsii* De Wild, em diferentes espaçamentos. **Ciência Florestal**, v.10, n.2, 2000, p.101-112.
- SCHNEIDER, P.R.; FLEIG, F.D.; FINGER, C.A.G.; SPATHELF, P. Produção de madeira e casca verde por índice de sítio e espaçamento inicial de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild). **Ciência Florestal**, v.11, n.1, 2001, p.151-165.
- 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, p9-18, 1993.

- SCHUMACHER, M.V.; CALDEIRA, M.V.W. Estimativa de biomassa e do conteúdo de nutrientes de um povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labillardière) subespécie *maidenii*. **Ciência Florestal**, v.11, n.1, p45-53, 2001.
- SOUZA, D.R. **Efeitos do espaçamento na produtividade volumétrica de madeira em povoamentos de *Pinus oocarpa* e *Pinus caribea* var. *hondurensis* até os 16 anos de idade**. Piracicaba: ESALQ, 1995. 80p. (Dissertação de Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1995.
- TEKES – National Technology Agency. **Growing Power: Advanced solutions for bioenergy technology from Finland**. Finland: Markprint Oy, 2002, 34p.
- TOMASELLI, I.; DELESPINASSE, B. Os Reflorestamentos Existentes vão Garantir o Suprimento das Expansões Industriais no Brasil?. **STCP News – Informativo STCP**, 2001. p16-17.
- TSUKAMOTO FILHO, A.A. **Fixação de carbono em um sistema agroflorestal com eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais**. Viçosa, MG: UFV, 2003. 98p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 2003.
- 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. **Cerne**, v.6, n.1, 2000, p. 83-88.
- VAN DEN BROCK, R.; Van WIJK, A. **Eletricidad a partir de eucalipto y bagazo en ingenios azucareros de Nicaragua: costos, aspectos macroeconómicos y medioambientales**. Roma, Itália: FAO/Departamento de Montes, 1998. sp.
- VERWIJST, T. Short Rotation Crops in the World: IEA-Bioenergy Task 30 Organization and Priorities. **Biomassa & Energia**, v.1, n.1, 2004, p.113-121.
- VIANNA JÚNIOR, A.; VIEIRA, L.S.R.; NASCIMENTO, M.V.G. **Manual de Aplicação de Sistemas Descentralizados de Geração de Energia Elétrica para Projetos de Eletrificação Rural – Energia Biomassa – versão 1**. Rio de Janeiro: CEPEL/Centro de Pesquisas de Energia Elétrica, 2000. 41p. (Relatório Técnico ADG/PER – 789/00).

- VITAL, A.R.T.; LIMA, W.P.; POGGIANI, F.; CAMARGO, F.R.A. Biogeoquímica de uma microbacia após o corte raso de uma plantação de eucalipto de 7 anos de idade. **Scientia Florestalis**, n.55, p17-28. 1999.
- VOLK, T.A.; ABRAHAMSON, L.P.; WHITE, E.H.; DOWNING, M. Developing a willow biomass crop enterprise in the United States. In: THIRD MEETING OF IEA BIOENERGY, TASK 17, 1999, Auburn. **Proceedings...**Auburn,, 1999, p.49-56.
- WRIGHT, L. Report on short-rotation crops for energy in the U.S. In: LAST MEETING OF IEA BIOENERGY, TASK 17, 2000, Netherlands/Sweden. **Proceedings...** Netherlands/Sweden, 2000, p.13-17.
- WRIGHT, L.; DOWNING, M.; TURHOLLOW, A. Progress and problems with implementation of short-rotation crops in the United States. In: FOURTH MEETING OF IEA BIOENERGY, TASK 17, 2000, Albany, Australia. **Proceedings...**Albany, Australia, 2000, p.12-14.
- WRIGHT, L.; KSZOS, A. Bioenergy status and expansion in the United States. In: THIRD MEETING OF IEA BIOENERGY, TASK 17, 1999, Auburn, US. **Proceedings...**Auburn, US, 1999, p.57-65.
- YU, C.M. **Seqüestro Florestal do Carbono no Brasil: dimensões políticas sócio-econômicas e ecológicas**. São Paulo: Annablume; IEB, 2004, 278p.