

FERNANDO HENRIQUE DE LIMA GADELHA

**RENDIMENTO VOLUMÉTRICO E ENERGÉTICO DE CLONES DE HÍBRIDOS  
DE *Eucalyptus urophylla* (Cruzamento Natural) e *Eucalyptus brassiana*  
(Cruzamento Natural) NA CHAPADA DO ARARIPE – PE**

**RECIFE – PE  
2010**

**FERNANDO HENRIQUE DE LIMA GADELHA**

**RENDIMENTO VOLUMÉTRICO E ENERGÉTICO DE CLONES DE HÍBRIDOS  
DE *Eucalyptus urophylla* (Cruzamento Natural) e *Eucalyptus brassiana*  
(Cruzamento Natural) NA CHAPADA DO ARARIPE – PE**

Dissertação de Mestrado apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em Ciências  
Florestais da Universidade Federal Rural  
como parte das exigências para obtenção do  
título de mestre em Ciências Florestais.

**ORIENTADOR**

Profº Ph.D José Antônio Aleixo da Silva

**CO-ORIENTADORES**

Profº Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira

Profº Dr Ivan Vieira de Melo

**RECIFE – PE  
2010**

## FICHA CATALOGRÁFICA

G124r Gadelha, Fernando Henrique de Lima  
Rendimento volumétrico e energético de clones de  
híbridos de *Eucalyptus uruphylla* (cruzamento natural) e  
*Eucalyptus brassiana* (cruzamento natural) na Chapada do  
Araripe – PE / Fernando Henrique de Lima Gadelha. – 2010.  
65 f. : il.

Orientador: José Antônio Aleixo da Silva  
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) –  
Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento  
de Ciência Florestal, Recife, 2010.

### Referências

1. Pólo Gesseiro do Araripe 2. Eucaliptucultura  
3. Demanda Energética I. Silva, José Antônio Aleixo da,  
Orientador II. Título

CDD 634.956

**FERNANDO HENRIQUE DE LIMA GADELHA**

**RENDIMENTO VOLUMÉTRICO E ENERGÉTICO DE CLONES DE HÍBRIDOS  
DE *Eucalyptus urophylla* (Cruzamento Natural) e *Eucalyptus brassiana*  
(Cruzamento Natural) NA CHAPADA DO ARARIPE – PE**

**Aprovada em: 18/02/2010**

**Banca Examinadora:**

---

**Prof. Dr. Sérgio Peres Ramos da Silva (UPE)**

---

**Prof. Dr. José de lima Albuquerque (UFRPE)**

---

**Prof. Dr. Marcelo Nogueira (UFRPE)**

**Orientador:**

---

**Prof. Dr. José Antônio Aleixo da Silva**

**RECIFE-PE  
2010**

## **AGRADECIMENTOS**

Inicialmente, agradeço as forças divinas que me ajudaram a concluir mais uma etapa da vida.

Aos meus pais, Josefa de Lima Gadelha e Fernando Soares Gadelha, pelo amor, pelo apoio, pelo incentivo, pelo sacrifício e pela dedicação constantes ao longo da minha vida.

Ao meu irmão, Antônio Cezar de Lima Gadelha, pelo companheirismo e apoio de sempre.

A minha esposa, Letícia Almeida de Paula, pelo companheirismo e pelo incentivo.

Ao amigo e professor José Antônio Aleixo da Silva que me orienta desde a graduação e que muito me ensinou ao longo desse tempo.

Aos professores Rinaldo Luiz Caraciolo e Ivan Vieira de Melo pela co-orientações.

Ao professor Marcelo Nogueira pelas dúvidas que me tirou desde o momento que chegou na UFRPE.

Ao professor Sérgio Peres, ao Eng<sup>o</sup> Mecânico Carlos Almeida e o estudante de Eng<sup>a</sup> Mecânica Thiago Almeida pela realização dos testes no Laboratório POLICOM – UPE.

Ao chefe da Estação Experimental do IPA - Araripina, Eng<sup>o</sup> Agrônomo José Tavares Alves pelo apoio durante toda a pesquisa.

A FACEPE pela concessão da bolsa de estudo.

À Gesso Aliança, na pessoa de Sr. Amauri, Sr. Aurílio e Sr. Emanuel e à Gesso São Geraldo, na pessoa do Sr. Charles pelo apoio na realização da pesquisa.

A Comercial Agrícola Paineiras, pelas mudas cedidas para a instalação do experimento.

Aos amigos e Eng<sup>o</sup> Florestais Natália Danielle e Rafael Melo pelas grandes ajudas durante a construção da pesquisa.

GADELHA, F. H. L. Rendimento volumétrico e energético de clones de híbridos...

Aos amigos professor Wellington Lundgren e o estudante de Eng<sup>a</sup> Florestal Danilo Lobo pela amizade, companheirismo e, principalmente, pela ajuda na coleta dos dados em campo e em laboratório

Aos companheiros de curso Engenheiro Florestal Francisco Sales e a Bióloga Kleibiana Dantas pela amizade e companhia durante as viagens.

Aos amigos do PPGCF pela convivência e amizade, em especial, Rozeane Karla, Rosival Barros, Rafael Ricardo e Thainá Castillo.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco, em especial o Departamento de Ciência Florestal, por me proporcionar o aprendizado e conclusão do curso.

Aos funcionários do Departamento de Ciência Florestal, em especial a Douglas Galdino.

Enfim, a todos os amigos que colaboraram de forma direta e indireta para a conclusão do trabalho.

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	5
LISTA DE TABELAS	9
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE SIGLAS	11
RESUMO	12
ABSTRACT	14
1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	20
2.1.1. Geral	20
2.1.2. Específicos	20
3. REVISÃO DE LITERATURA	21
3.1.1 - Pólo Gesseiro do Araripe	21
3.1.2 - Eucaliptocultura	23
3.1.3 - Florestas Energéticas	25
3.1.4 - Influência do poder calorífico e da densidade da madeira na geração de energia	29
3.1.5 - Planejamento Florestal	30
4. MATERIAL E MÉTODOS	32
4.1.1 - Local do experimento	32
4.1.2 - Caracterização do experimento	33
4.1.3 - Rendimento volumétrico e energético	34
4.1.3.1 - Cubagem rigorosa das árvores	34

4.1.3.2	- Determinações da densidade básica da madeira	36
4.1.3.3	- Determinação do poder calorífico	37
4.1.3.4	- Consumo de lenha durante a calcinação da gipsita	37
4.1.3.5	- Simulação de áreas de plantio anual	40
4.1.3.6	- Análises estatísticas	40
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
5.1.1	- Rendimento Volumétrico	41
5.1.2	- Determinação da densidade básica da madeira - DBM	44
5.1.3	- Determinação do poder calorífico inferior – PCI	45
5.1.4	- Consumo de lenha em toras	47
5.1.5	Área de reflorestamento para calcinação de gipsita com lenha em toras	48
5.1.6	- Consumo de lenha em cavacos	52
5.1.7	Área de reflorestamento para calcinação de gipsita com lenha em cavacos	53
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela</b>	<b>Pág.</b>
1- Tratamentos utilizados no experimento de onde foi retirada a madeira para a pesquisa.	34
2- Volume por planta (vol/plt), taxa de sobrevivência (Sob), volume por hectare (m <sup>3</sup> /ha e st/ha), incremento médio anual (IMA), fator de empilhamento (F.E.).	42
3- Análise de variância da densidade básica da madeira dos clones de híbridos de eucalipto, cultivados em Araripina - PE.	44
4- Comparação de médias da densidade básica da madeira pelo teste de Tukey dos clones de híbridos de eucalipto, cultivados em Araripina - PE.	44
5- Análise de variância do poder calorífico inferior dos clones de híbridos de eucalipto, cultivados em Araripina - PE.	46
6- Comparação de médias do poder calorífico inferior pelo teste de Tukey dos clones de híbridos de eucalipto, cultivados em Araripina - PE.	46
7- Rendimento energético da lenha em tora de clones de híbridos de eucaliptos na calcinação de gipsita nos fornos da Indústria Gesso Aliança do Araripe, em Trindade – PE.	47
8- Rendimento energético da lenha em cavacos de clones de híbridos de eucaliptos na calcinação de gipsita nos fornos da Indústria Gesso Aliança do Araripe, em Trindade – PE.	52

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Pág.</b>
1- Produção de energia primária em tonelada equivalente de petróleo e porcentagem energia consumida no Brasil, considerando a lenha como fonte de energia.	28
2- Produção de lenha em toneladas ( $10^3$ )	28
3- Localização do Pólo Gesseiro do Araripe.	33
4- Processo de cubagem rigorosa dos indivíduos de eucaliptos	35
5- Desenho esquemático das cunhas opostas cortadas no disco	36
6- Forno abastecido por lenha em toras para a calcinação da gipsita	38
7- Lenha picada em forma de cavacos para ser utilizada nos fornos	39
8 -. Curvas de incremento médio anual para os híbridos de <i>Eucalyptus</i> sp. plantados na Chapada do Araripe – PE.	49
9 - Área por ano sob intervenção necessária para atender a demanda de lenha de uma indústria de gesso com produção mensal de 2000 toneladas	51
10- Volume de madeira e toneladas de gesso produzido em um hectare após 10 anos de exploração, utilizando lenha em toras.	51
11- Área por ano sob intervenção necessária para atender a demanda de lenha de uma indústria de gesso com produção mensal de 2000 toneladas.	54
12 - Volume de madeira e toneladas de gesso produzido em um hectare após 10 anos de exploração, utilizando lenha em cavacos.	55

## LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRAFF – Associação Brasileira de Florestas Plantadas

ATECEL – Associação Técnica Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior

BPF – Baixo Poder de Fusão

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FAO – Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação

FUPEF – Fundação de pesquisas Florestais do Paraná

ICA – Incremento Corrente Anual

IMA – Incremento Médio Anual

IPA – Instituto Agrônomo de Pernambuco

ITEP – Instituto Tecnológico de Pernambuco

LAMEPE – Laboratório de Meteorologia de Pernambuco

MMA – Ministério do Meio Ambiente

PCI – Poder Calorífico Inferior

PCS – Poder Calorífico Superior

SECTMA – Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente

SINDUSGESSO – Sindicato das Industrias do Gesso

TEP – Tonelada equivalente de petróleo

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o rendimento volumétrico e energético produzido por três diferentes clones de híbridos de *Eucalyptus* sp: C39 Híbrido de *E. urophylla* (cruzamento natural); C41 Híbrido de *E. urophylla* (cruzamento natural) e C11 Híbrido de *E. brassiana* (cruzamento natural). A pesquisa foi realizada nas indústrias Gesso Aliança do Araripe e Gesso São Geraldo, ambas na cidade de Trindade – PE e a madeira foi oriunda de um experimento no Campo Experimental de Araripina, pertencente ao IPA (Instituto Agrônomico de Pernambuco). Para a quantificação do volume de madeira foi utilizado o processo de cubagem rigorosa pelo método de Smalian. A densidade básica da madeira e o poder calorífico foram determinados de acordo com as respectivas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas. O consumo de lenha foi obtido por meio do acompanhamento da calcinação da gipsita nas fábricas. Para as análises estatísticas foi considerado o delineamento inteiramente ao acaso. As produtividades volumétricas de tais clones foram, respectivamente, 158,46, 132,20 e 164,89 m<sup>3</sup>/ha aos 7,5 anos de idade, apresentando rendimentos durante a calcinação da gipsita de 0,28, 0,24 e 0,24 estereo de lenha por tonelada de gesso produzida, quando a lenha foi utilizada em forma de toras. Para a lenha em cavacos os rendimentos foram de 0,20, 0,19 e 0,18 estereo por tonelada, resultados bem acima dos melhores rendimentos da lenha de vegetação nativa, que são de 0,30 stereo por tonelada. De acordo com os valores encontrados se pode afirmar que a utilização de lenha oriunda de povoamentos de eucaliptos na calcinação da gipsita aumenta a produtividade das empresas e diminui a área sob intervenção

GADELHA, F. H. L. Rendimento volumétrico e energético de clones de híbridos...

necessária para atender a demanda de lenha das indústrias calcinadoras de gipsita.

Palavras chaves: Pólo Gesseiro do Araripe, Eucaliptocultura, Demanda Energética

## **ABSTRACT**

VOLUMETRIC AND ENERGY EFFICIENCY OF HYBRIDS CLONES OF *Eucalyptus urophylla* (Natural Crossing) AND *Eucalyptus brassiana* (Natural Crossing) IN THE GYPSUM POLE OF ARARIPE - PE

This study aimed to evaluate the volumetric efficiency and energy produced by three different hybrid clones of *Eucalyptus* sp: C39 Hybrid *E. urophylla* (natural crossing); C41 Hybrid *E. urophylla* (natural crossing) and C11 Hybrid *E. brassiana* (natural crossing). The survey was conducted in the industries Alliance Araripe Plaster and Plaster Saint Gerard, both in the city of Trindade – PE. The wood came from an experiment in the Experimental Station Araripina which belongs to the Agronomic Institute of Pernambuco (IPA). To quantify the amount of wood it was used the Smalian method. The basic wood density and calorific value were determined in accordance with their respective Brazilian Association of Technical Standards. The firewood consumption was obtained through the monitoring the calcination of gypsum in the factories. The statistical analysis was a complete randomized design. The volumetric productivity of these 7.5 year old clones were, respectively, 158.46, 132.20 and 164.89 m<sup>3</sup>/ha. The performances during the gypsum calcination were 0.28, 0.24 and 0, 24 wood stereos, in form of lap, per ton of gypsum produced. When chips were used, the results were 0.20, 0.19 and 0.18 wood stereo per ton.. This results were better than the best result obtained using the wood of native vegetation, 0.30 wood stereos per tonne. According to the values found, it can be stated that the use of wood coming from *Eucalyptus* plantations in the calcination of gypsum increases the productivity and reduces the area under the intervention required to meet the demand for wood industries in the calcination of gypsum.

Keywords: Gypsum Pole, Growing *Eucalyptus*, Energy Demand

## 1. INTRODUÇÃO

A região do Araripe, localizada no extremo oeste de Pernambuco, é composta pelos municípios de Araripina, Bodocó, Cedro, Dormentes, Exu, Granito, Ipubí, Moreilândia, Ouricuri, Parnamirim, Santa Cruz, Santa Filomena, Serrita, Terra Nova e Trindade, que juntos correspondem a 18% da área total de Estado de Pernambuco (SÁ *et al.*, 2008).

O grande destaque da Chapada do Araripe, onde se localiza o Arranjo Produtivo Local (APL) do Pólo Gesseiro do Araripe, é a sua produção de gipsita para industrialização do gesso cujas jazidas principais estão nos municípios de Araripina, Ipubi, Trindade, Bodocó e Ouricuri, de onde saem 95% de todo o gesso consumido no Brasil (ALBUQUERQUE, 2002).

Segundo o SINDUSGESSO (2009), o consumo de gesso per capita no Brasil é de 15 kg/ano, enquanto que na Europa o consumo é 80 kg/ano e nos Estados Unidos é de 118 kg/ano. Conforme Lyra Sobrinho *et al.* (2007) a produção nacional de gesso em 2007 foi 12% maior que em 2006. Considerando-se que o incentivo ao consumo por meio da diversificação dos produtos ofertados pelo Pólo Gesseiro e mantida a tecnologia de produção atual, no que se refere ao uso de combustíveis, com predominância do uso da lenha, poderá ocorrer uma drástica redução da cobertura vegetal da região, principalmente, pelo fato de que existe um desequilíbrio acentuado entre oferta e demanda de lenha para suprir a indústria de gesso.

Surge então a necessidade de um planejamento energético com extrema eficiência para atender a demanda da produção de gesso, atentando-se para a atual tecnologia de produção e seus impactos sobre o meio ambiente.

A degradação ambiental da região do Araripe está, diretamente, associada à industrialização de minerais, especialmente a gipsita. Em consequência, na medida em que a indústria do gesso foi se desenvolvendo, utilizando, principalmente, a lenha como fonte energética para a calcinação a devastação da vegetação nativa da região aumentou. Com a escassez da lenha as indústrias são obrigadas, atualmente, a adquirir lenha nos estados vizinhos, transferindo a pressão sobre os recursos florestais para outras áreas (GADELHA *et al.*, 2006).

Considerando que o rendimento médio volumétrico da caatinga é baixo, aproximadamente, 15 st/ha/ano na região do Araripe (RIEGELHAUPT, 2007), quando comparado com a eucaliptocultura, que pode variar de 17 m<sup>3</sup>/ha/ano (Oliveira, *et al.*, 1998) a 45 m<sup>3</sup>/ha/ano (Rodriguez *et al.* 1997) e que a maioria da produção de lenha que atende o Pólo Gesseiro é oriunda da exploração desordenada na vegetação nativa da região, o uso de eucaliptos se constitui em uma alternativa viável, estratégica para atender a necessidade madeireira da região.

Apesar das inúmeras as espécies arbóreas existentes, os eucaliptos, devido a ampla diversidade de espécies, rápido crescimento, multiplicidade de usos de sua madeira, fácil adaptabilidade as mais variadas condições ambientais, e devido às modernas técnicas de manejo florestal fizeram com que esse gênero fosse amplamente utilizado em plantios florestais com os maiores índices de produtividade do mundo (MORA e GARCIA, 2000; TRUGILHO *et al.*, 2001; SCARPINELLA, 2002).

Os eucaliptos por possuírem mais de 600 espécies possibilitam uma ampla distribuição geográfica, facilitando sua introdução em várias regiões com



diferentes condições climáticas. É um gênero de rápido crescimento e contínuo durante todo o ano e não perde folhas mesmo em climas áridos (LIMA, 1996).

No campo energético, a madeira é tradicionalmente chamada de lenha e, nessa forma, sempre ofereceu histórica contribuição para o desenvolvimento da humanidade, tendo sido sua primeira fonte de energia, inicialmente empregada para aquecimento e cocção de alimentos. Ao longo dos tempos, passou a ser utilizada como combustível sólido, líquido e gasoso, em processos para a geração de energia térmica, mecânica e elétrica (BRITO, 2007).

Diante das restrições econômicas, ambientais e da dificuldade de substituição de combustíveis fósseis, evidenciou-se a relevância do estudo da aplicação de eficiência energética em todos os níveis de produção, distribuição e consumo (ATECEL, 2006).

Na transformação da energia de biomassa em energia útil, normalmente, se usa a tecnologia apropriada porém o processo é de baixa eficiência, o que ocasiona perdas econômicas. (INEE, 2004).

Segundo Petterson (1996) a eficiência energética deve ser tratada como política pública e deve estar ligada ao setor comercial, a competitividade industrial e a segurança energética.

Face a tendência de crescimento da demanda de energia necessária ao desenvolvimento do país, o manejo adequado de florestas plantadas e o uso racional da madeira como energia, constituem uma opção de elevado potencial estratégico à medida que promove uma oferta de energia renovável e de qualidade ecológica pois não altera o balanço de gases de efeito estufa, diferente dos derivados de petróleo e carvão mineral, que são fontes esgotáveis

GADELHA, F. H. L. Rendimento volumétrico e energético de clones de híbridos...

de energia e que eliminam na atmosfera, por ocasião da queima, o carbono armazenado por séculos (GATTO, 2003)..

Segundo a FUPEF (2007) os resultados mais expressivos relacionados a experiências com florestas plantadas de produção na região da Chapada do Araripe são aqueles resultantes do trabalho desenvolvido pela UFRPE (Universidade Federal Rural de Pernambuco) e IPA (Instituto Agrônomo de Pernambuco), com apoio do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico). Juntas, estas instituições vêm desenvolvendo pesquisas desde o ano 2000, em um experimento cientificamente controlado com clones de eucaliptos.

O setor de produção secundária, no qual se enquadram as calcinadoras do Araripe, consome, predominantemente, a biomassa florestal como fonte energética além de óleo BPF (Baixo Poder de Fusão) cujo preço oscila de acordo com os preços dos derivados de petróleo. A constante variação no preço do óleo BPF fez com que as empresas migrassem para o consumo de lenha, aliado a outros fatores incentivadores como a precária fiscalização de combate a comercialização de lenha ilegal.

Diante do exposto, percebe-se a necessidade da realização de trabalhos que sirvam de embasamento para um planejamento a curto, médio e longo prazo para o abastecimento energético, da região com o plantio de florestas energéticas que, paralelamente, podem reduzir drasticamente devastação florestal da região pela oferta de madeira em maior qualidade, em menor espaço de tempo e com maior eficiência energética. Atualmente, existem na Região do Araripe 1.294,221 hectares antropizados e sem condições de uso

GADELHA, F. H. L. Rendimento volumétrico e energético de clones de híbridos...

pela agricultura, sendo 401.925 ha úteis ao florestamento e reflorestamento e 892.296 passíveis de projetos de recuperação de áreas degradadas.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1.1. Geral

Avaliar a eficiência energética da lenha produzida por diferentes clones de híbridos de *Eucalyptus* sp, testados na Região do Pólo Gesseiro de Pernambuco, usada como combustível em fornos para calcinação de gipsita.

### 2.1.2. Específicos

- Avaliar os clones de *Eucalyptus* sp. em termos de produção volumétrica e rendimento energético da lenha para serem utilizados nos fornos de calcinação de gipsita;
- Avaliar a influência da densidade básica da madeira da madeira no rendimento energético;
- Avaliar a influência do poder calorífico inferior da madeira no rendimento energético;
- Propor alternativas para uma melhor utilização da lenha a ser usada na calcinação de gipsita;
- Simular área de plantio anual para que uma indústria se torne sustentável quando ao consumo de lenha.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1.1 - Pólo Gesseiro do Araripe**

O Brasil tem destaque mundial em reservas de gipsita, com um potencial de produção estimado em 1.668.570.905 toneladas (t.), dos quais, cerca de 93% estão concentradas na Bahia (44%), Pará (31%) e Pernambuco (18%), ficando o restante distribuído, em ordem decrescente, entre o Maranhão, Ceará, Piauí, Tocantins e Amazonas. A porção das reservas que apresenta melhores condições de aproveitamento econômico, porém, está situada na região do Araripe, na fronteira dos Estados do Piauí, Ceará e Pernambuco, com destaque para as reservas pernambucanas (LYRA SOBRINHO *et al.*, 2007). Segundo Baltar *et al.* (2003), as reservas de gipsita da região do Araripe são consideradas as melhores do mundo em qualidade do minério e logística.

É nessa região que está localizado o Arranjo Produtivo Local (APL) do gesso, denominado de Pólo Gesseiro do Araripe, composto pelos municípios de Araripina, Bodocó, Ipubí, Ouricuri e Trindade, onde são gerados 13.200 empregos diretos e 66.000 indiretos, resultantes da atuação de 39 minas de gipsita, 139 indústrias de calcinação e cerca de 726 indústrias de pré-moldados, com um faturamento anual na ordem de US\$ 364 milhões/ano (SINDUSGESSO, 2009).

A produção de gesso em 2008 foi de, aproximadamente, 4,3 milhões de toneladas, o que corresponde a 95% da produção nacional, dos quais 61% são destinados a fabricação de blocos e placas, 35% para revestimento, 3% para moldes cerâmicos e 1% para outros usos. O Pólo Gesseiro do Araripe produz ainda cerca de 800 mil toneladas de gipsita usada pela indústria de cimento e 200 mil toneladas de gesso agrícola (SINDUSGESSO, 2009).

O Pólo Gesseiro do Araripe se encontra próximo a oito capitais de estado, (Salvador, Aracaju, Maceió, Recife, João Pessoa, Natal, Fortaleza e Teresina) e oito importantes portos, Salvador (BA), Aratu (BA), Recife (PE), Suape (PE), Mucuripe (CE), Pecém (CE), Itaquí (MA) e Ponta da Madeira (MA) (SECTMA, 2008).

A matriz energética da indústria do gesso do Araripe que é muito diversificada, usa aproximadamente, 3% de energia elétrica, 5% de óleo diesel, 8% de óleo BPF (Baixo Poder de Fusão), 10% de coque e 74% de lenha (ATECEL, 2006).

Dentro do contexto do Pólo Gesseiro, a substituição da lenha da mata nativa por lenha de reflorestamento se apresenta como uma alternativa econômica e ambientalmente viável.

O gênero *Eucalyptus* por sua ampla adaptação aos vários tipos climáticos é o mais plantado no mundo para esta finalidade (IGLESIAS-TRABADO, e WILSTERMANN, 2008). O Brasil se constitui no maior plantador no mundo (21%) e é o detentor das tecnologias mais avançadas, no cultivo desse gênero que também apresenta os mais altos índices de produtividade, quando comparado com outros gêneros florestais.

Segundo MMA/SECTMA (2007), a exploração de um hectare de mata nativa no Araripe produz em média 15 st/ha/ano, para um consumo domiciliar de 579.048,75 st, o que corresponde a um corte de 3.860 ha de floresta nativa. Para o setor industrial, o consumo é de 1.322.750 st resultante de um corte de 8.818 ha de floresta, totalizando 12.678 ha para ambos setores.

De acordo com Lyra Sobrinho (2007), a matriz energética constitui um dos principais gargalos ao desenvolvimento do setor gesseiro no Estado de

Pernambuco. O estudo da economia de combustíveis se torna cada vez mais uma pesquisa estratégica de interesse para o Pólo Gesseiro, já que o acesso a fontes de combustível como gás natural e o óleo BPF, requer investimentos de médio e longo prazo, além de serem combustíveis cuja aquisição implicam em custos mais elevados, criando oportunidades para que os empresários do setor optem pela exploração predatória do estoque de lenha da caatinga (ALBUQUERQUE, 2002; LYRA SOBRINHO, 2007; SINDUSGESSO, 2009).

Um dos aspectos positivos da produção do gesso é a manutenção de um baixo nível de desemprego, pois, atualmente, o Pólo Gesseiro se apresenta como um conjunto de empresas de micro, pequeno e médio porte que oferecem cerca de 13.200 empregos diretos e aproximadamente 66.000 indiretos (SINDUSGESSO, 2009)

### **3.1.2 – Eucaliptocultura**

O gênero *Eucalyptus* pertence à família Mirtaceae, é originário da Austrália. Detém mais de 600 espécies e variedades endêmicas desse país, ocorrendo ainda, mesmo que em pequeno número, na Papua Nova Guiné, Indonésia e Filipinas. É um gênero de grande plasticidade e de dispersão mundial, crescendo satisfatoriamente em grande amplitude edafoclimática, extrapolando as do local de origem, apresentando uma variação longitudinal de ocorrência que vai de 7° N até 43° 39'S (LIMA, 1996).

Foi introduzido no Brasil em 1825, como espécie ornamental e como quebra-vento. Para finalidades econômicas seu uso iniciou 1903, quando eram necessários dormentes para atender ao desenvolvimento das estradas de ferro da Companhia Paulista de Estradas de Ferro – CPEF. Além dos dormentes

usados nas estradas de ferro, o *Eucalyptus* também era usado como combustível (lenha) para movimentar os trens (ANDRADE, 1911).

Considerado pai da eucaliptocultura no Brasil, Navarro de Andrade desenvolveu experiências de 1904 a 1909, no horto florestal de Jundiá, comparando várias espécies nativas com o eucalipto, tendo esse se destacado das demais espécies quanto à produtividade de madeira (MORA e GARCIA, 2000).

Os plantios de eucaliptos em escala comercial no Brasil tiveram seu grande impulso na década de 40, na região da Bacia do Rio Doce, no Estado de Minas Gerais, nos locais em que havia mineração de ferro para a siderurgia. Seu uso era em forma de carvão vegetal para substituir o coque nos processos de beneficiamento do minério de ferro (CHANDLER e HANSON, 1998).

Em função de sua grande plasticidade ambiental, altos índices de produtividade, ampla diversidade de espécies e características energéticas (densidade da madeira e poder calorífico) o gênero *Eucalyptus* é o mais utilizado para a implantação de florestas com fins energéticos, sendo que as principais espécies de eucalipto utilizadas são: *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla*, *E. urograndis* (híbrido), *E. camaldulensis*, *E. citriodora*, *E. cloeziana*, *E. globulus*, *E. maculata*, *E. paniculata*, *E. pellita*, *E. pilularis*, *E. saligna*, *E. tereticornis* (COUTO e MULLER, 2000; MORA e GARCIA, 2000).

As plantações florestais cobrem entre 40 e 50 milhões de hectares das regiões tropicais, com a finalidade de suprir as demandas de madeira locais e globais, além de funcionarem como sequestradoras de carbono e outros bens diretos e indiretos da floresta. A taxa de novos plantios é de aproximadamente



GADELHA, F. H. L. Rendimento volumétrico e energético de clones de híbridos...

300 mil hectares ano. Entre as espécies de folhosas os eucaliptos são os mais plantados (STAPE, 2002; LIMA e ZAKIA, 2006; STAPE et al., 2008).

Devido ao melhoramento genético, técnicas de propagação por clones, preparação dos sítios e fertilização, o IMA nos eucaliptos plantados no Brasil cresceu de 10 m<sup>3</sup>/ha/ano na década de 60 para 40 m<sup>3</sup>/ha/ano atualmente (BINKLEY e STAPE, 2004).

Dados mais recentes da Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF, 2007), indicam que em 2006, o Brasil possuía 5.373.417 ha de florestas plantadas, sendo 3.549.148 ha plantados com eucaliptos (66%), liderado pelo Estado de Minas Gerais com 1.083.744 ha (20%).

O aumento da produtividade das florestas plantadas tende a reduzir a devastação das florestas nativas, cujas leis de proteção são mais rígidas. Quando tais florestas são bem manejadas, geralmente são mais eficientes e econômicas como fonte de matéria prima para a indústria florestal (HARRISON et al., 2000).

Segundo Alves (2007), o Brasil possui uma vocação florestal, tanto para a existência e formação de florestas naturais, como para a formação de novos maciços florestais de espécies exóticas com finalidades energéticas.

### **3.1.3 - Florestas Energéticas**

Desde os primórdios da humanidade a madeira é utilizada como fonte energética. A energia produzida pela madeira sempre foi e continuará sendo utilizada para a cocção de alimentos, secagem de produtos agrícolas e da própria madeira, usos industriais como cerâmicas, ferro, aço e calcinação de

gipsita (FLORESTA COLONIAL, 2001; ATECEL, 2006; BRITO, 2007, FAO, 2008). Durante muito tempo, porém, o seu uso como fonte de energia foi considerado como não prioritário graças à grande oferta de carvão mineral e de petróleo. A lenha já chegou a ser a principal fonte de energia do Brasil, durante as décadas de 60 e 70, respectivamente, período em que o petróleo e a hidroeletricidade superaram-na no atendimento da demanda energética interna (BRITO, 1993).

Os termos “plantios energéticos”, “florestas energéticas” ou “florestas de ciclo curto” têm sido usados para definir os povoamentos florestais que são formados com o objetivo de produzir fitomassa destinada a produção de energia (BALLONI *et al.*, 1980; MAGALHÃES, 1982; MÜLLER e COUTO, 2006; ZANETTI e ZANETTI, 2007).

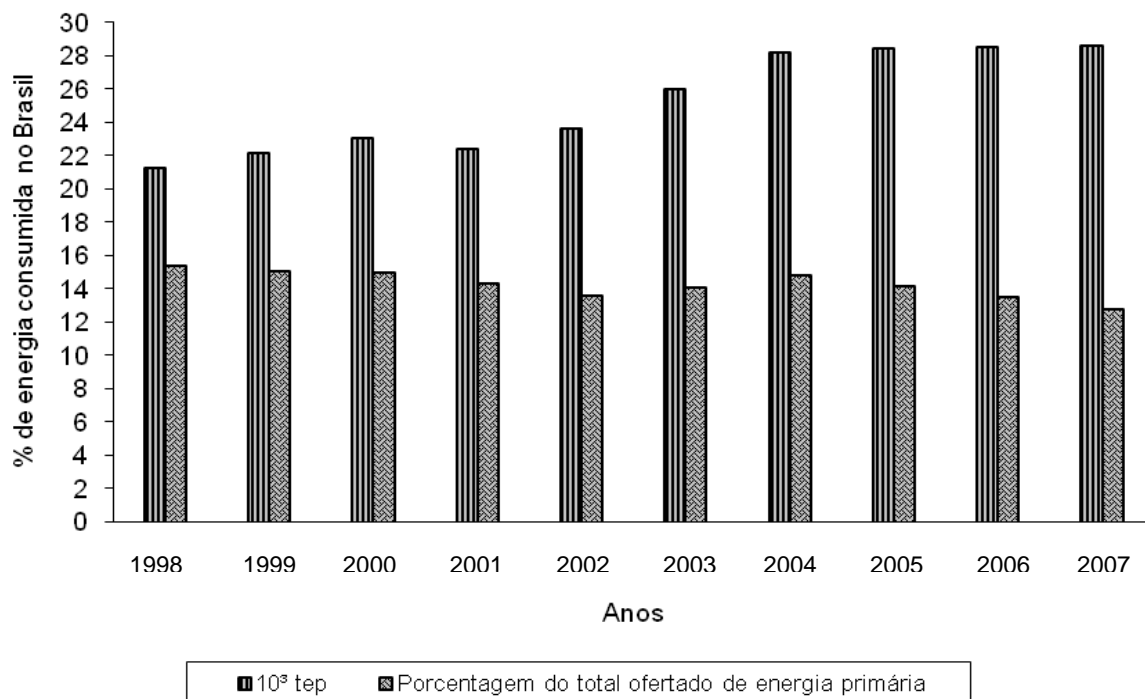
Segundo Balloni *et al.*, (1980), a implantação de florestas com finalidade energéticas remonta do início do século passado, época inicial da silvicultura de florestas plantadas no Brasil, isso se deu com o objetivo de atender à demanda por lenha, que na época já era material escasso no mercado.

De acordo com Müller e Couto (2006), o uso da madeira como fonte de energia é uma tendência mundial e a motivação para esta tendência é a necessidade de diminuir o uso de combustíveis fósseis, tornando-se menos dependente dos países exportadores e reduzindo as emissões de gases nocivos a atmosfera.

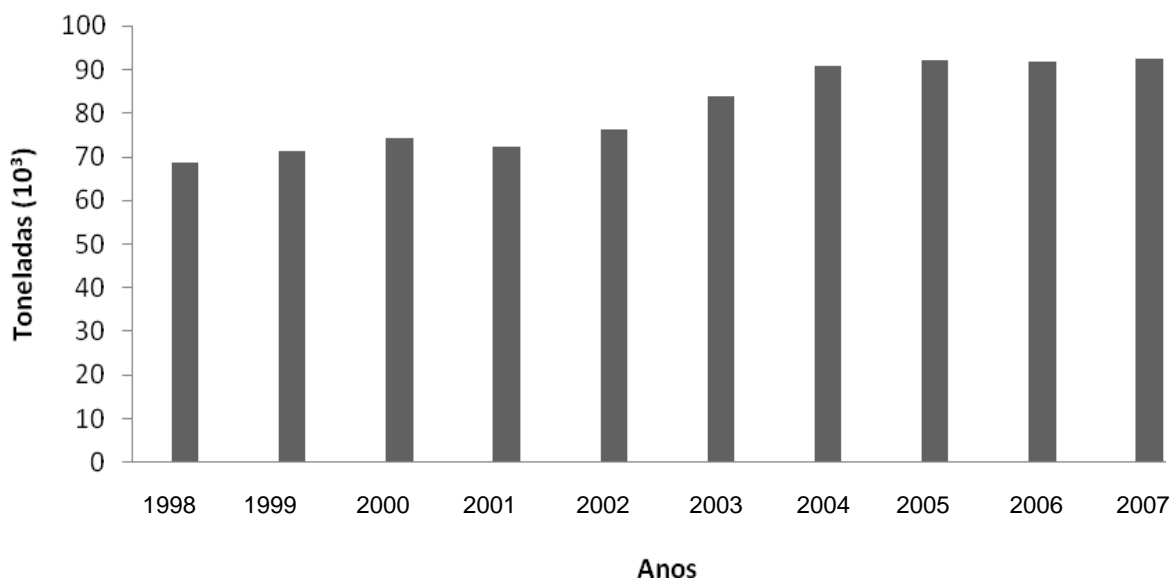
O fator motivador para o uso de biomassa florestal como fonte energética é que, um dos principais contribuintes para a interferência antrópica no aquecimento global, causado pela emissão de Gases do Efeito Estufa – GEE tem sido o setor energético com a queima de combustíveis fósseis. A utilização

da madeira como combustível nada mais é do que o uso da energia solar transformada que é armazenada como substância orgânica, e que ao contrário dos combustíveis fósseis, em geral, a sua queima completa não libera dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e apenas devolve o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) que ela mesmo capturou da atmosfera, não havendo, portanto, um aumento real de GEE. Sendo assim, o sequestro de carbono proporcionado pelas florestas energéticas é elegível dentro do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo – MDL, como atividade de Florestamento/Reflorestamento (FLORESTA COLONIAL, 2001b; ZANETTI e ZANETTI, 2007).

Segundo Brasil (2008), no balanço energético 2008, a biomassa florestal foi responsável por 12% da oferta interna de energia em 2007, considerando apenas a oferta de energia por combustíveis de origem renovável, a lenha, juntamente, com o carvão vegetal foram responsáveis por 26,1% da energia ofertada no país em 2007. Na Figura 1 se observa que a porcentagem de energia primária, em tonelada equivalente de petróleo (TEP), ofertada pela produção de lenha apresentou uma queda nos últimos dez anos, porém a quantidade de energia produzida aumentou no mesmo período. Na Figura 2 é possível observar que a produção de madeira com finalidade energética aumentou de 2002 a 2005, estabilizando-se entre 2005 e 2007. O fato de ofertar mais energia em termos absolutos e menos energia em termos relativos se deveu a uma maior oferta de combustíveis fósseis, também, nos últimos anos.



**Figura 1:** Produção de energia primária em tonelada equivalente de petróleo e porcentagem energia consumida no Brasil, considerando a lenha como fonte de energia (Brasil, 2008).



**Figura 2:** Produção de lenha em toneladas (10<sup>3</sup>) (Brasil, 2008)

A utilização de madeira como fonte energética não significa um retrocesso no desenvolvimento, ao contrário, é um passo na direção modernidade e da sustentabilidade do setor energético. Atualmente, as técnicas de combustão e aproveitamento energético estão bastante desenvolvidas e continuam sendo pesquisadas (FLORESTAL COLONIAL, 2001).

O fato da energia proveniente da biomassa florestal ter baixo custo, e a associação à sua capacidade de renovação, contribui para aumento da demanda sobre os produtos florestais (FUPEF, 2007). O Brasil possui lugar de destaque no cenário mundial quando se trata de silvicultura, principalmente, com espécies de rápido crescimento como o gênero *Eucalyptus* (MEDRADO *et al.*, 2001)

Segundo a FAO (2008), além do ponto de vista econômico, a geração de energia a partir da madeira, ou outro biocombustível, é uma ação estratégica para uma maior segurança energética, principalmente, para países que têm grandes superfícies florestais e que dependem de combustíveis fósseis.

#### **3.1.4 - Influência do poder calorífico e da densidade da madeira na geração de energia**

A escolha de uma determinada espécie vegetal para uso energético deve se fundamentar, entre outros fatores, como a produção de biomassa e no conhecimento do seu poder calorífico (VALE *et al.*, 2000).

Segundo Brito (1993), o poder calorífico expressa a capacidade de geração de energia de um combustível durante sua combustão, tendo como unidade de medida é quilocalorias (kcal) por quilo (kg) ou calorias (cal) por grama (g) de combustível e no sistema internacional de MJ/kg ou kJ/kg.

O poder calorífico é dividido em poder calorífico superior PCS e poder calorífico inferior PCI. O PCS é soma da energia liberada na forma de calor e a energia gasta na vaporização da água contida no combustível, enquanto que o PCI é a energia liberada na forma de calor (PERES *et al.*, 2007)

Segundo Rocha e Klitze (1998), espécies florestais com madeiras mais densas tem poder calorífico semelhante a madeiras de menor densidade, visto que o poder calorífico por unidade de peso não tem variação. Porém, uma madeira de densidade maior apresenta uma maior massa num mesmo volume. De acordo com os mesmos autores, esse é o conceito de poder calorífico volumétrico (PCV), o qual expressa a quantidade de energia a ser liberada por unidade de volume (kcal/m<sup>3</sup>), significa que, quanto maior a densidade da madeira, maior será o sua massa para um determinado volume e, conseqüentemente, maior o poder calorífico volumétrico.

Para Pereira (1988), a densidade básica da madeira, em adição à produtividade, constitui-se uma importante variável na hora de definir quais as melhores espécies para fins energéticos.

### **3.1.5 - Planejamento Florestal**

A grande maioria dos países, desenvolvidos ou não, está promovendo ações para aumentar a participação das energias alternativas, em especial a biomassa, em suas matrizes energéticas. A motivação econômica para essa mudança de postura é a necessidade de reduzir o consumo de derivados do petróleo e, conseqüentemente, a dependência de energia desses países em relação aos países exportadores de petróleo. Do ponto de vista ecológico, a redução no consumo de derivado de petróleo pode diminuir a emissão de gases

do efeito estufa (CRUZ e NOGUEIRA, 2004). Para que essa mudança seja realizada com êxito, contudo, um bom planejamento é essencial.

Para Amaro (2008), o planejamento florestal deve ser realizado por meio de estudos que forneçam informações sobre o crescimento e incrementos e comportamento de uma floresta.

O planejamento florestal deve ser realizado com base no conhecimento da atual situação e das possibilidades futuras do empreendimento, de forma a subsidiar as decisões a serem tomadas para alcançar os seus objetivos, buscando racionalizar o aproveitamento do ambiente com os objetivos da produção (FINGER et al. 1993; SCHNEIDER 2008).

Com o planejamento florestal é possível aumentar a segurança quanto ao suprimento da demanda por madeira (lenha) e, conseqüentemente, energia, diminuindo as possibilidades de sofrer interferência das variações econômicas que afetam os combustíveis fósseis (BRITO e CINTRA, 2004).

#### **4. MATERIAL E MÉTODOS**

##### **4.1.1 - Local do experimento**

A pesquisa foi realizada na indústria Gesso Aliança do Araripe Ltda, localizada na Rod. PE 630 s/n, km 02, Zona Rural e na indústria Gesso São Geraldo Ltda, localizada na Rod. BR 316 s/n, km 56, ambas na cidade de Trindade - PE.

A madeira usada na pesquisa foi oriunda de um experimento em andamento no Campo Experimental de Araripina, pertencente ao Instituto Agrônômico de Pernambuco – IPA, localizado no Município de Araripina, Semiárido pernambucano, contando com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e do Departamento de Ciência Florestal (DCFL / UFRPE).

A região do Pólo Gesseiro, mostrada na Figura 3, apresenta precipitação média anual de 760 mm, concentrada entre os meses de novembro a maio representando mais de 80% do total anual, o que provoca deficiências hídricas que se acumulam a partir do mês de maio até o mês de outubro, quando esta é mínima, sendo atenuada nos meses de fevereiro a abril nos quais ocorre um pequeno excesso (ITEP/LAMEPE, 2009). O clima é do tipo Bshw', semiárido, quente, com chuvas de verão-outono, pela classificação de Koppen. A temperatura média anual é de 24°C (ARAÚJO, 2004). O solo é do tipo Latossolo amarelo (EMBRAPA SOLOS, 2006).





**Figura 3:** Localização do Pólo Gesseiro do Araripe.

#### 4.1.2 - Caracterização do experimento

O experimento foi implantado no início do mês de março de 2002, com espaçamento de 3 x 2 m, e os dados foram coletados em outubro de 2009, configurando assim um povoamento com 7,5 anos de idade. Foram aplicados 15 tratamentos (clones de híbridos de *Eucalyptus*) com 4 repetições (Tabela 1), estabelecidos em um delineamento em blocos casualizados.

Para a realização desta pesquisa foram escolhidos os clones dos híbridos C11, C39 e C41 (Tabela 1), considerados como mais produtivos de acordo com análises realizadas por SILVA (2008).

**Tabela 1:** Tratamentos utilizados no experimento de onde foi retirada a madeira para a pesquisa.

Trat.	Clone	Descrição
01	C49	Híbrido de <i>Eucalyptus tereticornis</i> (cruzamento natural)
02	C80	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> de Laura (polinização controlada)
03	C315	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> de Laura (polinização controlada)
04	C101	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> de Laura (polinização controlada)
05	C78	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> de Laura (polinização controlada)
06	C156	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> x <i>E. pellita</i> (polinização controlada)
07*	C39	Híbrido de <i>E. urophylla</i> (cruzamento natural)
08	C27	Híbrido de <i>E. brassiana</i> (cruzamento natural)
09	C51	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> de Laura (polinização controlada)
10	C158	Híbrido de <i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> de Laura (polinização controlada)
11*	C41	Híbrido de <i>E. urophylla</i> (cruzamento natural)
12	C31	Híbrido de <i>E. brassiana</i> (cruzamento natural)
13	C25	Híbrido de <i>E. brassiana</i> (cruzamento natural)
14	C33	Híbrido de <i>E. urophylla</i> (cruzamento natural)
15*	C11	Híbrido de <i>E. brassiana</i> (cruzamento natural)

\*Tratamentos selecionados para a realização da pesquisa

#### 4.1.3 - Rendimento volumétrico e energético

##### 4.1.3.1 – Cubagem rigorosa das árvores

Após o corte das árvores, foram medidas as alturas totais, altura do fuste e diâmetros em várias alturas do fuste. Considerando-se como fuste a porção compreendida entre a altura de corte (0,30 m) e as primeiras ramificações na base da copa. Os fustes foram cubados rigorosamente, conforme mostra a Figura 4, por meio da aplicação da fórmula de Smalian (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2003).

Os valores de volume de madeira encontrados foram valores reais e não estimativas, uma vez que todas as árvores foram cubadas.

$$V = \frac{1}{2} (G + g) * L \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

V = Volume (m<sup>3</sup>);

G = Área basimétrica do início da tora (m<sup>2</sup>)

g = Área basimétrica do fim da tora (m<sup>2</sup>);

L = Tamanho da tora (m)

$$g = \frac{\pi * dap^2}{4} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

dap = Diâmetro na altura do peito (1,30 m).



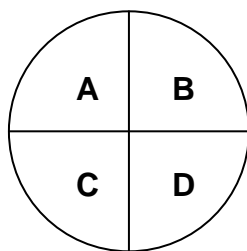
**Figura 4:** Processo de cubagem rigorosa dos indivíduos de eucaliptos

#### 4.1.3.2 - Determinações da densidade básica da madeira DBM

Para determinar a densidade básica da madeira foram seguidos os procedimentos recomendados pela norma NBR 11941 (ABNT, 2003). Sendo amostrados 4 indivíduos por tratamento.

Os corpos-de-prova utilizados, para determinar a densidade, foram 2 cunhas opostas das seções retiradas da árvore (Figura 5). Para saturar os corpos-de-prova foi necessário submergi-los em água e aplicar vácuo duas vezes ao dia, a completa saturação se deu após três dias de submersão.

Posteriormente, foi medido o volume dos corpos-de-prova, que se baseou no princípio de Arquimedes na qual a perda aparente de peso de um corpo imerso em um líquido é igual ao peso do líquido deslocado. Os corpos-de-prova foram secos em estufa com circulação de ar forçada a  $103 \pm 2$  °C, após massa constante foram pesados em balança eletrônica com 0,0001 g de sensibilidade e com capacidade de 210 gramas, da marca DEL Engeneering.



**Figura 5:** Desenho esquemático das cunhas opostas cortadas no disco.

A densidade básica foi determinada pela razão entre a massa seca e o volume úmido (Equação 3).

$$DB = \frac{M_{\text{seca}}}{V_{\text{úmido}}} \quad \text{Eq. (3)}$$

Em que:

DB: Densidade Básica ( $\text{g/cm}^3$ )

$M_{\text{as}}$ : Massa absolutamente seca (g)

$V_{\text{verde}}$ : Volume da madeira saturado ( $\text{cm}^3$ )

Os testes foram realizados no Laboratório de Química da Madeira da Universidade Federal de Lavras - MG.

#### **4.1.3.3 – Determinação do poder calorífico**

O PCI (poder calorífico inferior) foi determinado de acordo com a norma NBR 8633 (ABNT, 1984) e o manual do calorímetro de marca IKA, modelo C 2000, sendo amostrados cinco indivíduos por tratamento.

A amostra foi triturada num moinho de facas, marca Marconi, posteriormente, foi confeccionado um pellet de cada amostra e levado a bomba calorimétrica para determinação do PCS (poder calorífico superior). O poder calorífico inferior foi determinado usando titulação química, conforme procedimento constante no Manual do calorímetro e calculado pelo próprio calorímetro

Os testes foram realizados no POLICOM - Laboratório de Combustíveis e Energia da Universidade de Pernambuco.

O poder calorífico foi determinado em kJ/kg, de acordo com o Sistema Internacional de Medidas (SI), porém foi transformado para kcal/kg por ser uma medida mais usual na ciência florestal. Para conversão de kJ para kcal foi utilizada a constante em que 1 kcal é igual a 4,186 kJ (VALE, 2002).

#### **4.1.3.4 – Consumo de lenha durante a calcinação da gipsita**

Após prévio aquecimento, o forno foi carregado com a lenha de cada tratamento, dando início a fornada (Figura 6), a partir desse momento se deu

início ao carregamento dos cilindros de calcinação com gipsita triturada. No momento em que foi detectada a completa calcinação da gipsita o abastecimento de lenha foi cortado. Após esse procedimento foi contabilizada quantidade de gesso produzida e a quantidade de lenha consumida no processo.

A lenha foi utilizada em toras de 1 metro (Figura 6) e em cavacos com dimensão média de 5 x 3 cm (Figura 7), separadamente. A madeira foi transformada em cavacos utilizando um picador de madeira da marca LIPPEL, série PTL.



**Figura 6:** Forno abastecido por lenha em toras para a calcinação da gipsita.



**Figura 7:** Lenha picada em forma de cavacos para ser utilizada nos fornos.

Os testes de consumo de lenha em toras para a calcinação da gipsita foram realizados na Indústria Gesso Aliança do Araripe Ltda. Já os testes para o consumo de lenha em cavacos na empresa Gesso São Geraldo Ltda.

As duas empresas utilizam fornos do tipo barriga-quente que operam com temperatura entre 500° e 600° centígrados na câmara de combustão e 250° e 300° centígrados dentro do cilindro.

Na calcinadora Gesso Aliança do Araripe a capacidade do forno é de 6 toneladas de gesso produzido por fornada enquanto que na Gesso São Geraldo a capacidade é de 5 toneladas por fornada.

#### **4.1.3.5 - Simulação de áreas de plantio anual**

Na simulação das áreas de plantio anual para tornar uma indústria, considerada de pequeno porte, se considerou a equação de Schumacher e Hall ajustada por Silva (2008) para o mesmo experimento e dados de diâmetro na altura do peito e altura total aos 4,5, 5,5 e 7,5 anos com a finalidade de verificar o comportamento da curva de incremento médio anual em volume para os híbridos avaliados.

#### **4.1.3.6 - Análises estatísticas**

Foi considerado um delineamento inteiramente ao acaso para analisar o comportamento dos tratamentos. Para a comparação das médias foi utilizado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Foi utilizado o software Assistência Estatística – ASSISTAT 7.5 BETA (SILVA e AZEVEDO, 2002).



## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1.1 - Rendimento Volumétrico

A produtividade por hectare aos 7,5 anos (Tabela 2) para os clones dos híbridos avaliados variou de 132,20 a 164,89 m<sup>3</sup>/ha com média de 151,85 m<sup>3</sup>/ha. A produtividade dos clones C41 e C11 foi diretamente afetada pela taxa de mortalidade, 15 e 13%, respectivamente, consideradas altas se comparada aos atuais padrões adotados em reflorestamentos de eucaliptos no Brasil ( $\leq 10\%$ ), como o caso clone C39.

Mesmo com taxas de mortalidade altas os clones C41 e C11 obtiveram um melhor rendimento, em metro estereo. Provavelmente, uma maior disponibilidade de espaço entre as plantas ocasionou formas de desenvolvimento e crescimento diferente para cada um dos três clones, pois para o clone C41 o fator de empilhamento foi maior do que o fator dos clones C11 e C39, o que fez com que o IMA em metro estereo para o C41 fosse maior que o IMA do clone C39 (Tabela 2).

No entanto, quando a avaliação foi realizada pelo IMA em metros cúbicos, que é uma medida mais precisa, os clones C39 e C11 apresentaram os melhores resultados (Tabela 2).

Porém a taxa de mortalidade obtida no referido experimento pode ser facilmente diminuída, já que os valores apresentados ocorreram devido ao ataque de formigas cortadeiras na época de plantio, em que o combate realizado não foi, suficientemente, eficaz. Tal situação pode ser explicada pelo comportamento das formigas cortadeiras pertencentes aos gêneros *Atta* e *Acromyrmex*, que mostram preferências por algumas espécies vegetais

desfolhando, constantemente, as mudas enquanto plantas de outras espécies não são atacadas mesmo estando próximas ao ninho (BORBA, 2006)

Os incrementos médios anuais (IMA's) apresentados (Tabela 2) são menores que os estimados por Silva (2008) para o mesmo experimento aos 5,5 anos, indicando que aos 7,5 anos o povoamento já passou do ponto ótimo de corte.

**Tabela 2:** Volume por planta (Vol/plt), taxa de sobrevivência (Sob), volume por hectare (m<sup>3</sup>/ha e st/ha), incremento médio anual (IMA), fator de empilhamento (F.E.) da madeira de híbridos de *Eucalyptus* sp. na região do Pólo Gesseiro do Araripe.

Trat / Híbrido	Vol/plt (m <sup>3</sup> )	Sob. (%)	Vol (m <sup>3</sup> /ha)	IMA (m <sup>3</sup> /ha/ano)	F.E.	Vol (st/ha)	IMA (st/ano)
<b>T 7/C 39</b>	0,0980	97	158,46	21,10	1,8	285,23	38,03
<b>T11/C 41</b>	0,0933	85	132,20	17,62	2,3	304,06	40,54
<b>T15/C 11</b>	0,1137	87	164,89	21,98	1,9	313,29	41,77
<b>Médias</b>	0,1016	90	151,85	20,23	2,0	300,86	40,11

Avaliando o desenvolvimento de um povoamento de *Eucalyptus camaldulensis*, plantado no espaçamento de 3 x 2 metros, numa área de Cerrado no Estado de Minas Gerais, Oliveira *et al.* (1998) verificou uma produção de 123,37 m<sup>3</sup>/ha aos 6,5 anos, gerando um incremento médio anual de 17,62 m<sup>3</sup>/ha/ano.

Na pesquisa realizada por Gomide *et al.* (2005) com objetivo de avaliar a qualidade de novos clones inseridos pelas empresas florestais do Brasil, foi observado que aos sete anos pós plantio o incremento médio anual variou de 33,9 a 52,9 com média de 44,5 m<sup>3</sup>/ha/ano. Já Binkley e Stape (2004) informaram que a produtividade média nacional de povoamentos clonais de eucaliptos é de 40 m<sup>3</sup>/ha/ano.

Os resultados encontrados nesta pesquisa são, na média, 50% menor que a produtividade média nacional dos povoamentos de eucaliptos, porém se

GADELHA, F. H. L. Rendimento volumétrico e energético de clones de híbridos...

comparado a produtividade de 15 st/ha/ano apresentada pelo MMA/SECTMA (2007) para a vegetação nativa da região onde foi realizado o estudo, esses valores se tornam mais expressivos.

Deve-se considerar também que na pesquisa foi considerado um único espaçamento (3 x 2 m) e que segundo vários autores o espaçamento influencia diretamente na produtividade florestal (COELHO et al., 1970; BERNARDO et al., 1998; BARTON e MONTAGU, 2006; ALCORN, 2007).

De acordo com pesquisa realizada por Barros (2009), observou-se que uma área de caatinga sob o regime de manejo florestal em Trindade – PE aos 7 anos o IMA foi de 7,43 st/ha/ano e que a produtividade de áreas plantadas com sabiá (*Mimosa caesalpinifolia*), jurema (*Mimosa tenuiflora*) e angico (*Anadenanthera columbrina*), também na Chapada do Araripe aos 6,5 anos foi de 20,51, 18,56 e 13,37 st/ha/ano, respectivamente.

Informações sobre a produtividade de planos de manejo florestal na Caatinga indicaram um incremento médio anual entre 5 e 15 st com rotações que variam entre 10 e 15 anos (RIEGELHAUPT, 2007).

Vale ressaltar que de acordo com a Portaria nº 130 de 07/12/1999 do INMETRO, a unidade de medida “estereo” era válida até o dia 31/12/2009 para comercialização de madeira (BATISTA e COUTO, 2002). Porém essa forma de mensuração continua sendo utilizada e, normalmente, é confundida por metro cúbico de madeira, portando optou-se por trabalhar com as duas formas de mensuração com a intenção de facilitar o entendimento dos resultados.

### 5.1.2 - Determinação da densidade básica da madeira DBM

Na Tabela 3 é apresentada a análise de variância da DBM (densidade básica da madeira) dos clones de híbridos de eucaliptos, em que foi verificada diferença significativa entre pelo menos dois tratamentos.

**Tabela 3 :** Análise de Variância da densidade básica da madeira dos clones de híbridos de eucalipto, cultivados em Araripina - PE.

<b>F. V.</b>	<b>G. L.</b>	<b>S. Q.</b>	<b>Q. M.</b>	<b>F</b>
Clones	2	0,02062	0,01031	56,5091*
Resíduo	6	0,00109	0,00018	
Total	8	0,02171		

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Em que:

F. V. – Fonte de variação;

G. L. – Graus de liberdade;

S. Q. – Soma de quadrados;

Q. M. – Quadrado médio;

F. – Valor tabelado.

Na Tabela 4 pode-se observar a comparação de médias pelo Teste de Tukey da DBM. O clone C11 diferiu estatisticamente quando comparado aos clones C41 e C39, enquanto que os clones C41 e C39 são estatisticamente iguais.

**Tabela 4:** Comparação de médias da densidade básica da madeira pelo teste de Tukey dos clones de híbridos de eucalipto, cultivados em Araripina - PE.

<b>Trat/Clone</b>	<b>Média (g/cm<sup>3</sup>)</b>
T15/C11	0,633 a
T11/C41	0,542 b
T7/C39	0,524 b
<b>Média</b>	<b>0,566</b>
<b>CV (%)</b>	<b>2,38</b>

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Em que:

C. V. – Coeficiente de variação

A densidade básica da madeira dos clones avaliados variou de 0,524 a 0,633 g/cm<sup>3</sup> com média de 0,566 g/cm<sup>3</sup>. De acordo com Foelkel (2005) esses valores caracterizam a madeira como de média densidade.

Madeiras com densidade básica entre 0,500 e 0,600 g/cm<sup>3</sup> são consideradas como madeira pesadas, quando a densidade básica varia de 0,600 a 0,700 g/cm<sup>3</sup> são ditas muito pesadas (VITAL, 1984).

Comparando estes resultados com os encontrados por Alves (2007) aos 4,5 anos para o mesmo experimento, para DBM foi obtida um incremento positivo de 7,5% para o C11 e de 5% para os clones C41 e C39, variações semelhantes foram encontradas na determinação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus urophylla* aos 4 e aos 7 anos de idade (TRUGILHO, 2009).

Em avaliação semelhante de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla*, Santos e Sangígolo (2007) encontraram valores de DBM de 0,440 g/cm<sup>3</sup> aos 6,5 anos e 0,508 g/cm<sup>3</sup> aos 6 anos, em diferentes sítios na Região de Itapetininga – SP.

### **5.1.3 – Determinação do poder calorífico inferior – PCI**

Na Tabela 5 se apresenta a análise de variância para o PCI dos clones de híbridos de eucaliptos, sendo verificada diferença significativa entre os tratamentos.

**Tabela 5** : Análise de Variância do poder calorífico inferior dos clones de híbridos de eucalipto, cultivados em Araripina - PE.

<b>F. V.</b>	<b>G. L.</b>	<b>S. Q.</b>	<b>Q. M.</b>	<b>F</b>
Clones	2	202471,25554	101235,62777	8,0961 *
Resíduo	8	100033,35487	12504,16936	
Total	10	302504,61042		

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade

Na comparação de médias pelo teste de Tukey pode-se observar que a diferença estatística ocorreu apenas entre os tratamentos T15/C11 que obteve PCI médio de 4.601,50 kcal/kg e o T7/C39 com média de 4.268,79 kcal/kg (TABELA 6).

**Tabela 6:** Comparação de médias do poder calorífico inferior pelo teste de Tukey dos clones de híbridos de eucalipto, cultivados em Araripina - PE.

<b>Trat/Clone</b>	<b>Média (kcal/kg)</b>
T15/C11	4.601,50 a
T11/C41	4.481,63 a b
T7/C39	4.268,79 b
<b>Média</b>	<b>4.436,97</b>
<b>CV (%)</b>	<b>2,52</b>

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si no teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

De acordo com a revisão realizada por Quirino (2005) o poder calorífico inferior do *Eucalyptus tereticornis* foi de 4337 kcal/kg e para o *Eucalyptus urophylla* foi 4.175 kcal/kg. Em trabalho semelhante Pereira *et al.* (2000) verificou que o poder calorífico inferior para o *Eucalyptus tereticornis* foi de 4.054 kcal/kg, e para o *Eucalyptus urophylla* foi 3.988 kcal/kg, valores 10% e 12%, respectivamente, menores que a média encontrada para os híbridos estudados nesta pesquisa.

Vale (2000), estudando a produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* encontrou o valor de 4.317 kcal/kg como poder calorífico inferior médio para a espécie.

Avaliando nove espécies do gênero *Eucalyptus* (BRITO, *et al.* 1983) verificou que o poder calorífico inferior para as espécies estudadas variou de 4.699 a 4.409 kcal/kg, com média de 4.570 kcal/kg.

Os valores de PCI encontrados nesta pesquisa foram semelhantes a valores encontrados na maioria das pesquisas similares e obteve como valor médio 4.436,97 kcal/kg para os três híbridos avaliados.

#### 5.1.4 - Consumo de lenha em toras

O consumo de lenha por tonelada de gesso produzida foi maior quando usado o híbrido C39. Para os híbridos C41 e C11 o consumo médio de lenha foi igual (TABELA 7).

Os consumos apresentados na Tabela 7 podem ser justificados pelos valores de densidade básica da madeira (Tabela 4) e pelo poder calorífico inferior já que C39 obteve menor densidade e menor poder calorífico (TABELA 6). Porém informações sobre o tempo de duração da fornada são difíceis de avaliar, uma vez que os fornos não possuem sistema de retirada de cinzas, o que influencia diretamente no tempo de queima do combustível.

**Tabela 7:** Rendimento energético da lenha em tora de clones híbridos de eucaliptos na calcinação de gipsita nos fornos da Indústria Gesso Aliança do Araripe, em Trindade – PE.

Trat / Híbridos	Duração da fornada (min)	Produção de gesso (ton)	Consumo de lenha (st)	st/ton de gesso
T7/C39	127	5,8	1,60	0,28
T11/C41	110	5,4	1,30	0,24
T15/C11	125	5,4	1,30	0,24
<b>Média</b>	<b>120</b>	<b>5,3</b>	<b>1,47</b>	<b>0,25</b>

De acordo com os testes realizados por Barros (2009) na mesma indústria e no mesmo forno, os rendimentos para a lenha de Sabiá, Jurema Preta, Angico, Leucena (*Leucaena leucocephala*) e Acácia (*Senna siamea*)

GADELHA, F. H. L. Rendimento volumétrico e energético de clones de híbridos...

foram de 0,34; 0,36; 0,41; 0,45 e 0,54 st/ton e utilizando lenha oriunda de plano de manejo florestal, chamada de lenha mista, o consumo foi de 0,36 st/ton.

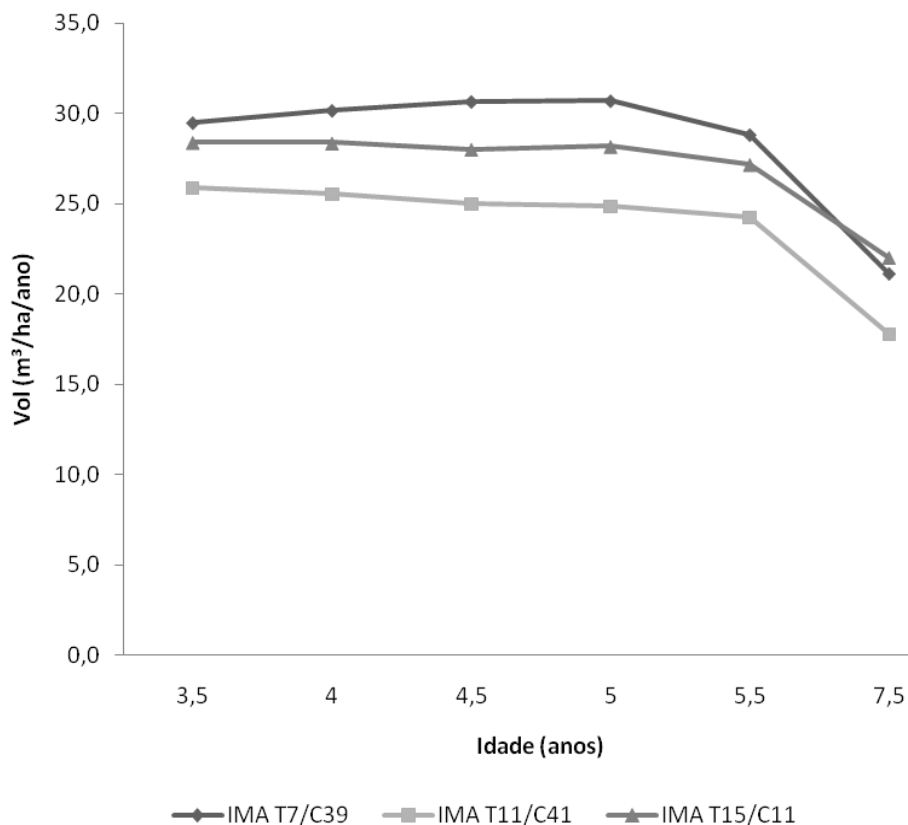
Segundo informações apresentadas pela SECTMA (2005), o consumo de lenha de plano de manejo florestal é de 1,2 st para produz uma tonelada de gesso. Com o uso de lenha em cavacos esse consumo foi reduzido a 0,5 st/ton de gesso produzido.

Porém informações sobre o consumo de lenha de plano de manejo florestal são muito contraditórias e variam muito dentre as empresas. Sendo assim, consideramos o valor encontrado por Barros (2009).

#### **5.1.5 Área de reflorestamento para calcinação de gipsita com lenha em toras**

De acordo com o comportamento das curvas de IMA para os três híbridos (Figura 8) o ponto de máximo crescimento da floresta ocorreu entre quatro e cinco anos de plantio. Sendo assim, na simulação de quantos hectares seriam necessários para abastecer uma indústria de pequeno porte foi considerado uma rotação de cinco anos com um IMA médio para os três híbridos de 28 m<sup>3</sup>/ha.





**Figura 8:** Curvas de incremento médio anual para os híbridos de *Eucalyptus* sp. plantados na Chapada do Araripe – PE.

Considerando o fator de empilhamento médio para os três híbridos estudados (Tabela 2) a produtividade média de lenha empilhada seria de 56 st/ha/ano em um povoamento composto pelos três híbridos numa rotação de 5 anos, onde a produção final seria de 280 st/ha.

Na região, em termos médios, uma fábrica de pequeno porte produz em média 2 mil toneladas de gesso por mês.

Para um rendimento médio de 0,25 st de lenha por tonelada de gesso produzida, a produção mensal de 2000 toneladas seria atendida por 500 st de lenha mês e a produção anual de gesso seria atendida por 6.000 st de lenha.

Diante dessas informações, pode-se estimar ser necessário o plantio de 21,5 hectares por ano, durante cinco anos, para que uma indústria com produção média de 2000 toneladas de gesso/mês se torne auto-sustentável.

Considerando-se uma indústria abastecida por lenha oriunda de plantios de Sabiá com IMA de 20,5 st/ha/ano, numa rotação de 6,5 anos e com um rendimento no forno de 0,36 st por tonelada de gesso, seria necessário uma área de plantio anual de 64,8 ha/ano.

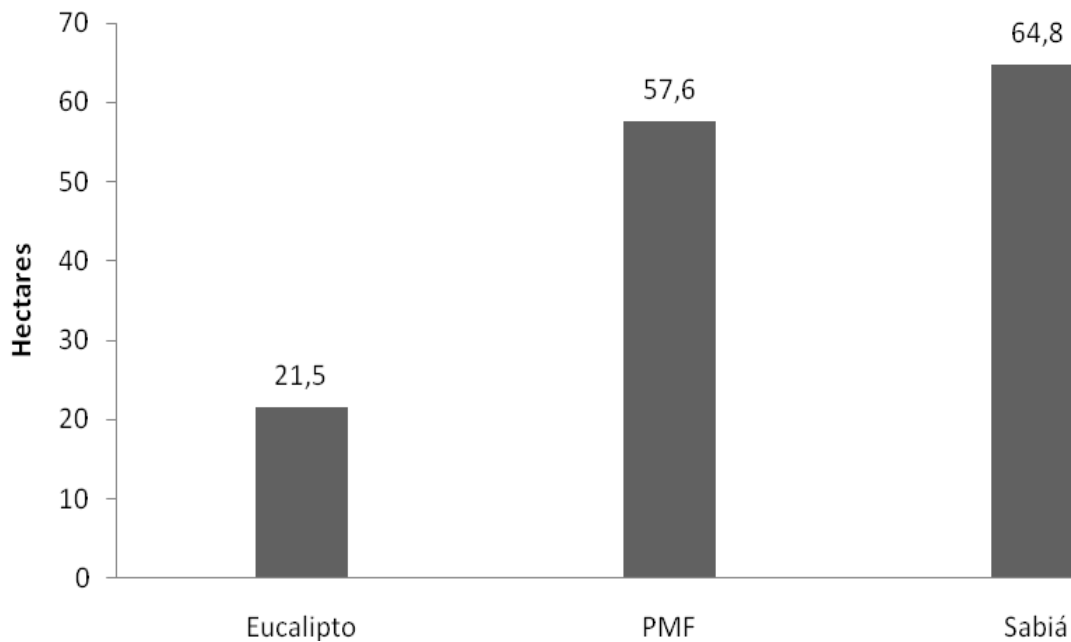
Abastecendo a indústria com lenha de um plano de manejo florestal com IMA de 15 st/ha/ano, numa rotação de 10 anos e um rendimento de 0,36 st por tonelada de gesso, a área sob plano de manejo florestal necessária para atender a mesma produção de gesso seria de 57,6 ha/ano.

Para tornar uma indústria de gesso auto-sustentável no consumo de biomassa florestal, a área sob plantio de sabiá ou sob plano de manejo florestal (PMF) é 201 e 168%, respectivamente, maior do que a área necessária quando comparada com a área de plantios de eucaliptos (Figura 9).

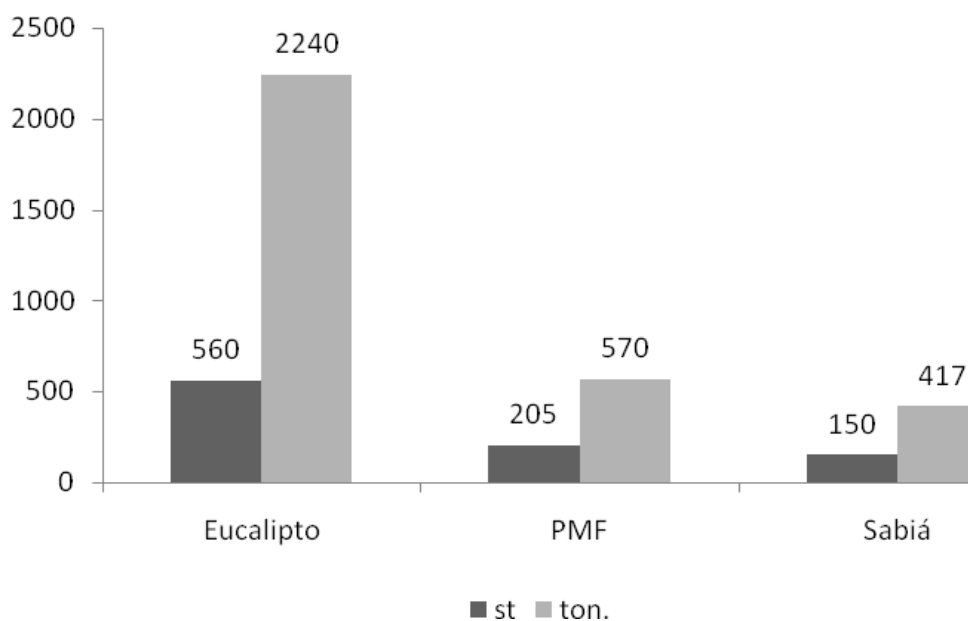
Levando-se em consideração que tanto o eucalipto como o sabiá podem ser manejados pelo regime de alto fuste e, posteriormente, por talhadia e que de acordo com Tewari *et al.* (2004), a taxa de crescimento de brotações nos três primeiros ciclos é superior a taxa de plantios de alto fuste, a quantidade de madeira produzida em 10 anos, tomando-se a rotação de um plano de manejo florestal como referência, seria de 560 st/ha para o eucalipto e de 205 st/ha para o sabiá, enquanto que a produção do plano de manejo seria de 150 st/ha.

De posse dessas informações, pode-se afirmar que num período de 10 anos a quantidade de madeira produzida por hectare de eucalipto seria suficiente para produzir 2.240 toneladas de gesso, enquanto que um hectare

plantado com sabiá equivaleria à produção de 570 ton. e numa área sob plano de manejo florestal a produção seria de 417 toneladas de gesso (Figura 10).



**Figura 9:** Área por ano sob intervenção necessária para atender a demanda de lenha de uma indústria de gesso com produção mensal de 2000 toneladas.



**Figura 10:** Volume de madeira e toneladas de gesso produzido em um hectare após 10 anos de exploração, utilizando lenha em toras.

### 5.1.6 - Consumo de lenha em cavacos

As avaliações sobre o consumo de lenha triturada para a calcinação de gipsita realizados na Indústria Gesso São Geraldo Ltda mostraram que o consumo de lenha por tonelada de gesso foi maior para o híbrido C39, semelhante ao que ocorreu nos testes realizados na Indústria Gesso Aliança do Araripe Ltda. (Tabela 8). Assim como nos fornos alimentados por lenha em toras, a duração da fornada é difícil avaliação, pois os fornos alimentados por lenha em cavacos também não possuem um sistema de limpeza das cinzas.

**Tabela 8:** Rendimento energético da lenha em cavacos de clones de híbridos de eucaliptos na calcinação de gipsita nos fornos da Indústria Gesso Aliança do Araripe, em Trindade – PE.

<b>Trat / Híbridos</b>	<b>Duração da fornada (min)</b>	<b>Produção de gesso (ton)</b>	<b>Consumo de lenha (st)</b>	<b>st/ton de gesso</b>
T7/C39	146	4,8	0,96	0,20
T11/C41	137	6,0	1,13	0,19
T15/C11	110	4,8	0,86	0,18
<b>Média</b>	<b>131</b>	<b>5,2</b>	<b>0,98</b>	<b>0,19</b>

De acordo com Ugulino e Queiroga (2008), o consumo de lenha picada de Algaroba (*Prosopis juliflora*) nos fornos da Gesso Aliança do Araripe era de 0,41 st por tonelada de gesso. Após melhorias na forma de alimentação do forno o consumo foi reduzido para 0,30 st/ton e o tempo médio de uma fornada foi de 121 minutos, ou seja 8,26% menor do que o tempo de calcinação com a lenha de eucalipto.

Segundo informações das empresas Gesso São Geraldo e da Gesso Aliança do Araripe, o consumo de lenha em cavacos oriunda de plano de manejo florestal é semelhante ao consumo da algaroba.

### **5.1.7 Área de reflorestamento para calcinação de gipsita com lenha em cavacos**

Considerando uma fábrica em que os fornos operam apenas com lenha em cavacos, de eucalipto, e com a mesma capacidade produtiva de 2000 toneladas de gesso por mês, o consumo de lenha seria de 380 st/mês e 4.560 st/ano.

Para um povoamento com produtividade média de 56 st/ha/ano, ao fim do ciclo de 5 anos a produção seria de 280 st/ha, sendo necessário o plantio de 16,2 ha/ano para atender a demanda de lenha da empresa.

Segundo Lima *et al* (2005), a produção média de algarobais é de 62,42 m<sup>3</sup>/ha, com rotação média de 12 anos.

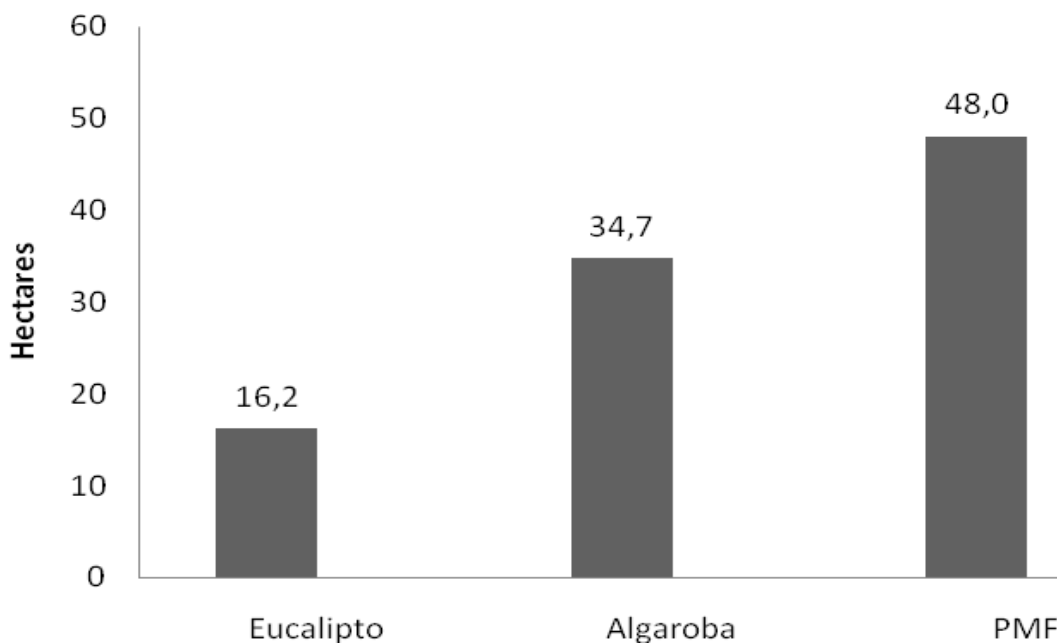
Considerando o fator empilhamento de 3,32 (Carvalho e Oliveira, 1993) ao fim dos 12 anos a produção seria de 207,23 st/ha, com um incremento de 17,27 st/ha/ano.

Com o rendimento de 0,30 st/ton de gesso, o consumo mensal seria 600 st e, anualmente, seriam consumidos 7.200 st de lenha de algaroba. Para atender essa demanda a área necessária seria de 34,7 ha/ano.

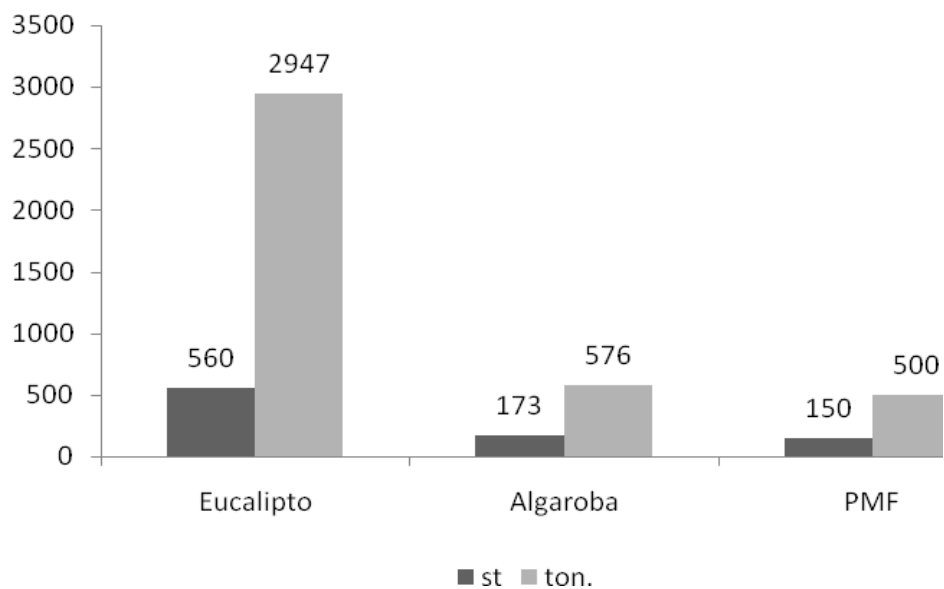
Considerando a lenha de plano de manejo florestal com incremento de 15 st/ha/ano, rotação de 10 anos e rendimento de 0,30 st por tonelada de gesso, a área utilizada sob plano de manejo florestal seria de 48 ha/ano.

Para uma calcinadora de gipsita de pequeno porte ser auto-suficiente no seu abastecimento de lenha a área sob plantio de eucaliptos equivaleria a 33,7% da área sob manejo florestal e quando comparada com a área de plantio de algaroba seria equivalente a 46,7% (Figura 11).

Realizando a mesma simulação de produção de madeira e equivalência em toneladas de gesso produzida, também considerando a rotação de 10 anos como referência, a produção de lenha de eucalipto seria a mesma de 560 st/ha assim como a produção do plano de manejo florestal seria de 150 st/ha, e a produção da algaroba seria de 173 st/ha. Para um consumo médio de 0,19 st/ton de gesso com lenha de eucalipto e 0,30 st/ton para lenha de algaroba e de plano de manejo florestal, após 10 anos um hectare de eucalipto seria suficiente para produzir 2.947 toneladas de gesso, enquanto que as áreas com algaroba e com plano de manejo florestal seriam suficientes para produzir 576 e 500 toneladas de gesso, respectivamente (Figura 12).



**Figura 11:** Área por ano sob intervenção necessária para atender a demanda de lenha de uma indústria de gesso com produção mensal de 2000 toneladas.



**Figura 12:** Volume de madeira e toneladas de gesso produzido em um hectare após 10 anos de exploração, utilizando lenha em cavacos.

## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Dentre os híbridos avaliados, os que se referem aos tratamentos 11 e 15, híbridos C41 e C11, respectivamente obtiveram um melhor rendimento volumétrico, em metro stereo, que o híbrido C39. Quanto ao IMA em m<sup>3</sup>, mais indicado para mensuração do volume de madeira, os híbridos C39 e C11 apresentaram os melhores rendimentos.

Quanto ao rendimento nos fornos, os híbridos C11 e C41 apresentaram melhores rendimentos que o C39.

O consumo lenha foi reduzido em 24% quando os fornos operaram com lenha de eucaliptos em cavacos.

Quando comparada, a lenha de eucaliptos em toras apresentou um consumo 30% menor que a lenha de sabiá, reduzindo em 67% a área de plantio anual que seria necessária para atender uma calcinadora de pequeno porte. Se comparada a lenha de PMF, a área plantada com eucalipto corresponderia a 37% da área necessária a ser manejada sob PMF.

Na avaliação do consumo de lenha em cavacos, a lenha de eucaliptos apresentou um rendimento 36% menor que as lenhas de algaroba e de PMF, reduzindo em 53% a área plantada, anualmente, para atender uma indústria de pequeno porte, quando comparada com a Algaroba e reduzindo em 66% a área se comparada com o PMF.

Diante dos resultados apresentados, pode-se afirmar que a lenha de eucaliptos produzida na Chapada do Araripe apresentou melhor rendimento volumétrico e energético quando comparada as outras fontes de biomassa florestal usada, atualmente, pelas calcinadoras.



Deve-se, ainda, considerar que áreas com algaroba e PMF são manejadas com rotações de no mínimo 10 anos, enquanto que a rotação prevista para os eucaliptos avaliados é de cinco anos. O que significa que em uma rotação de algaroba ou PMF se tem duas rotações de eucaliptos, aumentando significativamente a produção de madeira para atender a demanda do setor gesseiro.

Mesmo com uma produtividade abaixo da média nacional, povoamentos de *Eucalyptus* na Chapada do Araripe têm plenas condições técnicas, econômicas e ambientais para atender a demanda por biomassa florestal na região, ocupando menores áreas que outros tipos de vegetação.

De posse dessas informações, recomenda-se a realização de pesquisas com diferentes espaçamentos para eucaliptos com a finalidade de aumentar a produtividade. Além disso, também são necessários estudos voltados para maior automatização da alimentação dos fornos por lenha em cavacos e avaliações sobre a viabilidade econômica da utilização de lenha em cavacos em substituição à lenha em toras.

Quanto à escolha do melhor híbrido, se recomenda trabalhar com os três, mesmo o C39 apresentando um rendimento menor, pois na utilização de um só material genético e no caso do aparecimento de doenças ou pragas o plantio ficaria muito suscetível. Podendo ser perdida grande parte da produção de madeira.

Porém, até o momento não foi registrada a ocorrência de nenhuma doença ou praga de eucaliptos no local.

Por fim, por uma questão de conservação da vegetação nativa (Caatinga) não se recomenda a prática do desmatamento de áreas, exploradas

GADELHA, F. H. L. Rendimento volumétrico e energético de clones de híbridos...

ou não pelo manejo florestal, para a implantação de povoamentos de eucaliptos, uma vez que a região possui 110.177 ha de áreas consideradas improdutivas para agricultura e pastagem, podendo essas serem utilizadas para o cultivo do eucalipto (SÁ, 2008).

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. **Anuário estatístico da ABRAF: Ano base 2006**. Disponível em <<http://www.abraflor.org.br>>, 2007. Acesso em: 20. Mar. 2009

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8644: **Determinação do poder calorífico superior da madeira e do carvão vegetal**. Rio de Janeiro, 1984.

Associação Brasileira de normas Técnicas. NBR 11941: **Densidade básica da madeira**. Brasília, ABNT, 2003.

ALBUQUERQUE, J. de L. **Diagnóstico ambiental e questões estratégicas: uma análise considerando o Pólo Gesseiro do sertão do Araripe – Estado de Pernambuco**. 2002, 185 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

ALCORN, P.J. *et al.* Effect on initial planting density on branch development in 4-year-old plantation grown *Eucalyptus pilularis* and *Eucalyptus cloeziana* trees. **Forest Ecology and Management**, n.252, p.41-51, 2007.

ALVES, A. M. C. **Quantificação da produção de biomassa e do teor de carbono fixado por clones de eucalipto, no pólo gesseiro do Araripe – PE** 2007, 62f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2007.

AMARO, M. A. *et al.* Volume, biomassa e carbono nas florestas às margens da rodovia BR 364 no Acre (AC). In: Simpósio Latino-Americano sobre Manejo Florestal, 4, 2008. **Anais...** Santa Maria – RS: 2008. v. 1. p. 165-171.

ANDRADE, E. N. **Manual do plantador de Eucalyptus**. São Paulo: Tipografia Brasil de Rothschild & COMP, 1911.

ARAÚJO, S.M.S. **O Pólo Gesseiro do Araripe: Unidades Geo-Ambientais e Impactos da mineração**. 2004 276 f. Tese (Doutorado em Ciências, Área de administração e política de Recursos Minerais). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

ATECEL – **Diagnóstico energético do setor industrial do pólo gesseiro da meso região de Araripina – PE**. Campina Grande, 2006. 126 p.

BALLONI, E. A. *et al.*, Produção de energia através de florestas de rápido crescimento. Piracicaba: **IPEF**, 1980. (Circular Técnica nº 103).

BALTAR, C.A.M. *et al.* **Diagnóstico do Pólo Gesseiro de Pernambuco (Brasil) com ênfase na produção de gipsita para fabricação de cimento**. 2003. Disponível em [http://www.minas.upm.es/catedra-anefa/Consultas/MAGALHAESCarlos\\_IVIBERMAC.pdf](http://www.minas.upm.es/catedra-anefa/Consultas/MAGALHAESCarlos_IVIBERMAC.pdf). Acesso em: 05 de mar. de 2008.

BARROS, B. C. **Volumetria, densidade, carbono e calorimetria de espécies nativas e exóticas no Pólo Gesseiro do Araripe**. 2009. 67f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

BARTON, C.V.M.; MONTAGU, K.D. Effect of spacing and water availability on root: shoot ratio in *Eucalyptus camaldulensis*. **Forest Ecology and Management**, 221, p. 52-62, 2006.

BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z. (2002). **O estéreo**. Disponível em: <<http://lmq.esalq.usp.br/METRVM>> Acesso em: 10 de dez de 2009.

BERNARDO, A.L. *et al.* Effect of spacing on growth and biomass distribution in *Eucalyptus camaldulensis*, *E. pellita* and *E. urophylla* plantations in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, 104, p. 1-13, 1998.

BINKLEY, D.; STAPE, J. L. **Sustainable management** of Eucalyptus plantations in a changing world. In: Borralho, N., *et al.* **Eucalyptus in a changing world**. Proc. of IUFRO Conf, Aveiro, p. 11 – 15, October 2004.

BORBA, R.S; *et al.* Crescimento do fungo simbiote de formigas cortadeiras do gênero *Acromyrmex* em meios de cultura com diferentes extratos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.3, p.752- 730, 2006.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balço energético nacional**, Brasília, 2008. 244 p.

BRITO, J. O., *et al.* Análise da produção energética e de carvão vegetal de espécies de eucalipto. **IPEF**, Piracicaba, n. 23, p. 53 – 56, 1983.

BRITO, J. O. O uso energético da madeira. **Estudos avançados**. São Paulo, v. 21, n. 59, 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-0142007000100015&lng=enandothersandothersandothersandothers&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-0142007000100015&lng=enandothersandothersandothersandothers&nrm=iso)> . Acesso em: 08 jan. 2008

BRITO, J. O. Expressão da produção florestal em unidades energéticas. In.: Congresso Nacional Florestal Panamericano, 1. ,1993 ; Congresso Florestal Brasileiro, 7., 1993. **Anais...** Curitiba : SBF : SBEF, 1993. p. 603-607.

BRITO, J.O.; CINTRA, T.C. Madeira para energia no Brasil: Realidade, visão estratégica e demandas de ações. **Biomassa & Energia**. Viçosa, v. 1, n. 2, p.157-163, 2004.

CARVALHO, A.J.E.; OLIVEIRA, C.R. de, **Avaliação do estoque lenhoso. Inventário Florestal do Estado do Ceará**. Fortaleza: Projeto PNUD/FAO/IBAMA/BRA/87/007/GOVERNO DO CEARÁ, 1993. Documento de Campo nº 26).

GADELHA, F. H. L. Rendimento volumétrico e energético de clones de híbridos...

CHANDLER, D.; HANSON, R. Brazilian experiences in production of *Eucalyptus* for energy. Brasília, **Winrock International**, 1998.

COELHO, A.S.R.; MELLO, H.A.; SIMÕES, J.W., Comportamento de espécies de eucaliptos face ao espaçamento, Piracicaba, **IPEF**, Piracicaba, n.1, p. 29-55, 1970.

COUTO, L.; MULLER, M.D. Florestas energéticas no Brasil. **Tecnologias de conversão da biomassa**. Manaus: EDUA/EFEI, 2000.

CRUZ, P.T.A.; NOGUEIRA, M.F.M. Oportunidades para o desenvolvimento da biomassa energética no Brasil. **Biomassa & Energia**. Viçosa, v. 1, n. 1, p.37-44, 2004.

EMBRAPA SOLOS. Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento do Recife. **Solos do Nordeste**. 2006. Disponível em: <http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/index.html>. Acesso em: 13 de julho 2009.

FAO – **Bosques y energía: Cuestiones clave**. Roma: FAO, 2008.

FINGER, C. A. *et al.* Produção de florestas de *Eucalyptus grandis* HILL EX MAIDEN em segunda rotação, conduzidas com um broto por touça e submetidas a interplântio. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v.3, n.1, p.185-201, 1993.

FLORESTA COLONIAL. Convenio UFSM/BOKU. **Madeira: Fonte renovável de energia**. Santa Maria, 2001.

FOELKEL, C. E. B. **Densidade da madeira do eucalipto**. Disponível em: <[www.eucalyptus.com.br/eucaexpert/Pergunta%2005.doc](http://www.eucalyptus.com.br/eucaexpert/Pergunta%2005.doc)> Acesso em 14 Jan. 2010.

FUPEF. **Apoio técnico e institucional para o desenvolvimento do programa florestal da Chapada do Araripe em Pernambuco**. Curitiba: FUPEF, 2007.

GADELHA, F. H. L. *et al.* Análise do crescimento de híbridos de *Eucalyptus* spp. na Região do Pólo Gesseiro de Pernambuco. In: JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO – JEPEX, 6. **Anais...** Recife - PE 2006.

GATTO, D. A. *et al.* Características da lenha produzida da Região da Quarta Colônia de Imigração Italiana do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, v. 13, n. 2, p. 7 – 16, 2003.

GOMIDE, J. L. *et al.* Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* no Brasil. **Revista Árvore**, v.29, n.1, p.129-137, 2005.

GADELHA, F. H. L. Rendimento volumétrico e energético de clones de híbridos...

IGLESIAS-TRABADO, G e WILSTERMANN, D (2008) *Eucalyptus universalis*. **Global cultivated eucalypt forests map 2008. Version 1.0.1**. In GIT Forestry Consulting's EUCALYPTOLOGICS. Disponível em: <<http://www.git-forestry.com>> Acesso em 15 Jan. 2010.

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **Energia da biomassa**. 2004. Disponível em: <[http://www.inee.org.br/biomassa\\_sobre.asp?Cat=biomassa](http://www.inee.org.br/biomassa_sobre.asp?Cat=biomassa)>. Acesso em: 15 de jan. de 2010.

ITEP / LAMEPE. **Médias históricas da chuva (mm) de janeiro a dezembro para o Estado de Pernambuco (1980 – 2008)**. Disponível em: <http://www.itep.br/LAMEPE.asp>. Acesso em: 01 Nov. 2009.

LIMA, W.P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2. Ed. São Paulo: EDUSP, 1996.

LIMA, P. L. F. *et al.* **Manejo de áreas individuais de Algaroba**. Projeto Manejo de espécies ameaçadas de extinção e de espécies invasoras, visando à conservação da diversidade biológica brasileira. Petrolina: MMA/PROBIO/Embrapa Semi-Árido, 2005. (Relatório Final).

LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B. (Organizadores). **As florestas plantadas e a água. Implementando o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento**. RiMa Editora, 2006.

LYRA SOBRINHO, A. C. P. *et al.* **Gipsita**. Departamento Nacional de Produção Mineral. Disponível em: <http://www.dnpm-pe.gov.br/>, Acesso em: 09 Dez. 2007.

MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. Curitiba: A. Figueiredo Filho, 2003.

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.

MMA/SECTMA, **Região do Araripe-Pernambuco. Diagnóstico florestal**. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 2007, 91 p.

MEDRADO, M. J. S. *et al.* **Contribuições ao plano nacional de energia 2006 – 2010, no componente florestas energéticas**. (2001) Disponível em: <<http://www.sbs.org>>. Acesso em: 01 Nov. 2009.

MORA, A.L.; GARCIA, C.H. **A cultura do eucalipto no Brasil (Eucalypt cultivation in Brazil)**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2000. 112 p.

MÜLLER, M. D. & COUTO, L. **Avaliação de densidades de plantio e rotação de plantações de rápido crescimento para a produção de biomassa**. Viçosa, MG: RENABIO, 2006. 58 p. (Documento Técnico)

GADELHA, F. H. L. Rendimento volumétrico e energético de clones de híbridos...

OLIVEIRA, A. D. *et al.* Avaliação Econômica da Vegetação de Cerrado Submetida a Diferentes Regimes de Manejo e de Povoamentos de Eucalipto Plantado em Monocultivo. **CERNE**, Lavras, v.4, n.1 p. 34-56, 1998.

HARRISON, R.B. *et al.* Effect of spacing and age on nitrogen and phosphorus distribution in biomass of *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus pellita* and *Eucalyptus urophylla* plantations in southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, n.133, p. 167-177, 2000.

PATTERSON, M. G. What is efficiency energy? Concepts, indicators and methodological issues. **Energy policy**, v.24, n. 5, p. 377-390, 1996.

PERES, S. *et al.* Caracterização e determinação do poder calorífico e do número de cetano de vários tipos de biodiesel através de cromatografia. In: II CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 2007, BRASÍLIA. **Anais...** Brasília - DF 2007.

PEREIRA, J. C. D. *et al.* Comparação da qualidade da madeira de cinco procedências de *Eucalyptus nitens* para fins energéticos. **Boletim de pesquisa florestal**, Colombo, n.16, p. 1-6, 1988.

PEREIRA J. C. D., *et al.* **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113 p. (Documentos, 38)

QUIRINO, W. F., *et al.* Poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulósicos. **Revista Madeira**, n. 89, p. 100 – 106, 2005. Disponível em: <[www.funtecg.org.br/arquivos/podercalorifico.pdf](http://www.funtecg.org.br/arquivos/podercalorifico.pdf)>. Acesso em 03 Jan. 2010.

RIEGELHAUPT, E. **Florestas nativas de produção no desenvolvimento florestal**. Projeto GEF caatinga (MMA/GEF/PNUD), Workshop: Construção do Plano de Desenvolvimento Florestal do Araripe. 2007.

ROCHA, M. P.; KLITZE. R. J. **Energia da madeira**. Curitiba: FUPEF, 19998, 86 p. (FUPEF. Série Didática, n.3).

RODRIGUEZ, *et al.* Rotações de eucaliptos mais longas: análise volumétrica e econômica. **Scientia Forestalis**, Piracicaba v. 51 p. 15-28, 1997.

SÁ, I. B. *et al.* Potencialidades Florestais da Região do Araripe: uma abordagem utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. In: IV Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto – **In: IV Geonordeste**. Aracaju-SE, 2008.

SANTOS, S. R. & SANGÍGOLO, C. A. Influência da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* na qualidade da polpa branqueada. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 17, n. 1, p. 53-63, 2007.

GADELHA, F. H. L. Rendimento volumétrico e energético de clones de híbridos...

SCARPINELLA, G.D.A. **Reflorestamento no Brasil e o Protocolo de Kyoto**. 182f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo (USP), 2002.

SECTMA (SECRETÁRIA DE TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE) Disponível em: <[http://www.sectma.pe.gov.br/acoes\\_todos.asp?menu\\_sub=3&secao=2](http://www.sectma.pe.gov.br/acoes_todos.asp?menu_sub=3&secao=2)> Acesso em 21 Jan. 2008.

SECTMA. **Pólo gesso de Pernambuco**: diagnóstico e perspectiva de utilização dos energéticos florestais na região do Araripe. Recife, 2005, 15 p.

SINDUSGESSO – **Pólo gesso**. Disponível em: <<http://www.sindusgesso.org.br/>> Acesso em 11 Nov. 2009.

SCHNEIDER, P.R. **Manejo florestal**: planejamento da produção florestal. Santa Maria: UFSM, 2008.

SILVA, F. de A. S. e. & AZEVEDO, C. A. V. de. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.1, p.71-78, 2002.

SILVA, S.M.F.S. **Comparação entre equações volumétricas regionais e equações baseadas em volume da primeira tora em clones de *eucalyptus* na chapada do Araripe-PE**. Dissertação (Mestrado em ciências Florestais) Universidade Federal Rural de Pernambuco. Departamento de Ciência Florestal. 58 f. 2008.

STAPE, J.L. **Production ecology of clonal *Eucalyptus* plantations in Northeastern**, 225 f., Tese de doutorado (Colorado State University), 2002.

STAPE, J.L.; BINKLEY, D.; RYAN, G.M. Production and carbon allocation in a clonal *Eucalyptus* plantation with water and nutrient manipulations, **Forest Ecology and Management**, n.255, p. 920-930, 2008.

TEWARI, S. K. *et al.* Effect of age and season of harvesting on the growth, coppicing characteristics and biomass productivity of *Leucaena leucocephala* and *Vitex negundo*. **Biomass and Bioenergy**, v.26, p.229-234, 2004.

TRUGILHO, P.F. *et al.* Avaliação de clones de *Eucalyptus* para produção de carvão vegetal. **Cerne**, Lavras, v.7, n.2, p. 104-114, 2001.

TRUGILHO, P. F. Densidade básica e estimativa de massa seca e de lignina na madeira em espécies de *Eucalyptus*. **Ciência e Agrotecnologia**. Lavras, v. 33, n. 5, p. 1228-1239, 2009.

UGULINO, S. M.; QUEIROGA, A. F. F. **Relatório de implementação das opções P + L – Gesso Aliança**. Campina Grande, CEPIS, 2008.



GADELHA, F. H. L. Rendimento volumétrico e energético de clones de híbridos...

VALE, A. T. et al. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* Hill Ex-Maiden e *Accia mangium* Willd em diferentes níveis de adubação. **Cerne**. Lavras, v.6, n.1, p. 83-88, 2000.

VALE, A. T., et al. Quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do Cerrado. **Ciência Florestal**, v. 12, n. 1, p. 71 – 80, 2002.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa, MG: Sociedade de Investigações Florestais, 1984. 21 p.

ZANETTI, E. A. & ZANETTI, R. **O Protocolo de Quioto (final) florestas energéticas**, Painel Florestal, 2007. Disponível em: <[http://painelflorestal.com.br/exibeNews.php?id=415&cod\\_editorial=&url=news.php&pag=0&busca=](http://painelflorestal.com.br/exibeNews.php?id=415&cod_editorial=&url=news.php&pag=0&busca=)>. Acesso em 20 Abr. 2009.