

# PRODUTIVIDADE VOLUMÉTRICA DE CLONES DE *EUCALYPTUS* SPP. NO POLO GESSEIRO DO ARARIPE, PERNAMBUCO

JOSÉ ANTÔNIO ALEIXO DA SILVA<sup>1,2,5</sup>  
KLEYBIANA DANTAS DA ROCHA<sup>3</sup>  
RINALDO LUIZ CARACIOLO FERREIRA<sup>5</sup>  
JOSÉ ALVES TAVARES<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Academia Pernambucana de Ciência Agronômica, Recife, Pernambuco.

<sup>2</sup>Academia Brasileira de Ciência Agronômica, Recife, Pernambuco.

<sup>3</sup>Brencorp Consultoria Meio Ambiente e Empreendimento Ltda, Recife, Pernambuco.

<sup>4</sup>Instituto Pernambucano de Pesquisa Agronômica, Araripina, Pernambuco.

<sup>5</sup>Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco.

Autor para correspondência: jaaleixo@uol.com.br

---

Resumo: A vegetação nativa da Região do Polo Gesseiro do Araripe se encontra bastante degradada devido à intensa utilização dos recursos florestais da Caatinga como fonte energética pelas indústrias do gesso. Como o crescimento da vegetação da região transformado em oferta de lenha é inferior à demanda dessas indústrias a continuidade da exploração dos recursos florestais pode levar a sérios problemas ambientais. Assim sendo, estudos com florestas de rápido crescimento com destaque para plantios com clones de *Eucalyptus* spp. constituem uma alternativa para suprir a demanda energética da região. Objetivou-se neste trabalho, comparar a produtividade dos clones de *Eucalyptus* spp. utilizando a análise multivariada de medidas repetidas ao longo do tempo; determinar a idade de rotação técnica e indicar quais entre os clones são os mais promissores para suprir as necessidades energéticas da região. O estudo foi conduzido na Estação Experimental do Araripe, no Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA), onde foram testados 15 clones, híbridos de eucaliptos, plantados no espaçamento foi de 3m x 2m, com quatro repetições. Foram mensuradas as circunferências a altura do peito (CAP) e as alturas totais (Ht) dos clones, a partir de 12 meses, e assim, sucessivamente, até os 90 meses quando o experimento foi cortado e as árvores cubadas. Pelo teste de Scott-Knott, o clone C39 *E. urophylla* (cruzamento natural) apresentou os melhores rendimentos volumétricos. A idade de rotação técnica (IRT) com base nos dados de incrementos volumétricos foi de sete anos. A alta produtividade aliada ao menor tempo de rotação do *Eucalyptus* spp. em relação à vegetação

nativa faz desse gênero um grande potencial para ser usado como oferta para fins energéticos, o que ajudaria a minimizar o processo de devastação da vegetação nativa na região, pois um hectare de eucaliptos corresponde a aproximadamente seis hectares da vegetação nativa em plano de manejo florestal sustentável (PMFS).

Termos para indexação: análise de medidas repetidas, idade técnica de rotação, volume.

### **VOLUMETRIC PRODUCTIVITY OF CLONES OF *Eucalyptus* SPP. IN GYPSUM POLE OF ARARIPE, PERNAMBUCO**

**Abstract:** The native vegetation of the Gypsum Pole of Araripe is severely degraded due to intensive use of the Caatinga forest resources as energy source for the plaster industry. As the growth of vegetation turned into firewood is less than the demand of these industries the continued exploitation of forest resources can lead to serious environmental problems. Thus, studies of fast-growth forest plantations especially with clones of *Eucalyptus* constitute an alternative to supply the energy demand of the plaster industries. The objective of this study was to compare the productivity of clones of *Eucalyptus* spp. using a multivariate analysis of repeated measures over time and determine the technical rotation age and indicate which clones are the most promising to supply the energy needs of the region. The study was conducted at the Experimental Station of Araripe, at the Agronomic Institute of Pernambuco (IPA), where 15 clones, hybrid *Eucalyptus* spp., were planted at a spacing of 3m x 2m, with four replicates. The test of Scott-Knott was used to compare the yield production of the clones. Circumference at breast height (CBH) and total height (Ht) of the clones were measured from 12 months until 90 months, when the experiment was cut and the trees cubed. The clone C39, *E. urophylla* (outcrossing) presented the best volumetric yield. The technical rotation age (TRA) based on volumetric increment was defined as seven years. The high productivity associated with the shorter rotation when compared with the native vegetation indicates the *Eucalyptus* spp. as a great potential for plantations in region to be used as supply for energy purposes, which would help minimize the process of destruction of native vegetation in the region, because one hectare of eucalyptus corresponds to approximately six hectares of native vegetation under sustainable forest management plan (SFMP).

**Index terms:** repeated measurement analysis, technical rotation age, volume.

## **INTRODUÇÃO**

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA) (BRASIL, 2010), o Brasil é o 4º maior emissor de gases efeito estufa do planeta, devido, principalmente, às ações de desmatamento. O uso intensivo da lenha na matriz energética leva a Caatinga ser o mais ameaçado dos biomas brasileiros, com grande

parte de sua cobertura original já alterada pela ação antrópica. As taxas de desmatamento chegaram a atingir o nível de 1% ao ano na década entre 1982 e 1992, três vezes mais do que a taxa correspondente para a Floresta Amazônica no mesmo período, o que levou a uma significativa perda de espécies de fauna e flora. Várias espécies já são listadas como extintas e outras são consideradas seriamente ameaçadas.

Estudos recentes apontam que o bioma Caatinga até o ano de 2009 possuía 45,6% de sua área desmatada, sendo que entre 2008 e 2009, a taxa de desmatamento foi de 0,5% (IBAMA, 2011). O relatório de mudanças climáticas e suas implicações para o Nordeste alerta sobre as consequências de aumentos de temperaturas na área mais vulnerável do país desde a perspectiva ecológica até a social, intensificando o processo de desertificação (BRASIL, 2010).

Localizada no bioma Caatinga, a região do Araripe vem passando por grande pressão antrópica ao longo dos anos. Isso se deve, principalmente, a crescente demanda por recursos naturais renováveis, principalmente energéticos, o que vem aumentando gradativamente a sua degradação, tanto a nível domiciliar com a utilização da lenha e carvão vegetal para cocção de alimentos, como industrial, com a utilização da madeira em padarias ou em fornos de desidratação da gipsita para produção de gesso que a principal fonte econômica da região.

É nessa região que se localiza o Polo Gesseiro do Araripe, um dos Arranjos Produtivos Locais (APL) do Estado de Pernambuco que se destaca por responder por 97% da produção brasileira de gesso. No entanto esse APL, associado aos das atividades extrativistas da mandiocultura, da pecuária leiteira e das indústrias cerâmicas, concomitantemente, a outras atividades da economia informal, colaboram para o processo de degradação da biodiversidade regional, devido à utilização sem maiores planejamento de recursos florestais nativos em suas matrizes energéticas.

Essa elevada degradação ambiental, principalmente, foi ocasionada à medida que a indústria do gesso foi se desenvolvendo, e paralelamente aumentou o consumo de lenha como energético para a calcinação da gipsita, ocasionando um grande processo de devastação da Caatinga (PERNAMBUCO, 2008).

Segundo a Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Junior (ATECEL, 2006) a principal fonte energética da indústria do gesso é a lenha

que participa com 74% da matriz energética, sendo que somente cerca de 3% dessa demanda por lenha é procedente de planos de manejo florestal (PERNAMBUCO, 2007). Dos 572.757,00 m<sup>3</sup> de lenha consumida na região do Araripe, em 2007, 366.222,00 m<sup>3</sup> foram exclusivos para as indústrias do Polo Gesseiro (TONIOLO; PAUPTIZ; CAMPELLO, 2006). Segundo Riegelhapt e Pareyn (2010), 80% da lenha consumida no Polo Gesseiro do Araripe tem origem ilegal, desta forma, estima-se que 11.229 ha são explorados, anualmente, sem anuência dos órgãos ambientais. Deduzindo-se a porcentagem de lenha proveniente de planos de manejo florestal da demanda total da indústria do gesso, infere-se que o grande fornecimento de lenha para indústria do gesso é feito com lenha ilegal.

Apesar de todos os problemas ambientais da região no que diz respeito à preservação da Caatinga, o APL do gesso apresenta um dos menores índices de desemprego de Pernambuco, função direta da geração de 13,2 mil empregos diretos e 66 mil indiretos, resultantes da atuação de 42 minas de gipsita, 174 indústrias de calcinação e 748 indústrias de pré-moldados, que geram um faturamento anual na ordem de R\$ 1,5 bilhões (SINDUSGESSO, 2014).

A produção média mensal das calcinadoras varia entre 2500 toneladas (t) e 3000 t de gesso. Para cada tonelada de gesso produzida existe uma variação de consumo de lenha entre 0,15 m<sup>3</sup> e 0,04 m<sup>3</sup>, sendo que a grande maioria das calcinadoras opera com eficiência de 0,15 m<sup>3</sup>/t e apenas uma delas trabalha com eficiência de 0,04 m<sup>3</sup>/t. Essas calcinadoras consomem em média 54.390 m<sup>3</sup> de lenha por mês, gerando uma estimativa de consumo anual na ordem de 652.680 m<sup>3</sup> de lenha (GADELHA, 2014).

Por ser uma área de grande pressão sobre os recursos florestais, a cada momento novas áreas degradadas estão surgindo, tornando-se de grande importância estratégias para conter a devastação florestal, incluindo plantios de espécies de rápido crescimento e manejo florestal sustentado da vegetação, bem como medidas para evitar o processo de desertificação propiciada pela prática inadequada de exploração florestal na Região do Araripe (SILVA, 2008-2009).

Atualmente, na região, identificam-se grandes áreas degradadas e inapropriadas para o uso agrícola como é praticado no local, isto é, um sistema agrícola praticamente itinerante no qual as áreas são abandonadas

com o decréscimo da produtividade do solo.

O trabalho de Sá, Sá e Silva (2007) demonstra na tabela 1, o grau de degradação nos cinco principais municípios do Polo Gesseiro do Araripe e aponta restrição de áreas para o manejo florestal.

**Tabela 1.** — Mapeamento das classes para atividades florestais da região do Araripe.

Municípios	UF	Área (Km <sup>2</sup> )	Áreas p/ manejo	Áreas p/ florestamento	Áreas p/ recuperação	Reserva legal (20%)
Araripina	PE	1.914,40	54,68	154,77	829,49	
Bodocó	PE	1.604,90	89,94	214,27	602,13	63,68
Ipubi	PE	972,10	65,49	134,29	408,62	
Ouricuri	PE	2.383,90	262,64	559,94	693,37	
Trindade	PE	229,30	0,73	38,51	140,61	
Total (Km <sup>2</sup> )		7.104,60	473,48	1.101,77	2.674,23	63,68

Fonte: Sá, Sá e Silva (2007)

Diante do cenário em que se encontra a Região do Polo Gesseiro do Araripe, experimentos com florestas de rápido crescimento, podem colaborar de forma significativa indicando alternativas para a matriz energética, sendo o eucalipto uma opção viável para a utilização de lenha na região, pois além de ser bem adaptado as características do clima local, possui rápido crescimento, superior ao da vegetação da Caatinga, capacidade de rebrotas, propiciando assim, a oferta de lenha em maior quantidade em mesmo espaço de tempo, o que indiretamente, pode atenuar o desmatamento da vegetação da região.

O objetivo deste trabalho foi comparar a produtividade dos clones de *Eucalyptus* spp. utilizando a análise multivariada de medidas repetidas ao longo do tempo; determinar a idade de rotação técnica e indicar quais entre os clones são os mais promissores para suprir as necessidades energéticas da região e simular uma ocupação espacial por plantios com clones de eucaliptos e por planos de manejo florestal sustentáveis (PMFS).

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de estudo

O experimento foi desenvolvido na Estação Experimental do Araripe, pertencente ao Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA), localizado

no município de Araripina, na Chapada do Araripe, extremo Oeste de Pernambuco. O clima da região é classificado DdB'4a' semiárido mesotérmico. A precipitação média anual é de aproximadamente 700 mm, concentrando-se entre os meses de dezembro a março, com um pequeno excesso em abril. O solo é do tipo Latossolo vermelho-amarelo (ENCARNAÇÃO, 1980).

O experimento foi implantado em março de 2002. O espaçamento usado foi de 3,0 m x 2,0 m, e foram utilizados 15 tratamentos (híbridos de eucaliptos) com 04 repetições (Tabela 2).

**Tabela 2.** — Lista dos clones de *Eucalyptus* spp. utilizados no experimento no Polo Gesseiro do Araripe.

**Table 2.** — List of *Eucalyptus* spp. clones used in the experiment in the Gypsum Pole of Araripe.

Trat.	Clone	Híbridos
01	C49	<i>Eucalyptus tereticornis</i> (cruzamento natural)
02	C80	<i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> * (polinização controlada)
03	C 315	<i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> * (polinização controlada)
04	C101	<i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> * (polinização controlada)
05	C78	<i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> * (polinização controlada)
06	C156	<i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> x <i>E. pellita</i> (polinização controlada)
07	C39	<i>E. urophylla</i> (cruzamento natural)
08	C27	<i>E. brasiana</i> (cruzamento natural)
09	C51	<i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> * (polinização controlada)
10	C158	<i>E. urophylla</i> x <i>E. tereticornis</i> * (polinização controlada)
11	C41	<i>E. urophylla</i> (cruzamento natural)
12	C31	<i>E. brasiana</i> (cruzamento natural)
13	C25	<i>E. brasiana</i> (cruzamento natural)
14	C33	<i>E. urophylla</i> (cruzamento natural)
15	C11	<i>E. brasiana</i> (cruzamento natural)

\* As mudas dos clones C 80, C315, C101, C78, C51, C158 foram produzidas com material genético de procedência da região de Laura, Queensland, Austrália.

A forma utilizada de cada parcela foi de 14 x 21 m com área de 294 m<sup>2</sup>. O total de plantas por parcela foi de 49, sendo a área útil de 150 m<sup>2</sup> composta por 25 plantas.

As medições foram feitas a cada seis meses a partir do plantio, tendo ao final do experimento as medidas aos 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60, 66, 72, 78, 84, 90 meses. Em cada medição foram registradas a altura total (Ht) e a circunferência a altura do peito (CAP) de todas as plantas úteis de cada parcela. Aos 90 meses as árvores foram cubadas rigorosamente, a altura total de cada árvore foi medida com trena e o volume individual foi obtido por meio da somatória de secções, segundo fórmula de Smalian.

$$V_t = \sum_{i=1}^n V_i$$

$$V_i = \frac{1}{2}(g_b + g_s)l$$

Em que:

$v_i$  = volume da secção em  $m^3$ ;

$v_t$  = volume total da secção;

$l$  = altura ou comprimento da secção em  $m$ ;

$g_b$  = área transversal da base da secção em  $m^2$ ;

$g_s$  = área transversal do topo da secção em  $m^2$ .

Os volumes das idades de 12 a 84 meses foram calculados utilizando o fator de forma médio para cada clone, provenientes de amostras de árvores que foram cubadas ao longo do tempo.

### Análises estatísticas

O delineamento utilizado foi o multivariado de medidas repetidas, no qual se tem as respostas coletadas para cada unidade experimental ao longo do tempo. O modelo matemático para tal delineamento é descrito por Nemeç (1996).

$$Y_{ijk} = \mu + \gamma_i + \sigma_j + (\gamma\sigma)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Em que:

$Y_{ijk}$  = volume do  $i$ -ésimo clone, no  $j$ -ésimo tempo e na  $k$ -ésima repetição;

$\mu$  = média geral;

$\gamma_i$  = efeito do  $i$ -ésimo clone;

$\sigma_j$  = efeito no  $j$ -ésimo tempo;

$(\gamma\sigma)_{ij}$  = efeito da interação entre o  $i$ -ésimo clone no  $j$ -ésimo tempo;

$\epsilon_{ijk}$  = erro aleatório do  $i$ -ésimo clone no  $j$ -ésimo tempo e na  $k$ -ésima repetição.

A aplicação deste tipo de análise estatística é condicionada a dependência entre as observações ao longo do tempo. Para tal, o teste de Mauchly (1940) foi realizado para verificar a condição de esfericidade da matriz de covariâncias, ou seja, se essa era do tipo Huynh-Feldt e satisfazia a condição:

$$C_{(t-1) \times (t)} \sum_{(txt)} C'_{(t) \times (t-1)} = \lambda I_{(t-1) \times (t-1)}$$

Em que:

$C$  = matriz de coeficientes dos contrastes ortogonais normalizados que apresenta o total de hipóteses nulas;

$\Sigma$  = matriz de covariâncias;

$\lambda > 0$ ;  $I$  = matriz identidade.

Satisfeita esta condição a matriz de  $\Sigma$  covariância é dita esférica, comprovando a dependência das medidas ao longo do tempo.

As hipóteses testadas ao nível de 5% de probabilidade foram:

$H_{01}$  = não existem diferenças significativas entre os clones;

$H_{02}$  = existe igualdade do efeito tempo;

$H_{03}$  = não existe interação tempo x clones.

Para se testar as hipóteses  $H_{01}$ ,  $H_{02}$  e  $H_{03}$ , foram usados os testes Lambda de Wilks, Traço de Pillai, Traço de Hotelling-Lawley e Maior Raiz de Roy, conforme descritos por Khattree e Naik (1999). Essas estatísticas foram dadas por:

1.  $\Delta = \prod_{i=1}^s (1 - \theta_i)$ : Lambda de Wilks em que  $s = \min(t-1, g-1)$ , sendo  $t$  o número de instantes do tempo e  $g$  o número de tratamentos.

2.  $P = \sum_{i=1}^s \theta_i$  Traço de Pillai

3.  $T = \sum_{i=1}^s \theta_i (1 - \theta_i)^{-1}$ : Traço de Lawley-Hotelling

4.  $\theta_s = \max(\theta_i)$ : Roy

Para a comparação das médias dos tratamentos ao longo do tempo se usou o teste de Scott-Knott (1974) ao nível de 5% de probabilidade.

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o comando "REPEATED" constante nos procedimentos da PROC ANOVA e PROC GLM do SAS (Statistical Analysis System).

### Determinação da idade de rotação técnica

A idade ótima de corte foi definida do ponto de vista volumétrico como a que resultou no maior incremento médio anual, para cada grupo de clones previamente estabelecidos. Essa idade foi definida quando houve o

cruzamento das curvas do Incremento Médio Anual (IMA) e Incremento Corrente Anual (ICA) (IMANA-ENCINAS; SILVA; PINTO, 2005).

### **Ocupação territorial de eucaliptos versus PMFS da Caatinga**

Considerando dados do SINDUSGESSO (2012) que indicavam que a produção de gesso e de outros produtos derivados da gipsita foi superior a 6,5 milhões de toneladas, mas adotando este valor como referência para o ano de 2012, pode-se inferir sobre a ocupação espacial com plantios de clones de *Eucalyptus* spp. selecionados para a região e os comparar com os PMFS da Caatinga.

Para efeito de simulação, considerou-se um crescimento da indústria do gesso para os próximos 14 anos em torno de 10% ao ano, que é inferior às previsões atuais da indústria gesso que estão em torno de 25%. Vale ressaltar que os consumos de lenha como fonte energética para cocção de alimentos e outras indústrias não estão incluídos nesta simulação.

Também foi considerado que os plantios de clones de *Eucalyptus* spp. serão realizados anualmente, iniciando em 2012, com rotação de 7 anos, para atender a demanda da indústria do gesso que iniciará a partir do ano de 2019. Nos próximos anos (2019 a 2025) haverá novos cortes de áreas de clones de *Eucalyptus* spp. resultantes das áreas de rebrotas dos plantios feitos entre 2012 e 2018. Já para a lenha da Caatinga foi considerado que já existem PMFS iniciados em 012004 (rotação de 14 anos).

Admitindo que os valores máximos encontrados na literatura para o IMA da vegetação nativa da região (5,36 m<sup>3</sup>/ha) resultou em uma produção de 75,04 m<sup>3</sup> aos 14 anos (FUPEF, 2007). Para o eucalipto, foi considerado o IMA do clone que apresentou a maior produtividade aos 7 anos.

O consumo de lenha da Caatinga por tonelada de gesso foi de 0,151 m<sup>3</sup> equivalente a 0,5 st (BARROS et al., 2010). Gadelha (2010) testando três clones de *Eucalyptus* spp., encontrou um consumo médio de 0,1 m<sup>3</sup>/t. de gesso, variando de 0,09 a 0,115 m<sup>3</sup>/t. de gesso, mas para este trabalho está sendo considerado um consumo superior, 0,125 m<sup>3</sup>/t. de gesso. Foram considerados os fatores de conversão de st para m<sup>3</sup> iguais 3,32 e 2,0 respectivamente, para lenha da Caatinga e o clone selecionado. Embora a unidade de metro st ainda seja utilizada na Região, foi utilizada a conversão para m<sup>3</sup>, pois de acordo com a portaria nº 130/99 do INMETRO fica proibida a utilização da unidade de

medida denominada estéreo para a comercialização de madeira.

A comparação foi feita em termos de ocupação territorial por hectare, isto é, que área plantada com o clone de maior produção com uma rotação de 7 anos e 1 ha de Caatinga em PMFS com rotação 14 anos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da análise da variância (ANOVA) para volumes se verificou a existência de diferenças significativas entre os clones ao nível de 1% de probabilidade (Tabela 3).

**Tabela 3.** — ANOVA para a variável volume entre os 15 clones de *Eucalyptus* spp. avaliados no experimento Polo Gesseiro do Araripe.

**Table 3.** — ANOVA for the variable volume among 15 clones of *Eucalyptus* spp. evaluated in the experiment Gypsum of Pole the Araripe.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	14	13,26817	0,94773	3,5424 **
Resíduo	45	12,03906	0,26753	
Total	59	25,30723		

Na tabela 4, encontra-se o resultado do teste de Scott-Knott pela ordem decrescente da média do volume em m<sup>3</sup>/ha e os IMAs dos clones de *Eucalyptus* spp.

Com base nos dados obtidos a partir do teste de Scott-Knott, houve a formação de três grupos com volume médio semelhante: o grupo A com apenas o clone C39, o grupo B com apenas clone C41 e o grupo C com os demais clones.

As menores produções dos clones C31 (Híbrido de *E. brassiana*) e C11 (Híbrido de *E. brassiana*) foram afetadas diretamente pela alta mortalidade ocorrida nesses clones chegando a morrer respectivamente 49 e 51% das árvores amostradas nas parcelas.

De acordo com dados da tabela 4, dos quinze clones testados, os que apresentaram maiores médias volumétricas foram: C39, C41, C158, C51 e C101, volumes superiores aos encontrados por Oliveira et al. (2009), em plantios em Minas Gerais e na Bahia, que variaram de 80,36 a 139,97m<sup>3</sup>/ha, e por Oliveira et al. (1998), que encontraram num estudo realizado no Cerrado uma produtividade de 123,37m<sup>3</sup>/ha.

**Tabela 4.** — Resultado do teste de Scott-Knott para a variável volume e incremento médio anual dos clones de *Eucalyptus* spp. aos 7,5 anos no experimento Polo Gesseiro do Araripe.

**Table 4.** — Results of the Scott-Knott test for the variable volume and mean annual increment of clones of *Eucalyptus* spp. at 7,5 years in the experiment Gypsum of Pole the Araripe.

.Tratamentos	Clones	Volume (m <sup>3</sup> /ha)*	IMA (m <sup>3</sup> /ha/ano)
7	C39	222,55 a	29,68
11	C41	171,31 b	22,85
10	C158	152,18 c	20,30
9	C51	147,91 c	19,73
4	C101	147,78 c	19,71
1	C49	141,91 c	18,93
2	C80	133,85 c	17,85
3	C315	132,25 c	17,64
13	C25	131,72 c	17,57
14	C33	129,78 c	17,31
5	C78	120,78 c	16,11
15	C11	117,32 c	15,65
8	C27	114,78 c	15,31
6	C156	112,92 c	15,06
12	C31	74,39 c	9,92

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

\* volume real obtido por cubagem das árvores, obtidas aos 90 meses de idade após o plantio.

Os valores registrados dos IMAs no Polo Gesseiro do Araripe (Tabela 4), estão entre os valores registrados por Soares et al., (2009), para classe baixa de produtividade em plantios híbridos de *Eucalyptus* sp., no Município de Monte Dourado, no Estado do Pará, o que pode ser considerado bastante animador uma vez que a Região do Pará a precipitação ultrapassa 2000mm ao ano, bastante diferente do cenário que ocorre na área em que foi realizado este estudo.

Esses mesmos valores em média também foram encontrados por Carvalho (2010) no Estado de Minas Gerais para a classe IV de produtividade. Gomide et al. (2005) estudando 10 clones de *Eucalyptus* spp., em empresas brasileiras, registraram IMAs que variaram de 33,9 a 52,9 m<sup>3</sup>/ha, ainda segundo esses autores nas últimas décadas o Brasil apresentou os mais elevados níveis mundiais de IMA.

Sabe-se que pelas próprias características de crescimento rápido e adaptação ao clima local, os estoques em volumes dos eucaliptos são bem elevados em relação à vegetação da Caatinga. Comparando esses dados de eucaliptos com estoques de volumes na Caatinga, Francelino et al. (2003) estudando distintas formações florestais da Caatinga do Rio Grande do Norte, encontraram volumes que variaram de 52,60m<sup>3</sup>/ha para a formação mais aberta e 108,73m<sup>3</sup>/ha para a vegetação mais fechada. Mesmo para a vegetação mais densa, esses valores ainda são inferiores aos encontrados neste estudo.

A diferença entre a produtividade dos eucaliptos quando comparados aos valores da Caatinga, confirmam a grande importância da implantação de florestas de eucaliptos com fins energéticos na Região do Araripe, e se essas forem plantadas em larga escala, caso não ocorra nenhuma alteração externa do ambiente, doenças ou pragas, poderão ser responsáveis por grandes rendimentos em volume de madeira para a região, o que ajudaria a minimizar o elevado processo de degradação na vegetação nativa.

Por meio do teste de esfericidade de Mauchly, para a variável volume se observou que a condição de esfericidade foi violada com um nível de significância de 0,0001%, ou seja, a matriz de significância não é do tipo Huynh-Feld, isto é, rejeita-se a hipótese de que a distribuição dos dados seja normal com variáveis independentes não correlacionadas e com variâncias constantes, o que justifica que a análise experimental multivariada de medidas repetida deve ser usada (Tabela 5).

**Tabela 5.** — Teste de esfericidade de Mauchly, para a variável volume no experimento do Polo Gesseiro do Araripe.

**Table 5.** — Mauchly sphericity test, for the variable volume in the experiment Gypsum of Pole the Araripe.

Variáveis	GL	Critério de Mauchly	$\chi^2$	Pr > $\chi^2$
Variáveis transformadas	90	3,956E-28	2553,8159	<0,0001
Componentes ortogonais	90	5,315E-17	1889,4917	<0,0001

Com base nas tabelas 6 e 7 foram rejeitadas as hipóteses das interações do efeito do tempo, e tempo x clones por meio dos testes de Lambda de Wilks, Traço de Pillai, Traço de Hotelling-Lawley e Maior Raiz de Roy.

**Tabela 6.** — Teste de hipótese do não efeito do tempo para a variável volume no experimento do Polo Gesseiro do Araripe.

**Table 6.** — Hypothesis test of no effect of time for the variable volume in the experiment Gypsum of Pole the Araripe.

<b>Estatística</b>	<b>Valor</b>	<b>F</b>	<b>Pr&gt;F</b>
Lambda de Wilks	0,0301	81,76	<0,0001
Traço de Pillai	0,9699	81,76	<0,0001
Traço de Hotelling-Lawley	32,2078	81,76	<0,0001
Maior Raiz de Roy	32,2078	81,76	<0,0001

**Tabela 7.** — Teste de hipótese do não efeito da interação tempo x clones para a variável volume no experimento do Polo Gesseiro do Araripe.

**Table 7.** — Hypothesis test of no interaction of time x clones for the variable volume in the experiment Gypsum of Pole the Araripe.

<b>Estatística</b>	<b>Valor</b>	<b>F</b>	<b>Pr&gt;F</b>
Lambda de Wilks	0,0033	1,53	0,0004
Traço de Pillai	3,8117	1,53	0,0067
Traço de Hotelling-Lawley	10,2131	1,76	0,0001
Maior Raiz de Roy	4,5095	14,49	<0,0001

A ANOVA para os clones ao longo do tempo, com médias separadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidades encontra-se nas tabelas 8 e 9.

Na idade inicial aos 12 meses houve diferenças significativas entre os clones, sendo os clones C51, C41 e C33 com as maiores médias do volume. Como nessa fase inicial de crescimento não havia grande competição por recursos ambientais. Esses clones se destacaram dos demais pelas próprias características genotípicas.

Nas idades entre 18 meses até 54 meses o comportamento entre o desenvolvimento em volume dos clones foi semelhante, nessas idades os clones já estão praticamente estabelecidos, e mantiveram o crescimento uniforme entre si até a idade de 54 meses. A partir das idades de 60 a 84 meses houve formação de dois grupos, estando os clones C39 e C41 separados dos demais por apresentarem maiores volumes. Porém na idade de 90 meses, ao final do experimento, os clones apresentaram-se com três grupos, ficando o

**Tabela 8.** — Resultado do teste de Scott-Knott para as médias dos volumes nas idades de 12 a 48 meses para os clones de *Eucalyptus* spp. no experimento do Polo Gesseiro do Araripe.

**Table 8.** — Test Result Scott-Knott for medium volume the age at 12 to 48 months for the clones from *Eucalyptus* spp. in the experiment the Gypsum of Pole the Araripe.

	Idade (meses)						
	12	18	24	30	36	42	48
<b>C49</b>	3,72b	13,32a	26,35a	40,82a	50,82a	58,75a	67,49a
<b>C80</b>	4,11b	12,15a	22,49a	32,38a	42,43a	50,02a	56,75a
<b>C315</b>	3,61b	10,06a	20,77a	30,04a	46,86a	53,74a	60,41a
<b>C101</b>	3,63b	10,27a	21,01a	31,69a	44,73a	53,84a	62,50a
<b>C78</b>	3,75b	11,25a	22,25a	34,73a	44,80a	52,40a	59,23a
<b>C156</b>	3,03b	10,24a	22,30a	33,36a	40,90a	46,41a	51,75a
<b>C39</b>	4,07b	14,60a	27,56a	42,85a	56,39a	72,03a	84,94a
<b>C27</b>	2,14b	9,01a	19,02a	30,08a	39,90a	45,77a	52,92a
<b>C51</b>	5,44a	15,17a	28,23a	38,64a	52,94a	62,59a	70,52a
<b>C158</b>	4,40b	10,85a	23,54a	36,78a	47,60a	55,98a	66,00a
<b>C41</b>	6,12a	17,18a	31,81a	44,39a	57,48a	68,37a	78,81a
<b>C31</b>	2,09b	8,36a	16,30a	23,63a	28,20a	32,12a	36,17a
<b>C25</b>	3,00b	11,49a	22,18a	32,68a	40,87a	49,54a	57,67a
<b>C33</b>	7,10a	16,98a	31,04a	45,10a	53,23a	60,42a	65,72a
<b>C11</b>	1,75b	8,60a	18,52a	30,33a	38,03a	44,28a	51,47a

**Tabela 9.** — Resultado do teste de Scott-Knott para as médias dos volumes nas idades de 54 a 90 meses para os clones de *Eucalyptus* spp. no experimento do Polo Gesseiro do Araripe.

**Table 9.** — Result test Scott-Knott for medium volume the age at 54 to 90 months for the clones from *Eucalyptus* spp. in the experiment the Gypsum of Pole the Araripe.

	Idade (meses)						
	54	60	66	72	78	84	90
<b>C49</b>	74,72a	82,20b	88,15b	96,32b	106,90b	122,35b	141,96c
<b>C80</b>	62,99a	69,40b	74,72b	83,00b	95,42b	110,94b	133,88c
<b>C315</b>	67,60a	74,29b	80,48b	88,64b	98,80b	108,70b	132,29c
<b>C101</b>	71,12a	79,17b	85,25b	95,68b	107,77b	127,02b	147,79c
<b>C78</b>	65,60a	71,68b	76,41b	83,24b	91,84b	105,33b	120,83c
<b>C156</b>	56,93a	63,12b	67,89b	73,98b	82,97b	97,74b	112,93c
<b>C39</b>	98,91a	110,96a	120,93a	136,93a	158,44a	189,68a	222,55a
<b>C27</b>	59,39a	67,02b	71,74b	79,31b	87,93b	100,85b	114,80c
<b>C51</b>	78,28a	85,43b	91,27b	99,93b	110,77b	129,02b	147,96c
<b>C158</b>	76,00a	83,36b	89,53b	100,60b	111,88b	130,96b	152,21c
<b>C41</b>	87,35a	96,74a	104,25a	114,54a	127,04a	148,42a	171,32b
<b>C31</b>	39,65b	43,44b	46,95b	51,75b	56,19b	65,72b	74,40c
<b>C25</b>	63,92a	71,01b	75,93b	85,54b	96,02b	113,26b	131,78c
<b>C33</b>	71,20a	76,68b	82,35b	89,93b	97,94b	113,49b	129,80c
<b>C11</b>	57,79a	65,07b	69,07b	78,56b	90,64b	103,78b	117,33c

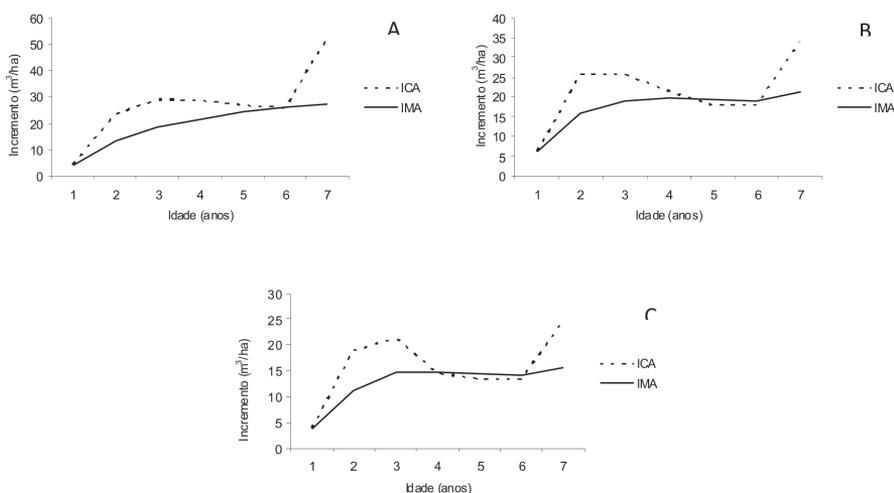
clone C39 no grupo A, o C41 no grupo B e os demais clones no grupo C.

Observa-se que o clone C39 permaneceu como o mais produtivo, aproximadamente, durante todo o experimento, apenas apresentando crescimento inferior ao clone C41 e C51, na fase inicial de plantio, em que a plantação tem disponíveis os fatores ambientais e não foi estabelecida a competição entre as árvores.

As definições das idades de rotação técnica com base nos dados dos incrementos correntes anuais (ICA) e incrementos médios anuais (IMA) para os três grupos de clones podem ser analisadas na figura 1.

Figura 1. — Incremento médio anual (IMA) e Incremento Corrente Anual (ICA) do grupo A, clone C39, grupo B C41 e Grupo C no experimento do Polo Gesseiro do Araripe.

Figure 1. — Mean annual increment (MAI) and current annual increment (CAI) in group A, clone C39, C41 Group B and Group C in the experiment the Gypsum of Pole the Araripe.



Para os três grupos a idade de rotação técnica (IRT) ocorreu entre 6,5 e 7 anos de idade, porém foi considerada a IRT de 7 anos para os clones do Polo Gesseiro do Araripe, uma vez que os plantios são realizados na estação chuvosa, entre fevereiro e abril, uma rotação de 6,5 anos implicaria em cortes nos meses mais secos, o que, certamente, iria prejudicar sensivelmente a rebrota, podendo chegar a inviabilizá-la, uma vez que o aporte hídrico é

fundamental na fase inicial do plantio. Por esta razão, a IRT foi considerada neste trabalho como sendo aos sete anos, que coincide com a estação chuvosa na região.

Observa-se que para os três grupos estudados o ICA se eleva nas idades finais, o que seria comum de acontecer o contrário, essa curvatura atípica da curva de ICA no final do experimento, provavelmente, está intimamente ligada a elevada precipitação na área, seis meses antes do corte do experimento, em que na ocasião chegou a chover o equivalente a 70% do ano, entre os meses de fevereiro a junho, quando o experimento estava aos sete anos de idade.

Imaña-Encinas, Santana e Imaña (2011) estudando a produção volumétrica e econômica de *Eucalyptus urophylla* em Goiás, registraram a rotação ótima volumétrica de 5 e 6 anos e a econômica de cerca de 3 anos, e recomendaram com base nas duas análises um ciclo de corte de 4 anos de idade.

Segundo Leite et al. (2001) a IRT tem uma tendência de ser atingida mais cedo em locais de maior capacidade produtiva, por que nesses locais as árvores atingem a estagnação do crescimento mais precocemente.

### **Ocupação territorial de eucaliptos versus PMFS da Caatinga**

Para atender a demanda da indústria do gesso a partir do ano de 2019, quando será feito o primeiro corte dos eucaliptos plantados em 2012 (sete anos de rotação) e corte de PMFS da Caatinga iniciados em 2004 (rotação de 14 anos), consideraram-se os rendimentos de 0,125 e 0,151 m<sup>3</sup>/t. de gesso produzido, respectivamente, para eucaliptos e lenha da Caatinga.

Considerando que o clone mais produtivo, no caso o C39 *E. urophylla* (cruzamento natural) com um IMA de 27,10 m<sup>3</sup>/ha, produzir-se-á 189,70 m<sup>3</sup>/ha aos sete anos o que corresponde a 1517,60 t. de gesso por hectare de eucalipto, foi realizada a simulação da ocupação espacial comparando plantios de clones eucaliptos e PMFS da Caatinga (Tabela 10).

Considerando a tabela 10, observa-se que teve início a exploração florestal no ano de 2019, que corresponde ao primeiro corte feito no plantio de eucaliptos realizado em 2012, e o corte de uma área submetida a um PMFS iniciado em 2004.

Adotando-se um crescimento anual da indústria do gesso em torno de 10% e tendo como base inicial o ano de 2012, em 2019, a produção de gesso corresponde a 12,67 milhões de toneladas, demandando um consumo de

**Tabela 10.** — Simulação da ocupação espacial dos plantios de *Eucalyptus* spp. e PMFS da Caatinga.

**Table 10.** — Simulation of spatial occupation of *Eucalyptus* spp. And PMFS of the Caatinga.

Ano	Produção (milhão/t. gesso)	Consumo de eucaliptos (milhão/m <sup>3</sup> )	Área plantada com eucaliptos (mil ha)	Consumo de lenha da Caatinga (milhão/m <sup>3</sup> )	Área cortada de PMFS* (mil ha)
2012	6,5		8,3		
2013			9,18		
2014			10,10		
2015			11,11		
2016			12,22		
2017			13,44		
2018			14,80		
2019	12,67	1,58		1,91	25,49
2020	13,93	1,74		2,10	28,04
2021	15,33	1,92		2,31	30,84
2022	16,86	2,11		2,55	33,93
2023	18,55	2,32		2,80	37,32
2024	20,40	2,55		3,08	41,05
2025	22,44	2,80		3,39	45,15
Total	120,17	15,02	79,18	18,15	241,82

lenha de eucaliptos de 1,58 milhões de m<sup>3</sup> e 1,91 milhões de m<sup>3</sup> de lenha da Caatinga, provenientes de 8346,51 e 25488,80 hectares, respectivamente dos plantios de eucaliptos e de PMFS da Caatinga.

Prosseguindo com o raciocínio para os anos subsequentes, chegam-se as estimativas de áreas cortadas em plantios de eucaliptos e de PMFS da Caatinga, que são respectivamente, 79184,75 e 241816,64 hectares.

Calculando a equivalência espacial, isto é, a razão entre a área cortada com eucaliptos e de PMFS da Caatinga, chega-se a um valor de, aproximadamente, 0,33 que indica que para cada hectare plantado de eucaliptos implica em 3,03 ha de PMFS da Caatinga. Se considerar a rotação da Caatinga com 14 anos e plantar o eucalipto no ano de início do PMFS, conseguem-se duas rotações com eucaliptos. Assim a equivalência espacial passa a ser 6,06, isto é, para uma rotação de 14 anos de um PMFS da Caatinga, 1 ha de eucaliptos equivale

a 6,06 ha de PMFS da Caatinga.

Como em 2007, existiam disponíveis 267.000 ha para recuperação (SÁ; SÁ; SILVA, 2007), o que deve ser uma área maior atualmente, uma vez que a degradação da Caatinga continua, a ocupação espacial dos plantios de eucaliptos na região do Araripe poderá ser feita em áreas propícias à recuperação, sem que haja necessidade de desmatar áreas cobertas pela vegetação nativa, muito pelo contrário, o plantio de eucaliptos em função de seu rápido crescimento e alta produtividade quando comparado com a vegetação da Caatinga, propiciará lenha em maior quantidade e menor espaço de tempo, o que resultará em atenuação da devastação da Caatinga.

Isto vem a corroborar afirmativas de vários autores que justificam o uso de plantios dos eucaliptos como alternativa energética viável economicamente e ambientalmente (BAENA, 2005).

## CONCLUSÕES

O clone C39 híbrido de *Eucalyptus urophylla* (cruzamento natural) apresentou o melhor rendimento volumétrico na região do Polo Gesseiro. Como foi testado em um único espaçamento, recomendam-se mais pesquisas com esse clone, bem como os que apresentaram resultados mais próximos, em espaçamentos diferentes, e se possível, associados a consórcios agroflorestais, com a finalidade de minimizar os custos de implantação iniciais dos plantios de eucaliptos;

A idade de rotação técnica estabelecida com base nos dados volumétricos para os três grupos de clones foi de sete anos.

## REFERÊNCIAS

ATECEL. **Diagnóstico energético do setor industrial do polo gesseiro da mesorregião de Araripina – PE**. Recife, 2006.

BAENA, E. S. A. A rentabilidade da cultura do *Eucalyptus* e sua contribuição ao agronegócio brasileiro. **Conhecimento Interativo**, v.1, p. 3-9, 2005.

BARROS, B. C.; SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C.; REBOUÇAS, A. C. M. N. Volumetria e sobrevivência de espécies nativas e exóticas no polo gesseiro do Araripe, PE. **Ciência Florestal**, v. 20, p. 641-647, 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Mudanças climáticas e suas implicações para o Nordeste**. Brasília, 2010. Relatório do Workshop sobre Cenários Climáticos do Semiárido e Implicações para o Desenvolvimento do Nordeste, realizado em Fortaleza-CE, nos dias 29 e 30 de novembro de 2004.

CARVALHO, S. P. C. **Uma nova metodologia de avaliação do crescimento e da produção de *Eucalyptus* sp clonal para fins energéticos**. 2010. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

ENCARNAÇÃO, C. R. F. **Observações meteorológicas e tipos climáticos das unidades e campos experimentais da empresa IPA**. Recife: IPA, 1980.

FRANCELINO, M. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; RESENDE, M.; LEITE, H. G. Contribuição da caatinga na sustentabilidade de projetos de assentamentos no sertão Norte-Rio-Grandense. **Revista Árvore**, v. 27, p. 79-86, 2003.

FUNDAÇÃO DE PESQUISAS FLORESTAIS DO PARANÁ. **Apoio técnico e institucional para o desenvolvimento do programa florestal da Chapada do Araripe: produto 2 – diagnóstico**. Curitiba, 2007.

GADELHA, F. H. L. **Desempenho silvicultural e avaliação econômica de clones híbridos de eucaliptos plantados em diferentes regimes de manejo para fins energéticos**. 2014. 149 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2014.

GADELHA, F. H. L. **Rendimento volumétrico e energético de clones de híbridos de *Eucalyptus urophylla* (cruzamento natural) e *Eucalyptus brassiana* (cruzamento natural) na Chapada do Araripe – PE**. 2010. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2010.

GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C.; SILVA, C. M. Caracterização tecnológica para produção de celulose da nova geração de clones *Eucalyptus* no Brasil. **Revista Árvore**, v. 29, p. 129-137, 2005.

IBAMA. **Monitoramento do bioma caatinga, 2008-2009**. Brasília, 2011.

IMAÑA-ENCINAS, J.; SANTANA, O. A.; IMAÑA, C. R. Volumetric and economic optimal rotations for firewood production of *Eucalyptus urophylla* in Ipameri, State of Goiás. **Revista Floresta**, v. 41, p. 905 – 912, 2011.

IMAÑA-ENCINAS, J.; SILVA, G. F.; PINTO, J. R. R. **Idade e crescimento das árvores**. Brasília: Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, 2005.

KHATTREE, R.; NAIK, D. N. **Applied multivariate statistics with SAS software**. 2 ed. Cary, NC: SAS Institute, 1999.

LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; MOREIRA, A. M.; LIMA, J. E. Um modelo de crescimento e produção para *Pinus taeda* L. na região sul do Brasil. **Revista Árvore**, v. 25, p. 105-112, 2001.

MAUCHLY, J. W. Significance test for sphericity of a normal n-variate distribution. **Annals of Mathematical Statistics**, v. 11, p. 204-209, 1940.

NEMEC, A. F. N. **Analysis of repeated measures and time series: an introduction with forestry examples**. Victoria, BC.: Ministry of Forests, 1996.

OLIVEIRA, A. D.; LEITE, A. P.; BOTELHO, S. A.; SCOLFORO, J. R. S. Avaliação econômica da vegetação de cerrado submetida a diferentes regimes de manejo e de povoamentos de eucalipto plantado em monocultivo. **Revista Cerne**, v. 4, p. 34-56, 1998.

OLIVEIRA, M. L. R.; LEITE, H. G.; GARCIA, S. L. R.; CAMPOS, J. C. C.; SOARES, C. P. B.; SANTANA, R. C. Estimação do volume de árvores de clones de eucalipto pelo método da similaridade de perfis. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 33, n. 1, p. 133-141, 2009.

PERNAMBUCO. Secretaria de Ciência, Tecnológica 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.

PERNAMBUCO. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. **Região do Araripe-Pernambuco: diagnóstico florestal**. Brasília, 2007.

RIEGELHAUPT, E. M.; PAREYN, F. G. C. A questão energética e o manejo florestal da caatinga. In: GARIGLIO, M. A.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília, DF: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. p. 65-81.

SÁ, I. B.; SÁ, I. I. S.; SILVA, D. F. Geotecnologias conciliando preservação ambiental e fortalecimento das atividades produtivas na região do Araripe-PE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, 2007. p. 1875-1882.

SCOTT, A.J.; KNOTT, M. Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, v. 30, p. 507-512, 1974.

SILVA, J. A. A. Potencialidades de florestas energéticas de Eucalyptus no polo gesso do Araripe-Pernambuco. **Anais da Academia Pernambucana de Ciências Agrônomicas**, v. 5/6, p. 301-319, 2008-2009.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DO GESSO DO ESTADO DE PERNAMBUCO. Disponível em: <[http://www.sindusgesso.org.br/polo\\_gesso.asp](http://www.sindusgesso.org.br/polo_gesso.asp)>. Acesso em: 28 nov. 2012.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DO GESSO DO ESTADO DE PERNAMBUCO. Disponível em: <[http://www.sindusgesso.org.br/polo\\_gesseiro.asp](http://www.sindusgesso.org.br/polo_gesseiro.asp)>. Acesso em: 10 jan. 2014.

SOARES, C. P. B.; DEMOLINARI, R. A.; LEITE, H. G.; SOUZA, A. L. Predição do crescimento em povoamentos clonais de eucalipto não desbastados utilizando matrizes de transição não estacionárias. **Revista Árvore**, v. 33, p. 831-840, 2009.

TONIOLO, E. R.; PAUPTIZ, J.; CAMPELLO, F. B. Polo gesso de Pernambuco: diagnóstico e perspectivas de utilização dos energéticos florestais na região do Araripe. In: KÜSTER, A.; MELCHERS, I; MARTI, J. F. (Org.). **Tecnologias apropriadas para terras secas**: manejo sustentável de recursos naturais em regiões semi-áridas no nordeste do Brasil. Fortaleza: Fundação Konrad Adenauer: GTZ, 2006. p. 51-70.