



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE FORMAÇÃO DE PROFESSORES
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

ANTONIO MARCOS CÉSAR DE ALMEIDA

**AVALIAÇÃO ANATÔMICA, FÍSICO-QUÍMICA E ENERGÉTICA
DA MADEIRA DAS ESPÉCIES *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke
E *Amburana cearensis* (Allemão) A. C. SMITH DE OCORRÊNCIA
DO SEMIÁRIDO NORDESTINO BRASILEIRO**

PATOS - PB

2010

ANTONIO MARCOS CÉSAR DE ALMEIDA

**AVALIAÇÃO ANATÔMICA, FÍSICO-QUÍMICA E ENERGÉTICA
DA MADEIRA DAS ESPÉCIES *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke
E *Amburana cearensis* (Allemão) A. C. SMITH DE OCORRÊNCIA
DO SEMIÁRIDO NORDESTINO BRASILEIRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Centro de Saúde e Tecnologia Rural da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

Área de concentração: Ecologia e manejo dos recursos naturais.

Orientadora: Professora Dr^a. Elisabeth de Oliveira.

PATOS - PB

2010



A447a Almeida, Antonio Marcos César de.

Avaliação anatômica, físico-química e energética da madeira das espécies *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke e *Amburana cearensis* (Allemão) A. C. Smith de ocorrência no Semiárido Nordestino Brasileiro. / Antonio Marcos César de Almeida. - Patos - PB: [s.n], 2010.

42 f.

Orientadora: Professora Dr^a. Elisabeth de Olivera.

Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Saúde e Tecnologia Rural; Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais - PPGCF.

1. Produção de carvão. 2. Setor florestal - carvão. 3. Madeira – avaliação energética. 4. Recursos naturais - carvão. 5. Jurema Branca. 6. Cumarú. 7. Caatinga – recursos florestais. 8. Dendrologia. 9. Classificação da madeira. I. Oliveira, Elisabeth de. II Título.

CDU: 630*85(043.2)

Elaboração da Ficha Catalográfica:

Johnny Rodrigues Barbosa
Bibliotecário-Documentalista
CRB-15/626

ANTONIO MARCOS CÉSAR DE ALMEIDA

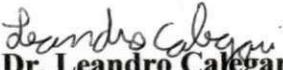
**AVALIAÇÃO ANATÔMICA, FÍSICO-QUÍMICA E ENERGÉTICA DA
MADEIRA DAS ESPÉCIES *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke E
Amburana cearensis (Allemao) A. C. Smith DE OCORRÊNCIA NO
SEMIÁRIDO NORDESTINO BRASILEIRO**

Dissertação aprovada como parte das exigências para a obtenção do Título de MESTRE em
CIÊNCIAS FLORESTAIS – Área de concentração Ecologia, Manejo e Utilização dos
Recursos Florestais.

APROVADA em 23/07 2010


Prof. Dra. Elisabete de Oliveira
UFMG – Orientadora


Prof. Dr. Alexandre Santos Pimenta
UFRN – 1º Examinador


Prof. Dr. Leandro Calegari
UFMG – 2º Examinador

PATOS-PB-BRASIL
Julho-2010

A minha esposa, Rayane, e a minha filha
Sibele, por toda a atenção, paciência e afeto
que me dedicaram durante essa jornada.

BIOGRAFIA DO AUTOR

ANTONIO MARCOS CÉSAR DE ALMEIDA, filho de João Dantas de Almeida (*in memoriam*) e Maria Dione César de Almeida, nasceu na cidade de Arapiraca, Estado de Alagoas, aos 25 de setembro de 1976.

Ingressou na Universidade Federal da Paraíba (UFPB) em 1996, que, posteriormente, desmembrou-se, dando origem à Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Graduiu-se Engenheiro Florestal em 2004, no Campus de Patos.

Iniciou a pós-graduação em março de 2008, na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), no Centro de Saúde e Tecnologia Rural da Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal, sendo ingressado no Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Campus - Patos-PB, na área de Ecologia, Manejo e Utilização dos Recursos Florestais, concluindo em julho de 2010.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre me guiar por bons caminhos.

À Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Centro de Saúde e Tecnologia Rural (CSTR) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, pela oportunidade da realização do curso.

À CAPES pela bolsa de Iniciação Científica e pelo financiamento do projeto, e à Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal/CSTR, pelo oferecimento das condições para execução da pesquisa.

À professora Dr^a Elisabeth de Oliveira, por toda atenção, carinho e dedicação concedida na orientação da dissertação.

Aos Professores Dr. Juarez Benigno Paes e Dr^a. Joedla Rodrigues de Lima, pela colaboração e disponibilidade aos alunos mestrados, quando à frente da coordenação do Programa de Mestrado.

A todos os amigos, colegas e professores que, de alguma forma, contribuíram para a realização do curso, em especial, à professora Dr^a Ivonete Alves Bakke, por tamanha dedicação e carinho concedidos a minha turma de Ciências Florestais, ao Professor MSc Carlos Roberto de Lima e ao colega Pedro Nicó de M. Neto, pelo companheirismo durante a realização dos trabalhos.

A minha família, em especial, aos meus pais, João Dantas de Almeida (*in memoriam*) e Maria Dione César de Almeida, por todo carinho e formação que me proporcionaram.

A minha esposa, Rayane Mamede Macaúbas, pelo seu apoio e dedicação, e a minha filha, Sibele M. M. C. de Almeida, por todo afeto concedido.

E a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização do curso.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1-Jurema-branca (<i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Ducke)	17
FIGURA 2-Cumaru (<i>Amburana cearensis</i> (Allemao) A. C. Smith)	17
FIGURA 3-Procedimento de corte da madeira para retirada dos discos pequenos e grandes	23
FIGURA 4-Discos subdivididos em quatro partes em forma de cunha, passando pela medula A) Cumaru (<i>Amburana cearensis</i>), B) Jurema-branca (<i>Piptadenia stipulacea</i>)	24
FIGURA 5-Moinho tipo Wiley	25
FIGURA 6-Aparelho de extração tipo Soxhlet utilizado para obtenção do teor de extrativos	25
FIGURA-7 Equipamento utilizado na realização da carbonização	27

LISTA DE TABELAS

TABELA 1-Valores médios das características dendrométricas dos 10 indivíduos das espécies <i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A. C. Smith e <i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Ducke	30
TABELA 2-Valores médios das dimensões de fibras das madeiras dos 10 indivíduos das espécies <i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A. C. Smith e <i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Ducke	31
TABELA 3-Valores médios das análises químicas e poder calorífico das madeiras dos 10 indivíduos das espécies <i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A. C. Smith e <i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Ducke	33
TABELA 4-Valores médios das análises do carvão dos 10 indivíduos das espécies <i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A. C. Smith e <i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Ducke	34

ALMEIDA, Antonio Marcos César de. **Avaliação anatômica, físico-química e energética da madeira das espécies *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke e *Amburana cearensis* (Allemão) A. C. Smith de ocorrência no semiárido nordestino brasileiro.** Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais. CSTR/UFCG, Patos-PB, 2010. 40 f.

RESUMO

A Caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro, que apresenta uma grande variedade de espécies da fauna e da flora, sendo uma boa parte destas endêmicas. Ao longo dos anos a supressão da caatinga por ação antrópica vem reduzindo bastante esse bioma. Este fato se dá, principalmente, pelo uso do potencial energético de suas espécies vegetais sem a devida preocupação com a sustentabilidade do mesmo. Um melhor conhecimento do potencial energético das espécies vegetais da caatinga possibilita um manejo mais adequado. O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial energético, as características anatômicas e químicas da madeira das espécies *Amburana cearensis* (Allemão) A. C. Smith e *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke. A *Amburana cearensis* exibiu valores médios para comprimentos de fibras, largura de fibras e de diâmetro do lúmen de fibra significativamente superiores em relação à espécie *Piptadenia stipulacea*, e valores equivalentes de espessura de fibra, com teores médios de cinzas da madeira e extrativos totais significativamente superiores. Médias significativamente superiores a 1% de probabilidade de teor de lignina e de teor de holocelulose foram encontradas para a espécie *Piptadenia stipulacea*. O rendimento gravimétrico foi semelhante para ambas as espécies, enquanto o rendimento em líquido condensado foi significativamente superior para a *Amburana cearensis*. Em relação à qualidade do carvão, foram observados maiores valores de poder calorífico superior e carbono fixo para a *Piptadenia stipulacea*, enquanto a *Amburana cearensis* exibiu maiores teores de materiais voláteis e de cinzas.

Palavras-chave: Cumaru. Jurema Branca. Qualidade do carvão.

ALMEIDA, Antonio Marcos César de. **Evaluation anatomical, physicochemical and energy of the wood species *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke and *Amburana cearensis* (Allemao) A. C. Smith de occurrence in the northeastern (brazilian) semiarid.** Master Dissertation in Forest Science. CSTR/UFCG, Patos-PB, 2010. 40 f.

ABSTRACT

The 'Caatinga' is an exclusively Brazilian biome, which has a large variety of fauna and flora species, and a good part of these endemic. Over the years the abolition of the 'caatinga' by human action has reduced this biome, it is believed that currently there is less than half of the original vegetation. This actually happens, mainly by the use of the energy potential of their species without proper concern about the sustainability of the biome. A better knowledge of the energy potential of plant species from the 'caatinga' enables a more appropriate management, reducing negative impacts in areas properly explored. The aim of this study was to evaluate the potential energy, chemical and anatomical characteristics of wood species *Amburana cearensis* (Allemao) A. C. Smith and *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke, so that these have been known and therefore better used. The *Amburana cearensis* exhibited average values for fiber length, fiber width and lumen diameter of the fiber significantly higher than the species *Piptadenia stipulacea* and equivalent amounts of thickness of fiber, with average levels of wood ash and extractives significantly higher. Averages, significantly higher than 1% probability of lignin content and holocellulose content were observed for the specie *Piptadenia stipulacea*. The gravimetric yield was similar for both species, while the yield of condensed liquid was significantly higher for *Amburana cearensis*. In relation to coal quality, higher values were observed for gross calorific value and fixed carbon for *Piptadenia stipulacea* while *Amburana cearensis* exhibited higher levels of volatiles and ash.

Keywords: Cumaru. Jurema Branca. Coal quality.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 O setor florestal e a produção de carvão	14
2.2 A região semiárida	15
2.3 Espécies estudadas	17
2.4 Estrutura da madeira	18
2.5 Densidade da madeira	19
2.6 Carbonização da madeira	20
3 METODOLOGIA	22
3.1 Localização e caracterização da área de coleta da madeira	22
3.2 Data e local de coleta das espécies	22
3.3 Espécies selecionadas	22
3.4 Amostragem das madeiras das espécies selecionadas	23
3.5 Análises da madeira	24
3.5.1 Densidade básica	24
3.5.2 Análise química	24
3.5.2.1 Extrativos totais	25
3.5.2.2 Teor de Lignina	26
3.5.2.3 Teor de cinzas	26
3.5.3 Poder calorífico	26
3.5.4 Análise anatômica	26
3.5.4.1 Preparo das amostras para estudos anatômicos	26
3.5.4.2 Determinações das dimensões das fibras	26
3.6 Carbonização em escala de laboratório	27
3.6.1 Rendimento gravimétrico	28
3.6.2 Análise do carvão	28
3.6.2.1 Análise química imediata	28
3.6.2.2 Densidade	28
3.6.2.3 Poder calorífico superior	28
3.6.3 Rendimento em produto condensado	29
3.7 Delineamento experimental	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
5 CONCLUSÕES	36
REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

Desde seus primórdios, a humanidade vem provocando modificações no meio natural em que vive. Pode-se dizer que, há mais de 100 mil anos, época em que o homem conseguiu dominar o fogo, as atividades por ele desenvolvidas vêm transformando o meio ambiente.

Com o transcorrer do tempo, o homem aprendeu a manipular, de forma mais eficaz, o fogo e, em seguida, a conhecer, desenvolver e dominar outras formas de energia. Com isso, a humanidade passou a manipular, cada vez mais rápido, os recursos naturais, a fim de atender às suas necessidades de consumo e desenvolvimento.

Atualmente, a sociedade mundial encontra-se interligada política, econômica e culturalmente. Informações, pessoas e mercadorias percorrem o globo numa velocidade nunca antes presenciada. Este fato é consequência do alto grau de desenvolvimento tecnológico atingido pela humanidade. Essa dependência tecnológica adquirida requer cada vez mais o uso de energia, tanto nas transformações da matéria-prima, quanto no uso dos produtos desenvolvidos.

Nações do mundo inteiro buscam por novas reservas e/ou pelo desenvolvimento de outras formas de energia, pois as maiores fontes energéticas mundiais são não-renováveis e causam grande poluição ambiental. A energia é um fator primordial para a sustentação e crescimento de qualquer nação.

É uma tendência universal a busca por energias renováveis, que possibilitem um desenvolvimento mais sustentável. A madeira é uma das alternativas para tal desenvolvimento, só que, em nível mundial, ela não é capaz de suprir as necessidades atuais. O volume de consumo energético mundial é muito além do que a madeira possa vir fornecer. O uso da lenha é pensado mais como uma fonte renovável a ser somada a tantas outras. Dessa maneira, ela apresenta um papel importante na preservação ambiental, ajudando a reduzir os níveis de poluição atuais.

Ao longo da história, a madeira apresentou relevante contribuição no desenvolvimento da humanidade, sendo a primeira fonte energética utilizada pelo homem, inicialmente empregada para o aquecimento e cocção de alimentos e, posteriormente, na geração de outras formas de energia.

A madeira, na sua forma direta como lenha ou do seu derivado, o carvão vegetal, é combustível vital para o preparo de alimento para um enorme número de famílias e comunidades em diversas regiões do planeta (FAO, 2003).

Para utilização racional dos recursos florestais, é necessário conhecer como as características químicas e anatômicas das espécies utilizadas podem influenciar as suas características energéticas. A qualidade do carvão vegetal depende de algumas propriedades da madeira e de alguns parâmetros de carbonização.

A caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro, que apresenta uma grande variedade de espécies da fauna e da flora, sendo uma boa parte destas endêmicas.

Ao longo dos anos, a supressão da caatinga por ação antrópica vem reduzindo bastante esse bioma. Assim, acredita-se que, atualmente, exista menos da metade da cobertura vegetal original. Este fato se dá, principalmente, pelo uso do potencial energético de suas espécies vegetais sem a devida preocupação com a sustentabilidade do bioma.

A análise de dados de satélite mostrou que, entre os anos de 2002 e 2008, a área antropizada no Nordeste passou de 43,38% para 45,39%, ao passo que a cobertura vegetal nativa remanescente foi reduzida de 55,67% para 53,62% (MMA, 2009). O estado da Paraíba teve sua cobertura vegetal reduzida de 52,1%, em 1973, para 37,9%, em 2001 (SUDEMA, 2004).

O uso da lenha e do carvão na matriz energética, na região da caatinga, é bastante representativo. É sabido que muitas das espécies vegetais deste bioma apresentam grande potencial energético, por exemplo, jurema-preta, pereiro, marmeleiro (OLIVEIRA 2003), catingueira (MIRANDA, 1989). Contudo, uma grande parte dessas espécies ainda não foi devidamente estudada quanto às características de suas madeiras para tal finalidade.

Um melhor conhecimento do potencial energético das espécies vegetais da caatinga possibilita um manejo mais adequado, mitigando os impactos nas áreas devidamente exploradas.

Este trabalho tem como objetivo avaliar o potencial energético, às características anatômicas e químicas da madeira das espécies *Piptadenia stipulacea* e *Amburana cearensis*, para que estas sejam conhecidas e, conseqüentemente, melhor utilizadas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 O setor florestal e a produção de carvão

Um dos maiores produtores e principal consumidor, em nível mundial, de produtos de origem florestal é o Brasil (MMA, 2009). A energia obtida da biomassa florestal ainda é muito importante para o nosso país, conforme dados do Balanço Energético Nacional - BEN (MME, 2010), que exhibe uma produção de 9,43 milhões de toneladas de lenha e 9,89 milhões de toneladas de carvão vegetal no ano de 2008.

O setor florestal, no Brasil, tem suma importância, devido à sua participação com 4 a 6% do produto interno bruto (PIB), gerando exportações à base de 3,4 bilhões de dólares e 1,1 bilhões de dólares em impostos gerados (ABRAF, 2005). No entanto, a participação do Brasil ainda é considerada modesta, haja vista haver um grande potencial para o crescimento do setor, sendo que esse se caracteriza como grande setor gerador de divisas, empregos diretos e indiretos nos vários níveis industriais.

O produto interno bruto Florestal corresponde a 4 % do PIB nacional, perfazendo um total de 21 bilhões de dólares, havendo destaque para três setores: madeira e móveis (US\$ 9,3 bilhões), siderurgia a carvão vegetal (US\$ 4,2 bilhões) e celulose e papel (US\$ 7 bilhões) (LADEIRA, 2002).

Segundo ABRAF (2005), dos 8,5 milhões de quilômetros quadrados do território brasileiro, cerca de 63,7% estão cobertos por florestas nativas; 23,2% são ocupadas por pastagens; 6,8%, pela agricultura; 4,8%, por redes de infraestrutura e áreas urbanizadas; 0,9%, por culturas permanentes e, somente em 0,6%, existem florestas plantadas.

De acordo com Campello et al. (2000), aproximadamente 170 mil empregos diretos e 500 mil indiretos são gerados pelo setor florestal, isso na região Nordeste, contribuindo, ainda, com 15% da renda global dos produtores. No mais, destacou-se que a produção de lenha corresponde a 70% da demanda energética das residências da região, bem como que 35% do parque industrial tem sua fonte de energia primária extraída da lenha.

O Nordeste produziu, em 2007, 968.424 toneladas de carvão vegetal e, no mesmo ano, a Microrregião de Patos produziu 193 toneladas de carvão, o que corresponde a 12,1% de toda a produção do Estado, no mesmo período (IBGE, 2009).

2.2 A região semiárida

Melo (1998) e MMA (2009) estimam que 43% da superfície da Terra seja formada por regiões áridas e semiáridas, estando grande parte localizadas em países em desenvolvimento da Ásia, América Latina e África, sendo que, no Brasil, o Nordeste conta com 80% de sua superfície sob domínio do semiárido, onde vivem mais de 27 milhões de pessoas que usufruem dos recursos renováveis e não-renováveis, no entanto, sem utilização de uma política de exploração racional.

Exclusivamente brasileiro e principal bioma da região Nordeste, a Caatinga ocupa mais de 10% do território nacional (844.453 km²), sendo considerado o bioma semiárido mais rico do mundo em biodiversidade (MMA, 2009).

As plantas, na Caatinga, não têm características uniformes, pois cada uma das suas características e as dos fatores ambientais que as afetam estão distribuídas de modo que suas áreas de ocorrência mostram um grau de sobreposição razoável, sendo possível identificar áreas com aspectos fitossociológicos semelhantes, quando um maior número das características consideradas básicas se sobrepõem, bem como áreas de transição, quando este número diminui até se chegar aos limites com áreas onde as características das plantas e do meio definem um outro tipo de vegetação (SAMPAIO e RODAL, 2002).

Na Paraíba, o principal bioma é a Caatinga, recobrando aproximadamente 80% de todo seu território e caracterizando-se pelo clima quente e seco, semiárido, de característica xerofítica, sendo representado por espécies caducifólias, espinhosas, algumas vezes, áfilas, variando desde plantas arbóreas a herbáceas (OLIVEIRA, 2003).

As Caatingas ocorrem, com frequência, nas regiões com climas tropicais, de limitadas precipitações, com variação de 500 a 1000 mm anuais, e concentradas em um curto período de 2 a 4 meses, com um longo período de estiagem, cerca de 8 a 12 meses seguidos, com um déficit hídrico anual variando entre 500 e 1000 mm (GOLFARI e CASER, 1977).

Dos biomas brasileiros, a Caatinga é provavelmente o mais desvalorizado e mal conhecido botanicamente. Esta situação é decorrente de uma propaganda injustificada, e que não deve ser mais aceita, de que a caatinga é o resultado da modificação de outra formação vegetal, associada a uma diversidade muito baixa de plantas, sem espécies endêmicas e altamente antropizada, apesar da última consideração ser real, especialmente nas terras mais baixas. Há, no entanto, uma grande variedade de tipos vegetacionais na caatinga, um grande

número de espécies e remanescentes ainda bem preservados, que, certamente, incluem um número expressivo de táxons raros e/ou endêmicos (GIULIETTI et al., 2002).

A estabilidade biológica da caatinga é assegurada pela conservação da mesma, com suas espécies faunísticas e florísticas, reduzindo, conseqüentemente, os problemas fito e zoonosológicos (BRAID, 1993).

A cobertura vegetal de caatinga de alguns Estados vem sofrendo com o desmatamento, como é o caso da Bahia, com quase 150 mil km² desmatados entre os anos de 2002 e 2008, e o do Ceará, com uma área próxima aos 55 mil km² no mesmo período (MMA, 2009). Na Paraíba, a cobertura vegetal de caatinga foi reduzida para 37,9% em 2001 (SUDEMA, 2004).

De acordo com Oliveira et al. (2006), a utilização da vegetação da caatinga na indústria é muito limitada, devido ao seu porte arbóreo-arbustivo, com muitas ramificações e fustes retorcidos e tortuosos, restringindo sua utilização para lenha, estacas e carvão.

A finalidade básica da exploração da caatinga é a produção de energia, utilizando-se da lenha e do carvão, além do fato que diversas outras espécies são utilizadas como forragem (ARAÚJO et al., 2004). Da caatinga, as espécies mais usadas são a jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*), o juazeiro (*Ziziphus joazeiro*), a oiticica (*Licania rígida*), a catingueira (*Caesalpinia pyramidalis*), o pereiro (*Aspidosperma pyriforme*), o marmeleiro (*Croton sonderianus*), a aroeira (*Myracrodruon urundeuva*), o angico (*Anadenanthera colubrina* var. *cebil*), dentre outras (RIZZINI, 1997).

A utilização de jurema-preta para lenha foi citada por Silva (1988), tendo em vista que a espécie produz um carvão com alto poder calorífico, sendo utilizado em forjas e fundições.

Miranda (1989) citou o pereiro e a catingueira como produtores de carvão de boas características químicas e físicas, aparentando possuir grande potencial de utilização para fins energéticos.

Na caatinga, segundo Melo (1998), os recursos florestais correspondem a uma fonte de energia industrial tradicional, bem como artesanal, de grande utilização das olarias às caieiras, das indústrias de torrefação de café ao consumo doméstico (urbano e rural), das padarias às fábricas de doces.

2.3 Espécies estudadas

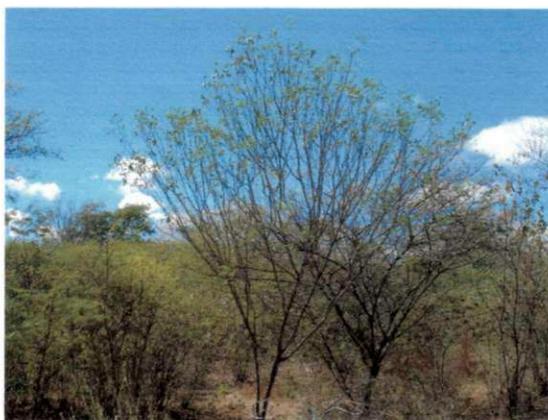


Figura 1 – Jurema-branca (*Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke)

Piptadenia stipulacea (Benth.) Ducke (Figura 1), conhecida por jurema-branca, é uma leguminosa pertencente à família Mimosoidae, de altura de 3 a 6 m. É uma espécie endêmica da caatinga, ocorrendo do Ceará à Bahia, em diferentes tipos de solo, em altitudes de 200 a 700 m (QUEIROZ, 2009).



Figura 2 – Cumaru (*Amburana cearensis* (Allemao) A. C. Smith)

Amburana cearensis (Allemao) A. C. Smith (Figura 2), vulgarmente conhecido como cumaru, é uma espécie leguminosa da família Fabaceae, podendo atingir altura entre 4 e 10 m em área de caatinga e até 20 m em mata pluvial e caducifólia. Apresenta folhas compostas com comprimento variando entre 10 a 15 cm e folíolos em número de 11 a 15, com 1-2 cm de comprimento (LORENZI, 2002).

O cumaru ocorre na Caatinga Nordestina, nos Estados do Espírito Santo, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Tocantins e São Paulo. Sua madeira é moderadamente pesada, com densidade básica de $0,60 \text{ g/cm}^3$, macia, grã direita a irregular, com cheiro de cumarina, moderadamente durável quando exposta às intempéries, sendo utilizada na produção de móveis finos (LORENZI, 2002).

2.4 Estrutura da madeira

De acordo com Morais et al. (2005), fundamentalmente, a madeira é composta pelos componentes macromoleculares celulose, lignina e hemicelulose, que estão presentes em percentuais variáveis. Uma simplificação importa que a celulose é um esqueleto repleto de compostos de polioses ou hemiceluloses, sendo que ambas estão envolvidas por lignina, esta atuando como cimento, no intuito de dar rigidez ao conjunto.

A celulose é o principal constituinte da madeira, representando de 40 a 45% de sua composição. É formada por um homopolissacarídeo composto por moléculas de β -D-anidroglicopiranosose, unidas por ligações glicosídicas $\beta 1 \rightarrow 4$. Estruturas lineares desses homopolissacarídeos dispostas linearmente se unem por interações do tipo pontes de hidrogênio intra e intermoleculares, tornando a celulose insolúvel em água. Feixes de moléculas de celulose são, portanto, agregadas sob forma de microfibrilas, em que regiões altamente ordenadas, chamadas de cristalino, alternam com regiões menos ordenadas, amorfas (SJÖSTRÖM, 1993).

As hemiceluloses, que correspondem a 15-35% em massa nas folhosas (LEWIN e GOLDSTEIN, 1991), constituem uma mistura de polímeros polissacarídeos de baixo peso molecular, os quais se encontram associados à celulose nos tecidos vegetais. São constituídas por diferentes unidades de açúcares como pentoses (xilose e arabinose) e/ou hexoses (glucose, manose e galactose), ácidos urônicos e grupos acetila (FENGEL e WEGENER, 1989).

As ligninas, quando comparadas às celulosas e hemicelulosas, representam estruturas bem mais complexas. São biopolímeros de estereoquímica complicada e variável que depende da espécie, localização, idade da planta, estação do ano, etc. Suas estruturas ainda não são bem determinadas, mas sabe-se que são constituídas por duas unidades básicas: guaiacil e sinapil (ADLER, 1977; GLASER, 1981; SARKANEN e LUDWING, 1971).

Segundo Browning (1963), dentro de uma mesma espécie, existem variações significativas, em razão da idade e de fatores genéticos e ambientais, existindo grandes

variações na composição química da madeira, o que pode ser atribuído às diferenças existentes entre as espécies. Em uma mesma espécie, a composição varia com a altura do tronco e com a distância a partir da medula, indo em direção à casca. Além disso, existem grandes diferenças entre cerne e alborno, madeira de início e fim de estação de crescimento. Ainda, em uma observação microscópica, podem ser observadas diferenças até mesmo entre células individuais. Sendo assim, essas observações atestam a necessidade de ser feita análise cuidadosa em relação aos dados referentes à composição química de uma madeira, qualquer que seja a espécie.

A madeira tem constituição heterogênea, e a variação estrutural e química é refletida em uma larga gama de propriedades físicas, dentre elas, podendo ser citadas a densidade e permeabilidade; comportamento em relação à capilaridade; a condutividade térmica; a difusão de água de impregnação, dentre outras (KLOCK et al., 2005).

Oliveira et al. (2006) relatam que, entre outros, o conhecimento da estrutura e organização da composição celular gera uma utilização mais racional dos recursos florestais, pois esse conhecimento determinará a sua aptidão para uso comercial, sendo que o conhecimento da anatomia das madeiras, com sua descrição, é de fundamental importância para a determinação de um aproveitamento tecnológico. A referida autora baseou-se no fato de que as frequências, as dimensões e os arranjos dos elementos anatômicos exercem muita influência sobre as propriedades mecânicas e físicas da madeira.

De acordo com Brito e Barrichelo (1983), o procedimento preparativo e a precisão dos resultados estão intimamente ligados à amostragem do material a ser analisado. Quando se trata de madeira, em virtude da desuniformidade e heterogeneidade da mesma, a questão da amostragem torna-se mais séria e de difícil solução. Afirmam que, para uma amostragem representativa, devem ser selecionadas entre 5 e 10 árvores por espécie, espaçamento, fertilização etc.

2.5 Densidade da madeira

Um dos mais importantes fatores que deve ser levado em consideração, dentre as propriedades físicas da madeira, é a densidade, isso porque esta afeta as demais propriedades e interfere consideravelmente na qualidade de seus derivados. No entanto, a densidade não deve ser utilizada como índice isolado da qualidade da madeira. Além da densidade, deve ser

levada em consideração a composição química, bem como as características anatômicas (WENZL, 1970; BRASIL et al., 1977).

De acordo com Shimoyama (1990), tendo sido citado por Garcia (1995), a densidade básica é uma quantificação direta do material lenhoso, por unidade de volume, que está relacionada com várias propriedades e características tecnológicas de grande importância para a produção e utilização dos produtos vegetais. A madeira com baixa densidade, de acordo com Paula et al. (2000), é rica em parênquima radial ou axial, ou em ambas ou, ainda, em fibras de paredes finas. Geralmente, as células parenquimatosas possuem parede fina e, dessa forma, um baixo teor de lignina.

Segundo Panshin e De Zeeuw (1980), de uma espécie para outra existe uma variação de densidade, bem como das demais propriedades da madeira, assim como há variação dentro de uma mesma espécie e na direção radial e axial de uma mesma árvore. Essas variações de densidade resultam das diferenças entre as espessuras da parede celular, das dimensões das células, das inter-relações entre esses dois fatores, bem como da quantidade dos componentes extraíveis presentes por unidade de volume.

De acordo com Brito e Barrichelo (1980), a escolha de espécies destinadas à produção de carvão pode ser norteada pela existência de correlação entre densidade da madeira e densidade do carvão, ajudada, também, pelas pesquisas sobre melhoramento das características do carvão, fundamentando-se, principalmente, pela densidade básica da madeira.

2.6 Carbonização da madeira

As condições em que a degradação térmica ocorre influenciam na variação das proporções de partes líquidas, sólidas e gasosas do produto da pirólise. Os rendimentos em líquido e gás aumentam, já o rendimento em carvão reduz (CETEC, 1982).

Segundo Bastos (1988), a carbonização da madeira pode ser dividida em quatro etapas:

- I. Abaixo de 200 °C – Secagem da madeira;
- II. De 200 a 280 °C – Fase predominantemente endotérmica, com liberação de ácido acético, metanol, água, CO₂, etc;
- III. De 280 a 380 °C – Início da fase dos hidrocarbonetos, emissão do primeiro grupo de substâncias voláteis;

IV. De 380 a 500 °C – Fase dos hidrocarbonetos, fase predominantemente exotérmica, em que é formada a maior parte dos alcatrões e gases combustíveis (CO, CH₄, etc.).

Acima de 500 °C, o carvão já é bem estável e apenas uma pequena quantidade de voláteis, principalmente o H₂, é liberada.

A madeira, em termos de elementos químicos, é composta, basicamente, por 50% de carbono, 44% de oxigênio e 6% de hidrogênio, e considerando que os seus principais componentes moleculares também são constituídos por esses elementos, a carbonização torna-se mais compreensível quando se conhece o comportamento da celulose, hemiceluloses e ligninas diante deste fenômeno (OLIVEIRA, 2003).

A celulose se faz presente em um percentual considerável no carvão até 300 °C, com uma contribuição em torno de 34,2%. Acima de tal temperatura, sua decomposição é mais acelerada, a ponto de exibir uma discreta participação no carvão ao final da carbonização e uma expressiva produção de gases. A maior parte do líquido pirolenhoso produzido na carbonização advém da decomposição das hemiceluloses a temperaturas superiores a 300 °C, e, ao final do processo, a participação destas na constituição do carvão é por volta dos 10%. Já a lignina é o componente mais expressivo no carvão, com presença em torno de 55% na faixa de temperatura entre 450 e 550° C (OLIVEIRA et al., 1982 a).

3 METODOLOGIA

3.1 Localização e caracterização da área de coleta da madeira

A microrregião de Patos está situada na porção central do Estado da Paraíba, na Mesorregião do Sertão Paraibano, sendo composta pelos municípios de Areia de Baraúna, Cacimba de Areia, Mãe D'Água, Passagem, Patos, Quixaba, Santa Terezinha, São José de Espinharas e São José do Bonfim, apresentando uma área de 2.483,98 km², correspondendo a 4,4% da extensão territorial da Paraíba (56.439,84 km²) e conta com uma população de 123.168 habitantes, representando 3,4% da população paraibana (3.641.395 habitantes) (IBGE, 2007).

O Município de Patos apresenta 512,79 km² de extensão, equivalente a 20,6% da área da sua microrregião e uma população de 97.276 habitantes, 79% população da Microrregião de Patos (IBGE, 2007).

A região em estudo apresenta clima caracterizado por distribuição irregular de chuvas, com médias anuais de precipitação variando entre 500 e 800 mm/ano e longo período de estiagem. Essas características são decorrentes da presença dos relevos que a isolam dos ventos úmidos do Nordeste e da circulação atmosférica que age sobre a região (SUDENE/EMBRAPA, 1972).

3.2 Data e local de coleta das espécies

A madeira foi coletada em março de 2009, no sítio São Bento (06°56'01"S; 37°25'40"W a 250 m de altitude), localizado no Município de Patos-PB, a, aproximadamente, 18 km da cidade.

3.3 Espécies selecionadas

Foram selecionadas as espécies Jurema-branca (*Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke) e Cumaru (*Amburana cearensis* (Allemão) A. C. Smith). A escolha das espécies faz parte de um trabalho mais amplo que objetiva obter um maior conhecimento da flora de nossa região. Estudos semelhantes com outras espécies da região estão previstos para serem realizados no

3 METODOLOGIA

3.1 Localização e caracterização da área de coleta da madeira

A microrregião de Patos está situada na porção central do Estado da Paraíba, na Mesorregião do Sertão Paraibano, sendo composta pelos municípios de Areia de Baraúna, Cacimba de Areia, Mãe D'Água, Passagem, Patos, Quixaba, Santa Terezinha, São José de Espinharas e São José do Bonfim, apresentando uma área de 2.483,98 km², correspondendo a 4,4% da extensão territorial da Paraíba (56.439,84 km²) e conta com uma população de 123.168 habitantes, representando 3,4% da população paraibana (3.641.395 habitantes) (IBGE, 2007).

O Município de Patos apresenta 512,79 km² de extensão, equivalente a 20,6% da área da sua microrregião e uma população de 97.276 habitantes, 79% população da Microrregião de Patos (IBGE, 2007).

A região em estudo apresenta clima caracterizado por distribuição irregular de chuvas, com médias anuais de precipitação variando entre 500 e 800 mm/ano e longo período de estiagem. Essas características são decorrentes da presença dos relevos que a isolam dos ventos úmidos do Nordeste e da circulação atmosférica que age sobre a região (SUDENE/EMBRAPA, 1972).

3.2 Data e local de coleta das espécies

A madeira foi coletada em março de 2009, no sítio São Bento (06°56'01"S; 37°25'40"W a 250 m de altitude), localizado no Município de Patos-PB, a, aproximadamente, 18 km da cidade.

3.3 Espécies selecionadas

Foram selecionadas as espécies Jurema-branca (*Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke) e Cumaru (*Amburana cearensis* (Allemão) A. C. Smith). A escolha das espécies faz parte de um trabalho mais amplo que objetiva obter um maior conhecimento da flora de nossa região. Estudos semelhantes com outras espécies da região estão previstos para serem realizados no

Laboratório de Energia do Setor de Tecnologia de Produtos Florestais (STPF) da Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal da UFCG, Campus de Patos.

3.4 Amostragem das madeiras das espécies selecionadas

Para este estudo, foram selecionadas 5 árvores de cada espécie, que apresentaram boa fitossanidade, de onde foram retirados discos pequenos (5 cm de espessura) a 0 (base), 25, 50, 75 e 100% da altura comercial do tronco (até 5 cm de diâmetro) e discos grandes (15 cm espessura), antes e após cada disco pequeno (Figura 3).

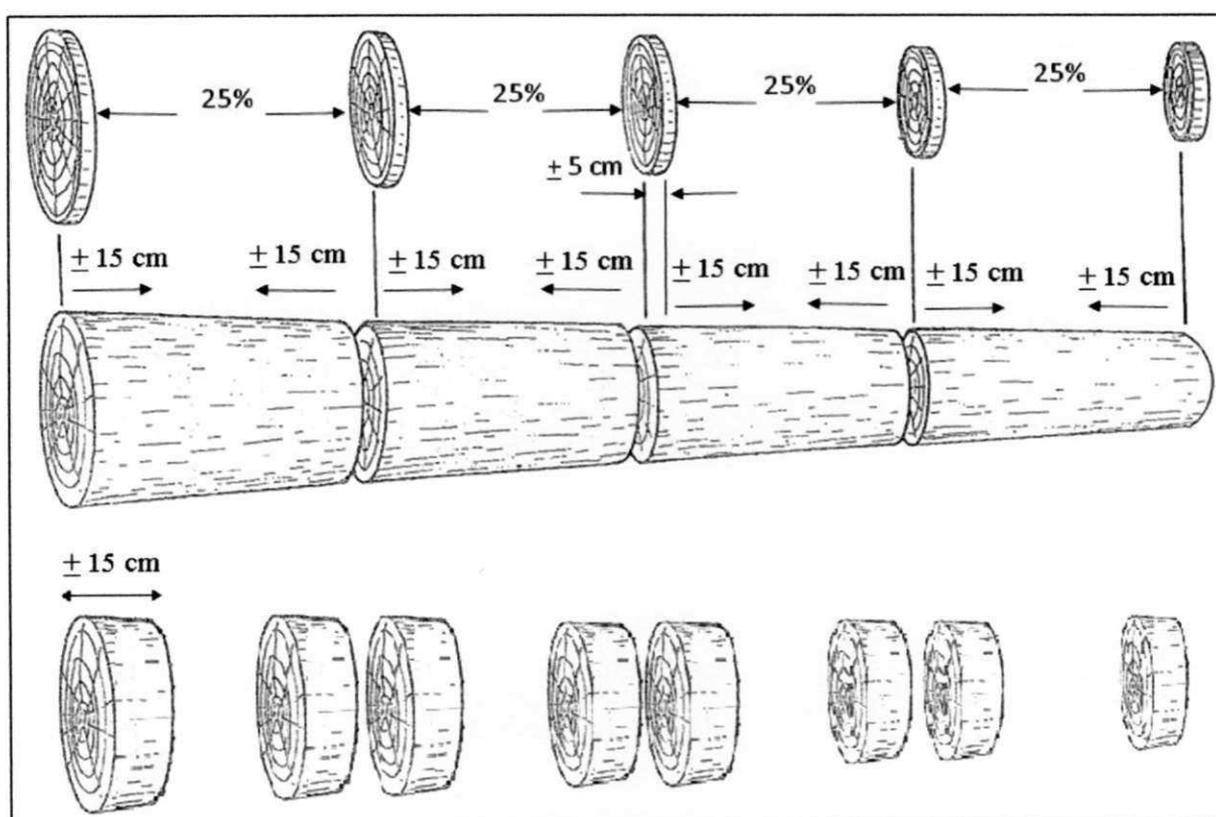


Figura 3 – Procedimento de corte da madeira para retirada dos discos pequenos e grandes

Essas amostras foram devidamente identificadas e transportadas para o Laboratório de Energia do Setor de Tecnologia de Produtos Florestais (STPF) da Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Campina Grande, no campus de Patos-PB, onde foram realizados os estudos. Cada disco pequeno foi subdividido em quatro partes, em forma de cunha, passando pela medula (Figura 4).

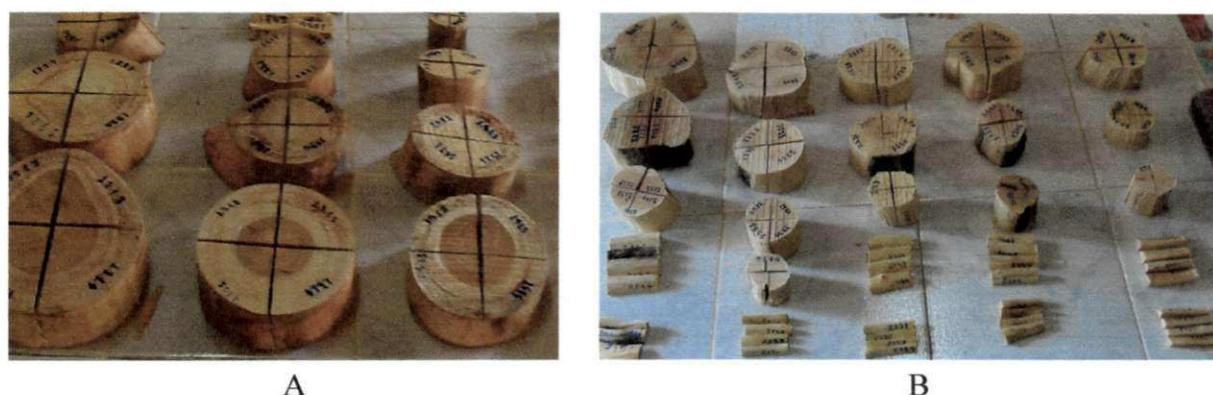


Figura 4 – Discos subdivididos em quatro partes em forma de cunha, passando pela medula A) cumaru (*Amburana cearensis*), B) Jurema-branca (*Piptadenia stipulacea*)

A primeira e a terceira parte foram utilizadas para a determinação da densidade básica e o restante reservado para estudos posteriores.

3.5 Análises da madeira

3.5.1 Densidade básica

A densidade básica foi determinada de acordo com o método de imersão em água, descrito por Vital (1984).

3.5.2 Análise química

Após a secagem ao ar, as amostras destinadas às análises químicas foram transformadas em serragem em moinho tipo Wiley (Figura 5), conforme a norma TAPPI T 257 om-92 (1992). As análises foram efetuadas na fração de serragem, classificadas em peneiras de 40/60 mesh (ASTM) e condicionadas a uma umidade relativa de $65 \pm 2\%$ e temperatura de $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Em seguida, elas foram armazenadas em frascos de vidro. A determinação do teor absolutamente seco foi realizada de acordo com a norma TAPPI 264 om-88 (1992).



Figura 5 – Moinho tipo Wiley

A análise química da madeira foi realizada em duplicata para cada árvore. Foram feitas determinações quantitativas de extrativos totais, através de uma sequência de extração (álcool/tolueno, álcool e água quente) de lignina, de holocelulose (estimada por diferença) e teor de cinzas.

3.5.2.1 Extrativos totais

A solubilidade da madeira em álcool/tolueno, álcool e água quente foi efetuada segundo a norma TAPPI 264 om-88 (1992), em extratores tipo Soxhlet (Figura 6), com a substituição do benzeno por tolueno.

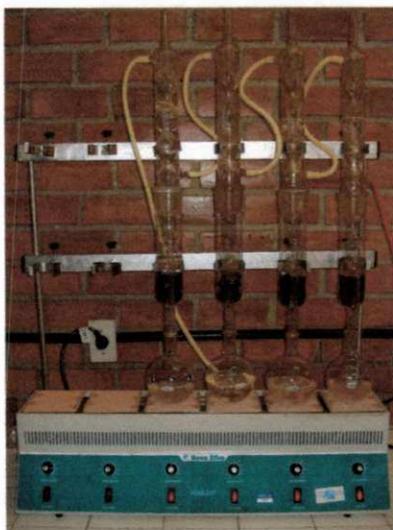


Figura 6 – Aparelho de extração tipo Soxhlet utilizado para obtenção do teor de extrativos

3.5.2.2 Teor de Lignina

O teor de lignina foi determinado pelo método Klason, modificado de acordo com o procedimento proposto por Gomide e Demuner (1986).

Do filtrado restante da análise da lignina Klason foi feita a leitura em espectrofotômetro, para determinação da lignina solúvel em ácido, conforme Goldschimid (1971).

O teor de lignina total é a soma da lignina residual mais a lignina solúvel em ácido.

3.5.2.3 Teor de cinzas

A determinação do teor de cinzas ou minerais da madeira foi efetuada segundo a Norma ABTCP M-11/77 (1974).

3.5.3 Poder calorífico

O poder calorífico superior foi determinado por meio de calorímetro adiabático de acordo com a Norma ABNT NBR 8633 (1983).

3.5.4 Análise anatômica

3.5.4.1 Preparo das amostras para estudos anatômicos

Para determinação das dimensões das fibras, foram confeccionados palitos do material restante dos discos de cada árvore e enviados ao Laboratório de Celulose e Papel da Universidade Federal de Viçosa/UFV, Viçosa – MG.

As amostras foram tratadas com solução macerante, de acordo com o método nítrico – acético 1:5 (RAMALHO, 1987), para individualização dos elementos anatômicos.

3.5.4.2 Determinações das dimensões das fibras

Do material macerado foram montadas lâminas e mensurados estes elementos. As medições das dimensões das fibras e dos elementos vasculares foram feitas em um

microscópio ótico acoplado a um projetor, que gera uma imagem que é capturada e analisada por um programa Pro-Imagem 3.2. Foram medidos o comprimento (objetiva 70X), a largura e o diâmetro de lúmen das fibras (objetiva 1000X), num total de 100 fibras por árvore. A espessura média das paredes das fibras foram obtidas como sendo a metade da diferença da largura da fibra.

3.6 Carbonização em escala de laboratório

Os discos grandes (15 cm de espessura) foram destinados à carbonização, sendo transformados em cavacos, manualmente, e secos ao ar livre. Posteriormente, homogeneizados por árvores e levados à estufa a 105 ± 3 °C, por 24 horas.

Foram realizadas carbonizações em escala de laboratório para avaliar a quantidade e qualidade do carvão vegetal produzido por espécie.

As carbonizações foram realizadas em um forno elétrico (mufla) (Figura 7), adaptado para essa operação, sendo que a elevação da temperatura foi programada com a seguinte marcha de aquecimento: 150 °C por 60 minutos, 200 °C por 60 minutos, 250 °C por 90 minutos, 350 °C por 90 minutos e temperatura final de 450 °C por 30 minutos.



Figura 7 – Equipamento utilizado na realização da carbonização

Foram carbonizados 280 g, aproximadamente, de cavacos em um tempo total de 5h30min, com duas repetições por amostra, perfazendo um total de 10 carbonizações por

espécie. Os vapores/gases foram conduzidos para um condensador tubular, com o recolhimento do líquido pirolenhoso em um kitassato e a liberação dos gases para a atmosfera.

3.6.1 Rendimento gravimétrico

Após as carbonizações, foram avaliados os rendimentos em carvão vegetal, líquido pirolenhoso condensado, alcatrão insolúvel na madeira e, por diferença, os gases não-condensáveis (avaliação quantitativa).

3.6.2 Análise do carvão

As análises do carvão foram realizadas em duplicatas, sendo feitas análises químicas imediatas, determinação do rendimento em carbono fixo, determinação da densidade verdadeira e densidade aparente.

3.6.2.1 Análise química imediata

A composição química imediata foi realizada de acordo com a Norma ABNT NBR 8112 (1983), com determinações de materiais voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo, em base seca. O rendimento em carbono fixo foi obtido pelo produto entre teor de carbono fixo e rendimento gravimétrico da carbonização.

3.6.2.2 Densidade

As densidades verdadeira e aparente do carvão foram calculadas de acordo com as ASTM-D-167-73, adaptadas por Oliveira et al. (1982b).

3.6.2.3 Poder calorífico superior

O poder calorífico superior foi determinado por meio de um calorímetro adiabático, conforme a Norma ABNT NBR 8633 (1983).

3.6.3 Rendimento em produto condensado

Foi determinado o rendimento em líquido pirolenhoso obtido em relação ao peso da madeira seca carbonizada.

3.7 Delineamento experimental

Na avaliação do experimento, utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, com dois tratamentos (espécies) e cinco repetições (árvores). Para comparação das médias, aplicou-se o teste F aos níveis de 1 e 5% de significância.

Para isso foi utilizado o programa STATSOFT, INC (Data analysis software system), STATISTICA for Windows version 5.5 (Computer program manual) Tulsa, OK. USA. 1999.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores médios das características dendrométricas: diâmetro à altura do peito (DAP), altura total, volume e densidade básica média (DBM) das espécies estudadas são descritos na Tabela 1. Os indivíduos da espécie *Amburana cearensis* apresentaram maiores valores de DAP, altura total e, conseqüentemente, maiores volumes.

Tabela 1 – Valores médios das características dendrométricas dos 10 indivíduos das espécies *Amburana cearensis* (Allemão) A. C. Smith e *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke

Espécie	Indivíduo	DAP (cm)	Altura Total (m)	Volume (m ³)	DBM (kg/m ³)
<i>Amburana cearensis</i>	1	14,01	11,00	0,05826	665,10
	2	15,29	8,00	0,05599	515,53
	3	13,69	8,00	0,03540	678,05
	4	11,15	7,00	0,02765	659,69
	5	13,06	7,00	0,03723	640,67
Médias		13,14	8,20	0,04291	631,81B
<i>Piptadenia stipulacea</i>	1	10,51	6,70	0,02120	988,94
	2	10,19	6,10	0,01350	1007,31
	3	7,96	5,65	0,01090	776,30
	4	9,55	6,40	0,00930	1035,08
	5	7,32	6,10	0,00720	1202,03
Médias		9,11	6,19	0,01242	1001,93A
QMRes		----	----	----	13734
CV(%)		----	----	----	14,35

DAP = diâmetro à altura do peito, DBM = densidade básica média, QMRes = quadrado médio do resíduo, CV = coeficiente de variação. Médias na coluna seguidas de letra minúscula ou maiúscula diferem estatisticamente ($p < 5$ e 1%, respectivamente, pelo teste F).

Os maiores valores de DBM foram para a espécie *Piptadenia stipulacea*. A média da DBM da *Piptadenia stipulacea* (1001,93 kg/m³) foi superior aos valores encontrados por Oliveira (2003) para as espécies *Mimosa tenuiflora* (929,47 kg/m³), *Aspidosperma pyrifolium* (813,22 kg/m³) e *Croton sonderianus* (683,81 kg/m³), que são espécies presentes na caatinga, e por Trugilho et al. (2001) para a espécie *Eucalytus grandis* (555,43 kg/m³). O valor da média encontrado para DBM da *Amburana cearensis* é aproximado ao valor de 0,60 g/cm³, relatado por Lorenzi (2002).

A Tabela 2 apresenta os valores médios encontrados para as dimensões de fibras das madeiras de *Amburana cearensis* (Allemão) A. C. Smith e *Piptadenia stipulacea* (Benth.)

Ducke. A espécie *Amburana cearensis* apresentou valores médios para comprimento de fibra, largura de fibra e de diâmetro do lúmen de fibra significativamente superiores em relação à espécie *Piptadenia stipulacea*, e valores equivalentes de espessura de fibra.

Tabela 2 – Valores médios das dimensões de fibras das madeiras dos 10 indivíduos das espécies *Amburana cearensis* (Allemao) A. C. Smith e *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke

Espécie	Indivíduo	*COMPF (mm)	*LARGF (μ m)	*DIALF (μ m)	*ESPF (μ m)
<i>Amburana cearensis</i>	1	1,037	20,186	11,631	4,278
	2	0,924	19,525	10,827	4,349
	3	0,934	17,441	8,551	4,445
	4	0,913	17,772	8,285	4,744
	5	1,047	19,079	9,537	4,771
Médias		0,971A	18,801A	9,766A	4,517a
<i>Piptadenia stipulacea</i>	1	0,790	16,392	7,287	4,553
	2	0,729	14,915	6,370	4,273
	3	0,780	15,828	6,778	4,525
	4	0,791	16,112	6,576	4,768
	5	0,814	15,840	6,663	4,589
Médias		0,781B	15,817B	6,375B	4,542a
QMRes		0,000578**	0,833	0,018126**	1,3303
CV(%)		6,07	5,27	5,25	4,50

* Valores médios de 30 medições. COMPF = comprimento de fibra, LARGF = largura de fibra, DIALF = diâmetro do lúmen da fibra, ESPF = espessura de fibra, QMRes = quadrado médio do resíduo, CV = coeficiente de variação. Médias na coluna seguidas de letra minúscula ou maiúscula diferem estatisticamente ($p < 5$ e 1%, respectivamente, pelo teste F). ** referente a ANOVA aplicada após transformação logarítmica.

Os valores médios determinados para comprimento de fibra estão inseridos na faixa estabelecida por Barrichelo e Brito (1976), que variam de 0,75 a 1,40 mm. A média de comprimento de fibra para a *Amburana cearensis* (0,971 mm) foi superior aos valores médios encontrados por Oliveira (2003) para as espécies *Croton sonderianus* (0,630 mm) e *Mimosa tenuiflora* (0,750 mm) e bem próxima as das espécies *Aspidosperma pyrifolium* (1,060 mm) e *Eucalytus grandis* (1,02 mm).

As dimensões de largura de fibra podem variar de 12 a 20 μ m, segundo Barrichelo e Brito (1976). Os valores médios de largura de fibra exibidos pelas espécies estudadas estão dentro desta faixa. A *Amburana cearensis* apresentou valor médio de largura de fibra (18,801 μ m) superior aos das espécies *Croton sonderianus* (17,130 μ m) e *Mimosa tenuiflora*

(16,430 μm) e inferiores aos das espécies *Aspidosperma pyriforme* (21,020 μm) e *Eucalyptus grandis* (19,480 μm), estudadas por Oliveira (2003).

As espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora* e *Aspidosperma pyriforme* exibiram valores médios para diâmetro do lúmen da fibra, respectivamente, 9,050, 5,790 e 8,480 μm (OLIVEIRA, 2003), sendo estes inferiores ao valor médio aqui apresentado para a espécie *Amburana cearensis*, que foi de 9,766 μm , valor este que se encontra dentro da faixa de 6 a 12 μm , que, segundo Barrichelo e Brito (1976), correspondem aos valores mínimo e máximo normalmente encontrados para o diâmetro do lúmen da fibra.

As médias de espessura de fibra encontradas para as espécies *Amburana cearensis* e *Piptadenia stipulacea* (4,517 e 4,542 μm , respectivamente) foram inferiores aos determinados por Oliveira (2003) para as espécies *Mimosa tenuiflora* (5,320 μm) e *Aspidosperma pyriforme* (6,270 μm); e superiores aos valores médios das espécies *Croton sonderianus* (4,04 μm) e *Eucalyptus grandis* (4,27 μm), também estudadas por Oliveira (2003). Tais valores aqui apresentados encontram-se dentro da faixa de variação estabelecida por Barrichelo e Brito (1976), que é de 2,5 a 6,0 μm .

Valores médios das análises químicas e poder calorífico das madeiras dos 10 indivíduos das espécies *Amburana cearensis* (Allemão) A. C. Smith e *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke são apresentados na Tabela 3. As médias obtidas para cinzas da madeira e extrativos totais foram significativamente superiores para a *Amburana cearensis*. Já os teores de lignina total e holocelulose diferem estatisticamente a 1% de probabilidade, sendo a espécie *Piptadenia stipulacea* a que apresenta os maiores valores médios. Quanto ao poder calorífico superior, não houve diferença significativa entre as espécies.

Tabela 3 – Valores médios das análises químicas e poder calorífico das madeiras dos 10 indivíduos das espécies *Amburana cearensis* (Allemao) A. C. Smith e *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke

Espécie	Indivíduo	CIZM (%)	EXT TOT (%)	LIG TOT (%)	HOL (%)	PCSM (cal/g)
<i>Amburana cearensis</i>	1	2,72	28,20	18,00	53,80	4,426
	2	2,82	29,03	21,28	49,69	4,156
	3	2,52	28,33	21,87	49,80	4,407
	4	2,51	21,78	22,43	55,79	4,085
	5	2,17	27,85	22,13	50,02	4,770
Médias		2,55A	27,04A	21,14B	51,82B	4,369a
<i>Piptadenia stipulacea</i>	1	0,78	12,58	26,51	60,91	4,183
	2	1,27	14,00	25,57	60,43	4,212
	3	1,27	12,50	24,11	63,39	4,830
	4	1,56	12,33	26,25	61,42	4,864
	5	1,68	14,43	26,75	58,82	4,653
Médias		1,31B	13,17B	25,84A	60,99A	4,584a
QMRes		0,9152	4,884	2,196	5,31	0,910
CV(%)		15,67	10,97	6,31	4,09	6,77

CIZM = cinzas da madeira, EXT TOT = solubilidade em álcool/tolueno, álcool e água, LIG TOT = lignina total, HOL = holucelulose e PCSM = poder calorífico superior da madeira, QMRes = quadrado médio do resíduo, CV = coeficiente de variação. Médias na coluna seguidas de letra minúscula ou maiúscula diferem estatisticamente ($p < 5$ e 1%, respectivamente, pelo teste F).

Segundo Oliveira (2003), um maior percentual de cinzas na madeira (CIZM) está associado a um menor teor de lignina. Tal afirmação corrobora os dados aqui apresentados, pois a *Amburana cearensis* exibiu uma maior média CIZM (2,55%) e um menor teor de lignina (21,14%), contra 1,31% e 25,84%, respectivamente, para a *Piptadenia stipulacea*. Os valores médios de CIZM, tanto para a *Amburana cearensis* quanto para a *Piptadenia stipulacea*, foram bem superiores aos encontrados por Oliveira (2003), para as espécies *Croton sonderianus* (0,68%), *Mimosa tenuiflora* (0,56%), *Aspidosperma pyrifolium* (0,56%) e *Eucalytus grandis* (0,45%).

De acordo com Paula et al. (2000), um maior teor de lignina total pode implicar uma maior densidade básica média (DBM) da madeira. Tal fato pode ser observado quando se relacionam tais grandezas encontradas para as espécies *Piptadenia stipulacea* e *Amburana cearensis*, visto que a primeira apresentou uma maior DBM e um maior teor de lignina. Este fato foi também observado por Santos (2008), que, ao estudar cinco espécies arbóreas do cerrado brasileiro, atribuiu o aumento na DBM da madeira das espécies ao respectivo aumento no teor de lignina. O autor também ressalta que este não pode ser considerado o único parâmetro determinante na explicação para um maior aumento na DBM.

As espécies estudadas não apresentaram diferença significativa entre as médias de poder calorífico superior da madeira, sendo provável que tal resultado esteja associado ao fato de a *Amburana cearensis* ter apresentado valor médio de extrativos totais de 27,04% e o teor de lignina de 21,14%, enquanto a *Piptadenia stipulacea* exibiu os valores respectivos de 13,17% e 25,84%. Essa associação de resultados foi também observada por Oliveira (2003), para as espécies *Mimosa tenuiflora* e *Aspidosperma pyrifolium*.

A Tabela 4 exhibe os valores médios das análises do carvão dos 10 indivíduos das espécies *Amburana cearensis* (Allemao) A. C. Smith e *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke. O rendimento gravimétrico foi semelhante para ambas as espécies, enquanto o rendimento em líquido condensado foi significativamente superior para a *Amburana cearensis*.

Tabela 4 – Valores médios das análises do carvão dos 10 indivíduos das espécies *Amburana cearensis* (Allemao) A. C. Smith e *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke

Espécie	Ind.	RG (%)	RLC (%)	DA (g/cm ³)	DV (g/cm ³)	MV (%)	CIZC (%)	CF (%)	PCSC (cal/g)
<i>Amburana cearensis</i>	1	37,42	43,10	0,277	1,001	32,715	4,692	62,593	6.741
	2	39,01	38,76	0,274	0,837	32,180	4,708	63,112	6.856
	3	39,50	42,23	0,320	1,009	32,898	4,583	62,519	7.227
	4	37,66	43,05	0,310	0,992	32,250	3,567	64,183	7.392
	5	38,36	41,48	0,323	0,913	33,015	4,038	62,946	7.555
Médias		38,39a	41,72a	0,301B	0,950a	32,612a	4,318A	63,071B	7.154b
<i>Piptadenia stipulacea</i>	1	37,82	39,33	0,477	0,990	31,211	1,131	67,657	7.947
	2	38,07	31,89	0,439	1,004	31,546	2,076	66,379	7.302
	3	39,18	36,61	0,431	0,950	32,617	1,799	65,584	7.397
	4	37,75	34,05	0,569	0,958	32,460	2,339	65,202	7.661
	5	38,87	41,85	0,423	1,321	32,384	2,070	65,546	7.824
Médias		38,34a	36,75b	0,468A	1,045a	32,044a	1,883B	66,074A	7.626a
QMRes		0,60	9,54	0,0021	0,0149	2,70	0,2321	0,71	0,0979
CV(%)		2,02	7,87	11,90	11,93	1,61	22,39	1,30	4,23

RG = rendimento gravimétrico, RLC = rendimento em líquido condensado, DA = densidade aparente, DV = densidade verdadeira, MV = materiais voláteis, CIZ = cinzas do carvão, CF = carbono fixo e PCSC = poder calorífico superior do carvão, QMRes = quadrado médio do resíduo, CV = coeficiente de variação. Médias na coluna seguidas de letra minúscula ou maiúscula diferem estatisticamente ($p < 5$ e 1%, respectivamente, pelo teste F).

Oliveira (2003) comenta que madeiras com elevados teores de extrativos e ligninas produzem maior quantidade de carvão. Tal afirmação condiz com os resultados aqui apresentados para o rendimento gravimétrico (RG), pois a *Amburana cearensis* exibiu maior teor de extrativos e menor teor de lignina, o que, provavelmente, refletiu nos resultados de RG, não havendo diferença significativa entre as médias apresentadas pelas espécies. A

semelhança entre as médias de RG pode ser também analisada observando-se o teor de materiais voláteis, sendo que o rendimento gravimétrico obtido a partir de uma pirólise lenta pode estar associado com a quantidade de materiais voláteis (MV) formados. No caso das espécies aqui estudadas, não se revelou diferença significativa quanto a esta grandeza.

A *Piptadenia stipulacea* apresentou média significativamente superior a 1% para a densidade aparente e médias semelhantes para densidade verdadeira.

Um maior poder calorífico superior do carvão foi determinado para a *Piptadenia stipulacea* (7.626 cal/g), o que, segundo Oliveira (2003), deve estar relacionado ao fato de essa espécie ter exibido maior teor de carbono fixo (66,074%) e este, por sua vez, está associado ao maior teor de lignina apresentado pela mesma. Ambas as espécies, *Piptadenia stipulacea* (7.626 cal/g) e *Amburana cearensis* (7.154 cal/g), apresentaram maiores médias de poder calorífico superior quando comparadas às médias obtidas dos carvões das espécies *Croton sonderianus* (6.982 cal/g), *Mimosa tenuiflora* (6.866 cal/g), *Aspidosperma pyrifolium* (7.009 cal/g) e *Eucalyptus grandis* (7.072 cal/g), estudadas por Oliveira (2003).

5 CONCLUSÕES

A densidade básica média encontrada para as madeiras das espécies *Piptadenia stipulacea* e *Amburana cearensis* foram, respectivamente, 1001,93 e 631,81 kg/m³. Tais médias apresentaram diferença significativa a 1% de probabilidade pelo teste F. Esse resultado foi reflexo do maior teor de lignina apresentado pela espécie *Piptadenia stipulacea*.

A *Amburana cearensis* apresentou fibras de maiores dimensões quanto ao comprimento, largura e diâmetro, com espessura de fibra semelhante ao da espécie *Piptadenia stipulacea*, havendo diferença significativa a 1% para as médias das três primeiras características anatômicas.

Houve diferença significativa a 1% de probabilidade entre todas as médias das características químicas da madeira (teores de cinzas, extrativos totais, lignina e holocelulose), indicando dissimilaridade entre as espécies. As médias de teor de cinzas e extrativos totais foram superiores para a *Amburana cearensis* e as demais médias inferiores.

Ocorreu semelhança entre as médias de poder calorífico superior da madeira das espécies.

O maior teor de cinzas da madeiras para a *Amburana cearensis* deve estar associado ao fato de a espécie ter apresentado menor teor de lignina, o que implicou maior teor de cinzas do carvão.

A não-diferença significativa para o rendimento gravimétrico das espécies deve estar associada ao fato de a espécie *Amburana cearensis* ter apresentado maior teor de carbono fixo e a *Piptadenia stipulacea* ter exibido maior teor de lignina.

O maior teor de lignina apresentado pela espécie *Piptadenia stipulacea* refletiu em maiores valores médios de carbono fixo e poder calorífico superior do carvão.

Ocorreu diferença significativa a 1% de probabilidade entre as médias de poder calorífico superior para os carvões das espécies estudadas, sendo superior a média da *Piptadenia stipulacea*. Ambas as espécies demonstraram elevadas médias de poder calorífico superior, sendo estas acima dos 7.000 cal/g, o que demonstra um grande potencial energético em termos de carvão.

REFERÊNCIAS

- ABRAF – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF**. 2005. 82 p.
- ADLER, E. Lignin Chemistry: Past, Present, and Future. **Wood Science Technology**, 169-218. 1977.
- ARAÚJO, L. V. C. de; LEITE, J. A. N.; PAES J. B. Estimativa da produção de biomassa de um povoamento de jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret.) com cinco anos de idade. **Biomassa & Energia**, v. 1, n. 4, p. 347-352, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **Normas Técnicas NBR 8112**. Brasília, 1983. n.p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **Normas Técnicas NBR 8633**. Brasília, 1983. n.p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL. **NORMAS ABTCCP**. Normas Técnicas ABCTP. São Paulo, ABTCP, 1974. n.p.
- BARRICHELO, L.E.G. e BRITO, J. O. **A madeira das espécies de eucalipto como matéria-prima para a indústria de celulose e papel**. Brasília: PRODEPEF, 1976, 145p. (Série de Divulgação, n. 13).
- BASTOS FILHO, J. G. **Desenvolvimento de um forno metálico para carbonização da madeira**. 1988. 37 f. Dissertação (mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1988.
- BRAID, E. C. M. *et al.* **Diagnóstico florestal do estado do Ceará**. Fortaleza: Projeto PNUD/FAO/IBAMA/SDU/SEMACE, 1993. 78 p.
- BRASIL, M. A.; VEIGA, R. A.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica nas seções transversais do caule da base do tronco para a copa de eucalipto. **IPEF**, n. 15, p. 73-82, 1977.
- BRITO, J.O.; BARRICHELO, L. E. G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão: 2. densidade da madeira x densidade do carvão. **IPEF**, n.20, p. 101-113, jun.1980.
- BRITO, J.O.; BARRICHELO, L. E. G. **Química da madeira**. Piracicaba: ESALQ/DS, 1983. 136p.
- BROWNING, B. L. **The chemistry of wood**. New York: John Wiley & Sons, 1963. 689 p.
- CAATINGA. Disponível em: <[HTTP://www.mma.gov.br](http://www.mma.gov.br)>, acessado em 23.03.2009.
- CAMPELLO, F. C. B.; LEAL JÚNIOR, G.; SILVA, J. A. e CAMPELLO, F. C. B. **Avaliação dos recursos florestais da área de proteção ambiental Chapada do Araripe**. Projeto MMA\FAO UTF\BRA\047, MMA-Ministério do Meio Ambiente, Secretaria da Biodiversidade e Floresta, Diretoria do Programa Nacional de Florestas, Crato-CE, 49p. 2000.

- FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS/CETEC. **Produção de carvão vegetal**. Compilado por Waldir Resende Penedo. Belo Horizonte, 1982. Iv. (Série de Publicações Técnicas, 8).
- FAO. Wood Energy. **Promoting sustainable energy systems**. Rome: Forest Products Division, 2003. 24 p.
- FENGEL, D. e WEGENER, G.; **Wood Chemistry, Ultrastructure and Reactions**, 1st ed., Walter de Gruyter: Berlin, 1989.
- GARCIA, C. B. **Anatomia, composição e propriedades de cinco madeiras paraguaias**. 1995. 126 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.
- GIULIETTI, A. M. *et al.* Espécies endêmicas da caatinga. In: **Vegetação e Flora da Caatinga**. Recife, 2002, p. 103-162.
- GLASER, W.G. Potential role of lignin in tomorrow's wood utilization technologies. **Forest Products Journal**, 31 (3), 24-29, 1981.
- GOLDSCHMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDWWIG, C. H. (Eds) **Lignins**. New York: Wiley Interscience, 1971. p. 241-66.
- GOLFARI, L. e CASER, R. L. Zoneamento Ecológico da Região Nordeste para Experimentação Florestal. Belo Horizonte: **PRODEPEF**, 1977, 116 p.
- GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O PAPEL**, v. 47, n. 8, p. 36-38, 1986.
- IBGE CIDADES@. Extração vegetal e silvicultura-2007. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso: 01/04/2009.
- KLOCK, U. *et al.* **Química da Madeira**. 3ª ed. Curitiba: 2005, UFPR, p. 81.
- LADEIRA, H. **Quatro décadas de Engenharia Floresta no Brasil**. Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais, 2002. 207p.
- LEWIN, M.; GOLDSTEIN, I. S. **Wood structure and composition**. New York: Marcel Dekker, 1991. 488 p.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. v. 1. 4ª ed; Nova Odessa, SP: Plantarum, 2002. 368 p.
- MELO, A. C. **Geografia dos combustíveis lenhosos na microrregião de Patos – PARAÍBA**. 1998. 132 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geográficas), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1998.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA-MME. Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Balanco Energético Nacional 2009: Ano base 2008** / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2009. 274 p.: 180 il. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/mme/menu/todas_publicacoes.html>. Acesso: 28.07.2010.

- MIRANDA, G. **Potencial energético de três espécies florestais da região semi-árida do Nordeste do Brasil**. 1989. 141 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.
- MORAIS, S. A. L. de; NASCIMENTO, E. A. do; MELO, D. C. de. Análise da Madeira do *Pinus oocarpa* Parte II: Caracterização Estrutural da Lignina de Madeira moída. **Revista Árvore**, maio-junho, vol. 29, nº 003. Sociedade de Investigações Florestais. p. 471-478. Viçosa, 2005.
- OLIVEIRA, E. de. **Características anatômicas, químicas e térmicas da madeira de três espécies de maior ocorrência no semi-árido nordestino**. 2003. 122 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, 2003.
- OLIVEIRA, E. de, *et al.* Estrutura Anatômica da Madeira e Qualidade do Carvão de *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.30, n.2, p. 311-318, 2006.
- OLIVEIRA, J. B.; GOMES, P. A.; ALMEIDA, M. R. Estudos preliminares de normatização de testes de controle de qualidade do carvão vegetal. In: PENEDO, W. R. CARVÃO VEGETAL. Belo Horizonte, CETEC, 1982b. p. 7-38. (Série de Publicações Técnicas, 006).
- OLIVEIRA, J. B.; VIVACQUA FILHO, A.; GOMES, P. A. Produção de carvão vegetal - aspectos técnicos. In: PENEDO, W. R. (Ed.) **Produção e utilização de carvão vegetal**. Belo Horizonte: CETEC. 1982a. p. 60-73.
- PANSHIN, A. J. e De ZEEUW, C. **Textbook of technology**. 3 ed. New York: McGraw Hill, 1980. 722 p.
- PAULA, J. E.; SILVA JÚNIOR, F. G.; SILVA, A. P. P. Caracterização anatômica de madeiras nativas de matas ciliares do Centro-Oeste brasileiro. **Scientia Forestalis**, n. 58, p. 73-89, 2000.
- QUEIROZ, Luciano Paganucci de. **Leguminosas da Caatinga**. 1. ed. Universidade de Feira de Santana. Feira de Santana, Bahia, 2009. 467 p.
- RAMALHO, R. S. **O uso de macerado no estudo anatômico de madeiras**. Viçosa: UFV, 1987. 4 p.
- RIZZINI, C. T. **Tratado de fitogeografia do Brasil, aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos**. 2. ed. Recife: Âmbito Cultural Edições, 1997. 747 p.
- SAMPAIO, E. V. S. B. e RODAL, M. J. N. **A vegetação do bioma caatinga**. In: Vegetação e Flora da Caatinga. Recife, 2002, p. 11-20.
- SANTOS, I. D. **Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica, contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado**. 2008. 57 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2008.
- SARKANEN, K. V. e LUDWING, C. A. **Lignins Occurrence, Formation, Structure and Reactions**. Willey Interscience, New York, 1971.

SILVA, J. O. **Características dendrológicas e anatômicas da madeira de dez espécies ocorrentes no Nordeste semi-árido**. 1988. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

SJÖSTRÖM, E. **Wood chemistry: fundamentals and applications**. 2.ed. New York: Academic Press. 1993. 293 p.

SUDEMA. **Atualização do diagnóstico florestal do Estado da Paraíba**. João Pessoa: 2004. 268 p.

SUDENE/EMBRAPA. Levantamento exploratório: reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. Rio de Janeiro: 1972. 683 p. (Boletim Técnico e Série Pedologia, 8).

THECHINICAL ASSOCIATION OF THE PULP PAPER INDUSTRY – **TAPPI**. Tappi test methods: 1992-1993. Atlanta, 1992.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A e LINO, A. L. Avaliação de clones de Eucalyptus para a produção de carvão vegetal. **Revista Cerne**, Lavras-MG, v.7, n.002, p.104-114, 2001.

VITAL, B. R. Métodos de determinação da densidade da madeira. Viçosa, MG: SIF, 1984. 21 p. (**Boletim Técnico**, 1).

WENZL, H. F. J. **The chemical technology of wood**. New York: Academic Press, 1970. 692 p.