



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE SAÚDE E TECNOLOGIA RURAL
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
CAMPUS DE PATOS - PB**

**ESTUDO COMPARATIVO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DO JUAZEIRO
(*Ziziphus joazeiro* Martius) E DA ALGAROBEIRA (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC.) NA
PRODUÇÃO DE CARVÃO NO SEMIÁRIDO PARAIBANO**

CLÉCIO MAYNARD BATISTA DA FONSÊCA

CLÉCIO MAYNARD BATISTA DA FONSÊCA

**ESTUDO COMPARATIVO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DO JUAZEIRO
(*Ziziphus joazeiro* Martius) E DA ALGAROBEIRA (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC.) NA
PRODUÇÃO DE CARVÃO NO SEMIÁRIDO PARAIBANO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, da Universidade Federal de Campina Grande - CSTR, Campus de Patos, na Área de Ecologia, Manejo e Utilização dos Recursos Florestais, como parte das exigências para a obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Elisabeth Oliveira

FICHA CATALOGADA NA BIBLIOTECA SETORIAL
UFCG/CSTR – CAMPUS DE PATOS

F676e

2011 FONSÊCA, Clécio Maynard Batista.

Estudo comparativo do potencial energético do juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Martius) e da algarobeira (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC.) na produção de carvão no semiárido paraibano./ Clécio Maynard Batista da Fonsêca. Patos - PB: CSTR/UFCG, 2011.

59 p.:il. Color.

Inclui Bibliografia.

Orientadora: Elisabeth de Oliveira.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Universidade Federal de Campina Grande.

1 - Carvão vegetal. 2 - Produto Florestal. 3 - Algaroba.
4 - Juazeiro.

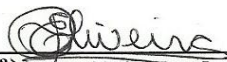
CDU: 630.*89-035.683

CLÉCIO MAYNARD BATISTA DA FONSÊCA

**ESTUDO COMPARATIVO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DO JUAZEIRO
(*Ziziphus joazeiro* Martius) E DA ALGAROBEIRA (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC.) NA
PRODUÇÃO DE CARVÃO NO SEMIÁRIDO PARAIBANO**

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: 09 de Dezembro de 2011



Prof.^a. Dra. Elisabeth de Oliveira
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)
(Orientadora)



Prof. Dr. Alexandre Santos Pimenta
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
(1º Examinador)



Prof. Dr. Leandro Calegari
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)
(2º Examinador)

A minha esposa, Ana Maria Santos da Fonsêca,

"A primeira vez que te vi, não tive intenção de me apaixonar, foi mera distração.
Hoje agradeço ser tão distraído. Sou louco por você."

A meu filho, Pedro Henrique Santos da Fonsêca,

Meu filho, meu amigo, meu
companheiro...
Meu maior tesouro!
Tu que tantas alegrias me dás
Tu que me fazes sorrir nos momentos
em que estou triste,
Obrigado por existires!
Que tenhas sempre sucesso na estrada
que ainda terás de percorrer.
Que possas ser rei sem jamais perder a
simplicidade,
Que possas sorrir sem perderes a
capacidade de chorar,
Que possas ser Homem, sem perder a
criança que há em ti,
E principalmente, meu filho,
Que possas ser Feliz!...

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, pois, sem Ele, eu não existiria, Ele quem me deu o dom da vida, saúde, paz, felicidade e pessoas maravilhosas ao meu redor, que sempre me deram forças para seguir adiante.

Aos meus pais, Cosme Rodrigues da Fonsêca (in memória) e Maria do Socorro Batista da Fonsêca, pelo incentivo na busca de algo maior e por todo amor e carinho a mim concedidos.

Às minhas irmãs, Sandra e Sâmia, e aos meus sobrinhos, Gabrielle e João Vitor, que, mesmo longe e apesar das desavenças, sempre estiveram no meu coração.

A minha querida avó Marinete, pelo grande exemplo de muita devoção e fé em Deus, aos meus Tios, Tias e demais familiares.

Em especial, a minha Tia Maria do Carmo, a qual tenho como segunda mãe, por ter me dado todo o carinho e por ter cuidado sempre e muito bem de mim.

A minha orientadora, professora Dr^a. Elisabeth Oliveira, pelo saber a mim oferecido para a realização deste trabalho.

Aos colegas de Mestrado (Turma de 2010), pela amizade e os momentos de descontração, guardá-los-ei no coração. Aos meus amigos do CSTR e colaboradores, pela amizade e contribuição para este trabalho.

À Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), pela oportunidade em realizar o Curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais.

Aos professores da banca examinadora, Alexandre Santos Pimenta e Leandro Calegari, pela disponibilidade de estarem avaliando este trabalho.

Aos demais docentes do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, por todo o conhecimento transmitido, pela cooperação e estímulo.

À CAPES, pelo auxílio financeiro, indispensável para a realização do presente trabalho, e à Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal/CSTR, pelo oferecimento das condições para execução da pesquisa.

E, por fim, a todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

FONSÊCA, Clécio Maynard Batista. **Estudo comparativo do potencial energético do juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Martius) e da algarobeira (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC.) na produção de carvão no semiárido paraibano.** 2011.59f. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais. CSTR/UFCG, Patos - PB. 2012.

RESUMO

A Caatinga é o principal componente vegetacional do Estado da Paraíba, recobrando cerca de 80% do território. Há uma grande dependência da população e dos demais setores da economia com relação ao produto florestal como fonte de energia, que representa entre 30% e 50% da energia primária. O presente trabalho visa determinar o potencial energético do carvão do *Ziziphus joazeiro* (Martius) e da *Prosopis juliflora* (Sw.) DC., incrementando as informações sobre as espécies arbóreas de ocorrência no semiárido do Nordeste do brasileiro. Foram avaliados os parâmetros dendrométricos, tais como: altura total e comercial da árvore, diâmetro à altura do peito (DAP), o volume com casca e sem casca. Após as carbonizações da madeira, foram determinadas as características energéticas do carvão das espécies em estudo, tais como: poder calorífico superior, rendimento gravimétrico, densidade verdadeira e aparente, porosidade, rendimento em produto condensado e análise química imediata (teor de umidade, materiais voláteis e cinzas). A *Prosopis juliflora* apresentou maiores valores, superando os do *Ziziphus joazeiro* e os das demais espécies arbóreas correlacionadas. Ambas as espécies apresentam um grande potencial para a produção de carvão vegetal, considerando os seus excelentes níveis de rendimento gravimétrico, carbono fixo e do poder calorífico. A espécie *Ziziphus joazeiro* apresentou correlações positivas e significativas entre os parâmetros de densidade básica média e o rendimento em líquido condensável, holocelulose e carbono fixo, além do rendimento gravimétrico e cinzas da madeira vs. materiais voláteis, e negativas e significativas entre os teores de holocelulose e lignina total, rendimento em líquido condensável e densidade aparente, lignina total e carbono fixo e carbono fixo e materiais voláteis. Para a espécie *Prosopis juliflora*, observaram-se correlações positivas e significativas apresentadas para os teores de extrativos totais e poder calorífico da madeira, rendimento gravimétrico e densidade verdadeira, carbono fixo e materiais voláteis e rendimento gravimétrico e poder calorífico do carvão. E apresentou apenas uma correlação negativa e significativa entre os teores de holocelulose e extrativos totais.

Palavras-chave: *Ziziphus joazeiro*. *Prosopis juliflora*. Carvão Vegetal.

FONSÊCA, Clécio Maynard Batista. **Comparative study of the juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Martius) and algarobeira (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC.) energetic potential on the coal production in the semiarid region of Paraíba.** 2011. 59f. Dissertation for Master's degree in Forest Science. CSTR/UFCG, Patos - PB. 2012.

ABSTRACT

The caatinga vegetation is the major vegetational component of the state of Paraíba, covering about 80% of its territory. There is a large dependence of the population and other sectors of the economy in relation to its forest product as an energy source, which represents between 30% and 50% of primary energy. This study aims to determine the energetic potential of the coal from *Ziziphus joazeiro* (Martius) and *Prosopis juliflora* (Sw.) DC., improving information on tree species which occur in the Brazilian Northeast semi arid. Dendrometric parameters were evaluated, such as total and commercial height, diameter at breast height (DBH), the volume with and without bark. After wood carbonization, were determined the energetic characteristics of coal from the studied species, such as higher calorific value, gravimetric yield, true and apparent density, porosity, condensed product yield and immediate chemical analysis (moisture content, volatile materials and ashes). The *Prosopis juliflora* showed higher values, exceeding the ones from *Ziziphus joazeiro* and those from the others correlated tree species. Both species showed a great potential for the production of charcoal, taking into account its excellent levels of gravimetric yield, fixed carbon and calorific value. The species *Ziziphus joazeiro* showed significant positive correlations between the average basic density parameters and the condensable liquid yield, fixed carbon and holocellulose and also the wood and ashes gravimetric yield vs. volatile matter, and negative and significant factors between the holocellulose content and total lignin, condensable liquid yield and apparent density, total lignin and fixed carbon and fixed carbon and volatile matter. Concerning *Prosopis juliflora* species, it was observed significant and positive correlations showed for the total extractive contents and wood calorific values, true density and gravimetric yield, fixed carbon and volatile matter, gravimetric yield and coal calorific values. It was observed only a negative correlation between the holocellulose levels and total extractive.

Keywords: *Ziziphus joazeiro*. *Prosopis juliflora*. Charcoal.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Procedimento de corte da madeira para a retirada dos discos	30
Figura 2 –	Fracionamento de um disco de madeira para determinação da densidade	30
Figura 3 –	Forno elétrico (mufla) utilizado nas carbonizações, acoplado a um condensador	33
Figura 4 –	Correlação entre a densidade básica da madeira (%) e o rendimento em líquido condensável (%) para a espécie <i>Ziziphus joazeiro</i> Martius	43
Figura 5 –	Correlação entre os teores de holocelulose (%) e o carbono fixo (%) para a espécie <i>Ziziphus joazeiro</i> Martius	44
Figura 6 –	Correlação entre os teores de holocelulose (%) e o de lignina total (%) para a espécie <i>Ziziphus joazeiro</i> Martius	44
Figura 7 –	Correlação entre os teores de lignina total (%) e o de carbono fixo (%) para a espécie <i>Ziziphus joazeiro</i> Martius	45
Figura 8 –	A) Correlação entre o rendimento gravimétrico (%) e o teor de matérias voláteis (%), B) Correlação entre os teores de cinzas da madeira (%) e o de matérias voláteis (%), C) Correlação entre os teores de cinzas do carvão (%) e o de matérias voláteis (%)	46
Figura 9 –	Correlação entre os teores de holocelulose (%) e os de extrativos totais (%) para a espécie <i>Prozopis juliflora</i> (Sw) DC.	49
Figura 10 –	Correlação entre os teores de materiais voláteis (%) e o de cinzas do carvão (%) para a espécie <i>Prozopis juliflora</i> (Sw) DC.	49
Figura 11 –	Correlação entre o teor de extrativos totais (%) e o poder calorífico superior da madeira (%) para a espécie <i>Prozopis juliflora</i> (Sw) DC.	50
Figura 12 –	Correlação entre o rendimento gravimétrico (%) e o poder calorífico superior do carvão (%) para a espécie <i>Prozopis juliflora</i> (Sw) DC.	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Sequência de operação para carbonização, com diferentes marchas de carbonização	33
Tabela 2 –	Valores médios das características dendrométricas das espécies <i>Ziziphus joazeiro</i> Martius e <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC.	36
Tabela 3 –	Valores médios das análises químicas e poder calorífico das madeiras das espécies <i>Ziziphus joazeiro</i> Martius e <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC.	38
Tabela 4 –	Valores médios dos rendimentos da carbonização das análises do carvão vegetal das espécies <i>Ziziphus joazeiro</i> Martius e <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC.	40
Tabela 5 –	Correlações de Pearson entre variáveis para a espécie <i>Ziziphus joazeiro</i> Martius	42
Tabela 6 –	Correlações de Pearson entre variáveis para a espécie <i>Prosopis juliflora</i> (Sw) DC.	48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 Matriz Energética Mundial	14
2.2 Matriz Energética Brasileira	15
2.3 Matriz Energética da Região Nordeste	17
2.4 Semiárido Paraibano	18
2.5 Caracterização das Espécies	19
2.5.1 <i>Ziziphus joazeiro</i> Martius (Juazeiro)	19
2.5.2 <i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC. (Algarobeira)	20
2.6 Parâmetros de Qualidade da Madeira	21
2.6.1 Densidade da Madeira	22
2.6.2 Constituição Química da Madeira	23
2.6.3 Poder Calorífico da Madeira	24
2.7 Carbonização da Madeira	24
2.8 Parâmetros de Qualidade do Carvão	27
3 METODOLOGIA	29
3.1 Caracterização e Localização da Área de Coleta dos Espécies	29
3.2 Seleção, Coleta e Identificação das Espécies	
3.3 Amostragem das Espécies Seleccionadas.....	29
3.4 Análises da Madeira	31
3.4.1 Parâmetros Dendrométricos	
3.4.2 Determinação da Densidade Básica	31
3.4.3 Análise Química	
3.4.3.1 Extrativos Totais	31
3.4.3.2 Teor de Lignina	32
3.4.3.3 Teor de Cinzas	
3.4.4 Poder Calorífico	
3.4.5 Carbonização em Escala de Laboratório	32
3.4.5.1 Análises de Rendimento	34

3.4.5.1.1 Rendimento Gravimétrico	34
3.4.5.1.2 Rendimento em Produto Condensado	
3.4.5.2 Análises do Carvão	
3.4.5.2.1 Análise Química Imediata	34
3.4.5.2.2 Densidade do Carvão	35
3.4.5.2.3 Poder Calorífico Superior	
3.4.6 Análises dos Resultados (Delineamento experimental)	35
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
4.1 Caracterizações dendrométricas, físico-químicas e energéticas das espécies <i>Ziziphus joazeiro</i> Martius e <i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC.	36
4.2 Correlações entre as características dendrométricas, físico-químicas e energéticas das espécies <i>Ziziphus joazeiro</i> Martius e <i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC.	41
4.2.1 Análise das Correlações para a espécie <i>Ziziphus joazeiro</i> Martius	42
4.2.1.1 Relações entre as características físico-químicas e da espécie <i>Ziziphus</i> <i>joazeiro</i> Martius	43
4.2.2 Análise das Correlações para a espécie <i>Prosopis juliflora</i> (Sw.) DC.....	47
4.2.2.1 Relações entre as características químicas e físicas da espécie <i>Prosopis</i> <i>juliflora</i> (Sw.) DC.	48
5 CONCLUSÕES	52
REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

Exclusivamente brasileiro, a Caatinga ocupa cerca de 11% do país, sendo o principal ecossistema/bioma da região nordeste e considerado o bioma semiárido mais rico do mundo em biodiversidade (MMA, 2012). Principal componente vegetacional do Estado da Paraíba, recobre cerca de 80% do território. Caracteriza-se por um clima quente e seco, semiárido, fortemente xerofítico, que é representado por espécies caducifólias, espinhosas, às vezes áfilas, variando desde plantas arbóreas a herbáceas (OLIVEIRA, 2003). O material lenhoso desta vegetação apresenta características físico-químicas desejáveis para fins energéticos.

Historicamente, a região Nordeste guarda relação de grande dependência socioeconômica pelo recurso florestal, por parte da população e demais setores da economia com relação ao produto florestal como fonte de energia, que representa entre 30% e 50% da energia primária. A lenha e o carvão vegetal são as formas mais importantes de utilização dos recursos florestais (CAMPELLO *et al.*, 1999).

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 antropizadas. 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 flora nativa do semiárido paraibano vem, ao longo dos anos, sendo explorada e utilizada de maneira inadequada em inúmeras atividades, sendo a principal delas e a qual irá ser abordada a exploração de madeira para fins energéticos. De acordo com Andrade, citado por Baracuhy (2001), a maior parte dos produtos florestais, principalmente os energéticos, consumidos por atividades domésticas, industriais e comerciais na região da Caatinga, é oriunda de matas nativas. Esta atividade é realizada, muitas das vezes, por pessoas carentes de informação sobre os possíveis problemas ambientais que venham causar ao meio, mas que, devido à necessidade que passam durante o período de estiagem, têm esta atividade, ainda que seja de certa forma uma atividade predatória, como a única fonte de renda para o sustento e sobrevivência.

A biomassa florestal do Bioma Caatinga é de grande importância para a população da região. Segundo a SUPERINTENDÊNCIA DE ADMINISTRAÇÃO DO MEIO AMBIENTE

- SUDEMA (2004), no estado da Paraíba, o consumo anual de energéticos florestais nos 151.865 domicílios tem a participação de 24,2% de carvão vegetal e 32,6% de lenha, totalizando 3.318.514,23 st/ano. Para o setor industrial/comercial, o consumo de lenha foi estimado em 665.120 st/ano.

Segundo Braid (1996), a utilização de lenha é a fonte de energia mais importante para as famílias nordestinas, o que compromete os remanescentes de vegetação ainda existente. A energia da floresta representa a segunda fonte de energia do Nordeste. Isto mostra a dependência da economia local e o conflito social que pode decorrer de uma escassez desta fonte.

Devido à falta de mais trabalhos científicos acerca deste assunto, o que torna o potencial madeireiro da caatinga pouco conhecido. Quando se conhece a potencialidade energética da madeira das espécies, é possível um manejo adequado das florestas, minimizando os possíveis impactos ao ambiente. Com base na exploração e o uso descontrolado da vegetação de caatinga para a produção e comercialização de produtos energéticos, tais como a lenha e o carvão, que cresce cada vez mais para o abastecimento de fornos das pequenas e médias indústrias de tijolos, padarias, pizzarias, casas de farinha, dentre outros.

O presente trabalho visa realizar o estudo do potencial energético do juazeiro (*Ziziphus joazeiro* (Martius.) e da algarobeira (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC.), presentes no semiárido paraibano, através da avaliação das características dendrométricas, físicas, químicas e energéticas da madeira destas espécies, comparando-as com outras espécies pertencentes e inseridas no bioma Caatinga, em virtude da necessidade e do interesse de ampliar os conhecimentos sobre as potencialidades das espécies lenhosas da região semiárida, principalmente visando ao seu uso energético.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Matriz Energética Mundial

A evolução do consumo mundial de energia, baseada em combustíveis fósseis, conduziu a humanidade para uma matriz energética insegura, cara e, sobretudo, bastante negativa para o meio ambiente. Isso tem levado muitos países a considerarem a necessidade de profundas mudanças, incluindo a intensificação do aproveitamento de outras fontes energéticas, sobretudo as renováveis, incluindo-se a madeira, no caso brasileiro, o que pode expressar uma matriz energética ambientalmente mais saudável e socialmente mais justa, pois é uma das fontes de energia que possibilitam uma das maiores taxas de geração de emprego por recurso monetário investido (BRITO, 2007).

Os principais insumos energéticos usados pela indústria no mundo, segundo dados da CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI (2007), são o petróleo, o gás natural e o carvão mineral. Esses insumos têm apresentado elevadas taxas de crescimento do consumo, devido, principalmente, ao desempenho das economias emergentes, lideradas pela China e pela Índia. O crescimento acelerado da demanda, aliado à instabilidade política nas regiões produtoras de petróleo e gás natural e às pressões pela redução das emissões dos gases causadores do “efeito estufa”, traz preocupações sobre o equacionamento da oferta de energia e seu impacto nos preços.

A matriz energética mundial tem participação total de 80% de fontes de carbono fóssil, sendo 36% de petróleo, 23% de carvão e 21% de gás natural. O Brasil se destaca entre as economias industrializadas pela elevada participação das fontes renováveis em sua matriz energética. Isso se explica por alguns privilégios da natureza, como uma bacia hidrográfica contando com vários rios de planalto, fundamental à produção de eletricidade (14%), e o fato de ser o maior país tropical do mundo, um diferencial positivo para a produção de energia de biomassa (23%) (PLANO NACIONAL DE AGROENERGIA 2006 – 2011, 2005).

Face ao acelerado crescimento do consumo mundial de energia associado às incertezas quanto ao suprimento das necessidades futuras, pesquisas por novas fontes energéticas são complementadas por outras que objetivam o seu melhor aproveitamento através de diferentes tecnologias, o que pode adiar no tempo a previsão de crises energéticas, pelo menos nas próximas décadas (BARROS, 2007).

A elevação dos preços dos insumos energéticos, ao mesmo tempo em que afeta diretamente os custos da indústria mundial, abre novas oportunidades para a indústria

brasileira, como os ganhos de competitividade nos setores industriais que usam energia elétrica e o grande interesse de investidores internacionais em energia “limpa” (CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI, 2007).

2.2 Matriz Energética Brasileira

Ao longo do século XX, o Brasil experimentou intenso desenvolvimento econômico, que se refletiu numa crescente demanda de energia primária. Entre os fatores que determinaram tal crescimento, alinham-se um expressivo processo de industrialização, com a instalação de plantas energo-intensivas, e uma notável expansão demográfica, acompanhada de rápido aumento da taxa de urbanização (TOLMASQUIM *et al.*, 2007). Segundo Brito (2007), a madeira para energia em nosso país tem sido historicamente relacionada à produção de carvão vegetal, aos consumos residencial, industrial e agropecuário.

O setor florestal tem uma significativa contribuição na economia do país, uma vez que contribui com aproximadamente 5,0 % do PIB e 8 % das exportações nacionais. Além disso, gera 1,6 milhões de empregos diretos e 5,6 milhões indiretos, além de uma receita anual de R\$ 20 bilhões, recebendo anualmente R\$ 4,6 bilhões de impostos (ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA - AMS, 2005).

É evidente a utilização da madeira no nosso cotidiano, seja como lenha ou carvão para fins energéticos no Brasil. Este fato é claramente observado, principalmente na região Nordeste, com destaque para o semiárido paraibano, assim como relata. A madeira (lenha ou carvão) é o combustível vital para o preparo de alimento para um enorme número de famílias e comunidades em diversas regiões do planeta (SILVA, 2008). Segundo Brito (2007), seu uso é afetado por variáveis como: nível de desenvolvimento do país, disponibilidade de florestas, questões ambientais e sua competição econômica com outras fontes energéticas, como petróleo, gás natural, hidroeletricidade, energia nuclear etc.

O setor residencial é responsável pelo consumo de cerca de 32% da madeira para produção de energia. A madeira é usada para a cocção de alimentos e para aquecimento domiciliar, sendo esta última em menor escala. Estima-se que cerca de 30 milhões de pessoas no país dependem da madeira como fonte de energia domiciliar. O setor industrial é bastante consumidor de madeira para energia, representado 21% do total, envolvendo os empreendimentos industriais do ramo do cimento, químico, alimentos, bebidas, papel e celulose e o cerâmico (BRITO; CINTRA, 2004).

Uma parcela ponderável da energia elétrica produzida a partir de biomassa, no Brasil, é proveniente do aproveitamento de resíduos agropecuários, florestais ou da agroindústria. A participação da biomassa na matriz elétrica nacional é de 2,86%, distribuída em 1,69% de bagaço de cana, 1,17% em resíduos madeireiros e resíduos agrícolas e silvícolas diversos (Balanço Energético Nacional, 2007). Recentemente foram divulgadas as seguintes fontes internas de energia: eólica (0,4%), carvão e derivados (1,3%), nuclear (2,6%), derivados do petróleo (3,1%), o gás natural (5,8%) e a biomassa (5,5%), que inclui a lenha, bagaço de cana, lixo e outras recuperações, segundo o levantamento do Balanço Energético Nacional de 2011, tendo 2010 como ano base.

Portanto, a matriz energética brasileira possui um potencial imenso no que tange a variedades de matrizes energéticas e potencial de crescimento para algumas fontes (BRONZATTI; IAROSINSKI NETO, 2008). O INSTITUTO NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – INEE (2007) afirma que a participação da lenha no BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL – BEN vem decrescendo ao longo do tempo, e um dos motivos para isso, foram os incentivos ao petróleo e hidroeletricidade, apesar das vantagens econômicas, ambientais e sociais que a madeira oferece.

Destacando-se no cenário mundial, o Brasil é considerado como o maior produtor e consumidor mundial de carvão vegetal, onde a produção é quase toda destinada ao mercado interno (BARCELLOS, 2007). A matriz energética brasileira é reconhecidamente a mais limpa do mundo. Nela, quase a metade do consumo de energia primária é de fonte renovável: exatamente 47,6%, segundo o Balanço Energético Nacional de 2010 (BEN, 2010).

De acordo com Brito e Cintra (2004), o Brasil vem mostrando uma evolução significativa quanto ao atendimento da demanda por ações que visam à sustentabilidade. O uso do carvão vegetal, proveniente de florestas plantadas, apresentou um franco crescimento até o ano 2000, totalizando 70 % do volume consumido, sendo que, no ano de 1999, este valor era apenas de 30 %.

O PLANO NACIONAL DE AGROENERGIA 2006-2011 (2005) aborda algumas estratégias referentes às Florestas Energéticas, que visam ao desenvolvimento de tecnologias que promovam o adensamento energético de áreas reflorestadas, tecnologias para a substituição do carvão mineral, em seus diferentes usos e tecnologias de alcance social, para inserção de comunidades de baixa renda na cadeia de florestas energéticas.

2.3 Matriz Energética da Região Nordeste

A demanda por combustíveis de madeira em algumas indústrias apresentam impactos ambientais negativos evidentes, especialmente no Nordeste e em alguns consumidores intensivos, como cerâmicas e caieiras. Nestes casos, o uso de lenha é visivelmente não renovável e insustentável, associado ao empobrecimento do solo e à desertificação (UHLIG *et al.*, 2008).

A cobertura florestal da região semiárida tem-se reduzido drasticamente, fato este ocasionado por falta de manejo adequado e pelo tipo de exploração adotada, que basicamente é realizada com finalidade energética, principalmente no consumo da lenha e na produção de carvão vegetal (ARAÚJO *et al.*, 2007).

Segundo Campello *et al.* (2000), citados por Alves Junior *et al.* (2004), o setor florestal gerou cerca de 170 mil empregos diretos e 500 mil indiretos na região Nordeste, além de contribuir com 15% da renda global dos produtores. Também deve ser destacado que a lenha atendeu a 70% da demanda energética dos domicílios da região e que 35% do parque industrial tinha a lenha como sua fonte de energia primária.

No Brasil e no Nordeste, a principal utilização da madeira como recurso energético é na forma de lenha. Entretanto, seja na sua forma direta como lenha ou do seu derivado, o carvão vegetal, ambos são considerados combustíveis vitais para o preparo de alimento para um enorme número de famílias e comunidades em diversas regiões, principalmente na região Nordeste. Estima-se que, a cada seis pessoas, duas utilizam a madeira como a principal fonte de energia, particularmente para famílias de países em desenvolvimento, sustentando processos de secagens, cozimentos, fermentações, produções de eletricidade e outros (SILVA, 2008).

Tanto a lenha quanto o carvão são, segundo dados do MMA (2010), os principais produtos oriundos da Caatinga, mas a forma de obtenção dessas fontes energéticas está longe de ser sustentável, isto porque os mesmos originam-se do desmatamento no Nordeste, em torno de 80%. A demanda de lenha anual, no estado da Paraíba, é de 3.983.634,23 st/ano, provocando um desmatamento de 42.524,77 ha/ano de mata nativa. Desse total, aproximadamente 83% é utilizado no setor domiciliar, na forma de lenha e carvão vegetal (SUDEMA, 2004).

Estima-se que, só em Pernambuco, 265 mil caminhões de lenha são extraídos a cada ano para atender à demanda energética do Estado. Essa quantidade corresponde ao desmatamento de 65 mil hectares. Entre outros empreendimentos, o polo gesseiro e cerâmico

são os principais responsáveis pela utilização da lenha como combustível no Estado de Pernambuco, segundo dados da ASSOCIAÇÃO PLANTAS DO NORDESTE – ASPAN (SUZUKI, 2006).

De acordo com Grauer e Kawano (2001), dentre os benefícios da utilização da biomassa, temos o baixo custo de aquisição, liberação de resíduos menos agressivos ao meio ambiente, menor corrosão dos equipamentos, maior utilização de mão-de-obra e a redução das emissões de poluentes, uma vez que estes compostos apresentam emissão de CO₂. Ainda de acordo com Silva (2008), a biomassa apresenta como principais formas de aproveitamento em estado bruto produtos e resíduos agrícolas (bagaço de cana-de-açúcar e casca de arroz), madeira, resíduos florestais, lixo etc. Em forma de derivados, temos o bio-óleo, biogás, óleo vegetal, etanol celulósico e biodiesel.

2.4 Semiárido Paraibano

Historicamente, a Região Nordeste apresenta relação de grande dependência socioeconômica dos recursos florestais, especialmente da caatinga, formação vegetal típica do semiárido. A caatinga tem papel relevante como fornecedora de produtos madeireiros (lenha, estacas e material para construções diversas). Além disso, essa vegetação é de importância fundamental para a manutenção da pecuária regional (CAMPELLO *et al.*, 1999; PAREYN; GARIGLIO, 1999).

O Semiárido paraibano abriga, em quase toda a sua área territorial, uma vasta vegetação do tipo arbórea aberta, rica em espécies de porte arbóreo e arbustos caducifólios, espinhosos e herbáceos, caracterizando assim o Bioma Caatinga, que, segundo o MMA (2007), é o bioma exclusivamente brasileiro, ocupando aproximadamente 11% do país (844.453 km²), e abriga 28 milhões de pessoas em sua área original, sendo o principal ecossistema da região Nordeste, ocupando parte dos Estados do Piauí, Ceará, Alagoas, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Sergipe, Bahia, norte de Minas Gerais e pequena parte do Maranhão.

A Caatinga, ao contrário do que se pensa, de todas as regiões semiáridas do planeta, é a mais rica em biodiversidade. Trabalhos desenvolvidos na região têm provado que a caatinga apresenta uma grande biodiversidade de espécies vegetais e animais, sítios arqueológicos e manifestações culturais, sendo fundamental para o desenvolvimento do Semiárido Brasileiro, agregando valores biológicos e econômicos significativos para o país (MMA, 2007).

De acordo com Nóbrega e Lima (1994), a população rural, na época de seca, tem na caatinga a única fonte de sobrevivência, utilizando-a de forma predatória para fabricação de carvão, retirando e vendendo, por preços irrisórios, a lenha, as estacas e os moirões. Conseqüentemente, esses produtos sofrem pressão dos atravessadores, que, conhecendo a fragilidade e a carência econômica dos agricultores, e ainda contando com a ineficiência dos órgãos fiscalizadores, impõem os preços que melhor lhes convêm, o que é aceito sem questionamento, já que os proprietários rurais não dispõem de outras fontes de renda.

Johnson (1985) relata que o esgotamento das espécies madeireiras de uso tradicional da vegetação da Caatinga, consolidado com o aumento do uso da madeira em nível global, vem exigindo um maior conhecimento tecnológico sobre a utilização racional das essências florestais e cita as espécies produtoras de carvão na Caatinga: jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Will.) Poir.), catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul.), angico (*Anadenanthera colubrina* Vell. Brenan), jucá (*Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul.), mororó (*Bauhinia forficata* Link.), pereiro (*Aspidospema pyrifolium* Mart.) e craibeira (*Tabebuia aurea* Silva Manso Benth & Hook.f. ex S. Moore).

São inúmeros os produtos provenientes da Caatinga, tais como: alimentos, medicamentos e produtos industriais madeireiros e não-madeireiros, extraídos de sua biodiversidade. Estas vegetações, na maioria das espécies, apresentam características físico-químicas desejáveis para o uso de suas madeiras para fins energéticos. Tal característica contribui para a existência da talvez principal atividade e, na maioria das vezes, a única fonte de renda para a sobrevivência das famílias que vivem no interior do Nordeste durante a época de estiagem (CAMPELLO *et al.*, 1999).

2.5 Caracterização das Espécies

2.5.1 *Ziziphus joazeiro* Martius (Juazeiro)

Pertencente à família Rhamnaceae, o juazeiro é uma árvore típica do Nordeste, espécie perenifólia, heliófita, clímax, apresentando folhagem o ano todo, graças ao amplo e profundo sistema radicial, capaz de coletar a escassa umidade existente no subsolo. As árvores adultas atingem dimensões próximas de 16 m de altura e 53 cm de DAP (diâmetro à altura do peito, medido a 1,30 m do solo), na idade adulta (CARVALHO, 2007), possuem copa frondosa, globosa, provida de espinhos. Quando jovem, florescem entre os meses de novembro e maio e frutifica entre janeiro e julho, a dispersão de suas sementes é realizada por animais (zoocoria)

(SANTOS *et al.*, 2009). Segundo Maia (2004), preferem os solos argilosos, férteis e ricos em água subterrânea, mas se adaptam aos mais variados tipos de solos, inclusive aos pedregosos e arenosos, porém não toleram solos encharcados e, nos solos pobres e sem água subterrânea, não desenvolve bem, apresentando-se na forma arbustiva.

Esta espécie constitui uma providência na época da seca para o sertanejo, pela sombra e pela alimentação que proporciona ao gado faminto. Pode ser empregada com sucesso na arborização de ruas e jardins. Seus frutos são comestíveis e ricos em vitamina C, sendo muito consumido ao natural pelo sertanejo do Nordeste e também procurado avidamente por aves e outros animais (LORENZI, 1998).

Ocorre nos Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e norte de Minas Gerais (MAIA, 2004). O juazeiro é uma das espécies endêmicas do bioma Caatinga utilizada na medicina popular como expectorante, no tratamento de bronquites e de úlceras gástricas, na fabricação de cosméticos, xampus anticaspa e creme dental, na alimentação de animais, principalmente nos períodos de seca além da importância ecológica (LORENZI; MATOS, 2002).

Espécie pioneira, sua principal utilidade reconhecida é por ser forrageira, com a vantagem de ser sempre verde, apesar de ser uma espécie xerófila (CARVALHO, 2007). Não existem matas de juazeiro. Essa espécie apresenta-se isolada dentro e fora das matas xerófilas, espalhando-se nos pés de serra, nas capoeiras degradadas e ao longo das divisórias feitas de madeira, de preferência protegida do alcance dos rebanhos de gado bovino (TIGRE, 1970). Sua madeira é moderadamente pesada, resistente, de boa durabilidade, mesmo quando exposta ao tempo. É empregada localmente para construções rurais, moirões, marcenaria e para lenha e carvão (LORENZI, 1998).

2.5.2 *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. (Algarobeira)

A algarobeira é uma espécie da família Leguminosae, sendo que a espécie (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC.), plantada no Brasil, é originária da costa do Peru, na região de Piura. O gênero *Prosopis* compreende 45 espécies distribuídas naturalmente pelas regiões áridas e semiáridas do sudeste da Ásia, África e nas Américas, desde o sudoeste dos Estados Unidos até a Patagônia, segundo Bucart (1940 e 1976); Schinini (1981), citados por Pereira e Lima (2002).

Segundo Silva (1988), foi introduzida no Brasil na década de 40, mais necessariamente no Estado do Pernambuco e adaptando-se perfeitamente às condições

edáficas e climáticas do semiárido brasileiro, oferecendo potencialidades econômicas que poderiam contribuir, de modo significativo, para atenuar os efeitos da seca ocorrentes na região. De acordo com Gomes (1999), citado por Gomes e Tolêdo Filho (1999), sua utilização ultrapassou o objetivo inicial de ser fonte de alimentação animal, passando suas vagens a fornecer matéria prima básica para a produção de bolos, biscoitos, geleias, licores, pães, papas, melaços, café, etc., além de ser uma fonte de produção de madeira para fabricação de dormentes, postes, mourões, estacas, lenha, carvão, dentre outros.

Mendes (1989), citado por Oliveira *et al.* (1999), descreve esta espécie como uma planta xerófila, arbórea, de copa frondosa e arredondada, ou achatada, da casca lisa ou fissurada de ramos acinzentados ou negros, de caule curto, e que apresenta de 3 a 8 m de altura e até 1m de diâmetro. Cresce rapidamente, desenvolvendo-se em solos pobres pedregosos e secos (PIRES; FERREIRA, 1982).

Silva (1980) descreve a algarobeira como sendo uma espécie altamente promissora, tanto para fins madeireiros como forrageiros, dada sua resistência à seca e boa adaptação às condições adversas. Os parâmetros médios de produtividade da algarobeira, referentes à produção de lenha são de 100 a 120 m³/ha, após o 5º ano (NOBRE, 1984).

Por causa das suas qualidades excepcionais, teve sua difusão em meados dos anos 50, nas várias regiões do Nordeste, com tendência de ser cultivada em escala apreciável em outras grandes regiões do Brasil (SOUZA; TENORIO, 1982). Sua disseminação por todo o Nordeste teve ampla divulgação em programas do governo, chegando a cerca de 90 mil hectares de plantio, utilizando apenas incentivos fiscais, em fins da década de 70 (REIS, 1985).

2.6 Parâmetros de Qualidade da Madeira

São muitas as espécies de Caatinga utilizadas para fins energéticos (carvão e lenha), porém não são realizados estudos, *a priori*, necessários para avaliar as características físico-químicas de cada espécie antes de serem destinadas para algum fim tecnológico, obtendo-se um melhor desempenho destas madeiras.

Para a produção de carvão vegetal, é importante que a madeira apresente elevada densidade (OLIVEIRA, 2006). A combustibilidade da madeira, segundo Burger e Richter (1991), é determinada primeiramente pela massa específica e pelo teor de umidade. Madeiras de alta massa específica queimam melhor, uma vez que apresentam uma maior quantidade de matéria lenhosa por volume, processo extremamente influenciado pela presença de materiais

extrativos inflamáveis, como óleos, resinas, ceras, etc., que aumentam consideravelmente, afetando igualmente a forma como queima a madeira.

Outros fatores que também influem na qualidade da madeira para fins energéticos apresentam relação com a composição química elementar da madeira. Pode-se afirmar que não há diferenças consideráveis, levando-se em conta as madeiras de diversas espécies. Os principais elementos existentes são o Carbono (49 - 50 %), o Hidrogênio (6 %), o Oxigênio (44 - 45 %) e o Nitrogênio (0,1 - 1%), este em pequenas quantidades. Além destes elementos encontram-se pequenas quantidades de Cálcio, Potássio, Magnésio e outros, constituindo-se as substâncias minerais existentes na madeira (KLOCK *et al.*, 2005).

Portanto, sob o aspecto de carbonização, algumas madeiras que apresentam substâncias especiais não devem ser empregadas como fonte de energia calorífica para o cozimento ou defumação de produtos alimentícios, uma vez que o cheiro exalado pode alterar o seu sabor e, em outros casos, entretanto, podem conferir um gosto e aroma peculiares e desejados ao produto (BURGER; RICHTER, 1991).

2.6.1 Densidade da Madeira

Segundo Cardoso *et al.* (2002), a densidade básica da madeira é um parâmetro de máxima significância dentre as propriedades físicas da madeira. Trata-se da relação entre a massa seca e o volume saturado da madeira. Consiste em uma característica bastante complexa, resultante da combinação de diversos fatores, tais como anatômicos, físicos e químicos. Em algumas espécies, a densidade tende a ser decrescente da base para o topo, em outras, tende a ser crescente a partir do nível do DAP, podendo, ainda, em outras espécies, apresentar valores alternados, com tendência decrescente ou crescente (BARRICHELO *et al.*, 1983)

De acordo com Kollmann e Côté (1968), citados por Santos (2009), as variações da densidade se devem às diferenças na estrutura anatômica da madeira e na quantidade de substâncias extrativas presentes por unidade de volume, em função, principalmente, da idade da árvore, genótipo, índice de sítio, clima, localização geográfica e tratos silviculturais.

Segundo Panshin e De Zeeuw (1984), a densidade da madeira pode variar entre gêneros, espécies do mesmo gênero, árvores da mesma espécie e, até mesmo, entre diferentes partes da mesma árvore. Assim, a densidade, quando analisada de forma isolada, não representa um bom e seguro parâmetro para uma definição de usos.

Oliveira (2003) relata que, para a produção de carvão vegetal, a densidade deve ser analisada sob vários aspectos, podendo várias considerações serem feitas em torno dela. Segundo Oliveira *et al.* (1982); Brito (1993), citados por Oliveira (2003), a densidade da madeira afeta a capacidade de produção de carvoaria, porque, para um determinado volume de forno, a utilização de madeira mais densa resulta em maior produção em massa. Além disto, madeira mais densa produz carvão com densidade mais elevada, com vantagens para alguns de seus usos.

A escolha de espécies destinadas à produção de carvão pode ser norteadada pela existência de correlação entre a densidade da madeira e a densidade do carvão. Pesquisas sobre o melhoramento das características do carvão fundamentam-se, principalmente, pela densidade básica encontrada na madeira (BRITO; BARICHELO, 1980).

2.6.2 Constituição Química da Madeira

A celulose é o principal componente da parede celular dos vegetais e o mais abundante composto orgânico da natureza. Nos vegetais superiores, aparece, principalmente, sob a forma de fibras, ao lado de outros componentes fundamentais e acidentais. As hemiceluloses, juntamente com a celulose, formam a fração da madeira denominada holocelulose. São os principais polissacarídeos não-celulósicos da madeira, estando sempre associados à lignina e à celulose. Ocorrem ao longo de toda a parede celular, desde a lamela média até a camada S3 da parede secundária. Entretanto, o seu teor é maior nas camadas S1 e S3 e menor em S2 (TRUGILHO *et al.*, 2009).

A lignina é um polímero natural proveniente da condensação desidrogenativa de três álcoois precursores: trans-coníferos, trans-sinapílico e p-cumarílico, que conferem rigidez à parede celular e funcionam como um composto de ligação entre a celulose e a hemicelulose, além de contribuírem para a formação de uma estrutura resistente a impacto, compressão e dobra (MORAIS *et al.*, 2005). De acordo com Trugilho *et al.* (2009), a lignina apresenta natureza aromática e tridimensional, com alto peso molecular, que tem como base estrutural unidades de fenil-propano ligadas a grupos metoxílicos e hidroxílicos, dependendo do tipo de madeira. Segundo Pettersen (1984), a lignina se apresenta como o componente mais hidrofóbico da madeira, atuando como material cimentante ou adesivo entre as fibras, além de conferir dureza e rigidez à parede celular.

Os extrativos são componentes acidentais que não fazem parte da estrutura química da parede celular. Incluem um elevado número de compostos, sendo que a maioria são solúveis

em água quente, álcool, benzeno e outros solventes orgânicos neutros (BARRICHELO; BRITO, 1985). Segundo Trugilho *et al.* (2009), apresentam baixo ou médio peso molecular, exceto alguns, como, por exemplo, os taninos.

Os teores de cinzas são caracterizados como um resíduo mineral proveniente dos componentes minerais do lenho e da casca (carbonatos, fosfatos, silicatos e sulfatos de cálcio, magnésio ou potássio), são materiais inorgânicos, que variam entre e dentro das espécies (VITAL *et al.*, 1986).

A presença de alguns desses componentes influencia na resistência ao ataque de fungos e insetos, na coloração, no odor, na permeabilidade, na densidade e na dureza da madeira. Podem constituir até 8% do peso seco de madeiras normais de espécies de clima temperado, podendo chegar a até 20% em madeiras normais de espécies de clima tropical (PETTERSEN, 1984).

2.6.3 Poder Calorífico da Madeira

De acordo com Jara (1989); Briane e Doat (1985), citados por Quirino (2004), o poder calorífico é a quantidade de energia na forma de calor liberada durante a combustão de uma unidade de massa da madeira. O poder calorífico superior da madeira, além da umidade, está muito influenciado pela constituição química da madeira, principalmente a lignina e extrativos (resinas, óleos-resinas, matérias graxas, óleos, etc.), podendo ser expresso em kcal/kg para combustíveis sólidos e líquidos e, em kcal/m³, para combustíveis gasosos (OLIVEIRA, 2003).

Portanto, quando a madeira é utilizada para geração de energia, a umidade influencia negativamente na quantidade de calor liberado durante a queima, diminuindo a eficiência energética. Durante a queima da madeira, parte da energia liberada é utilizada para evaporar a água relativa ao teor de umidade, diminuindo o poder calorífico superior (LIMA *et al.*, 2008).

2.7 Carbonização da Madeira

O processo de carbonização tem sido alvo de inúmeras pesquisas para o conhecimento dos mecanismos e processos que levam à transformação da madeira em carvão (OLIVEIRA, 2003). Segundo Oliveira *et al.* (1982), quando se coloca uma peça de madeira sob a ação do calor, ocorre a decomposição de seus principais componentes, resultando na formação de carvão e de diversos outros compostos. Para tanto, deve-se realizar este processo em ambiente

controlado, ou seja, livre da interferência do ar, o teor de umidade da madeira, a taxa de aquecimento, a temperatura final da carbonização e de outros agentes que venham interferir nos resultados.

De acordo com o Forest Products Laboratory (1953), citado por Bastos Filho (1988), o processo de carbonização da madeira, divide-se nas seguintes fases:

- 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. As fases da pirólise da madeira podem ser identificadas pela sua perda de massa, que ocorre por influência das reações químicas verificadas na elevação da temperatura (BRITO *et al.*, 1993).

A quantidade de ar deve ser controlada a ponto de não permitir a entrada de oxigênio para o interior do forno, procedimento que evitará a queima da lenha enfiada (FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS/CETEC, 1982).

Segundo Ladeira (1992), a umidade da madeira é um fator importante e deve ser muito bem observado no processo de carbonização da madeira (podendo produzir um carvão friável e quebradiço). O processo de secagem consome muita energia, que é fornecida por parte da queima da lenha dentro do forno, ou da câmara de combustão externa, a depender do modelo do forno. Quanto mais úmida, a madeira maior será a energia necessária para secá-la. A presença de água na madeira representa redução do rendimento da carbonização, em razão da lenha que deve ser queimada para gerar energia para a secagem.

A taxa de aquecimento pode ser definida como a velocidade a que a temperatura se eleva num dado intervalo de tempo, enquanto a madeira é carbonizada. Quando se processa a carbonização da madeira, a taxa de aquecimento ou velocidade de aquecimento do processo de carbonização tem grande influência nos rendimentos gravimétricos dos produtos e também no teor de carbono fixo do carvão vegetal (FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS/CETEC, 1982).

Oliveira *et al.* (1982) relata que a temperatura de carbonização afeta de maneira diferenciada cada elemento químico da madeira. Até 200 °C, ocorre a secagem e o início da

decomposição da celulose e das hemiceluloses, quando a fase sólida perde cerca de 20% de seu massa. De 200 a 300 °C, as reações de decomposição se intensificam, e a matriz sólida reduz sua massa a cerca de 40% do valor inicial. Acima de 300 °C, a perda de massa é bem menos intensa, restando, a 500 °C, em torno de 30% do peso inicial sob a forma de carvão. Tanto gases, vapores e matriz sólida são combustíveis e é com a temperatura final da carbonização que ocorre a variação do teor de carbono fixo do carvão vegetal.

O comportamento da madeira, ao ser carbonizada, pode ser explicado pelo comportamento de seus principais componentes. Cada um deles participa de maneira diferente, gerando diferentes produtos, devido à natureza de sua composição química. A degradação da celulose se processa rapidamente em um curto intervalo de temperatura, cerca de 50 °C, provocando drásticas mudanças no seu comportamento, com a perda de cerca de 77% da sua massa (OLIVEIRA, 2003).

O processo da carbonização pode ser explicado e compreendido a partir das transformações sofridas por estes três principais componentes da madeira: a celulose, as hemiceluloses e a lignina.

A celulose é o principal constituinte da madeira, representando de 40 a 45% de sua composição (SJÖSTRÖM, 1993). No carvão, a celulose se faz presente em um percentual considerável até 300 °C, com uma contribuição em torno de 34,2%. Em níveis mais elevados de temperatura, sua decomposição é mais acelerada, a ponto de exibir uma discreta participação do carvão ao final da carbonização e uma expressiva produção de gases (OLIVEIRA *et al.*, 1982).

As hemiceluloses começam a perder massa em temperaturas próximas a 225 °C, sendo o componente menos estável da madeira, uma vez que sua degradação é quase completa na temperatura de 325 °C. A maior parte do líquido pirolenhoso produzido na carbonização advém de sua decomposição quando alcançadas temperaturas superiores a 300 °C, e, ao final do processo, sua participação na constituição do carvão é por volta dos 10% (SARKANEN; LUDWIG, 1971; OLIVEIRA *et al.*, 1982).

A lignina é quem envolve as hemiceluloses, atuando como um cimento para dar rigidez ao conjunto (MORAIS, 2005). Segundo Pettersen (1984), a lignina é um dos três polímeros básicos que constituem a madeira. De acordo com Oliveira *et al.* (1982), a lignina é o componente da madeira mais expressivo no carvão, com 55% do seu rendimento em carvão vegetal na faixa de temperatura entre 450 e 550 °C, além de estar intimamente ligado ao rendimento gravimétrico. É o componente da madeira mais difícil de se isolar, e sua

decomposição não está bem definida, fato ocasionado por apresentar uma estrutura relativamente complexa, com rupturas e formação de inúmeros compostos.

De acordo com Oliveira *et al.* (1982), a lignina é um dos componentes da madeira de fundamental importância na produção de carvão vegetal, uma vez que é o composto que mais contribui para produção do resíduo carbonoso e do alcatrão insolúvel. A lignina, a 400 °C, proporciona rendimentos de aproximadamente 55% de resíduo carbonoso. Esta faixa de temperatura é compatível com a temperatura de operação dos fornos de alvenaria, o que demonstra a importância da lignina na produção de carvão vegetal. É o componente da madeira de mais difícil isolamento e o mais importante quando se objetiva a produção de carvão vegetal, pois o rendimento gravimétrico do processo está diretamente relacionado com o conteúdo de lignina na madeira. Esse componente começa a degradar-se em temperaturas mais baixas, a partir de 150 °C, ao contrário da celulose e das hemiceluloses, cuja degradação é mais lenta. A lignina continua perdendo massa em temperaturas superiores a 500 °C, dando como resultado o carvão. Tal perda é bem menor que a ocorrida com a celulose e as hemiceluloses (SARKANEN; LUDWIG, 1971).

2.8 Parâmetros de Qualidade do Carvão

De acordo com Oliveira *et al.* (2010), a qualidade do carvão pode ser determinada por suas propriedades físicas e químicas, tais como: densidade, poder calorífico superior, resistência mecânica ou friabilidade, umidade e pela sua composição química (carbono fixo, cinzas e materiais voláteis). Portanto, esses parâmetros de avaliação são variáveis entre as espécies.

Para a siderurgia, o carvão vegetal deve apresentar as seguintes “qualidades” ser inodoro, ser duro, apresentar ruído metálico ao ser quebrado, ter uma superfície de ruptura curva, lisa e sedosa, mostrar a estrutura da madeira, queimar sem desprender fumaça, fagulha ou cheiro, ter cor negra e brilhante (BRITO, 1993). Oliveira (2003) relata que o carvão vegetal é constituído quimicamente de três frações distintas: carbono fixo, matérias voláteis e cinzas.

Tratando-se de composição química, lida-se talvez com uma das características das mais valorizadas em nível de qualidade de carvão vegetal. Isto é particularmente verdadeiro em se tratando da chamada análise imediata, que dá indicações, principalmente, dos teores de materiais voláteis e de carbono fixo existentes no produto (BRITO, 1993). O carbono fixo é

definido como a quantidade de carbono encontrada no carvão vegetal (OLIVEIRA *et al.*, 1982).

Os teores de matérias voláteis, de acordo com Oliveira (2003), podem ser definidos como as substâncias desprendidas da madeira como gases durante a carbonização e/ou queima do carvão. As mesmas mantêm níveis de influência na estrutura do carvão, em virtude da porosidade, diâmetro médio dos poros, densidade e outras características físicas do carvão que podem ser alteradas drasticamente pela eliminação dos voláteis.

Brito (1993) afirma que a mudança das características físicas, principalmente da granulometria, poderá ser outra implicação do uso de carvão vegetal com elevada umidade. A eliminação de água do seu interior, em geral, implica a fissuração e quebra das peças, o que leva à redução do tamanho médio e à geração de "finos".

O teor de cinzas é a relação entre a quantidade de cinzas e a quantidade de carvão que lhe deu origem, correlacionando-se com a constituição química da madeira. Esta quantidade é maior no carvão vegetal de origem nativa devido à variabilidade de espécies (COELHO JUNIOR *et al.*, 2006).

As melhores propriedades químicas desejáveis do carvão, como maiores teores de carbono fixo e menores teores em substâncias voláteis e cinzas, estão associadas à madeira com altos teores de lignina, para determinadas condições de carbonização (temperatura final e taxa de aquecimento) (OLIVEIRA, 2003).

A taxa de aquecimento ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$), que é o quanto se aumenta a temperatura em um intervalo de tempo, expressa este binômio tempo-temperatura. Maiores taxas de aquecimento acarretam diminuição no rendimento em carvão, nos teores de materiais voláteis e nos valores de densidade aparente. Enquanto que, para teores de carbono fixo e cinzas, maiores taxas de aquecimento implicam aumento desses valores. A razão de tal comportamento parece estar relacionada com a eliminação rápida dos gases formados no leito de carbonização quando a velocidade é maior (VELLA *et al.*, 1989, citado por OLIVEIRA *et al.*, 2010).

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização e Localização da Área de Coleta das Espécies

A microrregião de Patos está inserida 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 do 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 uma população de 123.168 habitantes, representando 3,4% da população paraibana (3.641.395 habitantes)(IBGE, 2007).

A área em questão apresenta clima caracterizado por distribuição irregular de chuvas, com médias anuais de precipitação variando entre 500 a 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, citado por ALMEIDA, 2010).

3.2 Seleção, Coleta e Identificação das Espécies

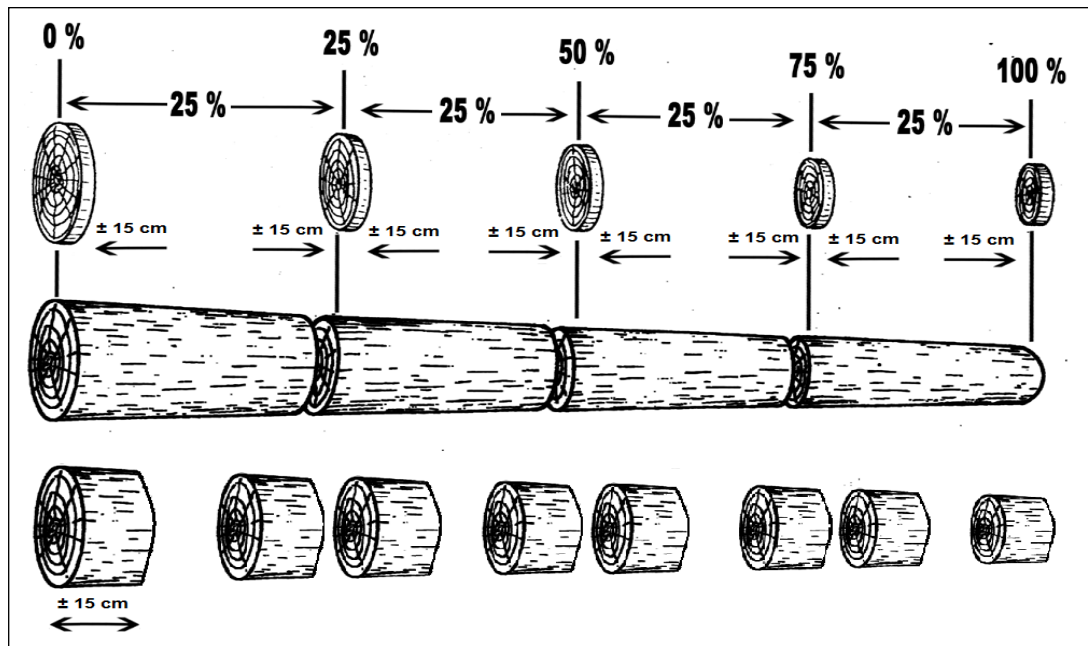
O material foi coletado em outubro de 2010 no Núcleo de Pesquisa para o Desenvolvimento do Semiárido (NUPEÁRIDO), localizado a 07°04'48"S e 37°16'20"W, estando a uma altitude de 268 m, pertencente à UFCG/CSTR – *Campus* de Patos – PB.

Foram selecionadas 5 árvores de cada espécie, de forma aleatória, as quais apresentaram boa fitossanidade. Em seguida, foram coletadas, identificadas e transportadas para o Laboratório de Energia do Setor de Tecnologia de Produtos Florestais da UFCG/CSTR/UAEF.

3.3 Amostragem das Espécies Selecionadas

De cada árvore, foram retirados 05 discos pequenos (5 cm de espessura) a 0 (base), 25, 50, 75 e 100% da altura comercial do tronco (até 5 cm de diâmetro). Em seguida, foram retirados discos grandes (15 cm de espessura), antes e após cada disco pequeno, como descritos por Vital (1984), sendo realizadas modificações para se obter uma melhor aplicabilidade com as espécies da região (Figura 1).

Figura 1 – Procedimento de corte da madeira para a retirada dos discos



Fonte - Vital (1984); Modificado por Fonsêca (2011)

Foram feitas medidas de diâmetro com casca e sem casca nessas posições, bem como a medida da altura da árvore. Os discos pequenos (amostras de 5 cm de espessura) foram devidamente identificados e subdivididos em quatro partes em forma de cunha, passando pela medula (Figura 2), sendo a primeira e a terceira parte destinadas à determinação da densidade básica da madeira e as demais identificadas e armazenadas para estudos posteriores.

Figura 2 – Fracionamento de um disco de madeira para determinação da densidade



Fonte - Fonsêca (2011)

3.4 Análises da Madeira

3.4.1 Parâmetros Dendrométricos

Os parâmetros dendrométricos foram obtidos através de uma avaliação das características de crescimento com medição do diâmetro à altura do peito (DAP), da altura total e do volume com casca e sem casca, sendo que o volume individual de cada árvore, com casca e sem casca, foi obtido por meio da aplicação sucessiva da fórmula de Smalian.

3.4.2 Determinação da Densidade Básica

A densidade básica foi determinada de acordo com o método de imersão em água (balança hidrostática), descrito por Vital (1984), em que, para cada árvore, utilizou-se a média ponderada, tornando-se o volume entre as seções, de onde foram retirados os discos, como fator de ponderação.

3.4.3 Análise Química

Após a secagem ao ar, as amostras destinadas às análises químicas foram transformadas em serragem em moinho tipo Wiley, conforme a norma da Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI - T 257 om-92, 1992). As análises foram efetuadas na fração de serragem, classificadas em peneiras de 40/60 mesh (American Society for Testing and Materials (ASTM, 1977) e condicionadas a uma umidade relativa de $65 \pm 2\%$ e temperatura de 20 °C. Em seguida, foram armazenadas em frascos de vidro. A determinação do teor absolutamente seco foi realizada de acordo com a norma TAPPI 264 om-88 (1992).

As análises de química da madeira foram realizadas em duplicata para cada árvore, sendo realizadas determinações quantitativas de extrativos totais, de lignina, de holocelulose (obtida por diferença) e teor de cinzas.

3.4.3.1 Extrativos Totais

Realizou-se através de uma sequência de extração, que averiguou a solubilidade da madeira em álcool/tolueno, álcool e água quente, efetuada segundo a norma TAPPI 264 om-88 (1992), em extratores tipo Soxhlet, com a substituição do benzeno por tolueno.

3.4.3.2 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.

3.4.3.3 Teor de Cinzas

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

3.4.4 Poder Calorífico

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

3.4.5 Carbonização em Escala de Laboratório

Para a realização da carbonização, os discos maiores (15 cm de espessura) foram transformados em cavacos e homogeneizados (por árvore) e secos ao ar livre. Em seguida, foi separada uma quantidade de cavacos e colocados para secar em estufa à temperatura de 105 ± 3 °C, durante 24 horas.

As carbonizações em escala de laboratório têm finalidade de avaliar a quantitativamente e qualitativamente o carvão vegetal produzido por cada espécie. Para este processos utilizou-se o forno elétrico (mufla) acoplado a um condensador (Figura 3), adaptado para essa operação, tendo a elevação da temperatura programada com diferentes marchas de aquecimento (Tabela 2).

Figura 3 – Forno elétrico (mufla) utilizado nas carbonizações, acoplado a um condensador



Fonte – Fonsêca (2011)

Tabela 1 – Sequência de operação para carbonização, com diferentes marchas de carbonização

TEMPERATURA	PERÍODO DE PERMANÊNCIA
150 °C	60 min
200 °C	60 min
250 °C	90 min
300 °C	90 min
350 °C	30 min

Fonte – Fonsêca (2011)

Para cada espécie, foram utilizados 400g, aproximadamente, de cavacos. Todo o processo de carbonização ocorreu em um total de 5 horas e 30 minutos, perfazendo um total de 10 carbonizações por espécie. Os vapores/gases foram conduzidos por um condensador, tendo o líquido pirolenhoso recolhido em um kitasato, e os gases liberados para a atmosfera foram queimados evitando acúmulo de fumaça no ambiente.

3.4.5.1 Análises de Rendimento

Posteriormente às carbonizações, foram determinados os rendimentos gravimétricos em carvão e em carbono, e os rendimentos em gases condensáveis e não-condensáveis, relacionando-se a massa do respectivo produto com a massa de resíduo absolutamente seco anidra. O rendimento em gases não-condensáveis foi obtido pela diferença do somatório dos rendimentos gravimétricos em carvão e em gases condensáveis (VITAL, 1984).

3.4.5.1.1 Rendimento Gravimétrico

Realizada a carbonização, determinou-se o rendimento em carvão obtido em relação à massa de madeira seca.

3.4.5.1.2 Rendimento em Produto Condensado

Foi determinado o rendimento em líquido pirolenhoso obtido em relação à massa de madeira seca carbonizada.

3.4.5.2 Análises do Carvão

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

3.4.5.2.1 Análise Química Imediata

A composição química imediata foi feita de acordo com a ABNT NBR 8112 (1983), para a obtenção dos teores 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.

3.4.5.2.2 Densidade do Carvão

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

3.4.5.2.3 Poder Calorífico Superior

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

3.4.6 Análises dos Resultados (Delineamento experimental)

Realizadas através do delineamento inteiramente casualizado, com dois tratamentos (espécies) e cinco repetições (árvores). As espécies foram avaliadas através de análises univariadas (ANOVA e teste de média - teste de Tukey a 5%, análise de regressão, correlação de Pearson). As análises foram realizadas com o auxílio de um pacote estatístico.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Caracterizações dendrométricas, físico-químicas e energéticas das espécies *Ziziphus joazeiro* Martius e *Prosopis juliflora* (Sw.) DC.

Os valores médios das características dendrométricas, tais como diâmetro à altura do peito (DAP) (cm), a altura total (m), volume (m³) e densidade básica média (DBM) (kg/m³) das espécies estudadas, encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores médios das características dendrométricas das espécies *Ziziphus joazeiro* Martius e *Prosopis juliflora* (Sw.) D.C.

Espécie	Árvore	DAP (cm)	Altura Total (m)	Volume (m ³)	DBM (kg/ m ³)
<i>Ziziphus joazeiro</i>	1	16,88	10,00	0,2215	954,41
	2	13,69	9,50	0,1060	986,87
	3	9,55	7,00	0,0516	925,07
	4	13,53	8,00	0,0906	1013,36
	5	13,37	8,00	0,0885	988,23
Médias	-----	13,40	8,5	0,1117	973,59B
<i>Prosopis juliflora</i>	1	11,15	9,00	0,0790	1260,74
	2	13,38	9,50	0,1291	1151,00
	3	12,74	9,00	0,1032	1118,48
	4	13,38	10,00	0,1265	1224,46
	5	9,55	8,00	0,0516	1251,03
Médias	-----	12,04	9,10	0,0961	1201,14^a
QMRes	-----	-----	-----	-----	2578,26
CV(%)	-----	-----	-----	-----	4,67

DAP = diâmetro à altura do peito, DBM = densidade básica média, QMRes = quadrado médio do resíduo, CV = coeficiente de variação. As médias representadas por uma letra maiúscula, em cada coluna, diferem estatisticamente (Tukey: p > 5).

Fonte – Fonsêca (2011)

As árvores da espécie *Prosopis juliflora* apresentaram maiores valores de DAP, altura total e, conseqüentemente, maiores volumes. Os maiores valores de DBM para a espécie *Prosopis juliflora* (1201,14 kg/m³), apesar de próximos, significativamente, superam os valores apresentados pelo *Ziziphus joazeiro* (973,59 kg/m³). Embora os dados tenham mostrado uma disparidade entre as espécies, os valores de DBM encontrados estão inseridos na faixa, e variam de 0,13 a 1,40 g/cm³, para espécies florestais (BURGER e RICHTER,

1991). Dados próximos foram encontrados por Pereira e Lima (2002), quando realizaram a comparação da qualidade da madeira de seis espécies de *Prosopis* para a produção de energia, chegando aos seguintes dados: *P. juliflora* (836,00 kg/ m³), *P. pallida* (854,00 kg/ m³), *P. glandulosa* (755,00 kg/ m³), *P. velutina* (744,00 kg/ m³), *P. chilensis* (700,00 kg/ m³) e *P. alba* (644,00 kg/ m³).

Ainda com relação aos valores obtidos para a espécie *Prosopis juliflora*, comparados a outras espécies já estudadas, também presentes no Bioma Caatinga, observamos que seus valores foram superiores aos 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) e superiores aos encontrados por Almeida (2010), para *Piptadenia stipulacea* (1001,93 kg/m³) e *Amburana cearensis* (631,81 kg/m³) e por Medeiros Neto (2011), para as espécies *Poincianella pyramidalis* (1052,46 kg/m³) e *Handroanthus impetiginosus* (997,75 kg/m³). Vale salientar que as espécies supracitadas foram analisadas seguindo a mesma metodologia e condições de trabalho que as espécies em questão.

No estudo realizado por Trugilho *et al.* (2001), para a espécie *Eucalytus grandis* foram encontrados valores de DBM (555,43 kg/m³) inferiores aos da *Prosopis juliflora*, assim como Andrade (2006), que encontrou valores médios para a espécie *Pinus Taeda* L., variando de 348,2 kg/m³ a 445,3 kg/m³, porém inferiores aos da espécie em estudo.

Através das análises dos dados dos valores médios das análises químicas e do poder calorífico superior das madeiras das espécies em estudo (Tabela 3), observa-se que as médias referentes ao teor de cinzas da madeira e holocelulose do *Ziziphus joazeiro* foram significativamente superiores para a *Prosopis juliflora*. Quanto aos dados referentes aos extrativos totais e lignina total, o *Ziziphus joazeiro* apresentou valores médios inferiores aos da *Prosopis juliflora*.

De acordo com Petroffe e Doat (1978), maiores teores de lignina e extrativos na madeira ocasionam um maior rendimento em carvão vegetal. Entretanto, não houve diferença significativa, estatisticamente a 5% de probabilidade, quanto aos dados referentes ao poder calorífico superior da madeira, embora o poder calorífico superior da *Prosopis juliflora* seja superior ao do *Ziziphus joazeiro*.

Tabela 3 – Valores médios das análises químicas e poder calorífico das madeiras das espécies *Ziziphus joazeiro* Martius e *Prosopis juliflora* (Sw.) DC.

Espécie	Árvore	CIZM (%)	EXT TOT (%)	LIG TOT (%)	HOL (%)	PCSM (Kcal/kg)
<i>Ziziphus joazeiro</i>	1	3,96	24,25	20,06	51,73	4.056
	2	3,61	20,89	17,89	57,62	4.055
	3	1,73	22,80	17,73	57,74	3.201
	4	3,20	21,33	17,80	57,67	4.092
	5	2,65	24,16	18,09	55,10	4.058
Médias	-----	3,03^a	22,69B	18,31B	55,97A	3.892A
<i>Prosopis juliflora</i>	1	0,87	29,59	27,99	41,55	4.392
	2	1,31	29,46	28,73	40,50	4.399
	3	1,13	24,41	28,21	46,25	3.514
	4	0,97	28,94	26,05	44,04	4.412
	5	0,81	33,87	25,97	39,35	4.657
Médias	-----	1,02B	29,25A	27,39A	42,34B	4.275A
QMRes	-----	0,40	6,84	1,32	7,32	171422,50
CV(%)	-----	31,39	10,07	5,02	5,51	10,14

CIZM = cinzas da madeira, EXT TOT = solubilidade em álcool/tolueno, álcool e água, LIG TOT = lignina total, HOL = holocelulose e PCSM = poder calorífico superior da madeira, QMRes = quadrado médio do resíduo, CV = coeficiente de variação. As médias seguidas por uma mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente (Tukey, $p > 0,05$).

Fonte – Fonsêca (2011)

O percentual superior de cinzas na madeira está associado a um menor teor de lignina, fato este observado com as espécies estudadas (OLIVEIRA, 2003). O valor médio de cinzas da espécie *Ziziphus joazeiro* foi superior aos encontrados por Medeiros Neto (2011; 2008) para as espécies *Poincianella pyramidalis* (2,55%), *Handroanthus impetiginosus* (0,87), *Anadenanthera colubrina* (2,5%), *Tabebuia aurea* (0,68%) e *Amburana cearensis* (2,05%), e para as espécies *Croton sonderianus* (0,68%), *Mimosa tenuiflora* (0,56%), *Aspidosperma pyrifolium* (0,56%) e *Eucalytus grandis* (0,45%), a valores encontrados por Oliveira (2003) e superior às espécies *Amburana cearensis* (2,55) e *Piptadenia stipulacea* (1,31), segundo Almeida (2010), os quais utilizaram metodologia semelhantes à deste trabalho.

A espécie *Prosopis juliflora* apresentou valores superiores de teor de extrativos total (29,25%) aos encontrados por Medeiros Neto (2011) e Almeida (2010) para as respectivas espécies: *Poincianella pyramidalis* (11,81%) e *Handroanthus impertiginosus* (6,88%), *Amburana cearensis* (27,04%) e *Piptadenia stipulacea* (13,17%).

Apesar de as espécies em questão não diferirem significativamente entre as médias de poder calorífico da madeira, a *Prosopis juliflora* apresentou valor médio de 4.275 kcal/kg. Valores semelhantes também para a *Prosopis juliflora* foram encontrados por Barbosa (1986) (4.954 kcal/kg) e por Pereira e Lima (2002) (4.935 kcal/kg). Araújo *et al.* (2000) encontraram valores semelhantes para *Azadirachta indica* (4.088 kcal/kg), espécie exótica, assim como a *Prosopis juliflora* introduzida na região semiárida para fins de exploração comercial. Isso pode estar intimamente ligado pelos valores médios apresentados pela espécie, de extrativos totais (29,25%) e de teor de lignina (27,39%). No entanto, *Ziziphus joazeiro* exibiu os valores respectivos de 22,69% e 18,31 e apresentou o valor médio de 3.892 kcal/kg. Este resultado pode ser explicado, segundo Browing (1963), citado por Cunha *et al.* (1989), ao afirmar que o poder calorífico é maior quando se verifica o aumento nos teores de lignina e extrativos, porque esses constituintes químicos da madeira contêm menos oxigênio que os polissacarídeos presentes na holocelulose. Esta correlação também foi observada, para as espécies *Mimosa tenuiflora* e *Aspidosperma pyrifolium*, por Oliveira (2003). De acordo com Petroff e Doat (1978), os constituintes químicos da madeira são ricos em carbono, portanto conferem à madeira maiores teores de lignina e extrativos e ocasionam um maior rendimento em carvão vegetal.

Através da análise dos dados representados na Tabela 4, constata-se que a espécie *Prosopis juliflora* apresentou dados significativamente superiores em relação à espécie *Ziziphus joazeiro*, tais como o teor de rendimento gravimétrico (45,05%), rendimento em líquido condensado (35,17%), matérias voláteis (31,71 %), carbono fixo (66,34%) e poder calorífico superior do carvão (5,650 kcal/kg).

No entanto, a espécie *Ziziphus joazeiro* exibiu um maior teor de cinzas do carvão (6,31%). Este fato pode ser explicado devido a esta espécie apresentar os maiores teores de matérias voláteis (34,80%) e um valor médio considerável de densidade (973,59 kg/ m³). Além de apresentarem os teores de densidade aparente (0,243%) e os de densidade verdadeira (0,989%) semelhantes ou próximos para ambas as espécies.

Tabela 4 – Valores médios dos rendimentos da carbonização e das análises do carvão vegetal das espécies *Ziziphus joazeiro* Martius e *Prosopis juliflora* (Sw.) DC.

Espécie	Árv.	RG (%)	RLC (%)	DA (g/m ³)	DV (g/m ³)	MV (%)	CIZC (%)	CF (%)	PCSC (kcal/kg)
<i>Ziziphus joazeiro</i>	1	39,60	31,29	0,244	0,973	35,834	6,427	55,739	5.363
	2	38,84	32,17	0,240	1,006	35,004	6,188	56,808	5.390
	3	38,08	31,18	0,240	0,984	33,933	6,240	57,827	5.062
	4	38,45	20,70	0,249	0,978	34,619	6,046	57,335	5.386
	5	38,04	30,65	0,243	1,006	34,611	6,626	56,763	4.494
Médias	----	38,60B	29,20B	0,242a	0,989B	34,800A	6,305A	56,895B	5.139^a
<i>Prosopis juliflora</i>	1	46,01	35,60	0,247	1,080	30,955	1,535	67,510	5.690
	2	43,99	35,21	0,241	1,410	31,420	1,892	66,688	5.185
	3	43,70	35,46	0,243	1,533	32,275	1,022	65,703	5.429
	4	47,02	34,79	0,249	1,549	31,696	1,685	66,619	6.503
	5	44,53	34,77	0,246	1,527	32,183	1,652	65,165	5.444
Médias	----	45,05^a	35,17A	0,245a	1,420A	31,706B	1,557B	66,337A	5.650^a
QMRes	----	1.21	11.50	0,0001	0,019	0,39	0,078	0,72	204106,35
CV(%)	----	2.63	10.54	1.46	11.65	1.88	7.12	1.38	8.37

Árv. = árvore, RG = rendimento gravimétrico, RLC = rendimento em líquido condensado, DA = densidade aparente, DV = densidade verdadeira, MV = matérias voláteis, CIZ = cinzas do carvão, CF = carbono fixo e PCSC = poder calorífico superior do carvão, QMRes = quadrado médio do resíduo, CV = coeficiente de variação. As médias seguidas por uma mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente (Tukey, $p > 0,05$).

Fonte – Fonsêca (2011)

O rendimento gravimétrico, para ambas as espécies estudada,s foi superior aos valores encontrados por Almeida (2010) e Medeiros Neto (2011), para as respectivas espécies *Amburana cearensis* (38,39%), *Piptadenia stipulacea* (38,34%), *Poincianella pyramidalis* (43,03%) e *Handoanthus impetiginosus* (37,90%), todas de ocorrência no semiárido paraibano.

Quanto à densidade aparente do carvão vegetal, as mesmas não diferiram significante entre as espécies. Entretanto, quanto à densidade verdadeira, as mesmas diferiram entre si. Porém, quando se trata de densidade básica a *Prosopis juliflora* apresenta valor superior ao do *Ziziphus joazeiro*.

Observou-se uma diminuição no teor de carbono fixo e um aumento no teor de matérias voláteis e, com isso, ocorreu um aumento no rendimento em carvão para a espécie *Prosopis juliflora*. A mesma observação foi relatada por Vale e Nogueira (2001), ao analisarem a qualidade do carvão vegetal de 12 espécies de ocorrência no Cerrado, e por

Medeiros Neto (2011), para a espécie *Poincianella pyramidalis*. Segundo Oliveira *et al.* (2010), o teor de carbono fixo é inversamente proporcional ao teor de matérias voláteis.

Quanto aos valores de teor de cinzas do carvão, para a *Prosopis juliflora* (6,30%), este valor é considerado elevado, e o mesmo foi superior ao da *Mimosa tenuiflora* (1,32%), da *Poincianella pyramidalis* (5,27%), da *Amburana cearensis* (4,32%), encontrados por Oliveira (2003), Medeiros Neto (2011) e Almeida (2010). Segundo Medeiros Neto (2011), esta característica é importante, pois serão necessárias mais limpezas em fornalhas e em outros sistemas onde a madeira é utilizada como fonte de energia, provocando danificação dos equipamentos.

O maior teor de carbono fixo, como já citado anteriormente, foi encontrado para a espécie *Prosopis juliflora* (66,38%), o que, segundo Brito e Barrichelo (1977), pode ser explicado, pelo fato de que os maiores teores de carbono fixo, nos carvões produzidos a partir das madeiras mais lignificadas, são decorrência do fato de a lignina possuir cerca de 65% de carbono elementar (C) em sua composição, contra 45% de C, que ocorre normalmente nos polissacarídeos, celulose e hemicelulose.

A espécie *Prosopis juliflora* apresentou um maior poder calorífico do carvão (5.650 kcal/kg), quando comparado ao valor encontrado para o *Ziziphus joazeiro* (5.139 kcal/kg), não diferindo significativamente entre si. Através destes valores, pode-se considerar que as duas espécies em questão apresentam excelente potencial para a produção de carvão e por consequência, para a geração de energia.

4.2 Correlações entre as características físico-químicas e energéticas das espécies *Ziziphus joazeiro* Martius e *Prosopis juliflora* (Sw) DC.

Alguns autores defendem a existência de correlações entre as características da madeira e a qualidade do produto obtido (carvão). Dos trabalhos existentes, alguns mostram correlações positivas entre as composições químicas da madeira e do carvão (BRITO; BARRICHELO, 1980).

Visando contribuir com informações adicionais sobre as espécies em questão para melhor avaliar o seu potencial para a produção de carvão vegetal, realizou-se, através de análises de correlação, a avaliação dos parâmetros dendrométricos, físico-químicos e energéticos das mesmas, com o intuito de analisar e discutir sobre as possíveis correlações existentes entre as características da madeira e do carvão vegetal produzido pelas espécies *Ziziphus joazeiro* e *Prosopis juliflora*.

4.2.1 Análise das Correlações para a espécie *Ziziphus joazeiro* Martius

A Tabela 5 apresenta as correlações entre as variáveis analisadas para a espécie *Ziziphus joazeiro*. Observa-se a existência de correlações positivas e significativas a 5 % ($p < 0,05$) de probabilidade entre a densidade básica média x rendimento em líquido condensável; holocelulose x carbono fixo; rendimento gravimétrico x materiais voláteis; e cinzas da madeira x materiais voláteis. Correlações negativas e significativas também foram observadas entre os teores de holocelulose x lignina total; rendimento em líquido condensável x densidade aparente; lignina total x carbono fixo; e, por fim, entre carbono fixo x matérias voláteis.

As variáveis físicas, químicas e energéticas da espécie em questão, não foram relatadas no parágrafo anterior, devido ao fato de que as mesmas não apresentaram nenhuma correlação significativa a 5 % de probabilidade.

Tabela 5 – Correlações de Pearson entre variáveis para a espécie *Ziziphus joazeiro* Martius

Var.	DBM	RG	RLC	HOL	Lig. T	Ext. T	CIZM	PCSM	DA	DV	CF	CIZC	MV	PCSC
DBM	1	0,13	0,99*	-0,36	0,28	0,47	-0,08	-0,24	-0,87	0,46	-0,34	0,65	0,16	-0,37
RG		1	0,18	-0,67	0,85	0,11	0,86	0,44	0,09	-0,43	-0,82	-0,02	0,93*	0,65
RLC			1	-0,32	0,28	0,40	-0,05	-0,27	-0,90*	0,42	-0,32	0,56	0,17	-0,27
HOL				1	-0,95*	-0,80	-0,51	-0,36	-0,11	0,33	0,89*	-0,66	-0,79	0,08
Lig. T					1	0,62	0,62	0,32	0,12	-0,49	-0,89*	0,41	0,86	0,23
Ext. T						1	-0,10	-0,06	-0,07	-0,17	-0,48	0,87	0,26	-0,58
CIZM							1	0,82	0,32	-0,13	-0,81	-0,04	0,93*	0,55
PCSM								1	0,52	0,18	-0,65	0,14	0,69	0,12
DA									1	-0,51	-0,01	-0,26	0,19	0,21
DV										1	0,11	0,33	-0,23	-0,52
CF											1	-0,50	-0,96*	-0,13
CIZC												1	0,23	-0,77
MV													1	0,40
PCSC														1

Var.= variável, DBM = densidade básica média, RG = rendimento gravimétrico, RLC = rendimento em líquido condensado, HOL = holocelulose, Lig. T. = lignina total, Ex. T. = solubilidade em álcool/tolueno, álcool e água, CIZM = cinzas da madeira, PCSM = poder calorífico superior da madeira, DA = densidade aparente, DV = densidade verdadeira, CF = carbono fixo, CIZC = cinzas do carvão, MV = materiais voláteis e PCSC = poder calorífico superior do carvão. Em que *, significativo a 5 % ($p < 0,05$) de probabilidade, respectivamente.

Fonte – Fonsêca (2011)

Há, na Tabela 5, uma correlação positiva, porém não significativa estatisticamente, entre a densidade básica da madeira e o rendimento gravimétrico. Observações similares foram encontradas por Medeiros Neto (2010) para a espécie *Handroanthus impertiginosus* (r

= 0,55), o que indica que indivíduos que apresentam uma densidade maior geram maior rendimento em carvão, assim como observado por Oliveira (1988), Vital *et al.* (1994), Vale *et al.* (2010) e Medeiros Neto (2011). Podendo ser este fato explicado pela falta de critério de classificação dos indivíduos coletados, tais como idade e classes diamétricas, e porque as densidades das espécies ensaiadas apresentaram-se muito próximas.

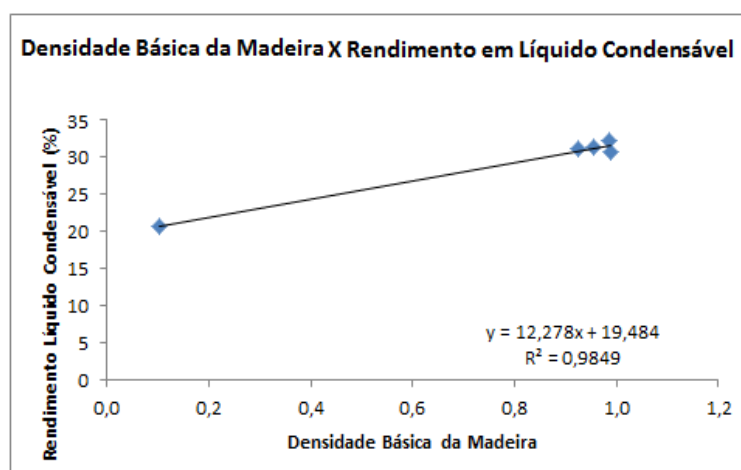
Outra correlação positiva e considerada alta (0,85) foi observada entre as variáveis de rendimento gravimétrico e o teor de lignina total, porém não significativa estatisticamente. Este fato pode ser explicado pelos valores de holocelulose que superaram os de lignina total, o que veio a influenciar na correlação negativa e significativa, apresentada entre a correlação dos teores de lignina total e de carbono fixo.

4.2.1.1 Relações entre as características físico-químicas da espécie *Ziziphus joazeiro* Martius

As análises de regressão entre a densidade básica da madeira e o rendimento em líquido condensável; teor de holocelulose e os teores de carbono fixo e o de lignina total; rendimento gravimétrico e o teor de lignina total; teor de lignina total e o teor de carbono fixo; e o rendimento gravimétrico, teor de cinzas da madeira e do carvão em relação ao teor de matérias voláteis, respectivamente, estão apresentadas nas Figuras 4 a 8.

A Figura 4 apresenta a correlação positiva e significativa entre a densidade básica da madeira e o rendimento em líquido condensável. Observa-se um coeficiente de determinação elevado ($R^2 = 0,985$), que explica o aumento no rendimento em líquido condensável, ocasionado pelo aumento na densidade básica da madeira.

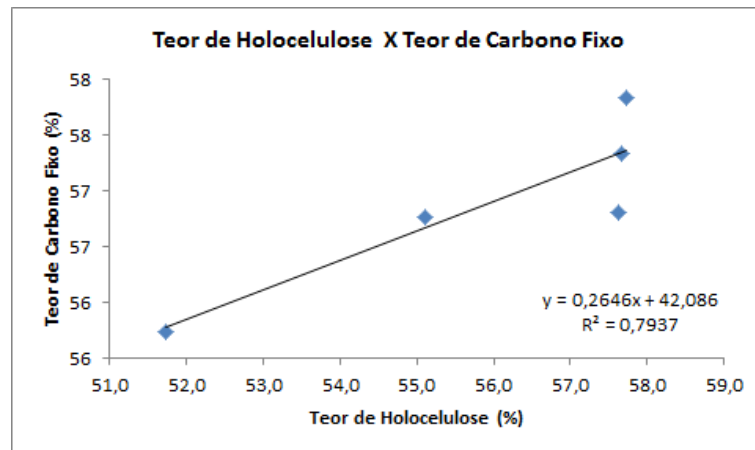
Figura 4 – Correlação entre a densidade básica da madeira (%) e o rendimento em líquido condensável (%) para a espécie *Ziziphus joazeiro* Martius



Fonte – Fonsêca (2011)

Brito e Barrichelo (1980) relatam que existem estudos na literatura mostrando a influência da densidade da madeira sobre várias de suas características. As correlações apresentadas pela Figura 5 revelam uma interação positiva entre os teores de holocelulose e os de carbono fixo. Observa-se o aumento do teor do carbono fixo correlacionado com o aumento da holocelulose.

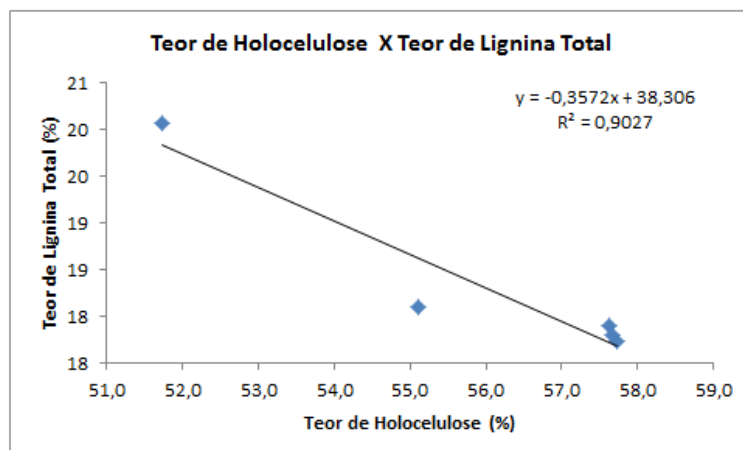
Figura 5 – Correlação entre os teores de holocelulose (%) e o carbono fixo (%) para a espécie *Ziziphus joazeiro* Martius



Fonte – Fonsêca (2011)

Observa-se, na Figura 6, uma correlação negativa e significativa entre e os teores de holocelulose e os de lignina total, ou seja, quando ocorreu o aumento do teor de lignina, ocasionou uma diminuição do teor de holocelulose. Resultados similares foram descritos por Oliveira (1988), Vital *et al.* (1994), Vale *et al.* (2010) e Medeiros Neto (2011).

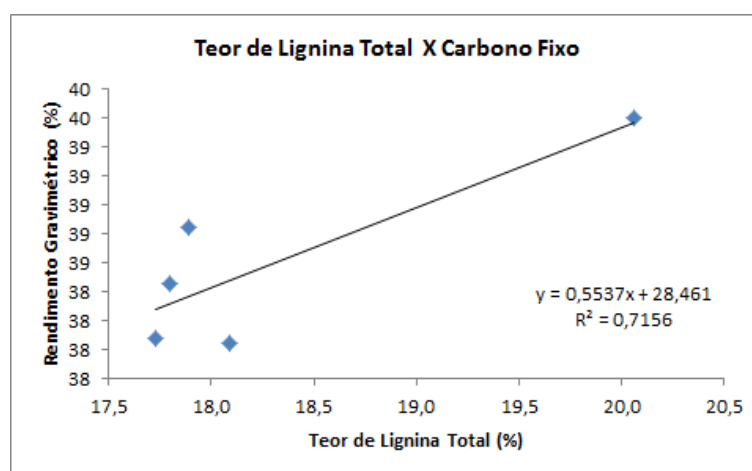
Figura 6 – Correlação entre os teores de holocelulose (%) e o de lignina total (%) para a espécie *Ziziphus joazeiro* Martius



Fonte – Fonsêca (2011)

A Figura 7 apresenta uma correlação negativa existente entre os teores de lignina total e o de carbono fixo ($r = -0,89$), em que observamos a diminuição do teor de carbono fixo, ocasionado pelo aumento do teor de lignina total. Reação adversa foi encontrada por Medeiros Neto (2011), que observou uma correlação positiva, porém não significativa ($r = 0,73$) para a espécie *Poincianella pyramidalis*.

Figura 7 – Correlação entre os teores de lignina total (%) e o de carbono fixo do carvão (%) para a espécie *Ziziphus joazeiro* Martius

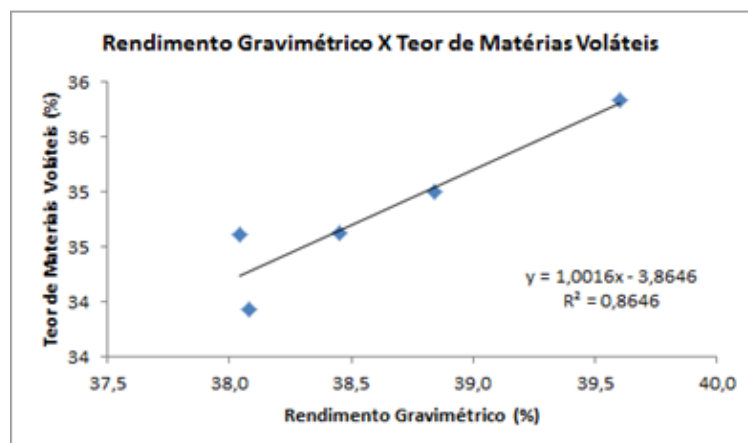


Fonte – Fonsêca (2011)

O *Ziziphus joazeiro* apresentou três correlações significativas (Figura 8) envolvendo o teor de matérias voláteis, sendo duas delas positivas envolvendo as variáveis referentes ao rendimento gravimétrico e ao poder calorífico superior da madeira. Entretanto, apresentou uma correlação negativa com o poder calorífico superior do carvão.

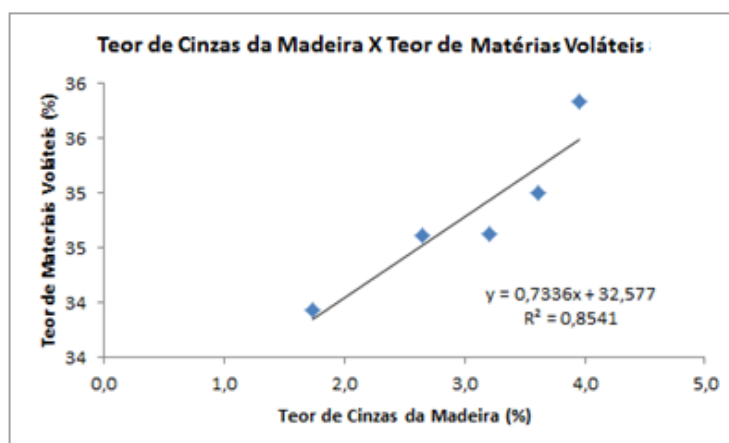
As duas primeiras correlações apresentaram um elevado coeficiente de determinação ($R^2 = 0,865$ e $R^2 = 0,854$), enquanto a última apresentou um valor inferior ($R^2 = 0,054$), o que pode explicar o fato de ela ter apresentado uma correlação negativa.

Figura 8 – A) Correlação entre o rendimento gravimétrico (%) e o teor de matérias voláteis (%), B) Correlação entre os teores de cinzas da madeira (%) e o de matérias voláteis (%), C) Correlação entre os teores de cinzas do carvão (%) e o de matérias voláteis (%).



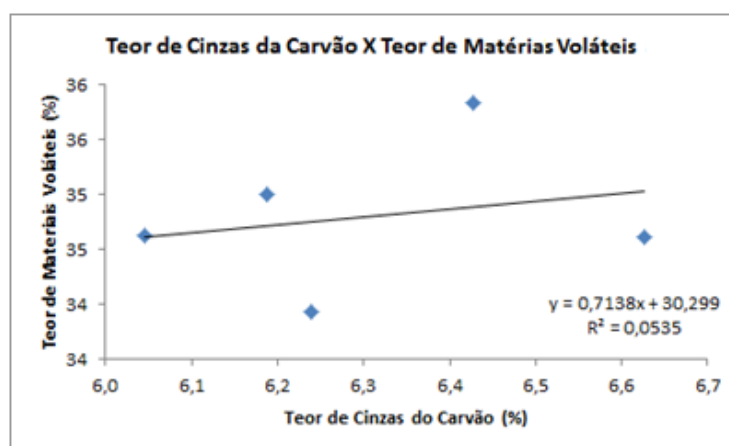
Fonte – Fonsêca (2011)

A



Fonte – Fonsêca (2011)

B



Fonte – Fonsêca (2011)

C

4.2.2 Análise das Correlações para a espécie *Prosopis juliflora* (Sw.) DC.

As correlações entre as variáveis analisadas para a espécie *Prosopis juliflora* estão apresentadas na Tabela 6, em que se observa a existência de correlações positivas e significativas a 5 % ($p < 0,05$) de probabilidade, entre os teores de extrativos totais x poder calorífico da madeira; rendimento gravimétrico x densidade verdadeira; carbono fixo x materiais voláteis; e rendimento gravimétrico x poder calorífico do carvão. Apresenta-se apenas uma correlação negativa, porém significativa entre os teores de holocelulose e extrativos totais.

Sendo assim, as variáveis físicas, químicas e energéticas para a espécie *Prosopis juliflora* não foram destacadas anteriormente, por não apresentarem nenhuma correlação significativa a 5 % de probabilidade (Tabela 6).

Pode-se observar, ainda na Tabela 6, a existência de correlação negativa e significativa entre o teor de holocelulose e o de extrativos totais. Tal como fora observado por Oliveira (1988) para a espécie *Eucalyptus grandis* e por Medeiros Neto (2011) para a espécie *Poincianella pyramidalis*. Ainda de acordo com Medeiros Neto (2011), que encontrou resultados similares entre a correlação do teor de holocelulose e lignina total para a espécie *Handroanthus impertiginosus*. Já valores de correlação positiva e significativa entre estas variáveis, sendo para espécies diferentes e de maneira unificada, foram observadas por Vale *et al.* (2010).

Assim como para a espécie *Ziziphus joazeiro*, observou-se também para a espécie *Prosopis juliflora* uma correlação positiva, porém não significativa entre a densidade básica da madeira e o rendimento gravimétrico.

Tabela 6 – Correlações de Pearson entre variáveis para a espécie *Prosopis juliflora* (Sw.) DC.

Var.	DBM	RG	RLC	HOL	Lig. T	Ext. T	CIZM	PCSM	DA	DV	CF	CIZC	MV	PCSC
DBM	1	0,38	-0,20	-0,82	-0,38	0,87	-0,69	0,86	0,45	-0,52	0,21	0,56	0,21	0,03
RG		1	-0,26	0,05	-0,53	0,19	-0,51	0,43	0,90*	-0,24	0,54	0,31	0,54	0,91*
RLC			1	0,30	0,83	-0,59	0,27	-0,56	-0,37	-0,69	0,50	-0,50	0,50	-0,40
HOL				1	0,16	-0,91*	0,25	-0,86	0,05	0,29	-0,01	-0,76	-0,01	0,36
Lig. T					1	-0,56	0,72	-0,49	-0,76	-0,44	0,41	-0,19	0,41	-0,62
Ext. T						1	-0,54	0,93 *	0,30	-0,08	-0,16	0,70	-0,16	-0,03
CIZM							1	-0,43	-0,80	0,20	0,12	0,05	0,12	-0,40
PCSM								1	0,39	-0,20	0,16	0,88	0,16	0,17
DA									1	-0,10	0,19	0,08	0,19	0,86
DV										1	-0,78	-0,12	-0,78	0,13
CF											1	0,31	1,00*	0,27
CIZC												1	0,31	0,09
MV													1	0,27
PCSC														1

Var.= variável, DBM = densidade básica média, RG = rendimento gravimétrico, RLC = rendimento em líquido condensado, HOL = holocelulose, Lig. T. = lignina total, Ex. T. = solubilidade em álcool/tolueno, álcool e água, CIZM = cinzas da madeira, PCSM = poder calorífico superior da madeira, DA = densidade aparente, DV = densidade verdadeira, CF = carbono fixo, CIZC = cinzas do carvão, MV = materiais voláteis e PCSC = poder calorífico superior do carvão. Em que *, significativo a 5 % ($p < 0,05$) de probabilidade, respectivamente.

Fonte – Fonsêca (2011)

Outras variáveis correlacionadas com a densidade básica da madeira também foram observadas, tais como o poder calorífico da madeira e o do carvão, assim como o teor de carbono fixo e cinzas do carvão. Apenas o teor de cinzas do carvão foi considerado positivo, porém não significativo para o *Ziziphus joazeiro*. Todas essas variáveis são de grande importância para se avaliar a qualidade do produto final, o carvão.

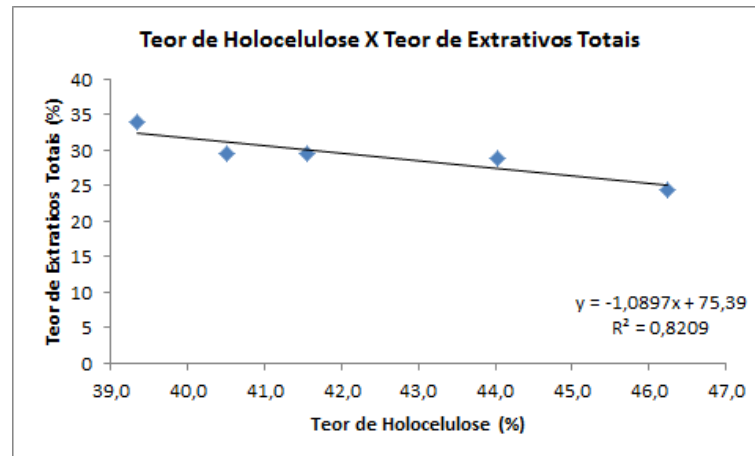
4.2.2.1 Relações entre as características físico-químicas da espécie *Prosopis juliflora* (Sw.) DC.

As análises de regressão entre os teores de holocelulose e o de lignina total; os teores de materiais voláteis com o de cinzas do carvão; o teor de extrativos totais com poder calorífico superior da madeira e do rendimento gravimétrico com o poder calorífico superior do carvão, respectivamente, são apresentadas nas Figuras 9 a 12.

A espécie *Prosopis juliflora* (Figura 9) apresentou um coeficiente de determinação elevado ($R^2 = 0,821$). Observa-se, também, uma correlação negativa entre os teores de holocelulose e o de extrativos totais, indicando o aumento no teor de holocelulose com a

diminuição no teor de extrativos. Resultados similares foram descritos por Medeiros Neto (2011) para espécie *Poincianella pyramidalis*.

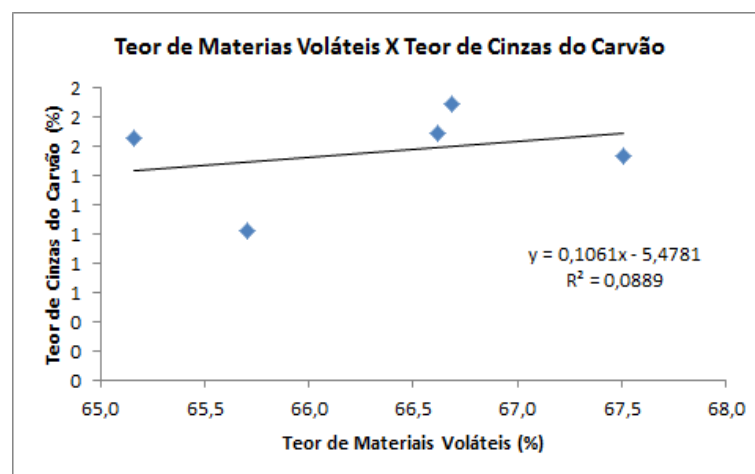
Figura 9 – Correlação entre os teores de holocelulose (%) e os de extrativos totais (%) para a espécie *Prosopis juliflora* (Sw.) DC.



Fonte – Fonsêca (2011)

A correlação existente entre os teores de materiais voláteis e o de cinzas do carvão ($r = 1,00$), para a *Prosopis juliflora*, foi contrária ao que foi encontrada para a espécie *Ziziphus joazeiro* ($r = -0,96$), ou seja, para ambas as espécies, as correlações foram significativas, sendo que para a *Prosopis juliflora*, a correlação foi positiva, já o *Ziziphus joazeiro* apresentou uma correlação negativa (Figura 10).

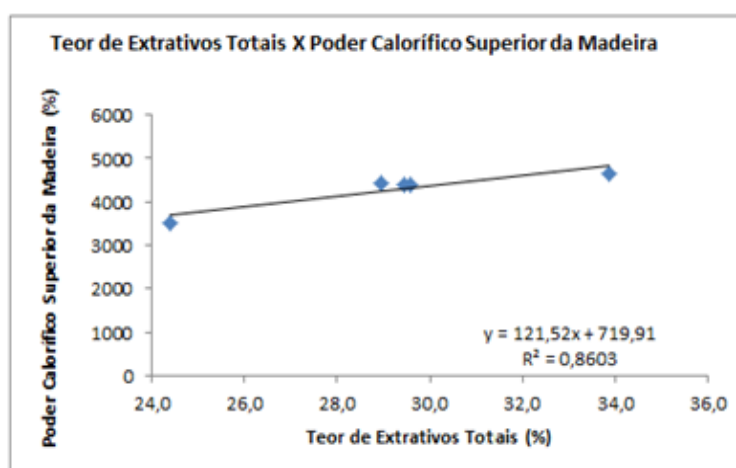
Figura 10 – Correlação entre os teores de materiais voláteis (%) e o de cinzas do carvão (%) para a espécie *Prosopis juliflora* (Sw.) DC.



Fonte – Fonsêca (2011)

A Figura 11 apresenta uma correlação positiva entre o rendimento gravimétrico e o poder calorífico superior da madeira, ou seja, o aumento do rendimento gravimétrico ocasionou um aumento do poder calorífico superior. Podendo este fato estar associado não somente ao alto poder calorífico da lignina, mas também aos teores de extrativos totais.

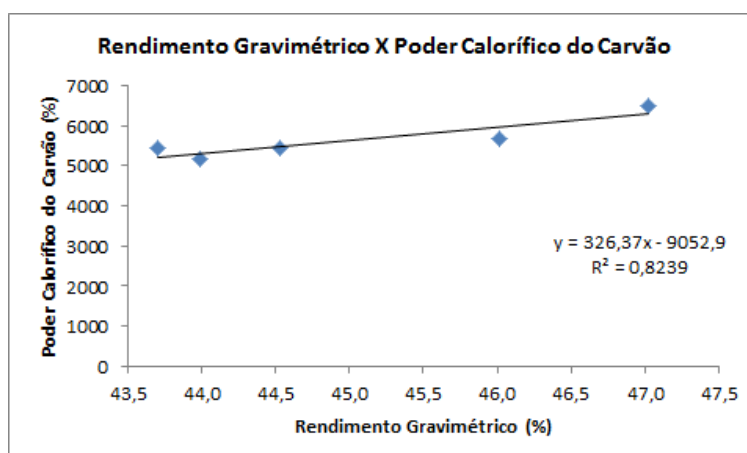
Figura 11 – Correlação entre o teor de extrativos totais (%) e o poder calorífico superior da madeira (%) para a espécie *Prosopis juliflora* (Sw.) DC.



Fonte – Fonsêca (2011)

Observa-se correlação positiva entre as variáveis de rendimento gravimétrico e o poder calorífico superior do carvão (Figura 12), em que o aumento do rendimento gravimétrico ocasionou um aumento do poder calorífico superior do carvão. Observa-se também um elevado coeficiente de determinação ($R^2 = 0,824$).

Figura 12 – Correlação entre o rendimento gravimétrico (%) e o poder calorífico superior do carvão (%) para a espécie *Prosopis juliflora* (Sw.) DC.



Fonte – Fonsêca (2011)

Portanto, as correlações realizadas entre as características dendrométricas, químicas, físicas e energéticas para as espécies *Ziziphus joazeiro* e *Prosopis juliflora* mostraram-se diferentes entre as mesmas. Esse fator pode ser explicado pela heterogeneidade natural de ambas. Sendo a primeira espécie coletada em pontos distintos da propriedade, e por se tratar de espécimes pertencentes a povoamentos naturais, suas idades eram desconhecidas. Já a *Prosopis juliflora*, por pertencer a povoamentos cultivados (plantados), apresentou características semelhantes pelos indivíduos apresentarem a mesma faixa etária.

5 CONCLUSÕES

A *Prosopis juliflora* apresentou maiores valores, referentes aos parâmetros analisados para ambas as espécies, superando os do *Ziziphus joazeiro* e os das demais espécies da caatinga correlacionadas, tais como: *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium*, *Croton sonderianus*, *Piptadenia stipulacea*, *Amburana cearensis* e *Handroanthus impetiginosus*.

A densidade básica média encontrada para as espécies *Ziziphus joazeiro* e *Prosopis juliflora* foram, respectivamente, 973,59 e 1201,14 kg/m³. As mesmas apresentaram diferença significativa a 1% de probabilidade, quando analisadas através do teste F, podendo estar este fato relacionado com o teor relativamente elevado de lignina para *Prosopis juliflora*.

O elevado teor de cinzas do carvão apresentado pela *Prosopis juliflora* provavelmente reduziu o teor de carbono fixo, no entanto houve significância a 5% entre os valores referentes ao poder calorífico superior do carvão entre as espécies.

O maior teor de lignina encontrado na espécie *Prosopis juliflora* refletiu em maiores valores médios, referentes aos valores de carbono fixo e poder calorífico superior do carvão, sendo que o último não diferiu estatisticamente da outra espécie *Ziziphus joazeiro*.

Comparando-se as duas espécies, o *Ziziphus joazeiro* apresentou maior número de correlações significativas, sendo quatro positivas e quatro negativas, enquanto que a *Prosopis juliflora* apresentou quatro correlações positivas e apenas uma negativa, porém significativas estatisticamente.

Para ambas as espécies em estudo, observou-se uma correlação positiva, mas não significativa estatisticamente, entre os parâmetros referentes à densidade básica da madeira e ao rendimento gravimétrico, sendo os mesmos os principais padrões de avaliação da qualidade do carvão.

Através das análises dos dados, avaliou-se que ambas apresentam um grande potencial para a produção de carvão vegetal, considerando-se os seus excelentes níveis de rendimento gravimétrico, carbono fixo e do poder calorífico.

Conclui-se, portanto, que estas espécies apresentam características satisfatórias para atender à demanda do uso de produtos energéticos, tais como: lenha e carvão, tomando como base os resultados obtidos.

REFERÊNCIAS

- ALVES JUNIOR, F. T.; GUIMARÃES, J. L. S.; SANTOS, G. A. Setores consumidores de biomassa florestal para fins energéticos na região do Triângulo CRAJUBAR, Sul do Ceará: O caso do setor de panificação. In: XXIV Encontro Nac. de Eng. de Produção (ENEGETP) - Florianópolis, 03-05 nov. 2004. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SC, Brasil. 2004. 6p.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM. Wood. **Annual Book of ASTM Standards**, Philadelphia, v. 410, p. 439-441, 1994.
- ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA - AMS. **Anuário: consumo de carvão vegetal (1000 mdc) – Brasil**. [17.08.2005a]. (http://www.silviminas.com.br/anuario%202003/2003_1.htm). 2005.
- ALMEIDA, A. M. C. **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**. 2010. 40f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal de Campina Grande, Patos – PB.
- ANDRADE, A.S. **Qualidade da madeira, celulose e papel em *Pinus taeda*: influência da idade e classe de produtividade**. 2006. 94f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- ARAÚJO, L.V.C.; PAULO, M.C.S.; PAES, J.B. Características dendrométricas e densidade básica da jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.) de duas regiões do estado da Paraíba. **R. Caatinga**, v.20, p.89-96, 2007.
- ARAÚJO, L.V.C.; RODRIGUEZ, L.C. E.; PAES, J.B. Características físico-químicas e energéticas da madeira de nim indiano. **Scientia Forestalis**. n. 57, p. 153-159, jun. 2000.
- 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 ABTCP**. Normas Técnicas ABTCP. São Paulo, ABTCP, 1974. n.p.
- BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL - BEN. Edição 2007, ano base 2006.
- BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL - BEN. Edição 2011, ano base 2010.
- BARACUHY, J. G. V. **Manejo Integrado de microbacias hidrográficas no Semi-árido Nordeste. Um estudo de caso**. 2001. 133f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande – PB.
- BARBOSA, J.A. **Avaliação qualitativa e quantitativa do carvão e dos condensados produzidos na carbonização da madeira de algaroba (*Prosopis juliflora* DC.)**. 1986. 52p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.

- BARCELLOS, D. C. **Caracterização do carvão vegetal através do uso de espectroscopia no infravermelho próximo**. 2007. 162f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal). UFV. Viçosa-MG.
- BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O.; MIGLIORINI, A.J. Estudo da variação longitudinal da densidade básica de *Eucalyptus* spp. In: Silvicultura. *Anais... IV Congresso Florestal Brasileiro*. São Paulo/SP, 8(28):726-731, fev, 1983.
- BARRICHELO, L.E.G. & BRITO, J.O. *Química da madeira*. Piracicaba, SP, ESALQ, 1985. 125p.
- BARROS, E.V. A matriz energética mundial e a competitividade das nações: bases de uma nova geopolítica. *ENGEVISTA*. v.9, n.1, p. 47-56, junho 2007.
- 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.
- BRAID, E. C.; Importância Sócio-Econômica dos recursos florestais do Nordeste do Brasil. **In: I Seminário Nordestino sobre a Caatinga**. João Pessoa, PB. 1996.
- BRASIL. Novo Código Florestal Brasileiro. Lei 4.771 de 15 de Setembro de 1965. **Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos**.
- BRITO, J. O. Reflexões sobre a qualidade do carvão vegetal para uso siderúrgico. **Circular técnica, 181 – IPEF**. Piracicaba, 1993. 6 p.
- BRITO, J. O. **O uso energético da madeira**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz” (Esalq/USP), Piracicaba (SP). 2007.
- BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Correlação entre as características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão: 1 densidade e teor de lignina na madeira de eucalipto. **IPEF**, Piracicaba, n. 14, p. 9-20, 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.
- BRITO, J.O.; CINTRA, T.C. Madeira para Energia no Brasil: Realidade, Visão estratégica e Demanda de Ações. **Revista Biomassa e Energia**, v.1, n.2, abril junho, p. 157 – 163, 2004.
- BRONZATTI, F. L.; IAROZINSKI NETO, A. **Matrizes Energéticas no Brasil: Cenário 2010-2030**. In: XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção: A integração de cadeia produtivas com a abordagem da manufatura sustentável. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2008.
- BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154p.

CAATINGA. Disponível em: <HTTP://www.mma.gov.br>, acessado em 20.01.2012.

CAMPELLO, F.B.; GARIGLIO, M.A.; SILVA, J.A.; LEAL, A.M.A. Diagnóstico Florestal da Região Nordeste. In: **Boletim Técnico – IBAMA**. Brasília: DF, 1999. 20p.

CARDOSO, G. V., FRIZZO, S. M. B., ROSA, C. A. B. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus globulus* no sentido longitudinal da árvore. **Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel (ABTCP)**. São Paulo – SP, 2002. 5p.

CARVALHO, P. E. R. Juazeiro (*Ziziphus joazeiro*). In: **Circular Técnico 139 - EMBRAPA**. Colombo – PR. 2007. 8p.

COELHO JUNIOR, L.M.; REZENDE, J.L.P.; SÁFADI, T.; CALEGARIO, N. Análise temporal do preço do carvão vegetal oriundo de floresta nativa e de floresta plantada. **Scientia Forestalis**, n. 70, p. 39-48, 2006.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI. **Matriz Energética: Cenários, Oportunidade e Desafios**. Brasília-DF. 2007. 86p.

CUNHA, M. P. S. C. Estudo químico de 55 espécies lenhosas para geração de energia em caldeiras. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 3., 1989, São Carlos. **Anais...** São Carlos: v.2, p. 93-121. 1989.

FERREIRA, R.A. CUNHA, M.C.L. Aspectos morfológicos de sementes, plântulas e desenvolvimento da muda de craibeira (*Tabebuia caraiba* (Mart.) Bur.) - bignoniaceae e pereiro (*Aspidosperma pyriforme* Mart.) – apocynaceae. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 22, nº 1, p.134-143, 2000.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS/CETEC. **Manual de construção e operação de fornos de carbonização**. Belo Horizonte: Série de publicações técnicas, 1982, p. 55.

FUNDETEC - **Política Ambiental e Gestão dos Recursos Naturais para a Bio-região do Araripe**. Fundetec, Crato. 1999.

GIULIETTI, A. M. **Espécies endêmicas da caatinga**. In: Vegetação e Flora da Caatinga. Recife, 2002, p. 103-162.

GOMES, J. J.; TOLÊDO FILHO, R.D. **Caracterização mínima da algarobeira (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC.)**. Campina Grande: UAEAg/UFCG, 1999. 10p. Dissertação (Mestrado Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Campina Grande.

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.

GRAUER, A.; KAWANO, M. **Boletim Informativo da Bolsa de Reciclagem**. Ano I, nº 5 – Nov/Dez. 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Demográfico: Paraíba**. Rio de Janeiro. 2007.

INSTITUTO NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – INEE (2007). Disponível em <http://www.inee.org.br/biomassa_sobre.asp?Cat=biomassa>. Acesso em 28 de set. de 2011.

JOHNSON, D. V. **Relatório sobre o manejo da Caatinga, semi-árido do Nordeste Brasileiro**. In: PROJETO PNUD/FAO/BRA/85/007. Natal: 1985. (Circular Técnica,3).

KLOCK, U.; MUÑIZ, G. I. B.; HERNANDEZ, J. A.; ANDRADE, A. S. **Química da Madeira**. Manual didático (3ª edição). UFPR. Curitiba. 2005. 86p.

LADEIRA, H.P. Avaliação do potencial econômico das florestas plantadas no Estado de Minas Gerais. In: Seminário Brasileiro sobre Reflorestamento, 1, 1992, Vitória da Conquista. *Anais...* Vitória da Conquista - BA: UESBA, 1992. p. 35-46.

LEPAGE, E.S. **Química da Madeira**. In: LEPAGE, E. S. (Coord.). Manual de preservação de madeira. São Paulo: IPT. v.1, p. 69-97. 1986.

LIMA, E. A.; ABDALA, E. M.; WENZEL, A. A. Influência da Umidade no Poder Calorífico Superior da Madeira. In: **Comunicado Técnico 220**. Colombo, PR - Dezembro, 2008.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. v.2. 2 ed, Nova Odessa, SP: Plantarum, 1998. 352 p.

LORENZI, H & MATOS, F.J.A. **Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas**. Nova Odessa: Plantarum. 2002. 512 p.

MAIA, G. N. **Caatinga: Árvores e arbustos e suas utilidades**. São Paulo: D&Z Computação Gráfica e Editora, 2004. 413 p.

MEDEIROS NETO, P. N.; **Avaliações físico-químicas, anatômicas e energéticas do lenho das espécies *Poincianella pyramidalis* Tul.L.P. Queiroz e *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos de ocorrência no semi árido brasileiro**. 2011. 51f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal de Campina Grande, Patos – PB.

MELO, R. R.; PAES, J. B. LIMA, C. R; FERREIRA, A. G.. Estudo da Variação Radial da Densidade Básica de Sete Madeiras do Semi-árido. FAEF, Garça-SP. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**. ANO IV, n. 07, 8p. 2006.

MMA. **Mapa de cobertura vegetal dos Biomas brasileiros**. Brasília, DF, 2007. 17p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE-MMA. Disponível em:< <http://www.mma.gov.br>>. Acesso em 28 de set. 2010.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. **Plano nacional de agroenergia 2006 – 2011**. Brasília - DF. 120p. 2005.

MORAIS, S. A. L.; NASCIMENTO, E. A.; MELO, D. C. Análise da madeira do *Pinus oocarpa* parte II: Caracterização estrutural da lignina de madeira moída. **Revista Árvore**. ano/vol. 29, numero 003. pp. 471-478. Sociedade de Investigações Florestais. Viçosa. 2005.

NOBRE, F.V. Substituição do farelo de trigo (*Triticum vulgare*) pelo fruto triturado da algarobeira (*Prosopis juliflora* (SW) DC), na alimentação de vacas em lactação. In: Simpósio Brasileiro sobre Algaroba, 1. **Anais...** Natal: RN. EMPARN, 1984, pp. 344-359.

NOBREGA, F. A.; LIMA, J. M. C. Importância sócio econômica dos recursos florestais no Estado da Paraíba. João Pessoa: 1994. 31 p. (**Documento de Campo - FAO, 18**). PNUD/FAO/IBAMA/BRA-87-007.

OLIVEIRA, A. C.; A.C. O. CARNEIRO, A.C. O. ; VITAL, B. R.; ALMEIDA, W. ; PEREIRA, B. L. C.; CARDOSO, M.T. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Scientia Forestalis**. Piracicaba, v. 38, p. 431-439, 2010.

OLIVEIRA, A. K.; DIÓGENES, F. É. P.; COELHO, M. F. B.; MAIA, S. S. S. Alelopátia em extratos de frutos de juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart. – Rhamnaceae). **Acta bot. bras.** 23(4): 1186-1189. 2009.

OLIVEIRA, E.; VITAL, B.R.; PIMENTA, A.S.; LUCIA, M.D.; LADEIRA, A.M.M.; CARNEIRO, A.C.O. 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, E. **Características anatômicas, químicas e térmicas da madeira de três espécies de maior ocorrência no semi-árido nordestino**. 2003. 122f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) UFV, Viçosa –MG.

OLIVEIRA, M. R.; RODRIGUES, J.M.E.; CHIAVONE-FILHO, O.; MEDEIROS, J.T.N. Estudo das Condições de Cultivo da Algaroba e Jurema Preta e Determinação do Poder Calorífico. **Revista Ciência & Tecnologia**. 14p. 93-104. 1999.

OLIVEIRA, E. **Correlações entre parâmetros de qualidade da madeira e do carvão de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex-Maiden)**. 1988. 47f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

OLIVEIRA, J.B. de.; 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.; De ZEEUW, C. **Textbook of technology**. 3.ed. New York: McGraw Hill, 1984. 722 p.

PAREYN, F. G.; GARIGLIO, M. A. **Manejo florestal sustentado da Caatinga: desenvolvimento florestal para o Nordeste do Brasil**. 2. ed. Recife: 1999. 26 p. IBAMA/PNUD/BRA/93-033.

PEREIRA, J.C.D.; LIMA, P.C.F. Comparação da qualidade da madeira de seis espécies de algarobeira para a produção de energia. **Bol. Pesq. Fl.**, Colombo, n. 45, jul/dez. p.99-107. 2002.

PETTERSEN, R. C. The chemical composition of wood. In: ROWELL, R. (Eds.) **The chemistry of solid wood**. Washington: American Chemical Society, 1984. p.54-126.

PETROFF, G.; DOAT, J. Pyrolyse des brois tropicaux, influence de la composition chimique des brois sur les produits de distillation. **Revue Bois et Forêt Tropiques**. Montpellier. N.177. p.51-64. 1978.

PIRES, I. E.; FERREIRA, C. A. Potencialidade do Nordeste do Brasil para reflorestamento. In: **Circular Técnica Nº 06. EMBRAPA**. São Paulo, 1982. 27 p.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. C. S. Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos. **Biomassa & Energia**, v. 1, n. 2, p. 173-182, 2004.

REIS, M. S. A política de reflorestamento para o Nordeste Semi-Árido. In: SEMINÁRIO SOBRE POTENCIALIDADE FLORESTAL DO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO 1, 1984, João Pessoa. **Silvicultura**, São Paulo, n.37, p. 33-37, 1985. Edição especial.

SANTOS, H.C.M.; OLIVEIRA, E.; ALMEIDA, A.M.C. Determinação da densidade básica das madeiras de *Amburana cearensis* (Allem.) A. C. Smith e *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke. **Anais... VI Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Campina Grande**. 6p. 2009.

SANTOS, P.S.N.; NASCIMENTO, M.F.S.; SANTO, F.S.E.; FILHO, J.A.S.. **Guia de campo de árvores da caatinga**. UNIVASF. Editora e Gráfica Franciscana Ltda. (2009). 64p.

SARKANEN, K. V. e LUDWING, C. A. **Lignins Occurrence, Formation, Structure and Reactions**. New York: John Wiley & Sons, 1971. 916 p.

SILVA, A. M. N.; ALBUQUERQUE, J. L.; SILVA, E. S.; SANTOS FILHO, D.; BARBOSA, W. D. A biomassa florestal (lenha) como insumo energético para os artesãos da cidade de Tracunhaém/PE. **Custos e @gronegócioonline**- v. 4, n. 3 - Set/Dez - 2008.

SILVA, H. D. Comportamento de essências florestais nas regiões áridas e semi-áridas do Nordeste: resultados preliminares. **EMBRAPA-DID**, 1980. 25 p.

SILVA, S. Secretaria de Produção Animal. Algarobeira (*Prosopis juliflora* (SW) D. C) no Nordeste do Brasil. Brasília-DF: **Ministério da Agricultura** – SNAP/SPA. 74f, 1989.

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

SOUZA, R. F.; TENÓRIO, Z. Potencialidades da Algaroba no Nordeste. **I Simpósio Brasileiro sobre Algaroba**. Natal-RN – EMPARN. 18f, 1982.

SUPERINTENDÊNCIA DE ADMINISTRAÇÃO DO MEIO AMBIENTE. **Atualização do diagnóstico florestal do Estado da Paraíba**. João Pessoa: SUDEMA, 2004. 268p.

SUZUKI, Natália (Jorn.). A Caatinga é um dos biomas mais ameaçados do Planeta. **Revista Eco-21**, Edição 114, Rio de Janeiro, Maio 2006.

TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI test methods T 264 om-88**: preparation of wood for chemical analysis. Atlanta: Tappi Technology Park, 1992. v.1.

TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI test methods T 257 om- 92: sampling and preparing wood for analysis**. Atlanta: Tappi Technology Park, 1992. v.1.

TOLMASQUIM, M.T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz Energética Brasileira: Uma prospectiva. *Novos Estudos*. 23p. Nov. 2007.

TIGRE, C. B.; Silvicultura para as matas xerófilas. Fortaleza: DNOCS, 1970. 176p. (DNOCS. Publicação, 243.

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

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras-MG, v.2 , n.1. 15p. 2009.

VALE, A.T.; NOGUEIRA, M. Carbonização de madeiras do Cerrado e análise do carvão vegetal. **R. Árvore**, Viçosa, V.25, p.271-276, 2001.

VALE, A. T.; RESENDE, R.; GONÇALVEZ, J. C.; COSTA, A. F. Estimativa do consumo residencial de lenha em uma pequena comunidade rural do Município de São João D'aliança, Go.**Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 159-165. 2003.

VALE, A.T.; DIAS, I.S.; SANTANA, M.A.E. Relações entre propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies de Cerrado. **Ciência Florestal**, v. 20, p. 137-145, 2010.

VITAL, B. R.; ALMEIDA, J.; VALENTE, O.F.; PIRES, I.E. Características de crescimento das árvores e de qualidade da madeira de *Eucalyptus camaldulensis* para a produção de carvão. **IPEF**, n.47, p. 22-28, 1994.

VITAL, B. R.; JESUS, R. M.; VALENTE, O. F. Efeito da constituição química e da densidade da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* na produção de carvão vegetal. **R. Árvore**, v. 10, n. 2, p. 151-160, 1986.

VITAL, B. R. Métodos de determinação da densidade da madeira. In: **Boletim técnico SIF - 01**. Viçosa: MG, 21 p. 1984.