

**JUAN DIEGO MARIN MONTOYA**

**POTENCIAL ENERGÉTICO DE ESPECIES LENHOSAS DA  
CAATINGA PARA USO DE BIOMASSA EM PLANO DE MANEJO FLORESTAL**

**RECIFE**

**Pernambuco –Brasil**

**2017**

**JUAN DIEGO MARIN MONTOYA**

**POTENCIAL ENERGÉTICO DE ESPECIES LENHOSAS DA  
CAATINGA PARA USO DE BIOMASSA EM PLANO DE MANEJO FLORESTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências para a obtenção do título de mestre em Ciências Florestais, Linha de Pesquisa: Biometria e Manejo Florestal.

**Orientador:** Prof. Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira

**Co-orientadores:** Prof. Ph.D. José Antônio Aleixo da Silva

Prof. Dr. Rafael Leite Braz

**RECIFE**  
**Pernambuco – Brasil**  
**Maio – 2017**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE  
Nome da Biblioteca, Recife-PE, Brasil

M798p Montoya, Juan Diego Marin  
Potencial energético de espécies lenhosas da caatinga para uso de biomassa  
em plano de manejo florestal / Juan Diego Marin Montoya. – 2017.  
73 f. : il.

Orientador(a): Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira.  
Coorientadores: José Antônio Aleixo da Silva; Rafael Leite Braz.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco,  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Recife, BR-PE, 2017.  
Inclui referências.

1. Carbono 2. Densidade aparente 3. Floresta tropical seca 4. Poder calorífico  
5. Qualidade energética I. Ferreira, Rinaldo Luiz Caraciolo, orient. II. Silva,  
José Antônio Aleixo da, coorient. III. Braz, Rafael Leite, coorient. IV. Título

CDD 634.9

**JUAN DIEGO MARIN MONTOYA**

**POTENCIAL ENERGÉTICO DE ESPECIES LENHOSAS DA  
CAATINGA PARA USO DE BIOMASSA EM PLANO DE MANEJO FLORESTAL**

**APROVADA em 18/05/2017.**

**Banca Examinadora**

---

Prof. DS. Expedito Baracho Júnior – UFRPE

---

Profa. DS. Isabelle Maria Jacqueline Meunier - UFRPE

**Orientador:**

---

Prof. DS. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira - UFRPE

**RECIFE  
Pernambuco – Brasil  
Maio - 2017**

## **DEDICO**

*Aos meus pais, Rossy Montoya Zuñiga e Juan Marín Rios,  
por o infinito amor, entrega e a exigência de ser melhor  
pessoa, obrigado por sempre ter fé em mim. Amo vocês*

*¿Qué otra cosa es un árbol  
más que libertad?*

*“Porque soy como el árbol  
Talado que retoño...  
Aun tengo la vida.”*

*¿Que outra cousa é um arvore  
alem de libertade?*

*Gustavo Ceratti*

*“Porque sou como a arvore  
cortado que broto...  
Ainda tenho a vida.”*

*Joan Manuel Serrat*

## AGRADECIMENTOS

A vida pelas oportunidades que me tem oferecido.

A Organização dos Estados Americanos (OEA), ao Grupo Coimbra de Universidades Brasileiras, a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro para o desenvolvimento deste mestrado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural de Pernambuco, por ter me dado a oportunidade de cursar o mestrado.

Ao Professor Dr. Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira, por dar autonomia na construção desta dissertação e pela orientação, sugestões, amizade, conhecimento compartilhado e tempo destinado, o melhor presente que qualquer pessoa pode entregar para outro.

A meus Co-orientadores, Prof. PhD. José Antônio Aleixo da Silva e Prof. Dr. Rafael Leite Braz pelas contribuições e pela paciência. Além do esforço para entender meu péssimo português e delirante espanhol.

A Professora Dra. Mércia Virginia Ferreira dos Santos pela colaboração para desenvolver os análises de laboratório.

Ao Programa de Pós-Graduação em Zootecnia pela colaboração para o desenvolvimento dos análises de laboratório.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da UFRPE, pelos ensinamentos e paciência nas horas de aula.

A Gabriela Salami pela inestimável amizade, por ser a melhor professora de português e por toda a ajuda prestada durante minha estadia no Brasil.

A João Tanajura, Alice Souza, Vanessa Sousa pela grande amizade e abrir as portas de suas casas para mim.

A Mayara Dalla Lana e Regis Villanova pela disponibilização dos dados que foram base desta dissertação e por ter tido sempre a melhor disposição para compartilhar o conhecimento e pelas ajudas emprestadas.

Aos colegas do laboratório de Biometria e Manejo Florestal, Célio, Guera, Thyego, Samara, Anderson, Cynthia, Damares e todos que compartilharam meu processo de aprendizagem.

Aos amigos que tive oportunidade de conhecer no Departamento de Ciência Florestal, especialmente a Valdemir, Nathan, Nailson, Lyanne, Tibério, Jordânia, Alciênia, Amanda,

Suellen, Juliana, Joselany, Dario, João Paulo, Nélio, Edson, Wedson, Amélia Arce e todos aqueles que pude esquecer e merecem o reconhecimento.

Aos meus pais Rossy e Juan por fazer de mim uma boa pessoa por meio do exemplo, por me ensinar o que é respeito, disciplina, constância, solidariedade e ser consequente com minhas ações e palavras.

A minha amada irmã Veronica por os cuidados que confiro para mim e o melhor presente que tive em minha vida.... Meu sobrinho Juan Esteban.

A meu tio Epifanio Marín Rios, por me ensinar o caminho das Ciências Florestais.

A todos e cada um dos integrantes da grande família Marín e Montoya, tios, primos, avós pelo colossal carinho e a companhia em todos os momentos.

A todos os meus novos amigos que conheci no Brasil, obrigado por fazer minha estadia muito melhor, por todos os ensinamentos e contribuírem para ser melhor cada dia.

E por fim, a todo o povo do Brasil, pela solidariedade, o carinho, o altruísmo, a alegria e todas as coisas que deram sem esperar contribuição nenhuma. Agradeço!



MARIN, JUAN DIEGO. Potencial energético de espécies lenhosas da Caatinga para uso de biomassa em plano de manejo florestal. 2017. Orientador: Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira. Co-orientadores: José Antônio Aleixo da Silva e Rafael Leite Braz.

## RESUMO

O conhecimento das propriedades físicas e mecânicas da madeira permite determinar a melhor forma de utilizar os produtos explorados nas florestas, além disso, gerar subsídios para que sejam minimizados os impactos ocasionados nas atividades da colheita florestal. Na Caatinga, vegetação típica do nordeste brasileiro, as espécies lenhosas historicamente são utilizadas na produção de energia a partir de sua biomassa, mas sem estudos detalhados quanto a sua qualidade para este fim. Neste trabalho se objetivou caracterizar a madeira proveniente de seis espécies lenhosas nativas da Caatinga quanto às propriedades químicas e seu potencial energético. A área de estudo está localizada no município de Floresta, Pernambuco e as coletas de amostras da madeira foram realizadas com base em classes diamétricas definidas em inventários florestais contínuos executados na área. Cada espécie teve três indivíduos amostrados em cinco classes de circunferência a 1,30 m do solo (CAP) e com amplitude de 6 cm. De cada indivíduo foi coletado um disco, no qual foi determinada a densidade aparente, os teores de carbono, hidrogênio e nitrogênio, os teores de lignina insolúvel e cinzas. Foi realizada análise de variância considerando um arranjo fatorial em delineamento inteiramente casualizado, tomando como fatores as espécies (seis), as classes de circunferência (cinco), com três repetições, e para comparação de média se considerou o teste de Tukey. Foi aplicado o coeficiente de correlação de Pearson, com a finalidade de medir o grau de relação entre as diferentes variáveis. As análises desenvolvidas permitiram identificar que *Mimosa ophthalmocentra* e *M. tenuiflora* obtiveram as melhores características quanto a densidade aparente, teor de hidrogênio, poder calorífico superior e inferior e densidade energética da madeira, o que as posiciona como relevantes para a seleção de elementos lignocelulósicos para produção energética. A classe de circunferência 24,0 – 29,99 cm forneceu madeira de baixos teores de nitrogênio e altos valores em poder calorífico superior e inferior, fornecendo melhores produtos da biomassa para a geração de energia. *M. ophthalmocentra*, *M. tenuiflora*, *Anadenanthera colubrina* e *Poincianella bracteosa* se destacam com a finalidade da geração de energia. *M. ophthalmocentra* e *M. tenuiflora* se destacaram por apresentar maior quantidade de energia por unidade de volume. *A. colubrina* e *P. bracteosa* apesar da boa qualidade energética, podem aumentar os custos ambientais e de manutenção dos equipamentos de combustão. *Cnidoscolus quercifolius* e *Aspidosperma pyrifolium* não apresentaram bons indicadores quanto a qualidade energética, o que indica que não deveriam ser objeto de manejo florestal com esta finalidade. A obtenção da madeira para fins energéticos deve ser priorizada conforme a classe de diâmetro.

**Palavras-chave:** carbono, densidade aparente, floresta tropical seca, poder calorífico, qualidade energética.

MARIN, JUAN DIEGO. The energy potential of Caatinga woody species for the use of biomass in a forest management plan.. 2017. Adviser: Rinaldo Luiz Caraciolo Ferreira. Committee: José Antônio Aleixo da Silva and Rafael Leite Braz.

## ABSTRACT

The knowledge of the physical and mechanical properties of the wood allows determining the best way to use the products exploited in the forests, also, generate subsidies so that the impacts caused by the harvesting activities minimized. In the Caatinga, typical vegetation of the Brazilian northeast, the woody species historically are used in the production of energy from its biomass, but without detailed studies as to its quality for this purpose. The objective of this work was to characterize the wood coming from six woody species native to the Caatinga regarding chemical properties and their energy potential. The study area located in the municipality of Floresta, Pernambuco, and samples of the wood were collected based on diametric classes defined in continuous forest inventories executed in the area. Each species had three individuals sampled in five classes of the circumference at 1.30 m of soil (CAP) and with an amplitude of 6 cm. From each a disk collected, in which the apparent density, the contents of carbon, hydrogen, and nitrogen, the contents of insoluble lignin and ash determined. A variance analysis performed considering a completely randomized factorial arrangement, taking as factors the species (six), the circumference classes (five), with three replicates, and for the comparison of means, the Tukey test considered. Pearson's correlation coefficient was applied, to measure the degree of relationship between the different variables. The developed analyses allowed to identify that *Mimosa ophthalmocentra* and *M. tenuiflora* obtained the best characteristics regarding the apparent density, hydrogen content, upper and lower calorific value and energy density of the wood, which places them as relevant for the selection of lignocellulosic elements for energy production. The diameter class 24.0 - 29.99 cm provided wood of low nitrogen contents and high values in upper and lower calorific power, providing better biomass products for the generation of energy. *M. ophthalmocentra*, *M. tenuiflora*, *Anadenanthera colubrina* and *Poincianella bracteosa* stand out for energy generation. *M. ophthalmocentra* and *M. tenuiflora* stood out for having more energy per unit volume. *A. colubrina* and *P. bracteosa* despite good energy quality can increase the environmental and maintenance costs of combustion equipment. *Cnidoscolus quercifolius* and *Aspidosperma pyriforme* did not present good indicators of energy quality, indicating that they should not be subject to forest management for this purpose. The production of wood for energy purposes should prioritize according to the diameter class.

**Kew words:** carbon, apparent density, dry tropical forest, calorific power, firewood quality.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Densidade Absoluta (DA) e Valor de Importância (VI) de espécies lenhosas em área de Caatinga, Floresta-PE, Brasil .....	31
<b>Tabela 2.</b> Classes de circunferência e suas amplitudes em uma área de Caatinga, Floresta-PE, Brasil .....	31
<b>Tabela 3.</b> Biomassa seca acima do solo estimada de espécies lenhosas em área de Caatinga, Floresta-PE, Brasil.....	36
<b>Tabela 4.</b> Proporção de biomassa seca total acima do solo (%) para fuste por classe de CAP (cm) para espécies lenhosas em área de Caatinga, Floresta-PE, Brasil.....	36
<b>Tabela 5.</b> Estatísticas descritivas para as variáveis estudadas de espécies lenhosas em área de Caatinga, Floresta-PE, Brasil.....	38
<b>Tabela 6.</b> Análises de variância da Densidade aparente da madeira em espécies lenhosas em área de Caatinga, Floresta-PE, Brasil.....	39
<b>Tabela 7.</b> Análises de variância do teor de Carbono (%C), Hidrogênio (%H), Nitrogênio (%N), de espécies lenhosas em área de Caatinga, Floresta-PE, Brasil.....	42
<b>Tabela 8.</b> Teor de carbono (%C) e de nitrogênio (%N) de espécies lenhosas em área de Caatinga, Fazenda Itapemirim, Floresta - PE, Brasil.....	43
<b>Tabela 9.</b> Teor de Hidrogênio na madeira conforme espécie e classe de circunferência em espécies lenhosas em área de Caatinga, Floresta-PE, Brasil.....	44
<b>Tabela 10.</b> Análises de variância do teor de Lignina insolúvel (%LIG) e Cinzas (%CIZ), de espécies lenhosas em área de Caatinga, Floresta-PE, Brasil.....	44
<b>Tabela 11.</b> Teores de cinzas (%CIZ) da madeira de espécies lenhosas em área de Caatinga, Floresta - PE, Brasil.....	46
<b>Tabela 12.</b> Comparações entre médias considerando a interação entre espécies e circunferência para Lignina insolúvel (%LIG) na madeira em área de Caatinga, Floresta-PE, Brasil.....	47
<b>Tabela 13.</b> Análise de variância do Poder Calorífico Superior (PCS) e Poder Calorífico Inferior (PCI) de espécies lenhosas em área de Caatinga, Floresta-PE, Brasil .....	47
<b>Tabela 14.</b> Poder Calorífico Superior (PCS) da madeira de espécies lenhosas em área de Caatinga, Fazenda Itapemirim, Floresta - PE, Brasil .....	48
<b>Tabela 15.</b> Comparações entre médias considerando a interação entre espécies e circunferência para Poder Calorífico Inferior (PCI, kcal kg <sup>-1</sup> ) na madeira em área de Caatinga, Floresta-PE, Brasil.....	49

<b>Tabela 16.</b> Análise de variância da Densidade Energética da Madeira (DEM) em espécies lenhosas em área de Caatinga, Floresta-PE, Brasil.....	50
<b>Tabela 17.</b> Coeficientes de correlação linear entre as características físicas, químicas e energéticas da madeira de espécies lenhosas em área de Caatinga, Floresta-PE, Brasil.....	52
<b>Tabela 18.</b> Produção energética em KW.h.ha-1 considerando a interação entre espécies e classes de circunferência na madeira em área de Caatinga, Floresta-PE, Brasil.....	54

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Média de densidade aparente da madeira de espécies lenhosas em área de Caatinga, Floresta-PE, Brasil. ....	40
<b>Figura 2.</b> Média da densidade aparente da madeira conforme a classe de circunferência em área de Caatinga, Floresta-PE, Brasil .....	41
<b>Figura 3.</b> Teor de Nitrogênio da madeira segundo a classe de circunferência em espécies lenhosas em área de Caatinga, Fazenda Itapemirim, Floresta-PE, Brasil .....	44
<b>Figura 4.</b> Densidade Energética da Madeira (DEM) de espécies lenhosas em área de Caatinga, Floresta-PE, Brasil.....	51

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	18
2.1 CAATINGA E USOS DE SUAS ESPÉCIES LENHOSAS .....	18
2.2 LENHA COMO BIOMASSA ENERGÉTICA .....	20
2.3 MANEJO SUSTENTÁVEL DA CAATINGA .....	22
2.4 PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DA MADEIRA .....	23
<b>2.4.1. Densidade aparente da madeira</b> .....	24
<b>2.4.2 Análise química elementar da madeira</b> .....	25
<b>2.4.3 Química molecular da madeira</b> .....	26
<b>2.4.4 Análise térmica da madeira</b> .....	27
<b>2.4.5 Equações alométricas e estimação da produção de biomassa na Caatinga</b> .....	28
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	30
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	30
3.2 OBTENÇÃO DOS DADOS .....	30
<b>3.2.1 Espécies arbustivo-arbóreas</b> .....	30
<b>3.2.2 Densidade aparente da madeira</b> .....	33
<b>3.2.3 Análise química elementar da madeira</b> .....	33
<b>3.2.4 Lignina insolúvel na madeira</b> .....	34
<b>3.2.5 Cinzas na madeira</b> .....	34
<b>3.2.6 Poder calorífico da madeira</b> .....	35
<b>3.2.7 Densidade energética da madeira</b> .....	35
<b>3.2.8 Estimativa do potencial energético da biomassa por espécie</b> .....	35
3.3 ANÁLISES DOS DADOS .....	36
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	38
4.1 DENSIDADE APARENTE DA MADEIRA .....	39
4.2 ANÁLISE QUÍMICA ELEMENTAR DA MADEIRA .....	42
4.3 LIGNINA INSOLÚVEL E CINZAS .....	45
4.4 PODER CALORÍFICO DA MADEIRA .....	47
4.5 DENSIDADE ENERGÉTICA DA MADEIRA .....	50
4.6 CORRELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS CONFORME A ESPÉCIE .....	51
4.7 POTENCIAL ENERGÉTICO DA BIOMASSA E O MANEJO FLORESTAL .....	54
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	57
<b>6 REFERÊNCIAS</b> .....	58

## 1. INTRODUÇÃO

No Nordeste do Brasil, a produção energética com base no consumo de energias tradicionais oriunda de fontes fósseis ou hidroelétricas é limitada devida aos custos de transporte, ausência dos recursos ou carência de sua produção. Assim, a necessidade de encontrar alternativas para a produção de energia com fontes que tenham menores custos e impactos econômicos e ambientais, além de serem sustentáveis, geram um desafio na questão energética e na estabilidade econômica e social da região.

Uma das melhores alternativas para resolver a situação em médio prazo é o uso da biomassa proveniente de fontes florestais. Para isto, é importante o desenvolvimento de pesquisas na procura de produtos das florestas, em quantidade e qualidade de biomassa para combustão.

No caso da região semiárida no Nordeste brasileiro, o fator limitante para a adaptação e cultivo de espécies nativas e exóticas é a deficiência hídrica (GARIGLIO et al., 2010), o que requer o desenvolvimento de pacotes tecnológicos, por meio de pesquisas a médio e longo prazo, além do desenvolvimento de variedades que se adaptem a essas condições. A melhor opção no momento é o uso de energia proveniente das Caatingas por meio de planos de manejo florestal sustentável, o qual segundo Lima Júnior et al. (2014) pode fornecer 21.934 GWh.ano<sup>-1</sup>, sendo três vezes maior que a energia produzida na atualidade em usinas com combustíveis tradicionais, constituindo uma opção de vital importância para o desenvolvimento econômico do Nordeste brasileiro, onde, devido à extensão territorial ocupada por esse tipo de florestas compreendida entre os paralelos de 2° 54' S a 17° 21' S e que tem presença nos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Piauí, Bahia e de Minas Gerais (ANDRADE et al., 2005), fornece uma opção real para atender a demanda energética.

Apesar do uso tradicional dos produtos e subprodutos florestais explorados na Caatinga como fonte de energia, são encontradas deficiências de informações quanto os aspectos tecnológicos das suas diferentes espécies arbustivo-arbóreas, idades e tamanhos e da qualidade da madeira, quanto as potencialidades de produção energética (OLIVEIRA, 2003). Para suprir esta carência é necessário obter conhecimentos técnicos específicos, visando fornecer informações sobre as espécies nas distintas fases de crescimento, seu rendimento e as características de suas madeiras quanto as variáveis que tem forte influência na produção de energia com base na biomassa, tais como as composições química imediata, elementar e

molecular, a densidade e o poder calorífico (BRAND, 2010), além da necessidade de considerar o impacto que apresenta a produção de óxidos nitrosos sobre os equipamentos e o ambiente durante o processo de combustão (KUMAR et al., 2010) e a produção de cinzas durante o processo de transformação energética dos materiais lignocelulósicos, o que pode gerar desvantagens de certos materiais na transformação de energia (PAULA et al., 2011; PROTÁSIO et al., 2011).

Essas variáveis deverão ser consideradas visando subsidiar medidas de manejo florestal sustentável com fins energéticos que permitam fornecer informações para o desenvolvimento econômico e social da região, com um equilíbrio ecológico que privilegie a permanência da floresta nativa no tempo e no espaço e que reduza ao mínimo outros impactos que podem ser gerados pelo tipo de produção energética. O modelo de produção na Caatinga enfoca na exploração da totalidade da cobertura vegetal sem considerar as diferenças de crescimento e o potencial energético das diferentes espécies (MEUNIER, 2014), bem como as diferenças presentes nas madeiras quando se consideram idades e, ou classes de circunferência (PROTÁSIO et al., 2014), dificultam a definição de regimes de manejo que permitam estabilizar a produção e melhorar as atividades de manejo florestal.

Caracterizar a oferta energética das espécies florestais da Caatinga permitirá adequar os sistemas da produção de energia com base em biomassa, a partir da implementação de planos de manejo florestal sustentáveis, levando a minimização dos impactos sobre os recursos associados, tais como a água, os produtos não madeireiros (fibras, forragem, frutos, entre outros), o solo, diminuindo a possibilidade de ocasionar processos de desertificação nas áreas exploradas e os gerados sobre outros serviços ecossistêmicos como a paisagem, o sombreamento e o refúgio para a vida silvestre. Além disso, esta atividade poderá ser fonte de renda para as comunidades envolvidas no seu desenvolvimento. Desta forma, observa-se a necessidade de estudos que possam proporcionar informações técnicas quanto à qualidade da madeira para fins energéticos.

Essa pesquisa teve como objetivo geral:

- ✓ Caracterizar a madeira proveniente de seis espécies florestais nativas da Caatinga quanto às propriedades químicas e seu potencial energético.

E como objetivos específicos:

- ✓ Testar a influência da circunferência na altura do peito sob a qualidade da lenha de seis espécies de ocorrência na Caatinga;



- ✓ Definir a circunferência mínima de corte das espécies avaliadas segundo as qualidades energética.
- ✓ Avaliar a relação poder calorífico, densidade aparente, composição química molecular e elementar da madeira.
- ✓ Analisar o potencial energético de seis espécies da caatinga.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 CAATINGA E USOS DE SUAS ESPÉCIES LENHOSAS

A Caatinga é o tipo de vegetação que cobre a maior parte da área semiárida da região Nordeste do Brasil. Não existe consenso, mas admite-se que esta vegetação cubra aproximadamente 830.000 km<sup>2</sup>, correspondentes a 10% do território brasileiro e a 55% do Nordeste (IBAMA, 2010).

A região semiárida se caracteriza por apresentar temperaturas elevadas e pouco variáveis espacial e temporalmente, com médias anuais entre 25° C e 30°C, assim luz e temperatura não são fatores limitantes para o crescimento e desenvolvimento da vegetação (SAMPAIO, 2003). Por outro lado, a disponibilidade hídrica é limitante devido à variabilidade oferecida no tempo e espaço, apresentando chuvas irregulares e concentradas em poucos meses do ano com alternância de anos chuvosos com anos de secas (ERASMI et al., 2014). Por isso, a Caatinga apresenta altas taxas de evapotranspiração ocasionando deficiências hídricas definidoras da semiaridez climática (relação precipitação/evapotranspiração potencial < 0,65). Além disso, considerando a disposição orográfica da região Nordeste do Brasil e a capacidade de pouca retenção da umidade pelos solos da área, como consequência ocorre um aumento da deficiência hídrica na região (SAMPAIO, 2010).

Estas condições dão origem as características xerófilas da Caatinga, que apresenta uma grande heterogeneidade quanto sua estrutura e fitofisionomia pelo qual é complexo classificar os seus diversos tipos vegetacionais (ANDRADE-LIMA, 1981).

A maior dificuldade na conservação e uso sustentável da Caatinga é o desenvolvimento de atividades agrícolas migratórias e a pecuária. A agricultura tradicional é normalmente realizada com a exploração das espécies arbustivo-arbóreas, com o preparo do solo por meio da queima dos resíduos e plantio de culturas agrícolas temporais. Com o declínio da produtividade, essas áreas geralmente degradadas são abandonadas a processos de regeneração natural (NDAGIJIMANA; PAREYN; RIEGELHAUPT, 2015). Na produção pecuária o processo é similar ao da agricultura, mas a cultura passa a ser uma forrageira associada ao pastejo pela criação extensiva de caprinos e bovinos. Evidentemente, conforme o distúrbio causado, essas atividades refletem na estrutura das florestas remanescentes, uma vez que dificultam os processos de manejo e regeneração da Caatinga (GIULIETTI et al., 2004).

Vale ressaltar que a vegetação da Caatinga tem especial relevância para a economia da região do Nordeste de Brasil, pois é utilizada com finalidade energética (lenha e, ou carvão)

industrial e residencial, nas construções civis cercas, telhados, etc.), bem como para a obtenção de produtos florestais não madeireiros, a exemplo da forragem animal, mel, frutos, fibras medicamentos e outros produtos que se tornam alternativas de geração de renda para muitas famílias (PAES et al., 2013; MEDEIROS NETO; OLIVEIRA; PAES, 2014).

A Caatinga apresenta espécies lenhosas com porte arbustivo-arbóreo com grande quantidade de ramificações e fustes tortuosos e retorcidos, o que leva ao emprego limitado para fins industriais, sendo seus usos quase restritos para energia, na forma de lenha e, ou carvão (OLIVEIRA et al., 2006; SILVA, SAMPAIO, 2008; PAES et al., 2013), esta atividade gera 900 mil empregos diretos e indiretos na zona rural e é responsável pelo atendimento de 25% da matriz energética do Nordeste (GARIGLIO et al., 2010).

Apesar da reconhecida importância da vegetação da Caatinga como fonte de energia, ainda há carência de informações, principalmente quanto ao aspecto tecnológico, ou seja, sobre as características de qualidade energética da madeira de suas espécies lenhosas (OLIVEIRA, 2003; PAES et al., 2013; MEDEIROS NETO; OLIVEIRA; PAES, 2014). Por outro lado, evitar ou reduzir o uso de energia fóssil e eletricidade importada, a opção imediata é, sem dúvida, o uso sustentável dos recursos da Caatinga e os plantios florestais (RIEGELHAUPT; PAREYN, 2010), uma vez que as novas restrições ecológicas ao uso de combustíveis fósseis e o aumento crescente do consumo energético têm realçado o interesse do uso da biomassa para produção de energia, em virtude de ser essa uma matéria-prima renovável e menos poluente quando comparada aos produtos não renováveis (PINHEIRO; SÉYE, 1998, WALTER; NOGUEIRA, 2008).

No entanto, a ocupação desordenada da Caatinga vem destruindo-a ao longo dos anos, negando a possibilidade de otimização da produção de biomassa dessa floresta para fins energéticos sem depredação e o seu uso sustentado, que só será possível com o conhecimento da biomassa que compõe o ecossistema e de sua capacidade de produzir energia.

Em vista da importância da utilização da madeira e a falta de informações sobre as propriedades físicas e mecânicas dos produtos florestais da Caatinga, é de vital importância conhecer as características tecnológicas da madeira de suas espécies arbustivo-arbóreas. Desta forma, estudos que possam proporcionar informações técnicas sobre qual é o melhor momento para se fazer as atividades de exploração e a elaboração de novos métodos de corte que permitam menores impactos e garantam a sustentabilidade desse recurso ao longo do tempo e no espaço, são de grande interesse.

## 2.2 LENHA COMO BIOMASSA ENERGÉTICA

A competitividade dos países e a qualidade de vida de seus cidadãos são intensamente influenciadas pela energia. Em um mercado global e em face das crescentes preocupações com o meio ambiente, essa influência se mostra cada vez mais decisiva. Neste contexto, as economias que melhor se posicionam quanto ao acesso a recursos energéticos de baixo custo e de baixo impacto ambiental obtêm importantes vantagens comparativas. Nas próximas décadas, essa questão se apresentará ao mesmo tempo como um desafio e uma oportunidade para o Brasil (TOLMASQUIM et al. 2007).

Desde a descoberta do Brasil a biomassa vegetal é utilizada para energia, principalmente a lenha, e até hoje, mesmo com os avanços industriais e tecnológicos e das várias fontes energéticas, ela tem papel de destaque na matriz energética do país. Biomassa é a massa de matéria de origem biológica, viva ou morta, animal ou vegetal (CARIOCA; ARORA, 1984; ACIOLI, 1994; VASCONCELOS, 2002; TOLMASQUIM, 2003; SILVEIRA et al., 2008). Em termos florestais, a biomassa pode ser toda a massa existente na floresta ou apenas a sua fração arbustiva-arbórea. A porção arbustivo-arbórea da biomassa de origem vegetal pode ser chamada de fitomassa florestal ou fitomassa arbustivo-arbórea (SANQUETTA, 2002; COUTO et al., 2004).

A lenha, na sua forma direta ou do seu derivado, o carvão vegetal, é combustível vital para o preparo de alimento para um enorme número de famílias e comunidades em diversas regiões do planeta, principalmente na Ásia e África, bem como no Semiárido brasileiro (LIMA, 2009). Estima-se que 50% das pessoas utilizam a madeira como a principal fonte de energia, particularmente para famílias de países em desenvolvimento, sustentando processos de secagens, cocção, fermentações e geração de eletricidade (IEA, 2006; FAO, 2010).

Outra tendência importante derivada do crescimento da população urbana é a expansão da indústria da construção civil para atender às crescentes necessidades de moradia e dos setores industriais e comerciais. Esse crescimento implica numa maior atividade das indústrias de materiais de construção (cerâmica vermelha, cal, gesso, cimento), que utilizam principalmente lenha como fonte energética (RIEGELHAUPT, PAREYN, 2010).

A lenha tem participação destacada na matriz energética do Nordeste brasileiro é aproximadamente 25 % de sua demanda é atendida por essa fonte (CAMPELLO, 2011). No ano de 2004, estimava-se que a demanda mercantil de lenha e carvão nessa região para o ano de 2006 era da ordem de 25,1 milhões de st.ano<sup>-1</sup> para os setores industrial e comercial, mais

9,4 milhões st.ano<sup>-1</sup> para o setor residencial, totalizando 34,5 milhões st.ano<sup>-1</sup> de lenha comercializados anualmente (RIEGELHAUPT, PAREYN, 2010). A oferta dessa fonte energética é originária principalmente da vegetação da Caatinga, pois, o atendimento a partir de plantios de espécies de rápido crescimento ainda é muito limitado, sendo calculada para o ano 2007 em 6% do consumo total, estimando-se em 1,5 milhões st.ano<sup>-1</sup> com uma área manejada de 94.287 ha (APNE; CNIP, 2008), o qual segundo Campello (2011) reflete na indústria gesseira, onde só 3% da lenha proveniente de florestas naturais contam com plano de manejo sustentado. Vale ressaltar que em quase todas as crises energéticas (aumento do preço do petróleo, baixo nível dos reservatórios das hidroelétricas, etc.), procura-se a biomassa vegetal, entre elas a lenha, por ser de baixo custo, como alternativa de substituição de outras fontes.

Por outro lado, por ser considerada menos eficiente em relação às outras fontes, a lenha quase sempre é desconsiderada nas políticas energéticas governamentais, assim, por exemplo, para o ano 2005, 13,1 % da energia ofertada no Brasil tinha como origem a lenha e seus derivados; na atualidade exclusivamente 8,1 % da energia produzida e consumida no país tem como procedência a lenha (EPE, 2015) e espera-se diminuir a 6 % o consumo de lenha como energético, reduzindo a produção de energia com base nesse material em 26% para o ano 2030; isso comparado com a produção de energia com base na cana-de-açúcar que passará de 14 ou 18 % na matriz energética do Brasil ou de outras fontes renováveis que se espera um crescimento de 4 % passando de 3 ao 7% (EPE, 2007), o que evidencia uma falta de interesse por parte do governo.

Com a finalidade de evitar ou reduzir o uso de energia fóssil, uma das melhores opções é utilizar biomassa de origem florestal (GARIGLIO et al., 2010). No caso do Nordeste brasileiro se conta com uma capacidade instalada de geração elétrica por usinas térmicas convencionais com base em combustíveis fósseis de 7.508 MW (EPE, 2015), mas segundo Lima Júnior et al. (2014), um terço dessa energia elétrica poderia ser produzida anualmente utilizando lenha da Caatinga sob manejo florestal sustentável em usina termelétrica com 25% de eficiência.

No Balanço Energético Nacional para o ano 2014 (EPE, 2015), o Brasil teve uma produção de lenha de 79.768 t, das quais 24.773 t (31,1%) foram transformadas em carvão, 25.112 t (31,5%) destinados ao setor industrial, 19.705 t (24,7%) ao setor residencial, 8.650 t (10,84%) a produção agrícola. Além disso, foram transformadas 1.215 t em energia elétrica (1,5 %)

No entanto, o uso da lenha para produção da energia vem apresentando uma diminuição, passando de 94.279 t no ano de 2008 a 79.768 t em 2014, apresentando uma maior contração nas atividades de transformação em carvão correspondente a 36,9% (14.494 t), da mesma forma no setor residencial onde se deixaram de consumir 6.859 t (17,5%). Por outro lado, no setor industrial houve um acréscimo no consumo de 6.941 t (38,2%), principalmente nos setores de cerâmica (3.054 t), celulose (1.744 t) e alimentos e bebidas (1.410 t); do mesmo jeito na transformação em energia elétrica onde se apresentou um crescimento de 195,6 %, passando de utilizar 411 t no ano 2005 a 1.215 t no ano 2014. Já no setor agropecuário houve um comportamento constante com tendência ao incremento do consumo de madeira como fonte energética, passando de consumir 7.027 t a 8.650 correspondentes ao 23,1% (EPE, 2015).

### 2.3 MANEJO SUSTENTÁVEL DA CAATINGA

No semiárido brasileiro, a Caatinga é principal vegetação a atender as demandas por produtos e serviços florestais dos seus habitantes. Apesar da importância dos produtos e serviços florestais, a atividade florestal no Nordeste brasileiro é de caráter fortemente extrativista, buscando atender à demanda por dendrocombustíveis (lenha e carvão) e sem conhecimentos sobre a resposta da vegetação após os distúrbios antrópicos (MEUNIER, 2014). O que evidencia a necessidade de desenvolvimento de práticas de manejo florestal sustentável para a Caatinga, uma vez que são poucas áreas reconhecidamente manejadas.

O manejo da Caatinga para produção sustentável de madeira vem sendo utilizado desde o início da década de 80 e proposto formalmente desde o início da década de 90 (GARIGLIO et al., 2010). A regulamentação inicial de elaboração e execução de planos de manejo florestal se deu por meio da Normativa IBAMA n. 001/1998, de 06 de outubro de 1998 (IBAMA, 1998). Em 2001, por meio da Normativa IBAMA n. 3, de 04 de maio de 2001 (IBAMA, 2001) instituíram-se as categorias de planos de manejo conforme os fins e áreas a serem manejada. Em ambas normativas o ciclo de corte não pode ser inferior a 10 anos, a menos que justificativas técnico-científicas fossem apresentadas, e a presença de animais era permitida, adotando-se os critérios zootécnicos.

Com a aprovação da Lei Federal Nº 11.284/2006, de 02 de março de 2006, a responsabilidade pela aprovação das atividades de exploração florestal foi repassada aos órgãos ambientais estaduais, bem como, as suas normatizações regulatórias (Brasil, 2006). No estado de Pernambuco, a regulação das atividades de exploração florestal é realizada pela Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH), por meio da Instrução Normativa CPRH Nº 007/2006, a

qual no seu Artigo 32, Seção I, fixa como ciclo mínimo de manejo 15 anos e este limite de tempo pode ser reduzido por meio de estudos científicos que comprovem a recuperação da regeneração natural da vegetação e sua estrutura (CPRH, 2006).

Na prática, no Nordeste do Brasil, as normativas permitem a execução de plano de manejo florestal baseado em controle por área, corte raso (retirada de quase todo estoque volumétrico ou de biomassa) com restrição a algumas espécies, recuperação por conta apenas da regeneração natural, objetivo dendroenergético (lenha e, ou carvão), ciclo de corte mínimo generalizado para todos os tipos de Caatinga, e sem bases científicas sólidas quanto as propriedades de resistência e resiliência da vegetação, ou seja, na forma como a comunidade reage à perturbação (colheita) e nos processos que ocorrem para a sua recuperação (MEUNIER, 2014).

Apesar de se ter objetivo dendroenergético, a potencialidade energética das espécies é ainda pouco estudada (PAES et al., 2013), o que não permite maior eficiência do uso da biomassa delas provenientes.

Vale salientar que o termo sustentável se refere à capacidade de manter um recurso florestal por tempo indeterminado para o futuro, sem diminuição da qualidade ou quantidade, independentemente das influências externas. Logo, um plano de manejo florestal deve favorecer a produção e envolvem ações de gestão que sejam ecologicamente equilibradas, economicamente viáveis e socialmente aceitáveis (BETTINGER et al., 2009).

## 2.4 PROPRIEDADES FÍSICAS E QUÍMICAS DA MADEIRA

A madeira, por ser um material biológico que responde as condições abióticas que influenciam o crescimento da planta, é um material heterogêneo que apresenta diferentes tipos de células que desempenham funções específicas, o qual provoca variações na composição química, e nas características anatômicas e físicas em resposta a variáveis como idade, fatores genéticos e ambientais (TRUGILHO et al. 1996).

Essas diferenças se apresentam dentro de cada espécie e dentro de cada árvore devido às diferenças de cerne e alburno e a proporção dos lenhos juvenil e adulto podendo influenciar as propriedades da madeira tais como a proporção dos polímeros, comprimento das fibras, dimensões da parede celular, densidade da madeira, entre outras (JANKOWSKY, 1979; TOMAZELLO FILHO, 1987; MALAN, 1995).

### **2.4.1. Densidade aparente da madeira**

As interações das propriedades anatômicas e químicas da madeira refletem na densidade do material. Muitas dessas variações são ocasionadas por fatores genéticos, resposta a características ambientais, ações de manejo, silvicultura e adaptações na dinâmica de crescimento (PANSHIN; DE ZEEUW, 1980). Alguns autores mencionam que a densidade por ser uma variável de fácil mensuração e apresentar uma correlação direta com as propriedades físicas e mecânicas da madeira juntamente com a composição celular é a propriedade mais utilizada no desenvolvimento de diversas pesquisas com a finalidade de identificar o melhor uso potencial do material (CRUZ; LIMA; MUNIZ 2003; BATISTA; KLITZKE; SANTOS, 2010; LIMA et. al., 2011). Do ponto de vista prático, a densidade aparente apresenta maior interesse para sua determinação por considerar a influência da porosidade da madeira, facilitando a determinação da variável devido à mensuração desenvolvida com massa e volume a um mesmo teor de umidade; a densidade aparente não precisa que a amostra está ou não na umidade de equilíbrio, facilitando a determinação (OLIVEIRA; HELLMEISTER, 1998; BRUDER, 2012) e refletindo melhor o comportamento do material.

De igual forma, deve-se considerar a relação direta existente entre o aumento em diâmetro, a idade do indivíduo e a densidade, como consequência do aumento da espessura da parede celular e diminuição da largura das células (PANSHIN; DE ZEEUW, 1980; VITAL, 1984; JAMMAL FILHO, 2011). É correto afirmar ainda que possa existir variação nas propriedades físicas, químicas e mecânicas de um indivíduo arbóreo nas diferentes alturas, sendo necessário considerar a posição de retirada da amostra conforme a altura e diâmetro para a determinação da densidade média da árvore e determinação de outras propriedades que influem diretamente a qualidade energética com base em recursos lignocelulósicos (PROTÁSIO et al., 2014). Assim, realizar a coleta de mostras na altura do peito pode diminuir os erros originados pela variância dos valores na altura dos indivíduos visando um ponto ideal de amostragem (REZENDE et. al., 1998; MENDES et al., 1999) e facilitando o processo de discussão dos resultados.

Alguns autores como Cunha (1989) e Lima et. al. (2011) determinaram que não há correlação entre a densidade e o poder calorífico das madeiras, sendo importante ressaltar a forte interação que apresentam ambas variáveis para a produção de energia, uma vez que a maior densidade é necessária uma menor quantidade de volume para estocar uma maior



quantidade de energia, beneficiando a seleção e produção de espécies que apresentem melhores condições para esse aspecto (FREDERICO, 2009; TRUGILHO, 2009; NEVES et al., 2011; PROTÁSIO et al., 2014).

#### **2.4.2 Análise química elementar da madeira**

A composição química elementar é um parâmetro muito importante quando o objeto de uso de um material é a geração de energia, em especial na biomassa, considerando que a geração a partir desse material depende do efeito térmico do carbono e hidrogênio que contém os materiais (BRITO, et. al., 1979; BRAND, 2010). Com a análise química elementar se procura conhecer a quantidade de um elemento químico em um composto, geralmente expresso em porcentagem de massa. No caso da madeira a composição química elementar apresenta uma baixa variabilidade estando constituída principalmente por carbono (50%) e oxigênio (44%), de igual forma se considera importante à presença de hidrogênio (9%), sem considerar as quantidades de nitrogênio, enxofre e outros elementos (PENEDO, 1980; KLOCK et. al., 2005). Apesar da baixa variação da composição química elementar entre os diferentes grupos de madeira, sua interação ao ser uma fração porcentual da massa avaliada, pode exercer uma influência direta sobre o material combustível (RAAD, 2004)

Altos teores de carbono e hidrogênio influenciam de forma considerável a energia despreendida e estocada nos recursos lignocelulósicos (DEMIRBAS, 2004, OBERNBERGER et al., 2006; PAULA et al., 2011; PROTÁSIO et al., 2011), devido principalmente ao valor energético e a correlação positiva com o poder calorífico e com a queima mais lenta principalmente do carbono, o qual garante maior tempo nos aparelhos de combustão. Por outro lado, a presença de oxigênio e nitrogênio retarda o processo de combustão afetando de forma negativa a produção de energia (HUANG et. al., 2009; BRAND, 2010; PAULA et al., 2011; PROTÁSIO et al., 2011). Além disso, deve-se considerar que a presença de elementos como nitrogênio e enxofre são considerados indesejáveis, já que podem provocar poluição ambiental e impactar negativamente os equipamentos de combustão devido à geração de óxidos nitrosos e sulfúricos, pelo qual se recomenda a seleção de combustíveis com baixos teores desses elementos (BILGEN; KAYGUSUZ, 2008; KUMAR et al., 2010).

### 2.4.3 Química molecular da madeira

A madeira é considerada um polímero biológico tridimensional constituído pela interação de celulose, polioses (hemiceluloses) e lignina (ROWELL, 2005). Adicionalmente se tem presença de elementos secundários ou minoritários, que apresentam baixo peso molecular como os extrativos (matéria orgânica) e as cinzas (matéria inorgânica) (LEPAGE et al., 1986; KLOCK et al., 2005). Nas espécies folhosas, geralmente se apresenta próximo a  $45 \pm 2\%$  de celulose, a qual é degradada a temperaturas entre 315 e 400 °C. No caso das hemiceluloses sua presença na madeira se encontra em  $30 \pm 5\%$  e sua degradação térmica ocorre entre os 220 e 315°C. Finalmente a lignina representa  $20 \pm 4\%$  da composição química molecular da madeira e sua degradação térmica iniciam em 150 °C e se estende até 900 °C (MÜLLER-HAGEDORN et al., 2003; KLOCK et al., 2005; YANG et al., 2007; SHEN et al., 2010).

A lignina apresenta uma maior estabilidade térmica, a qual fornece além de maior energia, tempos mais prolongado para sua degradação durante o processo de queima, pois esse componente estrutural apresenta um alto poder calorífico,  $6100 \text{ kcal.kg}^{-1}$  (DOAT, 1977; PETROFF; DOAT, 1978); deve-se considerar que a lignina é um elemento que se apresenta com maior proporção em madeira juvenil (VITAL, 1984), por isso indivíduos jovens com menores diâmetros podem apresentar melhores características neste aspecto. Este fenômeno pode ser explicado pela baixa presença do oxigênio na lignina e seu alto conteúdo de carbono, o qual pode atingir entre 61 e 67 %, quando comparada com as outras estruturas moleculares caracterizadas pela presença de polissacarídeos, como a celulose na qual o conteúdo desse elemento pode ser de 45 % (BROWNING, 1963; LORA, 1997). A celulose e hemiceluloses apresentam poder calorífico próximo a de  $4000 \text{ kcal.kg}^{-1}$  (DOAT, 1977).

De mesma forma, também é de vital importância considerar a presença de minerais ou componentes inorgânicos na biomassa utilizada. Potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), dentre outros, permanecem como detritos após da ignição, o qual pode ser prejudicial, devido ao efeito negativo sobre o poder calorífico e a possível geração de cinzas, que podem impactar os equipamentos (PAULA et al., 2011; PROTÁSIO et al., 2011). Além disso, se há apresentado correlação em outros estudos dessa variável com o diâmetro dos indivíduos (SANTOS, et al., 2012).

#### 2.4.4 Análise térmica da madeira

O poder calorífico é uma propriedade termoquímica que descreve a qualidade de um combustível na aplicação da combustão (SENELWA; SIMS, 1999). Em relação às características de qualidade da madeira, o poder calorífico é definido como a quantidade de energia liberada na forma de calor pela combustão de uma unidade de massa da madeira (JARA, 1989). O rendimento energético de um processo de combustão da madeira depende de sua constituição química (teores de celulose, hemiceluloses, lignina, extrativos, substâncias minerais, etc.) que varia com a espécie e é de grande importância para a escolha adequada da madeira a ser utilizada (QUIRINO et. al., 2004).

O poder calorífico é altamente influenciado pela constituição química do material, ou seja, pela proporção de lignina, celulose e extrativos. Quanto maior for o teor de lignina e extrativos e menor o de celulose e cinzas, maior o poder calorífico do material (FURTADO et al., 2012). Além disso, a umidade apresenta uma grande influência quanto ao processo de combustão do material (GATTO et. al., 2003; BRAND, 2010), já que quanto maior a umidade, maior será a quantidade de energia necessária para evaporação da água, ou seja, menor é a produção de calor por unidade de massa (SANTANA, 2009).

Existem três tipos de poder calorífico o superior (PCS), o inferior (PCI) e o útil (PCU). Se durante o processo de mensuração da variável for considerado ou recuperado o calor latente de vapor de água, gerado durante o processo de reação entre o hidrogênio presente na madeira e o oxigênio atmosférico, esse será chamado de PCS; quando não consideram o calor de condensação da água, será chamado de PCI, com menores valores que o PCS; já o PCU é determinado por meio de equações nas quais se consideram o teor de umidade e a quantidade de hidrogênio no combustível. (JARA, 1989; QUIRINO et al., 2004; BRAND, 2010; SANTOS, 2010; SANTANA, 2011). O PCI tem a vantagem de excluir o calor latente de vapor de água, o que é mais de acordo com as condições práticas de combustão, permitindo valorar de uma forma mais precisa o material. O PCS informa o maior potencial de fornecimento do combustível, pelo qual é mais utilizado em diferentes trabalhos de pesquisa (CINTRA, 2009).

Além disso, no estudo do poder calorífico deve-se considerar a influência das características anatômicas e a composição química, pois elas apresentam uma alta correlação com as características tecnológicas da madeira (SILVA, 2005). Vale ressaltar ainda que maiores valores de densidade, proporciona um maior poder calorífico por unidade de volume e aumentam o tempo de permanência do combustível no processo de ignição, devido à resistência oferecida por sua baixa condutividade calorífica (VALE et al., 2000; SARDINHA, 2002)

estando estas variações na massa específica relacionadas com a estrutura anatômica da madeira e a quantidade de substâncias extrativas presentes por unidade de volume, em função, principalmente, da idade da árvore, diâmetro, genótipo, índice de sítio, clima, localização geográfica e tratos silviculturais (KOLLMANN, 1968).

Na Caatinga as espécies *Amburana cearensis* (Allemao) A. C. Smith, *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. var. *cebil* (Gris.) Alts., *Aspidospema pyrifolium* Mart., *Bauhinia cheilantha* (Bong) D. Dietr., *Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul., *Mimosa arenosa* (Will.) Poir., *Mimosa tenuiflora* (Will.) Poir., *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke, *Poincianella pyramidalis* (Tul.) L. P. Queiroz e *Tabebuia aurea* (Silva Manso) S. Moore apresentam uso tradicional para a obtenção de lenha e carvão (ARAÚJO; PAULO; PAES, 2007; PAES et al., 2013; MEDEIROS NETO; OLIVEIRA; PAES, 2014; ALMEIDA et al., 2015), mas o esgotamento dessas espécies, oferece ainda a possibilidade da utilização de outras subutilizadas, o que aumenta a necessidade do conhecimento de suas propriedades tecnológicas e a pesquisa das condições de manejo que favoreçam a sustentabilidade da floresta.

#### **2.4.5 Equações alométricas e estimação da produção de biomassa na Caatinga**

O desenvolvimento de alternativas para estimar com baixo custo e apropriada precisão a biomassa florestal tem como princípio a relação entre o tamanho e forma dos indivíduos. A maioria das pesquisas desenvolvidas em torno do tema, procura por variáveis de fácil mensuração a estimação como DAP e altura (KUNTSCHIK, 2004; ALVES JÚNIOR, 2010); para o desenvolvimento das equações que se adaptem melhor as características das espécies avaliadas e as condições de crescimento segundo a qualidade do sítio, se precisa cortar as plantas e separando-as em caule, galhos, ramos e folhas, conhecer a biomassa por médio da mensuração do peso para cada compartimento (SILVA; SAMPAIO, 2008). Uma das técnicas mais utilizadas é a análise de regressão devido à sua precisão e eficiência, permitindo reduzir os custos na estimação de variáveis e diminuindo também o tempo na coleta de dados (SCHNEIDER; SCHNEIDER; SOUZA, 2009).

Para a Caatinga são poucos as pesquisas encaminhadas a fornecer equações que permitam estimação de biomassa apesar da existência de publicações que estimam de forma direta ou indireta a biomassa aérea para as espécies, áreas ou compartimentos da planta; além disso, deve-se considerar que aqueles não desenvolvem a maioria das ocasiões o processo de derrubada e pesagem dos indivíduos, utilizando geralmente estimativas com equações matemáticas e revisão bibliográfica (DALLA LANA, 2017). Ainda assim os diferentes estudos

desenvolvidos mostram equações com bons ajustes e baixo erro padrão da estimativa, sendo preciso o uso das equações unicamente nas espécies analisadas, considerando como limitantes os fatores ambientais e a estimação para indivíduos na amplitude de classes diamétricas (SAMPAIO; SILVA, 2005; SILVA; SAMPAIO, 2008; ALVES JÚNIOR, 2010; SAMPAIO et al. 2010; FERRAZ, 2011; ABREU, 2012; SOUZA et al., 2013; LIMA, 2014).

Segundo Dalla Lana (2017), o primeiro estudo que foi desenvolvido para estimar biomassa na Caatinga obtiveram  $74 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  (KAUFFMAN et al., 1993) sem diferenciar nos compartimentos fuste, galhos e folhas. Posteriormente Silva quantificou entre  $2$  e  $156 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , apresentando mais do 60% das áreas  $20 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de biomassa total. Pode-se observar uma grande variabilidade entre diferentes zonas geográficas que oferecem diferentes características para o desenvolvimento das florestas da Caatinga. Já Sampaio e Freitas (2008) determinaram de  $2$  a  $160 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , sendo que nas áreas pesquisadas a quantidade de biomassa aérea se encontrava entre  $30$  a  $50 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Em estudo desenvolvido em diferentes áreas da Caatinga com diferentes níveis de antropização e condições ambientais diferenciadas Sampaio (2010) encontrou para áreas mais conservadas e favoráveis entre  $50$  e  $150 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , já para áreas antropizadas e condições de sítio que dificultam o crescimento das espécies arbustivo-arbóreas relatou biomassa aérea total entre  $20$  e  $80 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

Conforme a proporção de biomassa por compartimento (fuste, galho, folha, etc), a informação disponível reflete a variabilidade da disposição de biomassa aérea dependendo do grau de conservação do ecossistema, pois para áreas em regeneração natural a maior proporção foi dada por galhos (46,9%) seguida de fustes (39,4%) e folhas (13,7); já para áreas conservadas a proporção foi de 36,8%, 48% e 15,2% respectivamente (ALVES, 2011).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente trabalho foi desenvolvido com material lenhoso de espécies arbustivo-arbóreas procedente da Fazenda Itapemirim, que possui uma área total de 5.695,65 ha localizada no município de Floresta, estado de Pernambuco. A sede da fazenda está situada nas coordenadas geográficas 8°33'20,9"S de Latitude e 37°56'27,4"W de Longitude, distando 360 km da capital do estado, Recife (FERRAZ, 2011).

Pela classificação climática de Köppen o clima da região é do tipo BS'h, o que reporta a um clima semiárido quente. A precipitação anual total média fica compreendida entre 100 e 600 mm. A temperatura média anual do ar na região do sertão pode ser superior a 26°C (EMBRAPA, 2000).

Os períodos de chuva são concentrados de janeiro a maio, sendo os meses mais chuvosos março e abril. A vegetação pode ser classificada como Savana-Estépica Arborizada (IBGE, 2012). O solo da região é classificado como Luvisolo Crônico, caracterizado por ser raso e apresentar usualmente mudança abrupta em sua textura (EMBRAPA, 2011).

A área de estudo está inserida na ecorregião depressão sertaneja meridional. Essa região está entre as mais impactadas pela ação humana e com poucas áreas protegidas, em termos de número, área total ou categoria de proteção, mas ainda possuem áreas razoavelmente extensas com possibilidade de recuperação (VELLOSO et al., 2002).

#### 3.2 OBTENÇÃO DOS DADOS

##### 3.2.1 Espécies arbustivo-arbóreas

Foram estudadas, quanto à qualidade energética da madeira, densidade, composição química molecular e elementar seis espécies (Tabela 1), as quais totalizaram o 75% do valor de importância em área estudada por Alves Júnior (2010), em que foram registradas 26 espécies durante o processo de inventário fitossociológico.

A coleta das amostras da madeira foi feita com base na estrutura diamétrica obtida nos inventários florestais e, que vem sendo aplicado em estudos nessa área (ALVES, 2011). A partir da circunferência mínima de seis (6) cm (Tabela 2); cada espécie teve três indivíduos amostrados em cada classe de circunferência. Para cada espécie e classe de circunferência foi coletado um disco de madeira do fuste central na altura de 1,3 m do solo, totalizando uma amostragem de 90 discos de madeira.

**Tabela 1.** Densidade Absoluta (DA) e Valor de Importância (VI) de espécies lenhosas em área de Caatinga, Floresta-PE, Brasil.

ESPÉCIE	NOME VULGAR	DA (ind ha <sup>-1</sup> )	VI (%)
<i>Poincianella bracteosa</i> (Tul.) L.P. Queiroz	Catingueira	644,38	34,30
<i>Mimosa ophthalmocentra</i> Mart. ex Benth	Jurema de embira	206,25	11,99
<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart.	Pereiro	78,75	6,47
<i>Cnidocolus quercifolius</i> Pohl.	Faveleira	41,25	5,57
<i>Anadenanthera colubrina</i> var. <i>cebil</i> (Griseb.) Altschul.	Angico	63,13	5,35
<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir.	Jurema preta	28,13	3,59
Subtotal		1061,89	67,27
Demais espécies (20)		341,86	32,73
TOTAL		1403,75	100,00

Fonte: Alves Júnior (2010)

**Tabela 2.** Classes de circunferência e suas amplitudes em uma área de Caatinga, Floresta - PE, Brasil.

CLASSES	AMPLITUDE DE CLASSE (cm)
I	6,0 – 11,99
II	12,0 – 17,99
III	18,0 – 23,99
IV	24,0 – 29,99
V	≥ 30

Fonte: Alves (2011)

**a) *Anadenanthera colubrina* var. *cebil* (Griseb.) Altschul.**

*A. colubrina* var. *cebil*, pertence à família Fabaceae (APG III, 2009), é uma árvore encontrada na Caatinga Arbórea que atinge de 5 a 15 m de altura, em altitudes que variam de 300 a 800 m (QUEIROZ, 2009) e também na Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila e e Cerrado (MORIM, 2015) podendo atingir 8 a 20 m de altura e diâmetro a 1,30 m do solo (DAP) de 30 a 120cm (LORENZI, 2002a; CARVALHO, 2003). No Brasil, segundo Morim (2015), tem distribuição geográfica nas regiões Nordeste (Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Sergipe), Centro-Oeste (Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso) e Sudeste (Minas Gerais). A madeira apresenta uma densidade aparente de 0,89 (BARROS, 2009) a 0,93 g.cm<sup>-3</sup> (GONÇALVES et al., 2013).

**b) *Aspidosperma pyrifolium* Mart.**

*Aspidosperma pyrifolium* é uma espécie arbórea da família Apocynaceae, que atinge em média 5m de altura e de 15 a 20 cm de diâmetro (LORENZI, 2002a; MAIA, 2012), não endêmica do Brasil e com ocorrência em suas regiões Norte (Tocantins), Nordeste (Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Sergipe), Centro-

Oeste (Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso) e Sudeste (Minas Gerais) (FLORA DO BRASIL 2020 EM CONSTRUÇÃO, 2017a). A densidade aparente varia entre 0,62 (CARNEIRO et al., 2013; SANTOS et al., 2013) a 0,82 g.cm<sup>-3</sup> (MELO et al., 2007).

**c) *Cnidoscolus quercifolius* Pohl.**

*C. quercifolius* é uma espécie arbustivo-arbórea da família Euphorbiaceae, 2-12 m de altura, endêmica do Brasil (BA, CE, MG, PB, PE, PI, RN e SE) e de ocorrência em Caatinga (*stricto sensu*) e Floresta Estacional Decidual (MELO; SALES, 2008; CORDEIRO; SECCO, 2015). A madeira apresenta uma densidade aparente em torno de 0,55 g.cm<sup>-3</sup> (NÓBREGA, 2001; MAIA, 2012).

**d) *Mimosa ophthalmocentra* Mart. ex Benth**

*M. ophthalmocentra* é uma espécie arbustivo-arbórea da Fabaceae que atinge 2,5 a 8, mas podendo alcançar até 12 m de altura, característica da Caatinga *stricto sensu* com ocorrência em altitudes de 350 a 960 m (QUEIROZ, 2009). É endêmica do Brasil ocorrendo nas regiões Nordeste (Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte) e Sudeste (Minas Gerais) (DUTRA; MORIM, 2015). A densidade aparente varia de 0,90 (Santos et al., 2013) a 1,12 g.cm<sup>-3</sup> (LORENZI, 2002b).

**e) *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.**

*M. tenuiflora* é uma espécie arbustivo-arbórea que atinge 2,5 a 5 m de altura, frequente na caatinga arbustiva sobre solo arenoso e a sua madeira é um excelente combustível e é muito utilizada para fabricação de carvão (QUEIROZ, 2009). Não é endêmica do Brasil, ocorre na Caatinga *stricto sensu* e no Cerrado e tem distribuição geográfica em Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe (DUTRA; MORIM, 2015). A densidade aparente varia de 0,77 (ARAÚJO et., 2004) a 1,01 g.cm<sup>-3</sup> (MELO et al., 2006).

**f) *Poincianella bracteosa* (Tul.) L.P. Queiroz**

A *P. Bracteosa*, pertence a Fabaceae, é uma espécie arbustivo-arbórea de 1-6m de altura, cujo fuste pode atingir cerca de 45 cm de circunferência a 1,30 m do solo, ocorre principalmente em caatinga arbórea, mas também em formas mais abertas sobre solo arenoso, de 100-600 metros de altitude, e possui rápido crescimento (Queiroz, 2009). É endêmica do Brasil, presente na Caatinga (*stricto sensu*), Carrasco, Cerrado (*lato sensu*), Floresta Estacional Decidual e de ocorrência nos estados do Tocantins, Bahia, Ceará, Paraíba, Piauí ((FLORA DO BRASIL 2020 EM CONSTRUÇÃO, 2017b), Pernambuco (ALVES JUNIOR, 2010; FERRAZ, 2011) e Rio Grande do Norte (AMORIM et al., 2016). A densidade aparente varia de 0,81 (SANTOS et al., 2013) a 1,10 g.cm<sup>-3</sup> (MACHADO NETO et al., 2015).



### 3.2.2 Densidade aparente da madeira

A densidade aparente da madeira foi determinada por meio do método da balança hidrostática (VITAL, 1984), obtendo o volume pelo deslocamento do líquido e a massa com o auxílio de uma balança de precisão de 0,01g.

O primeiro passo consistiu no acondicionamento dos discos com casca a umidade do ar, até que atingisse um teor de umidade de 12%, posteriormente as amostras foram pesadas, após este procedimento, a amostra foi imersa em água para obtenção do volume deslocado de água, equivalente ao volume da mostra.

Em seguida, as amostras foram colocadas em estufa, a temperatura de  $103 \pm 2$  °C para secagem até o peso constante, obtendo, assim, a massa das amostras completamente seca com a finalidade de conhecer o teor de umidade de cada amostra, com o auxílio de uma balança de precisão. A densidade foi determinada pela relação massa/volume. As análises foram desenvolvidas no Laboratório de Tecnologia Florestal do Departamento de Ciência Florestal da Universidade Federal Rural de Pernambuco. No processo de preparação das amostras para as análises químicas e energéticas, foi preciso utilizar toda a amostra de material sólido na classe de circunferência I (6 a 12 cm), ou seja, por isso não foi possível estimar as suas densidades aparentes.

### 3.2.3 Análise química elementar da madeira

As amostras de madeira de cada indivíduo foram moídas em moinho tipo Wiley e em seguida passou por pulverizador para obter amostras classificadas em peneiras de 200/270 mesh. As amostras foram secas em estufa a  $103 \pm 2$  °C por 24 horas. Em seguida foram pesadas aproximadamente um (1) grama das amostras e levadas a um analisador elementar CHN Perkin Elmer II 2400 série CHNS /O, onde foram determinados valores para Carbono (C), Hidrogênio (H) e Nitrogênio (N).

As amostras foram submetidas a temperaturas de 1200 °C no interior do analisador, ocorrendo reações químicas as quais tem como resultado a emissão de gases conduzidos a um compartimento especial por meio de tubos redutores, onde os elementos químicos são individualizados a partir da massa molecular.

Os dados sobre a composição química elementar dos indivíduos avaliados foram obtidos do trabalho de tese de Dalla Lana (2017) e foram desenvolvidos no Laboratório de Fertilidade

dos Solos da Universidade Federal Rural de Pernambuco-Unidade Acadêmica Garanhuns (UFRPE-UAG).

### **3.2.4 Lignina insolúvel na madeira**

Foram determinados os teores de lignina insolúvel e de cinza por meio de análises realizadas no Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Para a determinação do teor de lignina insolúvel em ácido, utilizaram-se duplicatas pelo método Klason, modificado de acordo com o procedimento proposto por Gomide e Demuner (1986), derivado da norma TAPPI T 222 om-02 (TAPPI, 2002). Para isso as amostras de madeira foram moídas em um moinho tipo Wiley e classificadas em peneiras de 40/60 mesh, retidas na peneira de 60 mesh. Posteriormente pesou-se  $0,8 \pm 0,002$  gramas de amostra seca ao ar e depositada em cadinhos filtrantes. Em seguida, procedeu-se a lavagem do material em detergente ácido a 3% de concentração de ácido sulfúrico para depois ser depositado em autoclave por 1 hora a  $105^{\circ}\text{C}$ , com a finalidade de retirar os componentes solúveis. Após esse procedimento as amostras passaram pela hidrólise. Os polissacarídeos da madeira foram hidrolisados com ácido sulfúrico a 72% de concentração, a  $20^{\circ}\text{C}$  de temperatura, no período de três horas, formando diversos oligossacarídeos.

O resíduo do processo de hidrólise, após lavagem com água quente, foi determinado gravimetricamente. O material foi colocado em um forno elétrico tipo mufla a uma temperatura de  $600 \pm 5^{\circ}\text{C}$  por três horas, obtendo o teor de cinzas. A diferença entre o teor de cinza e o valor obtido posterior a hidrólise foi considerado como o teor de lignina insolúvel.

### **3.2.5 Cinzas na madeira**

O teor de cinzas (%) foi determinado pela massa do resíduo mineral de materiais lignocelulósicos resultante da combustão completa da amostra. A incineração foi realizada a uma temperatura de  $600 \pm 5^{\circ}\text{C}$  em um forno elétrico tipo mufla, por três horas seguindo as recomendações descritas na norma TAPPI T 211 om-02 (TAPPI, 2002). A análise foi desenvolvida no Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal Rural de Pernambuco

### 3.2.6 Poder calorífico da madeira

O poder calorífico superior foi determinado em um calorímetro digital, modelo IKA WERKE, modelo C-2000 no Laboratório de Análises Químicas e Bromatológicas da Universidade Nacional de Colômbia Sede Medellín, conforme a norma ISO 9831:1998 (ISO, 1998).

As amostras de madeira moída foram depositadas na bomba calorimétrica. Para realizar o procedimento deve-se conhecer a capacidade calorífica do calorímetro, a qual foi avaliada por meio da ignição de um grama de ácido benzóico ( $C_6H_5COOH$ ). O material foi analisado em uma câmara de combustão isolada termicamente para impedir perdas de calor, o qual ficou imerso em água em um recipiente de aço, posteriormente se injetou o oxigênio necessário para que acontecesse a combustão constante, que se iniciou por meio de um curto circuito gerado por um condutor elétrico. O calor liberado foi absorvido pela película de água, por meio da qual se mensurou a variação térmica (temperatura inicial e final da água), calculando-se o calor liberado pelo material testado. Depois a amostra de madeira (1g) foi queimada sob as mesmas condições realizada para o ácido benzóico, determinando-se o poder calorífico superior para cada amostra. Posteriormente foi calculado o poder calorífico inferior por meio da expressão 1.

$$PCI = PCS - 600 \times 9H / 100 \quad (\text{Exp. 1})$$

Em que: PCI = poder calorífico inferior ( $\text{kcal.kg}^{-1}$ ); PCS = poder calorífico superior ( $\text{kcal.kg}^{-1}$ ); H = % de Hidrogênio

### 3.2.7 Densidade energética da madeira

A densidade energética da madeira (DEM) foi calculada por meio da expressão 2.

$$DEM_1 = Da \times PCS \quad (\text{Exp. 2})$$

Em que:  $DEM_1$  = Densidade Energética da madeira ( $\text{kcal.m}^{-3}$ ); PCS = poder calorífico superior da madeira ( $\text{kcal.kg}^{-1}$ ); Da: Densidade aparente da madeira ( $\text{kg.m}^{-3}$ );

### 3.2.8 Estimativa do potencial energético da biomassa por espécie

Para estimativa do potencial energético das foram consideradas as biomassas por espécie em  $\text{kg.ha}^{-1}$  (Tabela 3) e as suas percentagens para o compartimento fuste conforme classe diamétrica (Tabela 4) obtidas por Dalla Lana (2017) na área do presente estudo.

**Tabela 3.** Biomassa seca acima do solo estimada de espécies lenhosas em área de Caatinga, Floresta-PE, Brasil.

Espécie	Biomassa Seca (Mg.ha <sup>-1</sup> )
<i>P. bracteosa</i>	18,3811
<i>A. pyrifolium</i>	1,4744
<i>M ophthalmocentra</i>	1,2746
<i>A. colubrina</i>	0,9403
<i>C. quercifolius</i>	0,8374
<i>M. tenuiflora</i>	0,8186

Fonte: Dalla Lana (2017)

**Tabela 4.** Proporção de biomassa seca total acima do solo (%) para fuste por classe de circunferência a 1,30 m do solo (cm) para espécies lenhosas em área de Caatinga, Floresta-PE, Brasil.

Espécie	Classe de Circunferência				
	I	II	III	IV	V
<i>C. quercifolius</i>	64,8	43,1	43,8	70,3	52,4
<i>M. tenuiflora</i>	39,6	35,4	44,7	37,2	37,6
<i>M ophthalmocentra</i>	44,5	57,1	60,9	57,5	47,8
<i>A. pyrifolium</i>	43,4	47,4	59,3	46,2	34,2
<i>P. bracteosa</i>	66,1	47,2	60,0	50,3	37,1
<i>A. pyrifolium</i>	67,2	65,6	57,1	49,9	57,2

Fonte: Dalla Lana (2017)

Assim, o poder calorífico superior (kcal.kg<sup>-1</sup>) das madeiras para cada espécie e classe de circunferência e a biomassa (kg.ha<sup>-1</sup>) para cada espécie, compartimento fuste e classe de circunferência, foi estimado a oferta energética por hectare (kcal.ha<sup>-1</sup>), o qual dividido por 860, fornece a estimativa da produção energética em kW.h.ha<sup>-1</sup>.

### 3.3 ANÁLISES DOS DADOS

Inicialmente foi realizada uma análise de estatística descritiva das variáveis estudadas por meio das estimativas de suas médias, desvios-padrão, variância e coeficiente de variação.

A pressuposição de homogeneidade de variância para as variáveis estudadas foi analisada pelo método proposto por Box e Cox (1964). Já para verificar a normalidade dos resíduos, aplicou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov a 5% de significância.

Para a análise de variância (ANOVA) se considerou um delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial (seis espécies x cinco classes de circunferência), com três repetições (indivíduos) ao nível de 5% de probabilidade. Para comparação das médias, caso ANOVA significativa, foi empregado o teste de Tukey a 5% de significância. O grau de correspondência das propriedades físicas, químicas e energéticas da madeira foi avaliado por

uma análise de correlação simples de Pearson entre as variáveis, sendo a significância dos coeficientes analisada pelo teste t de Student.

As análises estatísticas foram executadas por meio do ASSISTAT versão 7.7 (SILVA; AZEVEDO, 2016).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A maioria das variáveis avaliadas apresentou coeficientes de variação relativamente baixos (Tabela 5), com valores entre 2,89 % (PCS) e 19,91 % (Da). Já as variáveis Densidade Energética da Madeira (20,55%) e Teor de nitrogênio (28,14%), tiveram valores elevados para esse parâmetro (BELLU; LIBERATI, 2006).

**Tabela 5.** Estatísticas descritivas para as variáveis estudadas de espécies lenhosas em área de Caatinga, Floresta-PE, Brasil.

Espécies	Média								
	% C*	% H*	% N*	%LIG*	%CIZ*	Da**	PCI*	PCS*	DEM*
<i>A. colubrina</i>	47,25	5,44	0,51	19,61	1,15	0,91	4277,38	4571,00	4163,13
<i>P. bracteosa</i>	45,01	5,28	0,46	22,86	1,05	0,91	4167,96	4453,33	4062,89
<i>C. quercifolius</i>	46,78	5,82	0,58	26,44	1,18	0,56	4263,29	4577,53	2555,22
<i>M. ophthalmocentra</i>	47,06	5,43	0,44	22,96	1,04	1,02	4304,83	4598,27	4725,74
<i>M. tenuiflora</i>	47,22	5,40	0,67	19,70	1,10	0,98	4521,98	4813,80	4718,34
<i>A. pyrifolium</i>	47,40	5,63	0,76	22,45	1,06	0,76	4414,90	4719,13	3608,40
Geral	46,79	5,50	0,57	22,34	1,10	0,86	4325,06	4622,18	3972,29
Mínimo									
<i>A. colubrina</i>	44,09	4,99	0,39	16,08	0,96	0,82	4185,76	4486,00	3765,15
<i>P. bracteosa</i>	42,69	4,72	0,33	17,15	0,92	0,76	4055,92	4327,00	3456,00
<i>C. quercifolius</i>	42,69	5,29	0,46	23,11	0,95	0,46	4179,24	4500,00	2173,35
<i>M. ophthalmocentra</i>	42,86	4,84	0,27	18,92	0,87	0,88	4166,98	4444,00	4058,14
<i>M. tenuiflora</i>	34,42	4,68	0,48	15,79	0,95	0,76	4366,24	4672,00	3726,03
<i>A. pyrifolium</i>	42,14	5,09	0,56	19,05	0,81	0,64	4246,92	4545,00	3025,93
Geral	34,42	4,68	0,27	15,79	0,81	0,46	4055,92	4327,00	2173,35
Máximo									
<i>A. colubrina</i>	54,38	5,78	0,73	22,24	1,62	1,09	4373,74	4654,00	4975,37
<i>P. bracteosa</i>	48,07	5,84	0,57	28,27	1,29	1,00	4294,18	4582,00	4474,35
<i>C. quercifolius</i>	54,24	6,35	0,72	30,88	1,45	0,62	4381,58	4691,00	2792,66
<i>M. ophthalmocentra</i>	53,61	6,20	0,79	27,35	1,16	1,13	4399,50	4693,00	5272,39
<i>M. tenuiflora</i>	56,47	6,07	1,09	24,10	1,31	1,09	4607,88	4897,00	5335,10
<i>A. pyrifolium</i>	53,20	6,17	1,01	27,84	1,26	0,87	4540,54	4848,00	4148,00
Geral	56,47	6,35	1,09	30,88	1,62	1,13	4607,88	4897,00	5335,10
Desvio-padrão									
<i>A. colubrina</i>	2,68	0,19	0,08	1,86	0,16	0,07	54,69	51,90	340,11
<i>P. bracteosa</i>	1,72	0,30	0,06	3,12	0,10	0,07	59,20	68,13	304,52
<i>C. quercifolius</i>	3,02	0,31	0,09	2,17	0,13	0,05	56,59	55,40	194,27
<i>M. ophthalmocentra</i>	3,37	0,42	0,15	2,29	0,08	0,07	65,15	69,71	333,18
<i>M. tenuiflora</i>	5,75	0,43	0,15	2,79	0,10	0,09	76,84	71,85	425,75
<i>A. pyrifolium</i>	3,34	0,31	0,13	2,40	0,14	0,07	86,72	90,33	391,30
Geral	3,53	0,37	0,16	3,34	0,13	0,17	132,12	133,97	816,38
Coeficiente de Variação (%)									
<i>A. colubrina</i>	5,66	3,55	15,23	9,46	13,83	7,75	1,28	1,14	8,17
<i>P. bracteosa</i>	3,82	5,63	14,23	13,63	9,03	7,34	1,42	1,53	7,50
<i>C. quercifolius</i>	6,46	5,36	14,83	8,22	11,17	8,32	1,33	1,21	7,60
<i>M. ophthalmocentra</i>	7,16	7,79	32,95	9,98	7,55	6,60	1,51	1,52	7,05
<i>M. tenuiflora</i>	12,17	7,98	22,28	14,16	9,44	8,90	1,70	1,49	9,02
<i>A. pyrifolium</i>	7,05	5,44	17,67	10,70	13,39	9,70	1,96	1,91	10,84
Geral	7,54	6,76	28,14	14,95	11,80	19,91	3,05	2,90	20,55

%C = teor de carbono; %H = teor de hidrogênio; %N = teor de nitrogênio; %LIG = teor de lignina insolúvel; %CIZ = teor de cinzas; Da = densidade aparente ( $\text{g.cm}^{-3}$ ); PCS e PCI = poder calorífico superior e inferior ( $\text{kcal.kg}^{-1}$ ); DEM = densidade energética da madeira ( $\text{kcal.m}^{-3}$ ); \* número de amostras (n) = 15; \*\* n = 12.

Para atender a pressuposição de homogeneidade de variância foi necessário realizar a transformação dos teores de nitrogênio (%N) e Carbono (%C) por meio do logaritmo natural e da densidade absoluta (Da) pela potência (2,51). No entanto, todos os resultados são apresentados na escala original das variáveis.

#### 4.1 DENSIDADE APARENTE DA MADEIRA

Houve efeito significativo das espécies ( $p < 0,01$ ) e das classes de circunferência do tronco ( $p < 0,05$ ) e não significativo da interação ( $p \geq 0,05$ ) sobre a densidade aparente da madeira (Tabela 6). Logo, para esta variável a influência desses fatores podem ser estudados independentemente.

**Tabela 6.** Análises de variância da Densidade aparente da madeira em espécies lenhosas em área de Caatinga, Floresta-PE, Brasil.

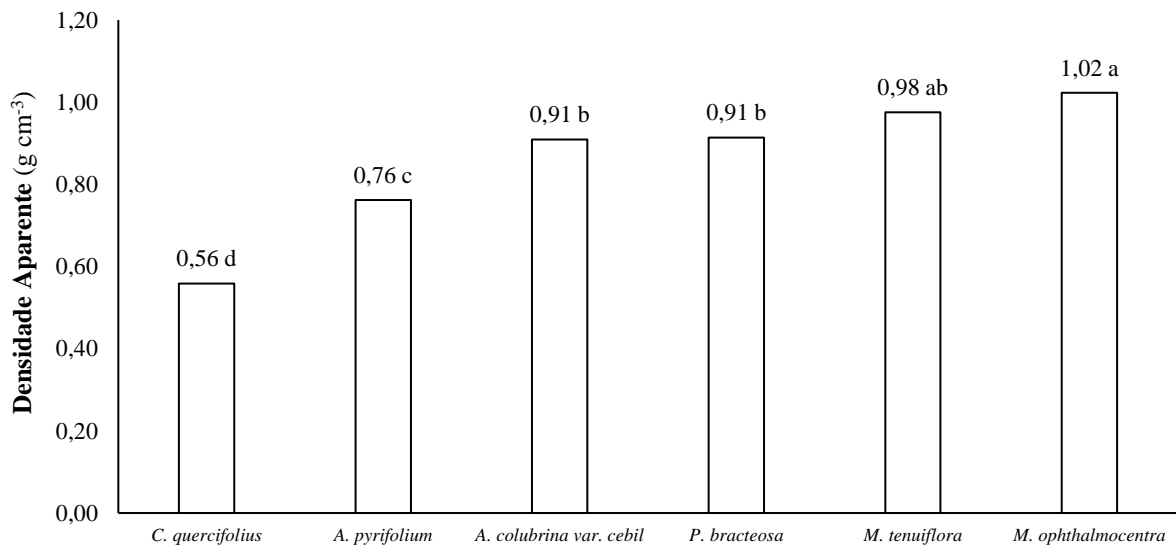
Fonte de Variação	GL	Quadrado de Análise		
		SQ	QM	F
Espécie (E)	5	5,6442	1,1288	65,0955**
Circunferência (C)	3	0,1471	0,0490	2,8267*
Int. E x C	15	0,4094	0,0273	1,5741 <sup>ns</sup>
(Tratamentos)	23	6,2007	0,2696	15,5465**
Resíduo	48	0,8324	0,1734	
Total	71	7,0331		

\*\* significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); \* significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ); <sup>ns</sup> não significativo pelo teste F ( $p \geq 0,05$ )

Em termos médios de Densidade aparente (Da) observam-se diferenças marcantes entre a *C. quercifolius* ( $0,56 \text{ g.cm}^{-3}$ ) e o *A. pyrifolium* ( $0,76 \text{ g.cm}^{-3}$ ) em relação as demais espécies (Figura 1). As *M. ophthalmocentra* ( $1,02 \text{ g.cm}^{-3}$ ) e *M. tenuiflora* ( $0,98 \text{ g.cm}^{-3}$ ) são similares, mas não há diferenças da *M. tenuiflora* para a *A. colubrina* ( $0,91 \text{ g.cm}^{-3}$ ) e *P. bracteosa* ( $0,91 \text{ g.cm}^{-3}$ ).

Em geral, as espécies estudadas apresentam boas características para utilização como material combustível considerando a densidade aparente, pois apresentaram valores superiores quando comparado com materiais lignocelulósicos utilizados na indústria brasileira como fontes de energia provenientes de plantações, como por exemplo do gênero *Eucalyptus sp.*, que apresentam densidade básica entre  $0,50$  e  $0,59 \text{ g.cm}^{-3}$  (ROCHA, 2000; SILVA, 2005).

**Figura 4.** Média de densidade aparente da madeira de espécies lenhosas em área de Caatinga, Floresta-PE, Brasil.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste Tukey ( $p \geq 0,05$ ).

As *M. ophthalmocentra*, *M. tenuiflora*, *A. colubrina* e *P. bracteosa*, considerando os planos de manejo sustentável na região do estudo têm como objetivo principal a produção de lenha e ou carvão (MEUNIER, 2014), deveriam ser priorizadas na produção de energia devido suas maiores capacidades caloríficas por volume, podendo diminuir o volume requerido e assegurando um maior tempo de combustão dentro de fornalhas, podendo fornecer uma maior viabilidade econômica na exploração dessas espécies, devido à redução nos custos de transporte do material (SANTOS 2010). Além disso, as espécies que não são objeto de manejo poderiam ter outras finalidades, como por exemplo, proteção ao solo, refúgio a fauna, entre outros, ou seja, serviços ambientais.

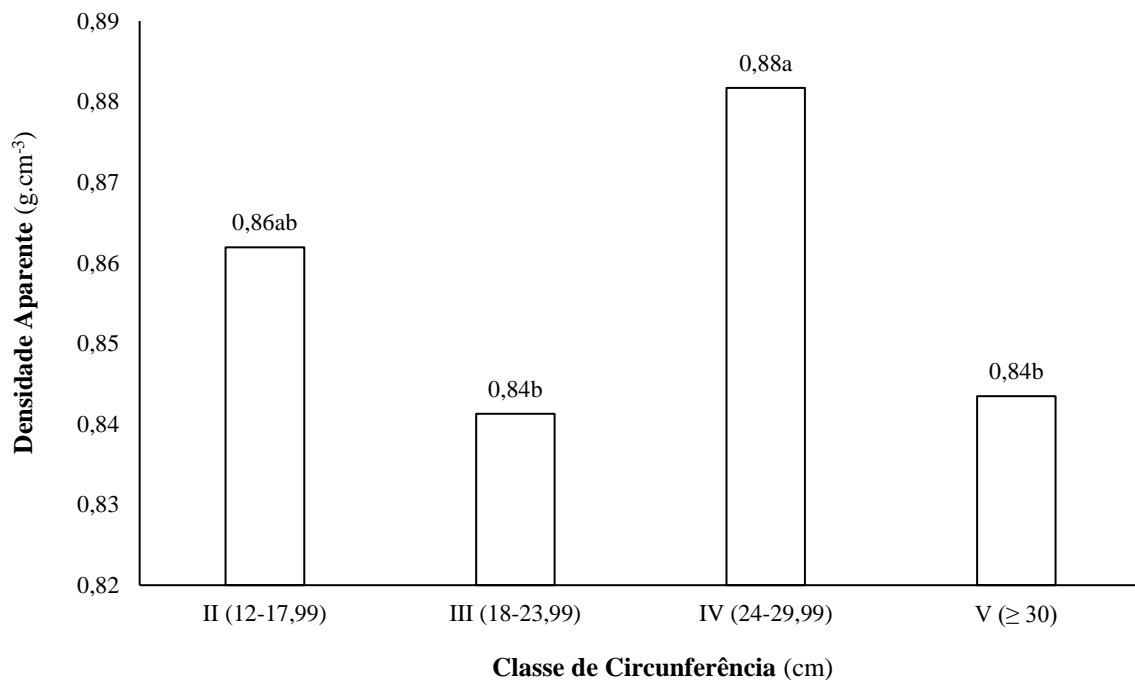
Os valores da densidade aparente encontrados no presente estudo são similares com os reportados por autores como Santos et al. (2013) para *M. tenuiflora* (0,90 g.cm<sup>-3</sup>), *A. pyrifolium* (0,62 g.cm<sup>-3</sup>) e *P. bracteosa* (0,81 g.cm<sup>-3</sup>), Melo et al. (2006) para *M. tenuiflora* (0,99 g.cm<sup>-3</sup>); Carneiro et al. (2013) para *M. tenuiflora* (0,90 g.cm<sup>-3</sup>) e *A. pyrifolium* (0,62 g.cm<sup>-3</sup>); Melo et al. (2007) para *A. pyrifolium* (0,79 g.cm<sup>-3</sup>), Barros (2009) para *A. colubrina* (0,89 g.cm<sup>-3</sup>), Oliveira et al. (2006) para *M. tenuiflora* (0,91 g.cm<sup>-3</sup>), Nóbrega (2001) para *C. quercifolius* (0,55 g.cm<sup>-3</sup>) e Silva et al (2011) para a espécie *M. ophthalmocentra* (1,0 g.cm<sup>-3</sup>). No entanto, vale ressaltar que as interações das propriedades anatômicas e químicas da madeira refletem na densidade do material, muitas estas variações são ocasionadas pela mistura de fatores genéticos, resposta a



características ambientais, práticas de manejo silvicultura e adaptações na dinâmica de crescimento (PANSHIN; DE ZEEUW, 1980), o que leva a um olhar parcimonioso na comparação dos resultados entre os trabalhos.

Na análise do efeito das classes de circunferência a altura do peito sobre a densidade aparente das madeiras das espécies estudadas (Figura 2), observa-se que se pode afirmar diferenças entre as classes III e V em relação a IV. Logo, não é possível inferir o estabelecimento de atividades de manejo conforme a classe de circunferência, o que reforça a afirmativa de Santos et al. (2013) de que a densidade não deve ser utilizada isoladamente para a seleção de qualidade e que é necessário estudar outros fatores que influenciam a produção energética na madeira. É importante acrescentar que não foram encontrados na literatura estudos considerando classes diamétricas ou de circunferência na avaliação da densidade para espécies da Caatinga que possam ser comparados com os encontrados. No entanto, assim como no presente trabalho, Barnes et al. (1977), Pinheiro et al. (1983), Moura et al. (1991) e Lima et al. (2011), não encontraram influência do diâmetro sobre a densidade aparente, mas foram constatadas por Lima; Garcia (2005) e Trevisan et al. (2007), o que deixam aberta a discussão.

**Figura 5.** Média da densidade aparente da madeira conforme a classe de circunferência em área de Caatinga, Floresta-PE, Brasil.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste Tukey ( $p \geq 0,05$ ).

## 4.2 ANÁLISE QUÍMICA ELEMENTAR DA MADEIRA

Na Tabela 7 não se observaram efeitos significativos ( $p \geq 0,05$ ) da espécie, da circunferência e da interação para teor de carbono (%C). Observou-se também que a variável nitrogênio (%N) apresentou efeito significativo para a espécie ( $p < 0,01$ ) e para o fator Classe de Circunferência ( $p < 0,05$ ), apresentando igualmente um alto coeficiente de variação (28,14%). Além disso, deve-se notar que a variável hidrogênio (%H) mostrou efeito significativo para a interação dos fatores Espécie - Classe de Circunferência ( $p < 0,05$ ), demonstrando um baixo coeficiente de variação (6,76 %). Logo, para %H a influência da espécie e da circunferência devem ser estudadas em conjunto. Já para %N os fatores devem ser estudados de forma independente.

**Tabela 7.** Análises de variância do teor de Carbono (%C), Hidrogênio (%H), Nitrogênio (%N), de espécies lenhosas em área de Caatinga, Floresta-PE, Brasil.

Fonte de Variação		%C			%H			%N		
		SQ	QM	F	SQ	QM	F	SQ	QM	F
Espécie (E)	5	0,0255	0,0051	1,0559 <sup>ns</sup>	2,7444	0,5489	5,8200 <sup>**</sup>	4,5593	0,0119	29,1908 <sup>**</sup>
Circunferência (C)	4	0,0290	0,0073	1,4996 <sup>ns</sup>	0,1855	0,0464	0,4918 <sup>ns</sup>	0,3188	0,0797	2,5513 <sup>*</sup>
Int. E x C	20	0,1633	0,0082	1,6877 <sup>ns</sup>	3,7510	0,18755	1,9887 <sup>*</sup>	0,6454	0,0323	1,0331 <sup>ns</sup>
(Tratamentos)	29	0,2178	0,0075	1,5529 <sup>ns</sup>	6,6810	0,2304	2,4428 <sup>**</sup>	5,5225	0,1905	6,0973 <sup>**</sup>
Resíduo	60	0,2902	0,0048		5,6586	0,0943		1,8743	0,0312	
Total	89		0,5080		12,3396			7,3977		

\*\* significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); \* significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ); ns não significativo pelo teste F ( $p \geq 0,05$ )

A falta de influência de espécie e circunferência no teor de carbono (%C), coincide com a informação reportada quanto à baixa variabilidade deste elemento dentro da composição química elementar da madeira das folhosas (KLOCK, et al., 2005, BRAND, 2010). No entanto, Santos et al. (2013), em estudo desenvolvido com espécies da Caatinga evidenciaram efeito no %C e não do hidrogênio (%H) diferindo ao encontrado no presente estudo, mas também observaram o efeito do %N.

Para o teor de nitrogênio (%N) se observa que o *A. pyrifolium*, com um valor de 0,77% para essa variável, apresentou os maiores valores, não se evidenciando diferença significativa quando comparada com a espécie *M. tenuiflora* (0,68), mas apresentando diferença estatística com as demais espécies (Tabela 8).

**Tabela 8.** Teor de carbono (%C) e de nitrogênio (%N) de espécies lenhosas em área de Caatinga, Fazenda Itapemirim, Floresta - PE, Brasil.

<b>Espécie</b>	<b>%C</b>	<b>%N</b>
<i>A. pyrifolium</i>	47,40 a	0,77 a
<i>M. tenuiflora</i>	47,22 a	0,68 ab
<i>C. quercifolius</i>	46,78 a	0,58 bc
<i>A. colubrina</i>	47,25 a	0,51 cd
<i>M. ophthalmocentra</i>	47,06 a	0,40 d
<i>P. bracteosa</i>	45,01 a	0,45 d

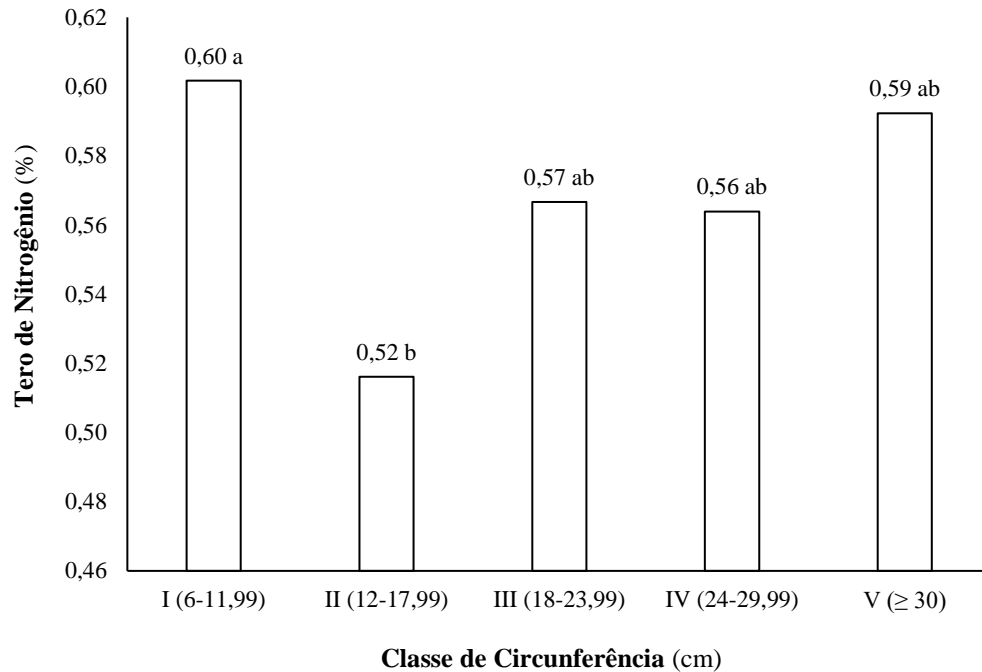
Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem significativamente pelo teste Tukey ( $p \geq 0,05$ ).

É importante ressaltar que os baixos valores no teor de nitrogênio obtidos pelas espécies *M. ophthalmocentra* (0,40%) e *P. bracteosa* (0,45), posiciona-as como espécies de alto interesse na produção energética podendo causar menores impactos sobre os equipamentos de combustão e o ambiente, devido ao papel desse elemento químico na produção de subprodutos poluentes como óxidos nitrosos (KUMAR et al., 2010).

Os valores encontrados no presente estudo diferem dos resultados obtidos por Santos et al. (2013), a qual utilizando a mesma metodologia encontrou valores maiores de %N para as espécies *M. tenuiflora* (1,2%), *A. pyrifolium* (1,32%) e *P. bracteosa* (1%).

Quanto ao fator circunferência apesar do efeito significativo ( $p < 0,05$ ) para o teor de nitrogênio, apenas se pode afirmar diferenças entre as classes de circunferência I e II (Figura 3). A classe de circunferência II com indivíduos entre 12 e 17,99 cm de circunferência, apresentou os menores valores nesta variável, evidenciando diferença significativa quando comparada com os indivíduos da classe de circunferência I (6 – 11,99 cm), fornecendo indivíduos com baixos teores de nitrogênio, elemento que pode afetar negativamente a produção de energia (BRAND, 2010); deve-se advertir que os valores obtidos pelos indivíduos da classe de circunferência II não apresenta diferença significativa com os indivíduos nas classes de circunferência III, IV e V, os quais tampouco diferem dos indivíduos da classe de circunferência I. Logo, não se pode afirmar que o teor de nitrogênio tende a diminuir com o aumento da circunferência dos indivíduos, como o reportado por Protásio et al. (2014).

**Figura 6.** Teor de Nitrogênio da madeira segundo a classe de circunferência em espécies lenhosas em área de Caatinga, Fazenda Itapemirim, Floresta-PE, Brasil.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste Tukey ( $p \geq 0,05$ ).

Na Tabela 9 se observa que o teor de hidrogênio (%H) na madeira da *C. quercifolius* (5,84 %) na classe I foi superior apresentando diferença significativa com as espécies *P. bracteosa* (5,31 %), *A. colubrina* (5,35 %) e *A. pyrifolium* (5,52 %), é importante ressaltar que essas espécies exibem uma menor variabilidade no teor de hidrogênio em as diferentes etapas de crescimento. Os quais por sua vez não se diferenciaram estatisticamente com as espécies *M. tenuiflora* e *M. ophthalmocentra* com valores de 5,73% e 5,61% respectivamente.

**Tabela 9.** Teor de Hidrogênio na madeira conforme espécie e classe de circunferência em espécies lenhosas em área de Caatinga, Floresta-PE, Brasil.

Espécie	Classe de Circunferência				
	I	II	III	IV	V
<i>C. quercifolius</i>	5,84 aA	5,74 abA	6,01 aA	5,56 bAB	5,94 aA
<i>M. tenuiflora</i>	5,73 aA	5,03 bB	5,13 bB	5,87 aA	5,26 bB
<i>M. ophthalmocentra</i>	5,61 aAB	5,35 bB	5,22 bB	5,49 abB	5,50 aB
<i>A. pyrifolium</i>	5,52 bB	5,45 bAB	5,58 bB	5,85 aA	5,77 abAB
<i>P. bracteosa</i>	5,43 aB	5,69 a	5,17 bB	4,98 bB	5,15 bB
<i>A. colubrina</i>	5,35 bB	5,36 bB	5,48 abB	5,36 bB	5,63 aB

Médias seguidas pela mesma letra minúsculas na coluna não diferem significativamente pelo teste Tukey ( $p \geq 0,05$ ); Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas na linha não diferem significativamente pelo teste Tukey ( $p \geq 0,05$ ).

É importante realçar o papel de destaque que tem este elemento na produção de energia, já que apresenta uma correlação positiva com o poder calorífico da madeira (PAULA et al., 2011; PROTÁSIO et al., 2011). Os valores encontrados no presente estudo diferem dos resultados obtidos por Santos et al. (2013), para o teor de hidrogênio de espécies da Caatinga, que reportaram uma média de 6,34%, quando comparada com os valores encontrados no presente estudo, que indicou o maior valor para a *C. quercifolius* na classe de circunferência III com um valor de 6,01%, sendo esta a espécie com menor potencial para a produção de energia com base na biomassa.

Observa-se uma tendência das espécies, a apresentar valores mais altos no teor de hidrogênio nas maiores classes de circunferência. O qual pode indicar melhores características em quanto à qualidade dos materiais lignocelulósicos classificados nas classes de circunferência maiores.

#### 4.3 LIGNINA INSOLÚVEL E CINZAS

Para o teor de lignina insolúvel (%LIG) se observou que há interação entre espécie e classe de circunferência (Tabela 10) indicando o estudo em conjunto dos fatores. Já o teor de Cinzas (%CIZ) foi influenciado apenas pelo fator espécie, esse resultado permite selecionar espécies com menores teores de cinzas, levando em conta a influência negativa dessa variável sobre a produção energética e o aumento de manutenção dos equipamentos de combustão (PAULA et al., 2011; PROTÁSIO et al., 2011).

**Tabela 10.** Análises de variância do teor de Lignina insolúvel (%LIG) e Cinzas (%CIZ), de espécies lenhosas em área de Caatinga, Floresta-PE, Brasil.

Fonte de Variação		% LIG			% CIZ		
		SQ	QM	F	SQ	QM	F
Espécie (E)	5	479,5761	95,9152	19,7568 **	0,2493	0,0499	3,5484 **
Circunferência (C)	4	43,076 4	10,7691	2,2182 <sup>ns</sup>	0,0812	0,0203	1,4452 <sup>ns</sup>
Int. E x C	20	179,2579	8,9629	1,8462 *	0,3189	0,0160	1,1350 <sup>ns</sup>
(Tratamentos)	29	701,9104	24,2038	4,9855 **	0,6494	0,0224	1,5939 <sup>ns</sup>
Resíduo	60	291,2879	4,8548		0,8429	0,0141	
Total	89	993,1983			1,49228		

\*\* significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); \* significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ); ns não significativo pelo teste F ( $p \geq 0,05$ )

Observa-se que a espécie *C. quercifolius* (Tabela 11) obteve o valor mais alto quanto ao teor de cinzas (1,18%), posicionando-a de novo como a espécie com menor potencial energético, apresentando diferença significativa com a espécie *M. ophthalmocentra* (1,04 %),

as outras espécies não apresentaram diferenças significativas com essas duas espécies e em geral entre elas. Vale ressaltar que os valores reportados em outros estudos foram inferiores aos encontrados no presente trabalho, Santos et al. (2013) reportaram valores de 0,46 e 0,49 % para as espécies *M. tenuiflora* e *A. pyrifolium* e Oliveira (2003) encontrou valores de 0,56 % para ambas espécies, que diferem dos do presente trabalho de 1,10 e 1,06%. Já para a espécie *A. colubrina* Paes et al. (2013) encontraram valores de 2,10 % e Santos et al. (2013) reporto para a espécie *P. bracteosa* teor de cinza de 1,64 %, valores superiores a 1,15 e 1,05% de teor de cinzas da madeira dessas espécies no presente trabalho.

**Tabela 11.** Teores de cinzas (%CIZ) da madeira de espécies lenhosas em área de Caatinga, Floresta - PE, Brasil.

Espécies	%CIZ
<i>C. quercifolius</i>	1,18 a
<i>A. colubrina</i>	1,15 ab
<i>M. tenuiflora</i>	1,10 ab
<i>A. pyrifolium</i>	1,06 ab
<i>P. bracteosa</i>	1,05 ab
<i>M. ophthalmocentra</i>	1,04 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste Tukey ( $p \geq 0,05$ ).

Em geral, os valores de cinza encontrados no presente trabalho são elevados quando comparados com outras espécies florestais, cultivadas com fins de produção de energia e carvão, como por exemplo do *Eucalyptus sp.* que apresentam entre 0,3 e 0,5 % (FREDERICO et al., 2009; TRUGILHO et al., 2009; PROTÁSIO et al., 2011), o que significa uma possível desvantagem na utilização dos materiais lignocelulósicos pesquisados no presente trabalho.

Para o teor de lignina insolúvel (% LIG), observa-se que para todas as espécies (Tabela 12), excetuando-se *C. quercifolius*, uma tendência de melhor comportamento para as classes de circunferência menores, o que pode estar relacionado com a quantidade de madeira juvenil em aqueles indivíduos (VITAL, 1984).

A *C. quercifolius* apresentou maiores teores de lignina insolúvel (26,44%) sendo próximo aos resultados reportados por Oliveira (2003), que encontrou teores de lignina total maiores para essa espécie quando comparada com a *M. tenuiflora*, que no presente estudo apresentou 19,69 % para lignina insolúvel. Por outro lado, Paes et al. (2013) encontraram diferença significativa para teor de lignina total para as espécies *A. colubrina* e *M. tenuiflora*, o que não aconteceu no presente trabalho. O fato das espécies *C. quercifolius* e *A. pyrifolium*

apresentarem os melhores teores de lignina insolúvel, pode posicioná-las como espécies interessantes para a transformação de seus produtos em carvão, devido ao lento processo de degradação térmica que sofre essa molécula e os altos rendimentos durante os processos de carbonização (KLOCK, et. al., 2005), porém os altos teores de cinzas dessas espécies podem dificultar a combustão da madeira delas e aumentar os custos de manutenção dos equipamentos. Já a espécie *M. ophthalmocentra*, apresenta valores médios para a variável teor de lignina insolúvel e os menores valores para o teor de cinzas, apresentando características ótimas para a obtenção de energia.

**Tabela 12.** Comparações entre médias considerando a interação entre espécies e circunferência para Lignina insolúvel (%LIG) na madeira em área de Caatinga, Floresta-PE, Brasil.

Espécie	Classe de Circunferência				
	I	II	III	IV	V
<i>P. bracteosa</i>	26,22 aA	22,81 abAB	24,04 aAB	20,70 bB	20,53 bcB
<i>C. quercifolius</i>	25,45 abA	27,44 aA	25,14 aA	26,42 aA	27,76 aA
<i>M. ophthalmocentra</i>	23,73 abA	21,78 bA	25,08 aA	23,73 aA	20,50 bcA
<i>A. pyrifolium</i>	22,67 abA	21,36 bA	23,36 aA	20,62 bA	24,24 abA
<i>M. tenuiflora</i>	22,31 abA	18,24 bA	17,61 bA	18,70 bA	21,63 bcA
<i>A. colubrina</i>	20,92 bA	19,04 bA	20,49 bA	19,76 abA	17,82 cA

Médias seguidas pela mesma letra minúsculas na coluna não diferem significativamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ );

Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas na linha não diferem significativamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ).

#### 4.4 PODER CALORÍFICO DA MADEIRA

Os resultados da análise de variância e o teste de F, para as características Poder Calorífico Superior (PCS) e Poder Calorífico Inferior (PCI) da madeira (Tabela 13) indicam efeito significativo do fator espécie para PCS e efeito da interação espécie x classes de circunferência para PCI.

**Tabela 13.** Análise de variância do Poder Calorífico Superior (PCS) e Poder Calorífico Inferior (PCI) de espécies lenhosas em área de Caatinga, Floresta-PE, Brasil.

Fonte de Variação		PCS			PCI		
		SQ	QM	F	SQ	QM	F
Espécie (E)	5	1197179,02	239435,80	62,4488**	1170414,62	234082,92	69,0456**
Circunferência (C)	4	45855,04	11463,76	2,9899 *	49355,24	12338,81	3,6395*
Int. E x C	20	124294,42	6214,72	1,6209 <sup>ns</sup>	130348,47	6517,42	1,9224*
(Tratamentos)	29	1367328,49	47149,26	12,2973**	1350118,33	46555,80	13,7322 **
Resíduo	60	230046,67	3834,11		203416,08	3390,26	
Total	89	1597375,16			1553534,41		

\*\* significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); \* significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ); <sup>ns</sup> não significativo pelo teste F ( $p \geq 0,05$ ).

O maior valor para PCS foi apresentado pela espécie *M. tenuiflora*, que apresentou diferenças significativas com todas as demais espécies avaliadas (Tabela 14). Ressaltando que para a produção de energia são consideradas significativas, em termos de desempenho da biomassa, somente diferenças no poder calorífico superiores a 300 kcal.kg<sup>-1</sup> (BRAND, 2010), assim, as diferenças entre *M. tenuiflora*, com uma média de 4883,80 kcal.kg<sup>-1</sup>, e as *A. pyriformium* (4719,12 kcal.kg<sup>-1</sup>) e *M. ophthalmocentra* (4598,27 kcal.kg<sup>-1</sup>), com as quais apresentam diferenças de 168 e 289 kcal.kg<sup>-1</sup> respectivamente, não são consideradas significativas energeticamente. Porém as diferenças entre a *M. tenuiflora* com as demais espécies consideradas no presente estudo são maiores do que 300 kcal.kg<sup>-1</sup>, o que a categoriza como a melhor espécie para a produção energética em termos de PCS. Já as diferenças evidenciadas entre as demais espécies são consideradas significativas estatisticamente, mas não em termos energéticos. Em geral as espécies *M. tenuiflora*, *M. ophthalmocentra* e *A. pyriformium*, apresentam destacados valores para a variável PCS.

**Tabela 14.** Poder Calorífico Superior (PCS) da madeira de espécies lenhosas em área de Caatinga, Fazenda Itapemirim, Floresta - PE, Brasil.

Espécie	PCS (kcal.kg <sup>-1</sup> )
<i>M. tenuiflora</i>	4.883,80 a
<i>A. pyriformium</i>	4.719,12 b
<i>M. ophthalmocentra</i>	4.598,27 c
<i>C. quercifolius</i>	4.577,53 c
<i>A. colubrina</i>	4.571,00 c
<i>P. bracteosa</i>	4.453,33 d

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente pelo teste Tukey (p < 0,05)

Os valores registrados no presente estudo são próximos aos reportados em diversos estudos; por exemplo, para a *M. tenuiflora* foram registrados valores de 4651 (LIMA JÚNIOR et al., 2014), 4501 (PAES et al., 2013), 4.482 (OLIVEIRA, 2003) e Santos et al. (2013) que obtiveram o valor mais próximo ao deste estudo, 4823 kcal.kg<sup>-1</sup>. Para *P. bracteosa*, Lima Júnior et al. (2014) encontraram PCS de 4190 e Santos (2013) de 4492, próximo ao do presente trabalho de 4453,33 kcal.kg<sup>-1</sup>. Para *A. colubrina* foram registrados valores de 4499 kcal.kg<sup>-1</sup> (LIMA JÚNIOR et al., 2014) e para *A. pyriformium*, Santos et. al. (2013) reportaram valores de 4815 kcal.kg<sup>-1</sup>, sendo esses valores similares aos encontrados no presente estudo.

Já para a interação entre espécie e classe de circunferência para PCI, pode-se observar que os melhores valores para todas as espécies foram na Classe de Circunferência IV (Tabela



15), também se pode observar os melhores valores para a espécie *M. tenuiflora*, confirmando o potencial dessa espécie para a produção de energia.

**Tabela 15.** Comparações entre médias considerando a interação entre espécies e circunferência para Poder Calorífico Inferior (PCI, kcal.kg<sup>-1</sup>) na madeira em área de Caatinga, Floresta-PE, Brasil.

Espécie	Classe de Circunferência				
	I	II	III	IV	V
<i>M. tenuiflora</i>	4.409,07 aB	4.546,56 aA	4.566,98 aA	4.523,69 aAB	4.563,62 aA
<i>A. pyrifolium</i>	4.378,59 abAB	4.418,85 abAB	4.330,86 bB	4.492,77 aA	4.453,42 abAB
<i>C. quercifolius</i>	4.265,13 bcA	4.241,86 cA	4.213,64 bcA	4.338,58 bA	4.257,24 cA
<i>A. colubrina</i>	4.252,10 bcA	4.275,05 cA	4.307,90 bA	4.313,56 bA	4.238,31 cA
<i>M. ophthalmocentra</i>	4.216,88 cA	4.326,43 bcA	4.341,97 bA	4.324,54 bA	4.314,33 bcA
<i>P. bracteosa</i>	4.192,27 cA	4.200,07 cA	4.131,97 cA	4.140,26 cA	4.175,23 cA

Médias seguidas pela mesma letra minúsculas na coluna não diferem significativamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ ); Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas na linha não diferem significativamente pelo teste Tukey ( $p < 0,05$ )

É importante ressaltar, que o poder calorífico inferior fornece valores mais reais com as situações que acontecem durante os processos de combustão em campo (CINTRA, 2009). Na Tabela 16 ainda é possível observar, como nas primeiras categorias de circunferência, as disparidades do PCI entre as espécies são indiferentes em termos energéticos e, já que a maior diferença registrada, apresenta-se entre as espécies *M. tenuiflora* (4409,07) e a *P. bracteosa* (4192,27), é de 217 kcal.kg<sup>-1</sup>, não sendo considerado diferentes em termos energéticos. Durante o processo de crescimento diametral dos indivíduos, e devido às evoluções em variáveis estudadas no presente trabalho como o incremento em os teores de hidrogênio, a redução da lignina e nitrogênio, além de outros elementos não estudados no presente trabalho, como a acumulação de extrativos que apresentam um papel de destaque na produção energética em biomassa florestal (BRAND, 2010), pode-se haver o aumento dessas diferenças especialmente, em na espécie *M. tenuiflora*, que alcança 4563,62 kcal.kg<sup>-1</sup> na classe de circunferência V, e apresentar diferenças significativas energeticamente das espécies *A. colubrina* (325), *P. bracteosa* (388) e *C. quercifolius* (306) na mesma classe de circunferência, e não apresentando diferenças significativas com a espécie *A. pyrifolium*, com a qual apenas apresento diferença significativa estatisticamente na classe de circunferência IV, sem ter diferenças energéticas. Apesar dessa situação outras características importantes para a geração de energia posição a espécie *A. pyrifolium* como uma espécie de baixo desempenho na produção energética.

É importante observar a tendência das espécies, com exceção da *P. bracteosa*, há apresentar valores mais altos do PCI nas classes de circunferência superiores, o que se supõe melhores características quanto à qualidade dos materiais lignocelulósicos classificados nessas classes.

#### 4.5 DENSIDADE ENERGÉTICA DA MADEIRA

A densidade energética da madeira (DEM) tem como finalidade estabelecer a capacidade de armazenamento energético por unidade de volume em um material. Observou-se o efeito altamente significativo ( $p < 0,01$ ) do fator espécie na DEM (Tabela 16).

**Tabela 16.** Análise de variância da densidade energética da madeira (DEM) em espécies lenhosas em área de Caatinga, Floresta-PE, Brasil.

Fonte de Variação	GL	Quadrado de Análise		
		SQ	QM	F
Espécie (E)	5	39712840,59	7942568,12	74,9532**
Circunferência (C)	3	537224,87	179074,96	1,6899 <sup>ns</sup>
Int. E x C	15	1983346,97	132223,13	1,2478 <sup>ns</sup>
(Tratamentos)	23	42233412,43	1836235,32	17,3284**
Resíduo	48	5086416,66	105967,01	
Total	71	47319829,09		

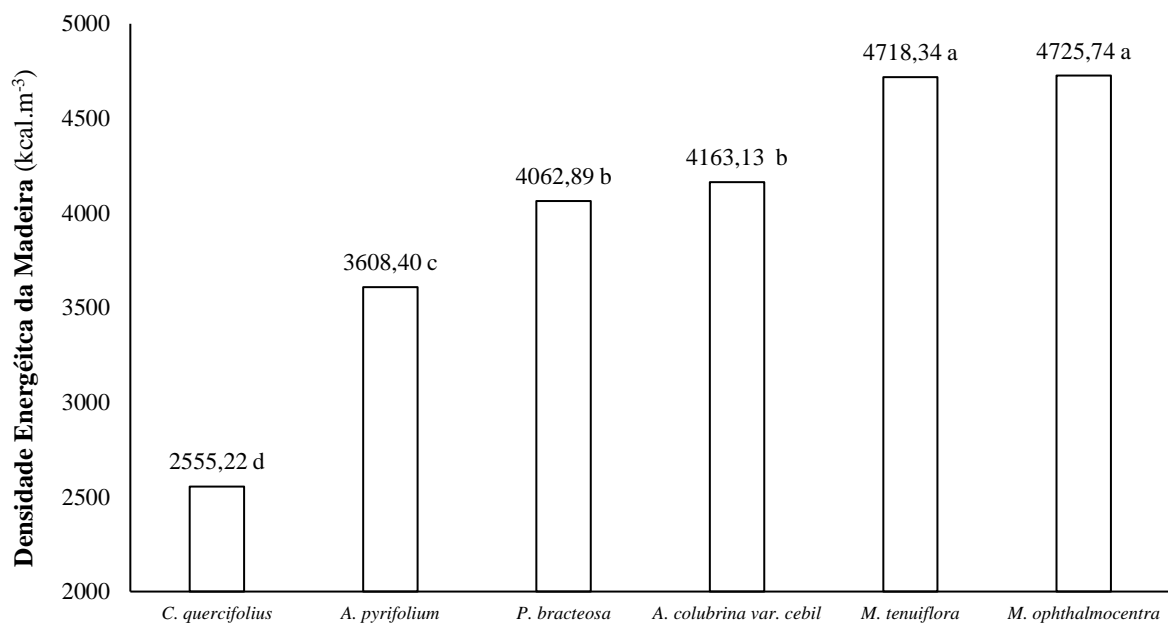
\*\* significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); \* significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ); <sup>ns</sup> não significativo pelo teste F ( $p \geq 0,05$ ).

Diferentes autores ressaltam que madeira com maior densidade propicia a produção de maior energia por unidade de volume (BRITO; BARRICHELO, 1982; FREDERICO, 2009; TRUGILHO, 2009; PROTÁSIO et al., 2014), a interação entre o Poder Calorífico Superior e a Densidade aparente, permitiria desenvolver uma classificação das espécies que fornecem maior energia por unidade de volume.

Observa-se maior valor médio significativo para a Densidade Energética da Madeira das espécies *M. tenuiflora* e *M. ophthalmocentra* (Figura 4), que se diferenciaram estatisticamente das demais espécies; posicionando-as como as melhores fornecedoras de energia, devido aos altos valores apresentados por ambas espécies para a Da e PCS. Além disso, se diferenciaram energeticamente ao apresentar valores superiores aos  $4.700 \text{ kcal.m}^{-3}$ , apresentando diferenças superiores as  $500 \text{ kcal.m}^{-3}$  em relação as espécies *A. colubrina* e *P. bracteosa*, e que apresentaram valores próximos a  $4.100 \text{ kcal.m}^{-3}$ . Já as espécies *C. quercifolius* ( $2.555 \text{ kcal.m}^{-3}$ ) e *A. pyrifolium* ( $3.608 \text{ kcal.m}^{-3}$ ) apresentaram os menores valores exibindo diferenças

estatísticas entre si. Ainda assim todas as espécies avaliadas apresentaram potencial para a produção energética quando comparadas com os valores reportados para espécies plantadas com mesma finalidade; por exemplo, Brito et al. (1983) reportaram para *Eucalyptus grandis* e *E. globulus* valores de 2.080 e 2.240 kcal.m<sup>-3</sup> respectivamente, e Lima et al. (2011) encontraram 2.222 kcal.m<sup>-3</sup> para *E. benthamii*, sendo esses valores inferiores aos encontrados no presente, o que indica a qualidade das espécies estudadas.

**Figura 4.** Densidade energética da madeira de espécies lenhosas em área de Caatinga, Floresta-PE, Brasil.



Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste Tukey ( $p \geq 0,05$ ).

#### 4.6 CORRELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS CONFORME A ESPÉCIE

Na Tabela 17 se observa uma correlação positiva muito alta para todas as espécies entre as densidades aparente e a energética, devido à que a variável foi obtida como produto da interação da densidade aparente com o poder calorífico superior; do mesmo jeito a correlação entre poder calorífico superior e inferior, já que esta última variável é o produto entre PCS e teor de hidrogênio.

**Tabela 17.** Coeficientes de correlação linear entre as características físicas, químicas e energéticas da madeira de espécies lenhosas em área de Caatinga, Floresta-PE, Brasil.

<i>Poincianella bracteosa</i>									
	PCS	PCI	% C	% H	% N	%LIG	%CIZ	Da	DEM
<b>PCS</b>	1,00								
<b>PCI</b>	0,98**	1,00							
<b>% C</b>	0,46 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>	1,00						
<b>% H</b>	0,65*	0,48 <sup>ns</sup>	0,56*	1,00					
<b>% N</b>	0,16 <sup>ns</sup>	0,25 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	-0,21 <sup>ns</sup>	1,00				
<b>%LIG</b>	0,20 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>	-0,38 <sup>ns</sup>	1,00			
<b>%CIZ</b>	0,31 <sup>ns</sup>	0,34 <sup>ns</sup>	-0,11 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	-0,23 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	1,00		
<b>Da</b>	-0,08 <sup>ns</sup>	-0,07 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	-0,07 <sup>ns</sup>	0,53*	-0,33 <sup>ns</sup>	-0,51*	1,00	
<b>DEM</b>	0,14 <sup>ns</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>ns</sup>	0,57*	-0,28 <sup>ns</sup>	-0,44 <sup>ns</sup>	0,98**	1,00
<i>Anadenanthera colubrina</i>									
	PCS	PCI	% C	% H	% N	%LIG	%CIZ	Da	DEM
<b>PCS</b>	1,00								
<b>PCI</b>	0,98**	1,00							
<b>% C</b>	0,42 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>	1,00						
<b>% H</b>	-0,17 <sup>ns</sup>	-0,36 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	1,00					
<b>% N</b>	-0,54*	-0,60*	-0,14 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>	1,00				
<b>%LIG</b>	0,25 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>	-0,11 <sup>ns</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>	-0,31 <sup>ns</sup>	1,00			
<b>%CIZ</b>	-0,29 <sup>ns</sup>	-0,26 <sup>ns</sup>	-0,18 <sup>ns</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>	-0,56*	1,00		
<b>Da</b>	0,29 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	-0,01 <sup>ns</sup>	-0,16 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	-0,18 <sup>ns</sup>	1,00	
<b>DEM</b>	0,43 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>	-0,23 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	-0,21 <sup>ns</sup>	0,99**	1,00
<i>Cnidoscolus quercifolius</i>									
	PCS	PCI	% C	% H	% N	%LIG	%CIZ	Da	DEM
<b>PCS</b>	1,00								
<b>PCI</b>	0,96**	1,00							
<b>% C</b>	0,09 <sup>ns</sup>	-0,12 <sup>ns</sup>	1,00						
<b>% H</b>	0,08 <sup>ns</sup>	-0,22 <sup>ns</sup>	0,71*	1,00					
<b>% N</b>	-0,22 <sup>ns</sup>	-0,19 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	-0,09 <sup>ns</sup>	1,00				
<b>%LIG</b>	-0,03 <sup>ns</sup>	-0,08 <sup>ns</sup>	-0,15 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	-0,43 <sup>ns</sup>	1,00			
<b>%CIZ</b>	-0,15 <sup>ns</sup>	-0,08 <sup>ns</sup>	0,30 <sup>ns</sup>	-0,20 <sup>ns</sup>	0,24 <sup>ns</sup>	-0,43 <sup>ns</sup>	1,00		
<b>Da</b>	-0,63*	-0,58*	-0,39 <sup>ns</sup>	-0,12 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>	-0,02 <sup>ns</sup>	1,00	
<b>DEM</b>	-0,52*	-0,48 <sup>ns</sup>	-0,41 <sup>ns</sup>	-0,11 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>	0,99**	1,00
<i>Mimosa ophthalmocentra</i>									
	PCS	PCI	% C	% H	% N	%LIG	%CIZ	Da	DEM
<b>PCS</b>	1,00								
<b>PCI</b>	0,94**	1,00							
<b>% C</b>	0,36 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	1,00						
<b>% H</b>	0,36 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,73**	1,00					
<b>% N</b>	-0,21 <sup>ns</sup>	-0,15 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	-0,21 <sup>ns</sup>	1,00				
<b>%LIG</b>	-0,31 <sup>ns</sup>	-0,28 <sup>ns</sup>	-0,40 <sup>ns</sup>	-0,13 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	1,00			
<b>%CIZ</b>	0,31 <sup>ns</sup>	0,43 <sup>ns</sup>	-0,12 <sup>ns</sup>	-0,27 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	-0,67**	1,00		
<b>Da</b>	0,27 <sup>ns</sup>	0,34 <sup>ns</sup>	-0,38 <sup>ns</sup>	-0,15 <sup>ns</sup>	-0,36 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>	-0,04 <sup>ns</sup>	1,00	
<b>DEM</b>	0,48 <sup>ns</sup>	0,53*	-0,26 <sup>ns</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>	-0,38 <sup>ns</sup>	0,21 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,97**	1,00

Continua....

Tabela 17. Continuação.

<i>Mimosa tenuiflora</i>									
	PCS	PCI	% C	% H	% N	%LIG	%CIZ	Da	DEM
PCS	1,00								
PCI	0,95**	1,00							
% C	-0,13 <sup>ns</sup>	-0,34 <sup>ns</sup>	1,00						
% H	-0,06 <sup>ns</sup>	-0,36 <sup>ns</sup>	0,72**	1,00					
% N	-0,39 <sup>ns</sup>	-0,46 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>ns</sup>	1,00				
%LIG	-0,53*	-0,56*	0,24 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	1,00			
%CIZ	0,38 <sup>ns</sup>	0,41 <sup>ns</sup>	-0,19 <sup>ns</sup>	-0,17 <sup>ns</sup>	-0,03 <sup>ns</sup>	-0,62*	1,00		
Da	0,06 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>	0,05 <sup>ns</sup>	-0,35 <sup>ns</sup>	1,00	
DEM	0,23 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	-0,08 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	-0,12 <sup>ns</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>	-0,27 <sup>ns</sup>	0,98**	1,00
<i>Aspidosperma pyrifolium</i>									
	PCS	PCI	% C	% H	% N	%LIG	%CIZ	Da	DEM
PCS	1,00								
PCI	0,98**	1,00							
% C	0,44 <sup>ns</sup>	0,47 <sup>ns</sup>	1,00						
% H	0,31 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	-0,06 <sup>ns</sup>	1,00					
% N	0,28 <sup>ns</sup>	0,22 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>	1,00				
%LIG	0,23 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>	0,17 <sup>ns</sup>	-0,25 <sup>ns</sup>	0,23 <sup>ns</sup>	1,00			
%CIZ	-0,04 <sup>ns</sup>	-0,09 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	-0,15 <sup>ns</sup>	-0,75**	1,00		
Da	0,45 <sup>ns</sup>	0,44 <sup>ns</sup>	-0,07 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	-0,46 <sup>ns</sup>	-0,10 <sup>ns</sup>	-0,07 <sup>ns</sup>	1,00	
DEM	0,60**	0,59**	0,02 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	-0,35 <sup>ns</sup>	-0,05 <sup>ns</sup>	-0,07 <sup>ns</sup>	0,98**	1,00

\*\* significativo pelo teste t ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); \* significativo pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ); <sup>ns</sup> não significativo pelo teste t ( $p \geq 0,05$ ); Da = Densidade aparente; %C = Teor de Carbono; %H = Teor de Hidrogênio; %N = Teor de Nitrogênio; %LIG= Teor de Lignina insolúvel; %CIZ = Teor de Cinzas; PCS = Poder Calorífico Superior, PCI = Poder Calorífico Inferior; DEM = Densidade Energética da Madeira.

Para a espécie *P. bracteosa* houve uma correlação positiva moderada entre o teor de carbono e o teor de hidrogênio, o PCS e o teor de hidrogênio e negativa moderada entre a densidade aparente e o teor de cinzas, o qual indica o potencial energético dos produtos lignocelulósicos dessa espécie. No entanto, deve-se considerar a correlação moderada apresentada entre o teor de nitrogênio e a densidade aparente e energética da madeira, já que pode apresentar problemas de emissões e afetar os equipamentos de combustão, como discutido anteriormente.

Para *A. colubrina* foram observadas correlações negativas moderadas para as variáveis PCS e PCI com o teor de nitrogênio o que confirma a informação registrada em diversas publicações, nas quais se observou correlação negativa entre a produção de energia e os teores de nitrogênio em outras espécies (BRAND, 2010; PAULA et al., 2011; PROTÁSIO et al., 2011, 2013; SOARES et al., 2014).

A *C. quercifolius* que apresentou os piores valores para a produção energética e correlações negativas moderadas para as variáveis PCS com relação a densidade aparente e energética da madeira, e também para PCI e densidade aparente, indica mais uma vez seu baixo potencial como fornecedora de energia.

A *M. tenuiflora* apresentou correlações negativas moderadas entre o poder calorífico superior e inferior com relação ao teor de lignina, o qual se vê refletido nos baixos valores dessas variáveis nas classes de circunferência menores, devido a presença de maiores valores de lignina na madeira juvenil (VITAL, 1984).

Só para *P. bracteosa* e *C. quercifolius* não foi observada correlação negativa moderada entre os teores de lignina e cinzas, o que pode ter influência direta no poder calorífico dos materiais lignocelulósicos, já que as cinzas não fornecem energia durante o processo de combustão, afetando o comportamento delas.

#### 4.7 POTENCIAL ENERGÉTICO DA BIOMASSA E O MANEJO FLORESTAL

*C. quercifolius* (2.430 KWh.ha<sup>-1</sup>) e *M. tenuiflora* (1.797 KWh.ha<sup>-1</sup>) apresentam a menor quantidade de energia por hectare (Tabela 18), considerando que os resultados estão diretamente relacionados à produtividade de biomassa, densidade básica e o poder calorífico; fatores estes que fornecem uma boa ferramenta para a tomada de decisões de manejo florestal com fins energéticos da biomassa produzida. A presente análise permite discernir que não é possível tomar decisões baseadas na qualidade energética de um material, sem analisar a produtividade de biomassa considerando como objetivo o manejo de florestas naturais, uma vez que, por exemplo, *M. tenuiflora* apresentou bons resultados quanto à qualidade da madeira, mas pouca quantidade de biomassa na área estudada. Já *A. pyrifolium* (3710 KWh.ha<sup>-1</sup>) apresentou pobres características energéticas da biomassa, mas tem uma alta proporção na biomassa disponível na área de estudo, devido seu porte arbóreo, a posiciona como a segunda espécie com maior energia por hectare. É importante ressaltar o papel de destaque da *P. bracteosa* (56.638 KWh.ha<sup>-1</sup>) que apresenta boas qualidades da madeira e a maior quantidade de biomassa na área.

**Tabela 18.** Produção energética em KW.h.ha<sup>-1</sup> (%) conforme espécies e classes de circunferência na madeira em área de Caatinga, Floresta-PE, Brasil.

Espécie	Classe de Circunferência					Total
	I	II	III	IV	V	
<i>P. bracteosa</i>	36534	12571	5047	1742	743	56637
<i>M. ophthalmocentra</i>	2252	795	144	13	11	3215
<i>A. pyrifolium</i>	1852	1277	419	134	29	3711
<i>A. colubrina</i>	1156	722	588	277	336	3079
<i>C. quercifolius</i>	997	435	280	219	499	2430
<i>M. tenuiflora</i>	465	410	520	278	125	1798
Total	43256	16210	6998	2663	1743	70870

É possível observar acúmulo de 84% da energia disponível nas duas primeiras classes de circunferência, devido a maior acumulação de biomassa, o qual pode ser explicado pelo porte das espécies, ou seja, de não atingirem maiores circunferências já que algumas são arbustivo-arbóreas, como por exemplo a *M. ophthalmocentra* que apresentou menos do 1 % da energia nas classes de circunferência IV e V. Desta forma, como ação de manejo, deve-se considerar a possibilidade de realizar assistências silviculturais que melhorem a distribuição de indivíduos nas distintas classes de circunferência visando a redução da perda de biomassa, mas conforme o porte da espécie.

Também é possível sugerir que as *M. tenuiflora* e *M. ophthalmocentra* e *P. bracteosa*, as quais são responsáveis por cerca de 87% da produção energética, deveriam ser priorizadas para este objetivo, uma vez que apresentam melhor qualidade para este fim.

Por outro lado, as normativas que regem a execução de plano de manejo florestal da Caatinga, como por exemplo a de Pernambuco (CPRH, 2006), baseiam-se na regulação por controle por área, onde se permite praticamente o corte raso e, buscando-se principalmente produtos dendroenergéticos (lenha e, ou carvão). Desta forma, leva-se ao uso de quase todas espécies lenhosas de uma área sem preocupação quanto à qualidade da madeira para energia. No entanto, com os resultados da presente pesquisa se observou que há diferenças de qualidade energética entre espécies e variação conforme a classe de circunferência. Logo, pensando na eficiência do processo, o manejo florestal deveria caminhar para ações de forma seletiva, com prioridade na produção de biomassa a partir das espécies de melhor qualidade energética, logo, as demais espécies poderiam ser deixadas na área com outras finalidades, por exemplo, de proteção do solo, acúmulo de carbono, entre outras.

As informações no presente trabalho permitiram observar a influência da classe de circunferência conforme a espécie sobre propriedades de vital importância na geração energética, tais como, a densidade aparente, o teor de nitrogênio, teor de hidrogênio e poder calorífico superior e inferior, com melhores comportamentos para a classe de circunferência IV com indivíduos entre 24 e 29,99 cm, pelo qual se poderia definir atividades de manejo com base no potencial energético das espécies nessa categoria, no entanto, a disponibilidade de biomassa está mais concentradas nas classe menores, uma vez que a maioria das espécies são arbustivo-arbórea e não atingem maiores diâmetros. Além disso, não é possível considerar só características físico-químicas de suas madeiras, pois são necessários estudos mais quanto aos processos de crescimento da floresta e de suas espécies-objetivo de manejo florestal.

Por outro lado, os indivíduos classificados na classe de circunferência I (6,0 – 11,99 cm) exibiram valores mais altos para o teor de nitrogênio e mais baixos para o poder calorífico superior e inferior, demonstrando uma menor quantidade de energia por unidade de massa, o que pode potencializar a produção de gases indesejáveis durante o processo de combustão. Por outro lado, a maioria das espécies estudadas é arbustivo-arbórea, ou seja, não atingem maiores diâmetros, mas são responsáveis por boa parte da biomassa disponível para transformação em energia.

No futuro há a necessidade de desenvolvimento de pesquisas que permitam avaliar a viabilidade técnica e econômica de desenvolver atividades de manejo por meio de técnicas de corte seletivo ou outras que apresentem opções que mantenham parte da cobertura florestal e priorizem a colheita de indivíduos das maiores classes de circunferência e das espécies com qualidade energética comprovada. Além disso, também se faz necessária o desenvolvimento de tecnologias para busca de eficiência no processo de transformação de biomassa florestal em energia.



## 5 CONCLUSÃO

*Mimosa ophthalmocentra*, *M. tenuiflora*, *Anadenanthera colubrina* var. *cebil* e *Poincianella bracteosa* se destacam com a finalidade da geração de energia.

*Mimosa ophthalmocentra* e *M. tenuiflora* se destacaram por apresentar maior quantidade de energia por unidade de biomassa.

*Anadenanthera colubrina* var. *cebil* e *Poincianella bracteosa* apesar de boa qualidade energética, podem aumentar os custos ambientais e de manutenção dos equipamentos de combustão, devido a presença de altos teores de nitrogênio e cinzas.

*Cnidoscolus quercifolius* e *Aspidosperma pyrifolium* não apresentaram bons indicadores quanto a qualidade energética, o que indica que não deveriam ser objeto de manejo florestal com esta finalidade.

O porte das espécies estudadas e os processos de acumulação de biomassa, não é possível desenvolver processos de corte seletivo excluindo as classes de circunferência inferiores.

A classe de circunferência IV tem melhores poder calorífico inferior e teor de hidrogênio em *M. tenuiflora*, *M. ophthalmocentra* e *P. bracteosa* e densidade aparente em geral, posicionando-a como a melhor para a produção de energia, pelo qual deverá ser considerada no desenvolvimento de ações de manejo florestal objetivando a produção energética com base em biomassa.

## 6 REFERÊNCIAS

- ABREU, J. C. **Modelagem de biomassa e de nutrientes de espécies da caatinga no município de Floresta-PE**. 2012. 111f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2012. Disponível em: [http://www.ppgcf.ufrpe.br/sites/www.ppgcf.ufrpe.br/files/documentos/jadson\\_coelho\\_de\\_abreu\\_1.pdf](http://www.ppgcf.ufrpe.br/sites/www.ppgcf.ufrpe.br/files/documentos/jadson_coelho_de_abreu_1.pdf). Acesso em: 22 fev. 2017.
- ACIOLI, J. L. **Fontes de energia**. Brasília: UNB, 1994. 138 p.
- AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE – CPRH. Instrução Normativa n. 007, de 29 de novembro de 2006. Disciplina os procedimentos da CPRH referentes à aprovação da localização da Reserva Legal em propriedades e posses rurais; à autorização para supressão de vegetação e intervenção em Áreas de Preservação Permanente e à autorização para o desenvolvimento das atividades florestais no Estado de Pernambuco. Disponível em: [http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS\\_ANEXO/IN%20007%202006;140606;20100420.pdf](http://www.cprh.pe.gov.br/ARQUIVOS_ANEXO/IN%20007%202006;140606;20100420.pdf). Acesso em: 15 dez. 2016.
- ALMEIDA, A. M. C. et. al. Avaliação 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. **Ciência Florestal**, Santa Maria-RS, v. 25, n. 1, p. 165-173, 2015. <https://doi.org/10.1590/1980-509820152505165>.
- ALVES JUNIOR, F. T. **Estrutura, biomassa e volumetria de uma área de Caatinga, Floresta-PE**. 2010. 151 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2010. Disponível em: [http://www.ppgcf.ufrpe.br/sites/www.ppgcf.ufrpe.br/files/documentos/francisco\\_tarcisio\\_alves\\_jr\\_1.pdf](http://www.ppgcf.ufrpe.br/sites/www.ppgcf.ufrpe.br/files/documentos/francisco_tarcisio_alves_jr_1.pdf). Acesso em: 17 dez. 2016.
- ALVES; A. R. **Quantificação de biomassa e ciclagem de nutrientes em áreas de vegetação de Caatinga no município de Floresta, Pernambuco**. 2011. 116 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2011. Disponível em: [http://www.ppgcf.ufrpe.br/sites/www.ppgcf.ufrpe.br/files/documentos/allyson\\_rocha\\_alves\\_1.pdf](http://www.ppgcf.ufrpe.br/sites/www.ppgcf.ufrpe.br/files/documentos/allyson_rocha_alves_1.pdf). Acesso em: 17 dez. 2016.
- AMORIM, L. D. M. et al. Fabaceae na Floresta Nacional (FLONA) de Assú, semiárido potiguar, nordeste do Brasil. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro-RJ, v.67, n.1, p.105-123, 2016. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201667108>.
- ANDRADE, L.A. et al. Análise da cobertura de duas fitofisionomias de caatinga, com diferentes históricos de uso, no município de São João do Cariri, estado da Paraíba. **Cerne**,

Lavras-MG, v. 11, n. 3, p. 253-26, 2005. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=74411305>. Acesso em: 02 Janeiro 2017.

ANDRADE-LIMA, D. The caatingas dominium. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo-SP, v.4, n.2, p.149-153, 1981.

ARAÚJO, L. V. C. de; PAULO, M. C. de S.; PAES, J. B. Características dendrométricas e densidade básica da jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.) de duas regiões do Estado da Paraíba. **Revista Caatinga**, Mossoró-RN, v.20, n.1, p.89-96, 2007. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/index.php/caatinga/article/view/423>. Acesso em: 12 jan. 2017.

ASSOCIAÇÃO PLANTAS DO NORDESTE – APNE; CENTRO NORDESTINO DE INFORMAÇÕES SOBRE PLANTAS - CNIP. **Banco de dados: lista de planos de manejo do Bioma Caatinga**. Natal: Programa Nacional de Florestas; Ministério do Meio Ambiente, 2008. p. 45-70.

BARNES, R.D. et al. Variation and genotype environment interaction in international provenance trial of *Pinus caribaea* var. *hondurensis* and implications for population improvement strategy. **Silvicultura**, v.8, n.29, p.35-43, 1983.

BARROS, B. C. **Volumetria, calorimetria e fixação de carbono em florestas plantadas com espécies exóticas e nativas usadas como fonte energética no polo gesseiro do Araripe-PE**. 2009. 63 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2009. Disponível em: [http://www.ppgcf.ufrpe.br/sites/www.ppgcf.ufrpe.br/files/documentos/bruno\\_coelho\\_de\\_barr os.pdf](http://www.ppgcf.ufrpe.br/sites/www.ppgcf.ufrpe.br/files/documentos/bruno_coelho_de_barr os.pdf). Acesso em: 03 mar. 2017.

BATISTA, D. C. et al. Densidade básica e retratibilidade da madeira de clones de três espécies de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, Santa Maria-RS, v. 20, n. 4, p. 665-674, 2010. <https://doi.org/10.5902/198050982425>.

BELLU, L. G.; LIBERATI, P. **Policy impacts on inequality**. Simple inequality measures. Rome: FAO, 2006. 26p. (EASYPol. Module 080). Disponível em: [http://www.fao.org/docs/up/easypol/448/simple\\_inequality\\_mesures\\_080en.pdf](http://www.fao.org/docs/up/easypol/448/simple_inequality_mesures_080en.pdf). Acesso em: 22 dez. 2016.

BETTINGER, P. et al. **Forest management and planning**. San Diego: Academic Press, 2009. 331p.

BILGEN, S.; KAYGUSUZ, K. The calculation of the chemical exergies of coal-based fuels by using the higher heating values. **Applied Energy**, London, v. 85, n. 8, p. 776-785, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.02.001>.

BOX, G. E. P.; COX, D. R. An analysis of transformations. **Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)**, London, v. 26, n. 2, p. 211-252, 1964. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/2984418>. Acesso em: 15 dez. 2016.

BRAND, M.A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 131p.

BRASIL. Lei n. 11.284, de 2 de março de 2006. Dispõe sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável; institui, na estrutura do Ministério do Meio Ambiente, o Serviço Florestal Brasileiro - SFB; cria o Fundo Nacional de Desenvolvimento Florestal - FNDF; altera as Leis nos 10.683, de 28 de maio de 2003, 5.868, de 12 de dezembro de 1972, 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, 4.771, de 15 de setembro de 1965, 6.938, de 31 de agosto de 1981, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, n. 43, seção 1, p.1-9, 2006. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=485>. 18 jan. 2017.

BRITO, J. O. et al. Bracatinga: características químicas do carvão vegetal. **Brasil Madeira**, Curitiba-PR, v. 3, n. 33, p. 6-7, 1979.

BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis. In: SEMINÁRIO DE ABASTECIMENTO ENERGÉTICO INDUSTRIAL COM RECURSOS FLORESTAIS, 2., 1982, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IPEF, 1982. p.101-137.

BRITO, J.O. et al. Análise da produção energética e de carvão vegetal de espécies de eucalipto. **IPEF**, Piracicaba-SP, n.23, p.53-56, 1983. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr23/cap08.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2017.

BROWNING, B. L. **The chemistry of wood**. New York: John Wiley, 1963. 689 p.

BRUDER, E. M. **Métodos de determinação da densidade básica e aparente da madeira de *Eucalyptus* sp.** 2012. 99f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/90573>. Acesso em: 12 jan. 2017.

CAMPELLO F. C. B. **Análise do consumo específico de lenha nas indústrias gesseiras: A questão florestal e sua contribuição para o desenvolvimento sustentável da região do Araripe – PE.** 2011. 66f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2011. Disponível em: [http://www.ppgcf.ufrpe.br/sites/www.ppgcf.ufrpe.br/files/documentos/francisco\\_carneiro\\_barreto\\_campello.pdf](http://www.ppgcf.ufrpe.br/sites/www.ppgcf.ufrpe.br/files/documentos/francisco_carneiro_barreto_campello.pdf). Acesso em: 17 dez. 2016.

- CARIOCA, J.O.B., ARORA, H.L. **Biomassa: fundamentos e aplicações tecnológicas**. Fortaleza: UFC, 1984. 644p.
- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. 1.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. v. 1, 1039 p.
- CARNEIRO, A. de C. O. et al. Estudo da decomposição térmica da madeira de oito espécies da região do Seridó, Rio Grande do Norte. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, n.6, p.1153-1163, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000600017>.
- CINTRA, T. C. **Avaliações energéticas de espécies florestais nativas plantadas na região do Médio Paranapanema**, SP. 2009. 85f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2009. <https://doi.org/10.11606/D.11.2009.tde-11032009-161045>.
- CORDEIRO, I.; SECCO, R. *Cnidocolus* in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB17494>. Acesso em: 17 jul. 2017.
- COUTO, L. C. et al. Vias de valorização energética da biomassa. **Biomassa & Energia**, Viçosa-MG, v. 1, n. 1, p.71-92, 2004. Disponível em: <http://www.renabio.org.br/008-B&E-v1-n1-2004-71-92.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2017.
- CRUZ, C. R. et al. Variações dentro das árvores e entre clones das propriedades físicas e mecânicas da madeira de híbridos de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba-SP, n. 64, p. 33-37, 2003. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr64/cap03.pdf>. Acesso em: 22 Janeiro 2017.
- CUNHA, M. P. S. C. et al. 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: 1989. v. 2, p. 93-120.
- DALLA LANA, M. **Quantificação do estoque de carbono e avaliação econômica de alternativas de manejo florestal da Caatinga, Floresta-PE**. 2017. 142f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2017. Disponível em: [http://www.ppgcf.ufrpe.br/sites/www.ppgcf.ufrpe.br/files/documentos/mayara\\_dalla\\_lana.pdf](http://www.ppgcf.ufrpe.br/sites/www.ppgcf.ufrpe.br/files/documentos/mayara_dalla_lana.pdf). Acesso em: 25 mai. 2017.
- DEMIRBAS, A. Calculation of higher heating values of biomass fuels. **Fuel**, v.76, n.5, p.431-434, 1997. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(97\)85520-2](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(97)85520-2).

- DOAT, J. Le pouvoir calorifique des bois tropicaux. **Revue Bois et Forêts des Tropiques**, n. 172, p. 33-55, 1977. Disponível em: [https://agritrop.cirad.fr/444136/1/document\\_444136.pdf](https://agritrop.cirad.fr/444136/1/document_444136.pdf). Acesso em: 11 dez. 2016.
- DUTRA, V.F.; MORIM, M.P. **Mimosa in Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB18835>. Acesso em: 18 jul. 2017.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2011. 164p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do Estado de Pernambuco**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. 378p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa, 11). Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/BP+Solos\\_000h6nyl9sf02wx7ha0bjxel5nag7exp.pdf](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/BP+Solos_000h6nyl9sf02wx7ha0bjxel5nag7exp.pdf). Acesso em: 05 nov. 2016.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Plano nacional de energia 2030**. Documento final. Rio de Janeiro: EPE, 2007. 408p. Disponível em: [http://www.epe.gov.br/PNE/20080111\\_1.pdf](http://www.epe.gov.br/PNE/20080111_1.pdf). Acesso em: 10 dez. 2016.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA- EPE. **Balanco Energético Nacional 2015**: Ano base 2014. Relatório Final. Rio de Janeiro: EPE, 2015. 289p. Disponível em: [https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio\\_Final\\_BEN\\_2015.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf). Acesso em: 22 dez. 2016.
- ERASMI, S. et al. Vegetation Greenness in Northeastern Brazil and Its Relation to ENSO Warm Events. **Remote Sensing**, v.6, n. 4, p.3041-3058, 2014. <https://doi.org/10.3390/rs6043041>.
- FERRAZ, J. S. F. **Análise da vegetação de Caatinga arbustivo-arbórea em Floresta, PE, como subsídio ao manejo florestal**. 2011. 134 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2011. Disponível em: [http://www.ppgcf.ufrpe.br/sites/www.ppgcf.ufrpe.br/files/documentos/jose\\_serafim\\_feitosa\\_ferraz\\_1.pdf](http://www.ppgcf.ufrpe.br/sites/www.ppgcf.ufrpe.br/files/documentos/jose_serafim_feitosa_ferraz_1.pdf). Acesso em: 22 dez. 2016.
- FLORA DO BRASIL 2020 EM CONSTRUÇÃO. **Aspidosperma in Flora do Brasil 2020 em construção**. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2017a. Disponível em: <http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB15551>. Acesso em: 18 Julho 2017.

- FLORA DO BRASIL 2020 EM CONSTRUÇÃO. *Fabaceae in Flora do Brasil 2020 em construção*. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2017b. Disponível em: <http://www.floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB109774>. Acesso em: 18 jul. 2017.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Criteria and indicators for sustainable woodfuels**. Roma: FAO, 2010. 92p. (FAO Forestry Paper, 160). Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/012/i1673e/i1673e00.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2017.
- FREDERICO P. G. U. **Efeito da região e da madeira de eucalipto nas propriedades do carvão vegetal**. 2009. 73f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa; 2009. Disponível em: <http://locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/3024/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 15 jan. 2017.
- FURTADO, T. S. et al. Mapeamento da frequência de uso e características da biomassa Florestal utilizada para geração de energia em Lages, SC. **Ciência Florestal**, Santa Maria-RS, v. 22, n. 4, p. 795-802, 2012. <https://doi.org/10.5902/198050987560>.
- GATTO, D. A. et al. Características da lenha produzida na região quarta colônia de imigração italiana do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria-RS, v. 13, n. 2, p. 7-16, 2003. <https://doi.org/10.5902/198050981737>.
- GIULIETTI, A. M. et al. Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga. In: SILVA, J. M. C. et al. (Orgs.). **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Brasília-DF: Ministério do Meio Ambiente; Universidade Federal de Pernambuco, 2004. p.48-90. Disponível em: [https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/18267/1/Biodiversidade\\_Caatinga\\_parte2.pdf](https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/18267/1/Biodiversidade_Caatinga_parte2.pdf). Acesso em: 10 abr. 2017.
- 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. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Braz\\_Demuner/publication/284128446](https://www.researchgate.net/profile/Braz_Demuner/publication/284128446). Acesso em: 21 mar. 2016.
- GONÇALVES, F.G. et al. Durabilidade natural de espécies florestais madeireiras ao ataque de cupim de madeira seca. **Floresta e Ambiente**, Seropédica-RJ, v. 20, n. 1, p.110-116, 2013. <https://dx.doi.org/10.4322/floram.2012.063>.

HUANG, C. et al. Ultimate analysis and heating value prediction of straw by near infrared spectroscopy. **Waste Management**, v.29, n.6, p.1793–1797, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.11.027>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2012. 271p. (IBGE. Manuais técnicos em Geociências, 1). Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. Instrução Normativa N° 01, de 06 de outubro de 1998. Disciplina a exploração sustentável da vegetação nativa e suas formações sucessoras na região Nordeste do Brasil. **Diário Oficial da União**, n.195, seção 1, p. 41-46, 1998. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/IBAMA/IN0001-061098.PDF>. Acesso em: 07 mar. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. Instrução Normativa N° 03, de 4 de maio de 2001. Ajusta procedimentos relativos ao Manejo Florestal Sustentável da vegetação nativa e suas formações sucessoras na região Nordeste do Brasil. **Diário Oficial da União**, n.87, seção 1, p. 134-139, 2001. Disponível em: [http://www.mp.go.gov.br/nat\\_sucroalcooleiro/Documentos/legislacao/Geral/florestas/flo6.pdf](http://www.mp.go.gov.br/nat_sucroalcooleiro/Documentos/legislacao/Geral/florestas/flo6.pdf). Acesso em: 07 mar. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. **Monitoramento dos biomas brasileiros por satélite: bioma caatinga 2002-2008**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2010. 58p. Disponível em: [http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf\\_chm\\_rbbio/\\_arquivos/relatrio\\_tcnico\\_caatinga\\_72.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sbf_chm_rbbio/_arquivos/relatrio_tcnico_caatinga_72.pdf). Acesso em: 10 jan. 2017.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. Energy balances of non-OECD countries 2003 – 2004. Paris: OECD, 2006. 365 p. [https://doi.org/10.1787/energy\\_bal\\_non-oecd-2006-en-fr](https://doi.org/10.1787/energy_bal_non-oecd-2006-en-fr).

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. **Animal feeding stuffs, animal products, and faeces or urine - Determination of gross calorific value - Bomb calorimeter method**. ISO 9831: 1998. Geneva: ISO, 1998. 23p.

JAMMAL FILHO, F. A. **Determinação da densidade da madeira de clones de Eucalyptus spp. a idades passadas com uso da técnica de atenuação de radiação gama**. 2011. 81 f.



- Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 2011. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/99864>. Acesso em: 10 abr. 2017.
- JANKOWSKY, I.P. **Madeira juvenil**: formação e aproveitamento industrial. São Paulo: IPEF, 1979. 18p. (Circular Técnica, 81).
- JARA, E.R.P. **O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil**. São Paulo: IPT, 1989. 6p. (Comunicação Técnica, 1797)
- KAUFFMAN, J. B. et al. Biomass and nutrient dynamics associated with slash fires in neotropical dry forests. *Ecology*, v. 74, n.1, p. 140-151, 1993. <https://doi.org/10.2307/1939509>.
- KLOCK, U. et al. **Química da madeira**. 3.ed. Curitiba: FUPEF, 2005. 85 f.
- KOLLMANN, F. F. P. **Principles of wood science and technology**. I – Solid wood. New York, Springer-Verlag, 1968. 592p.
- KUNTSCHIK, G. **Estimativa de biomassa vegetal lenhosa em cerrado por meio de sensoriamento remoto óptico e de radar**. 2004. 154f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2004. <https://doi.org/10.11606/T.41.2004.tde-14012005-084048>.
- KUMAR, R. et al. Effect of tree-age on calorific value and other fuel properties of Eucalyptus hybrid. **Journal of Forestry Research**, Oxford, v. 21, n. 4, p. 514-516, 2010. <https://doi.org/10.1007/s11676-010-0108-x>.
- LEPAGE, E.S. et al. **Manual de preservação de madeiras**. 2. ed. São Paulo: IPT, 1986. 708p.
- LIMA JÚNIOR, C. et al. Potencial de aproveitamento energético de fontes de biomassa na região Nordeste do Brasil. 2013. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife-PE, v. 7, n. 2, p.207-221, 2014. Disponível em: <http://www.revista.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/view/689/661>. Acesso em: 22 fev. 2017.
- LIMA, E.A. **Energia renovável baseada em biomassa florestal**. *Revista Eco 21*, n.156, 2009. Disponível em: <http://www.eco21.com.br/textos/textos.asp?ID=2097>. Acesso em: 10 jan. 2017.
- LIMA, E.A. et al. Caracterização dendroenergética de árvores de *Eucalyptus benthamii*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 65, p. 9-17, 2011. <https://doi.org/10.4336/2010.pfb.31.65.09>.
- LIMA, I. L.; GARCIA, J. N. Influência do desbaste em propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo-SP, v. 17, n. 2, p.151-160, 2005. Disponível em:

[http://www.iflorestal.sp.gov.br/RIF/RevistaIF/RIF17-2/RIF17-2\\_151-160.pdf](http://www.iflorestal.sp.gov.br/RIF/RevistaIF/RIF17-2/RIF17-2_151-160.pdf). Acesso em: 25 fev. 2017.

LIMA, I. L. et al. Propriedades da Madeira de *Eucalyptus umbra* R. T. Baker em função do diâmetro e da posição radial na tora. **Floresta e Ambiente**, Seropédica-RJ, v. 18, n. 3, p. 289-298, 2011. <http://doi.org/10.4322/floram.2011.049>.

LIMA, R. B. de. **Distribuição diamétrica e volumetria em vegetação de caatinga arbustiva-arbórea no município de Floresta-PE**. 2014. 134f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2014. Disponível em: [http://www.ppgcf.ufrpe.br/sites/www.ppgcf.ufrpe.br/files/documentos/robson\\_borges\\_de\\_lima.pdf](http://www.ppgcf.ufrpe.br/sites/www.ppgcf.ufrpe.br/files/documentos/robson_borges_de_lima.pdf). Acesso em: 12 dez. 2016.

LOBÃO, M.S. et al. Agrupamento de espécies florestais por análises univariadas e multivariadas das características anatômica, física e química das suas madeiras. **Scientia Forestalis**, Piracicaba-SP, v.39, n.92, p.469-477, 2011. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr92/cap10.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2017.

LORA, E. E. da S. Perspectivas da utilização da biomassa com fins energéticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., 1997, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: UFPB, 1997. p.176.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. 4 ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002a. v.1, 368 p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de espécies arbóreas nativas**. 3.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002b. v.2, 384p.

MACHADO NETO, A. de P. et al. Densidade e poder calorífico como base para prevenção de incêndios florestais sob linhas de transmissão. **Nativa**, Sinop-MT, v.3, n.1, p.10-15, 2015. <https://doi.org/10.14583/2318-7670.v03n01a02>.

MAIA, G. M. **Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades**. Fortaleza: Printcolor Gráfica e Editora, 2012. 413 p.

MALAN, F.A. **Eucalyptus improvement for lumber production**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO PARA SERRARIA, 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo: IPEF/IPT, 1995. p.1-19. Disponível em: [http://www.ipef.br/publicacoes/seminario\\_serraria/cap01.pdf](http://www.ipef.br/publicacoes/seminario_serraria/cap01.pdf). Acesso em: 11 fev. 2017.

MEDEIROS, P. N. et al. Relações entre as características da madeira e do carvão vegetal de duas espécies da Caatinga. **Floresta e Ambiente**, Seropédica-RJ, v.21, n.4, p.484-493, 2014. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.051313>.

MELO, A. L. de; SALES, M. F. de. O gênero *Cnidoscolus* Pohl (Crotonoideae-Euphorbiaceae) no Estado de Pernambuco, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo-SP, v.22, n.3, p.806-827, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062008000300017>.

MELO, R. R.; PAES, J. B.; LIMA, C. R. de; FERREIRA, A. G. Estudo da variação radial da densidade básica de sete madeiras do semi-árido. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, Garça-SP, n. 7. p. 347-352, 2006. Disponível em: [http://faef.revista.inf.br/imagens\\_arquivos/arquivos\\_destaque/DzF7Dkrrnr4VMvoZ\\_2013-4-25-17-51-43.pdf](http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/DzF7Dkrrnr4VMvoZ_2013-4-25-17-51-43.pdf). Acesso em: 10 jan. 2017.

MELO, R. R. et al. Variação radial da massa específica da madeira de seis espécies florestais. In: ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 9., 2007, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2007. v. 9. p. 1273-1278. Disponível em: [http://www.academia.edu/545628/VARIA%C3%87%C3%83O\\_RADIAL\\_DA\\_MASSA\\_ESPEC%C3%8DFICA\\_DA\\_MADEIRA\\_DE\\_SEIS\\_ESP%C3%89CIAS\\_FLORESTAIS](http://www.academia.edu/545628/VARIA%C3%87%C3%83O_RADIAL_DA_MASSA_ESPEC%C3%8DFICA_DA_MADEIRA_DE_SEIS_ESP%C3%89CIAS_FLORESTAIS). Acesso em: 03 fev. 2017.

MENDES, L. M. et al. Variação da massa específica da madeira de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schlttdl. no sentido longitudinal dos caules. **Cerne**, Lavras-MG, v. 5, n. 1, p. 1-7, 1999.

MEUNIER, I. M. J. M. **Análises de sustentabilidade de planos de manejo florestal em Pernambuco**. 2014. 135f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2014. Disponível em: [http://www.ppgcf.ufrpe.br/sites/www.ppgcf.ufrpe.br/files/documentos/isabelle\\_maria\\_jacqueline\\_meunier\\_1.pdf](http://www.ppgcf.ufrpe.br/sites/www.ppgcf.ufrpe.br/files/documentos/isabelle_maria_jacqueline_meunier_1.pdf). Acesso em: 06 abr. 2017.

GARIGLIO et al. (Orgs.). **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. 368p. Disponível em: [http://www.mma.gov.br/estruturas/sfb/\\_arquivos/web\\_uso\\_sustentvel\\_e\\_conservao\\_dos\\_recursos\\_florestais\\_da\\_caatinga\\_95.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sfb/_arquivos/web_uso_sustentvel_e_conservao_dos_recursos_florestais_da_caatinga_95.pdf). Acesso em: 03 jan. 2017.

MORIM, M.P. *Anadenanthera* in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB18071>. Acesso em: 17 Julho 2017.

MOURA, V. P. G. et al. Variação da densidade básica da madeira de espécies e procedências de *Pinus* Centro-Americanos em três locais na região dos Cerrados. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo-PR, n. 22/23, p. 29-44, 1991. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPF-2009-09/4886/1/moura.pdf>. 10 fev. 2017.

- MÜLLER-HAGEDORN, M. et al. A comparative kinetic study on the pyrolysis of three different wood species. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v.68, n.1, p.231-249, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0165-2370\(03\)00065-2](https://doi.org/10.1016/S0165-2370(03)00065-2).
- NDAGIJIMANA, C.; PAREYN, F.G.C.; RIEGELHAUPT, E. Uso do solo e desmatamento da caatinga: um estudo de caso na Paraíba e no Ceará – Brasil. **Estatística florestal da Caatinga**, v. 2, n. 2, p. 18-29, 2015. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/publicacoes/biomas/category/61-caatinga?download=1107:estat%C3%ADstica-florestal-da-caatinga-ano-02,-volume-02>. Acesso em: 12 fev. 2017.
- NEVES, T. A. et al. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo-PR, v. 31, n. 68, p.319-330, 2011. <http://dx.doi.org/10.4336/2011.pfb.31.68.319>.
- NÓBREGA, S.B. **A faveleira (*Cnidocolus quercifolius*) como uma fonte alternativa na alimentação humana e animal no Semi-árido Paraibano**. 2001. 147f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal da Paraíba, 2001.
- OBERNBERGER, I. et al. Chemical properties of solid biofuels-significance and impact. **Biomass & Bioenergy**, Oxford, v.30, n.11, p.973-982, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2006.06.011>.
- OLIVEIRA, E. **Características anatômicas, químicas e térmicas da madeira de três espécies de maior ocorrência no semiárido nordestino**. 2003. 122f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, 2003. Disponível em: <http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/9235/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 14 Janeiro 2017.
- OLIVEIRA, E. et al. Estrutura anatômica da madeira e qualidade do carvão de *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 30, n. 2, p. 311-318, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622006000200018>.
- OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. São Paulo: USP, 1998. 45 p. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, BT/PCC/1994). Disponível em: [http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT\\_00194.pdf](http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00194.pdf). Acesso em: 21 Fevereiro 2017.
- PAES, B.J. et al. Características físico-química, energética e dimensões das fibras de três espécies florestais do semiárido brasileiro. **Floresta e Ambiente**, Seropédica-RJ, v. 20, n. 4, p.550-555, 2013. <https://doi.org/10.4322/floram.2013.022>.

- PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of technology**. 4.ed. New York: McGraw Hill; 1980. 722 p.
- PAULA, L. E. R. et al. Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. **Cerne**, Lavras-MG, v. 17, n. 2, p. 237-246, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602011000200012>.
- PENEDO, W. R. **Uso da madeira para fins energéticos**. Belo Horizonte: CETEC, 1980. 49 p.
- PETROFF, G.; DOAT, J. Pyrolyse des bois tropicaux: influence de la composition chimique des bois sur les produits de distillation. **Revue Bois et Forêts des Tropiques**, n. 177, p. 51-64, 1978. Disponível em: [http://agritrop.cirad.fr/444176/1/document\\_444176.pdf](http://agritrop.cirad.fr/444176/1/document_444176.pdf). Acesso em: 22 mar. 2017.
- PINHEIRO, G. de S et al. Determinação da densidade básica de *Pinus elliottii* Engelm var. *elliottii* a três diferentes idades, em Itapetininga. **Boletim Técnico do Instituto Florestal**, São Paulo-SP, n.37, p.19-29, 1983.
- PINHEIRO, P. C. C.; SÉYE, O. Influência da temperatura de carbonização nas propriedades do carvão vegetal de *Eucalyptus*. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 53., 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: ABM, 1998. p.2032-2042.
- PROTÁSIO, T. de P. et al. Seleção de clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal e bioenergia por meio de técnicas univariadas e multivariadas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba-SP, v.41, n.97, p.15-28, 2013. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr97/cap02.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2017.
- PROTÁSIO, T. de P. et al. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo-PR, v. 31, n. 66, p. 122-133, 2011. <https://doi.org/10.4336/2011.pfb.31.66.113>.
- PROTÁSIO, T. de P. et al. Efeito da idade e clone na qualidade da madeira de *Eucalyptus* spp visando à produção de bioenergia. **Ciência Florestal**, Santa Maria-RS, v. 24, n. 2, p. 465-477, 2014. <https://doi.org/10.5902/1980509814587>.
- QUEIROZ, L. P. de. **Leguminosas da caatinga**. Feira de Santana: Universidade Estadual de Feira de Santana: Royal Botanic Gardens, Kew: Associação Plantas do Nordeste, 2009. 467 p.
- QUIRINO, W. et al. Poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulósicos, **Biomassa & Energia**, Viçosa-MG, v. 1, n. 2, p. 173-182, 2004. Disponível em: <http://www.renabio.org.br/06-B&E-v1-n2-2004-173-182.pdf>. Acesso em: 25 jan. 2017.

- RAAD, T. J. **Drying process simulation and *Eucalyptus* ssp carbonization**. 2004. 114f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.
- REZENDE, M. A.; SAGLIETTI, J. R. C.; CHAVES, R.; Specific gravity variation of *Eucalyptus grandis* wood at 8 years old in function of a different productivity indexes. **Scientia Forestalis**, Piracicaba-SP, n. 53, p. 71-78, 1998. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr53/cap7.pdf>. Acesso em: 08 fev. 2017.
- RIBEIRO, A. F.; ZANI FILHO, J. Variação da densidade básica da madeira em espécies/procedências de *Eucalyptus* spp. **IPFE**, Piracicaba-SP, n.46, p.76-85, 1993. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr46/cap06.pdf>. Acesso em: 08 jan. 2017.
- RIEGELHAUPT, E. M.; PAREYN, F. G. C. A Questão energética. In: In: GARIGLIO et al. (Orgs.). **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. p. 65-75. Disponível em: [http://www.mma.gov.br/estruturas/sfb/\\_arquivos/web\\_uso\\_sustentvel\\_e\\_conservao\\_dos\\_recursos\\_florestais\\_da\\_caatinga\\_95.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sfb/_arquivos/web_uso_sustentvel_e_conservao_dos_recursos_florestais_da_caatinga_95.pdf). Acesso em: 03 jan. 2017.
- ROCHA, M. P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de matéria-prima para serrarias**. 2000. 157f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, 2000. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1884/2229>. Acesso em: 109 jan. 2017.
- ROWELL, R. M. **Handbook of wood chemistry and wood composites**. Boca Raton: CRC, 2005. 487 p.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, F. S.; RODAL, M. J. N.; FIGUEIREDO, M. A. Organização comunitária do componente lenhoso de três áreas de carrasco em Nova Oriente – CE. **Revista Brasileira de Biologia**, São Carlos-SP, v. 58, n.1, p. 85-95, 1998. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Francisca\\_Araujo/publication/249010067](https://www.researchgate.net/profile/Francisca_Araujo/publication/249010067). Acesso em: 22 jan. 2017.
- SAMPAIO, E. V. S. B. Caracterização da Caatinga e fatores ambientais que afetam a ecologia das plantas lenhosas. In: SALES, V. C. (Org.). **Ecossistemas brasileiros: manejo e conservação**. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2003. p. 129-142
- SAMPAIO, E. V. S. B.; SILVA, G. Biomass equations for Brazilian semiarid caatinga plants. **Acta Botanica Brasilica**. São Paulo-SP, v. 19, n.4, p. 935-943, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062005000400028>.

SAMPAIO, E. V. S. B.; FREITAS, A. D. S. Produção de biomassa na vegetação nativa do semi-árido nordestino. In: MENEZES, R. S. C.; SAMPAIO, E. V. S. B.; SALCEDO, I. H. (Orgs.). Fertilidade do solo e produção de biomassa no semi-árido. Recife: Editora Universitária UFPE, 2008. v. 1, p. 11-26.

SAMPAIO, E. V. S. B. et al. Tree biomass estimation in regenerating areas of tropical dry vegetation in northeast Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, n.6, p.1135–1140, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.12.028>.

SAMPAIO, E. V. D. S. B. Características e potencialidades. In: GARIGLIO et al. (Orgs.). **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. p. 29-48. Disponível em: [http://www.mma.gov.br/estruturas/sfb/\\_arquivos/web\\_uso\\_sustentvel\\_e\\_conservao\\_dos\\_recursos\\_florestais\\_da\\_caatinga\\_95.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sfb/_arquivos/web_uso_sustentvel_e_conservao_dos_recursos_florestais_da_caatinga_95.pdf). Acesso em: 03 jan. 2017.

SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa. In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M. A. B.; GOMES, F. S. (Eds.). **As Florestas e o carbono**. 1 ed. Curitiba-PR: Autores, 2002. v. 1, p. 119-140.

SANTOS, R. C. dos. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de Eucalipto**, 2010. 159 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, 2010. Disponível em: <http://www.prrg.ufla.br/ct-madeira/wp-content/uploads/2012/07/Rosimeire-Cavalcante-dos-Santos-Tese1.pdf>. Acesso em: 22 jan. 2017.

SANTOS, R. C. dos et al. Potencial energético da madeira de espécies oriundas de plano de manejo florestal no Estado do Rio Grande do Norte. **Ciência Florestal**, Santa Maria-RS, v. 23, n. 2, p. 491-502, 2013. <https://doi.org/10.5902/198050989293>.

SANTOS, S. et al. Effect of age and diameter class on the properties of wood from clonal Eucalyptus. **Cerne**, Lavras, MG, v. 18, n.1, p. 1-8, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602012000100001>.

SARDINHA, A. M.; MACEDO, F. W.; MACEDO, F. V. Combustão lenhosa directa e indirecta, sua relevância para a temática dos fogos florestais. **Silva Lusitana**, Lisboa, v. 10, n. 1, p. 91-100, 2002. Disponível em: [http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0870-63522002000100006&lng=es&nrm=iso&tlng=pt](http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0870-63522002000100006&lng=es&nrm=iso&tlng=pt). Acesso em: 15 jan. 2017.

SCHNEIDER, P. R.; SCHNEIDER, P. S. P.; SOUZA, C. A. M. S. **Análise de regressão aplicada à Engenharia Florestal**. 2.ed. Santa Maria: UFSM/FACOS, 2009.

- SENELWA, K.; SIMS, R. E. H. Fuel characteristics of short rotation forest biomass. **Biomass and Bioenergy**, Amsterdam, v. 17, n. 2, p. 127-140, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(99\)00035-5](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(99)00035-5).
- SHEN, R.; GU, S.; BRIDGWATER, A. V. The thermal performance of the polysaccharides extracted from hardwood: Cellulose and hemicelluloses. **Carbohydrate Polymers**, v.82, n.1, p. 39-45, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.04.018>.
- SILVA J. C. **Caracterização da madeira de E. grandis de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira**. 2002. 160f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Paraná, 2002. Disponível em: <http://dspace.c3sl.ufpr.br:8080/dspace/handle/1884/26774>. Acesso em: 03 jan. 2017.
- SILVA, F. de A. S. e.; AZEVEDO, C. A. V. de. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **African Journal of Agricultural Research**, v.11, n.39, p.3733-3740, 2016. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11522>
- SILVA, G. C.; SAMPAIO, E. V. de S. B. Biomassas de partes aéreas em plantas da caatinga. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 32, n. 3, p. 567-575, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622008000300017>.
- SILVA, J. C. **Anatomia da madeira e suas implicações tecnológicas**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005. 99p.
- SILVA, L. B. et al. Estudo comparativo da madeira de *Mimosa ophthalmocentra* Mart. ex Benth e *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. (Fabaceae-Mimosoideae) na caatinga nordestina. **Acta Botanica Brasilica**, Feira de Santana-BA, v. 25, n. 2, p. 301-314, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062011000200006>.
- SILVEIRA, P. et al. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, Curitiba-PR, v. 38, n. 1, p.185-2006, 2008. <https://doi.org/10.5380/ufpr.v38i1.11038>.
- SOARES, V.C. et al. Correlações entre as propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.38, n.3, p.543-549, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000300017>.
- SOUZA, J. S. et al. Estimação de biomassa aérea da caatinga do norte da Bahia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo-PR, v. 33, n. 76, p. 355-368, 2013. <https://doi.org/10.4336/2013.pfb.33.76.579>.



- TAPPI. T 211 om-02. **Ash in wood, pulp, paper and paperboard**: combustion at 525°C. Peachtree Corners: TAPPI, 2002. 5 p. Available at: <https://research.cnr.ncsu.edu/wpsanalytical/documents/T211.PDF>. Access in: 20 mar. 2017.
- TAPPI. T 222 om-02. **Acid-insoluble lignin in wood and pulp**. Peachtree Corners: TAPPI, 2002. 5 p. Available at: <http://www.tappi.org/content/SARG/T222.pdf>. Access in: 20 mar. 2017.
- TIESSEN, H. et al. P. Carbon sequestration and turnover in semiarid savannas and dry forests. **Climatic Change**, v. 40, n.1, p.105-117, 1998. <https://doi.org/10.1023/A:100534293217>.
- TOLMASQUIM, M. T. (Org.). **Fontes renováveis de energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. 516 p.
- TOLMASQUIM, M.T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos Estudos – CEBRAP**, São Paulo-SP, n.79, p. 47-69, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0101-33002007000300003>.
- TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus globulus*, *E. pellita* e *E. acmenoides*. **IPEF**, Piracicaba-SP, n.36, p.35-42, 1987. Disponível em: <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr36/cap05.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2017.
- TREVISAN, R. et al. Efeito da intensidade de desbaste nas características dendrométricas e tecnológicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria-RS, v.17, n.4, p.377-387, 2007. <https://doi.org/10.5902/198050981969>.
- TRUGILHO, P.F. Densidade básica e estimativa de massa seca e de lignina na madeira em espécies de *Eucalyptus*. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras-MG, v.33, n.5, p.1228-1239, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542009000500005>.
- 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, p. 94-111, 1996. Disponível em: <http://www.almanaquedocampo.com.br/imagens/files/Eucal%C3%ADpto%20idade%20e%20caracter%C3%ADsticas%20da%20madeira.pdf>. Acesso em: 19 mar. 2017.
- URBANO, E. et al. Modelagem da biomassa aérea em bracatingais nativos da Região Metropolitana de Curitiba. **Floresta**, Curitiba-PR, v. 38 n.2, p. 361-372, 2008. Disponível em: <http://revistas.ufpr.br/floresta/article/viewFile/11631/8165>. Acesso em: 22 mar. 2017.
- VALDÉS, N., **Efecto de la tala rasa sobre la vegetación leñosa en los ecosistemas de Pinares en la unidad silvícola San Andrés perteneciente a la EFI La Palma**, 2008. 233 p. Tesis

(Doctorado Desarrollo Sostenible de Bosques Tropicales. Manejo Forestal y Turismo) – Universidad de Alicante, Alicante, 2008. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10045/8831>. Acceso en: 10 abr. 2017.

VALE, A. T. do et al. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Acacia mangium* Willd em diferentes níveis de adubação. **Cerne**, Lavras-MG, v. 6, n. 1, p. 83-88, 2000. Disponível em: [http://www.sifloresta.ufv.br/bitstream/handle/123456789/18246/Cerne\\_v6\\_n1\\_p83-88\\_2000.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.sifloresta.ufv.br/bitstream/handle/123456789/18246/Cerne_v6_n1_p83-88_2000.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 12 abr. 2017.

VASCONCELLOS, G. F. B. Biomassa: **A eterna energia do futuro**. São Paulo: SENAC, 2002.

VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B; PAREYN, F. G. C. **Ecorregiões propostas para o Bioma Caatinga**. Recife: Associação Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental: The Nature Conservancy do Brasil, 2002. 76 p.

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

WALTER, A.; NOGUEIRA, L. A. H. Sistemas de produção de eletricidade a partir da biomassa. In: CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; OLIVARES GÓMEZ, E. (Eds.). **Biomassa para Energia**. Campinas: Editora Unicamp. 2008. p. 573-607,

YANG, H. et al. Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis. **Fuel**, v.86, n.12-13, p.1781–1788, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.12.013>.