



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

LUCAS SILVA DE LIMA

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E ENERGÉTICA DA MADEIRA DE DUAS
ESPÉCIES EXÓTICAS DE OCORRÊNCIA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

PATOS – PB

2022

LUCAS SILVA DE LIMA

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E ENERGÉTICA DA MADEIRA DE DUAS
ESPÉCIES EXÓTICAS DE OCORRÊNCIA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, na Área de Ecologia, Manejo e Utilização dos Recursos Florestais, da Universidade Federal de Campina Grande, no CSTR – Centro de Saúde e Tecnologia Rural, *Campus* de Patos como requisito para a obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientador: Dr. Flávio Cipriano de Assis do Carmo

PATOS – PB

2022

LUCAS SILVA DE LIMA

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E ENERGÉTICA DA MADEIRA DE DUAS
ESPÉCIES EXÓTICAS DE OCORRÊNCIA NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, da Universidade Federal de Campina Grande/CSTR, como parte das exigências para a obtenção do Título de MESTRE em CIÊNCIAS FLORESTAIS.

Aprovada em: 31 de julho de 2022.

Prof. Dr. Flávio Cipriano de Assis do Carmo
Universidade Federal de Campina Grande (UAEF/CSTR)
(Orientador)

Prof. Dr. Pedro Nicó de Medeiros Neto
Universidade Federal de Campina Grande (UAEF/CSTR)
(1º Examinador)

Dr^a. Giselle Lemos Moreira
Doutora em Ciências Florestais
(2º Examinadora externa)

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado Bibliotecas – SISTEMOTECA/UFCG

L732c

Lima, Lucas Silva de

Caracterização físico-química e energética da madeira de duas espécies exóticas de ocorrência no Semiárido Brasileiro / Lucas Silva de Lima. – Patos, 2022.

45 f.

Orientador: Flávio Cipriano de Assis do Carmo.

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

1. Ecologia. 2. Manejo. 3. Utilização de Recursos Naturais. I. Carmo, Flávio Cipriano de Assis do, *orient.* II. Título.

CDU 577

Bibliotecário-documentalista: Bárbara Costa – CRB-15/806

Dedico este trabalho ao meu falecido avô, João Pedro de Lima, aos meus pais, Josemi Lima e Marluce Gonçalves, a minha esposa, Lis Pergentino, as minhas filhas, Ester e Rute, e a todos os meus familiares e amigos, pelo apoio, incentivo e cooperação que me deram ao longo dessa jornada. Sou grato ao Pai Celestial por tê-los em minha vida. Amo vocês.

AGRADECIMENTOS

Ao Pai Celestial e ao nosso Salvador Jesus Cristo, pelo dom da vida e por todo consolo, sabedoria e direção que me deram durante essa jornada.

Aos meus amados pais, Josemi e Marluce, pelo amor e preocupação que tiveram comigo, por me proporcionarem uma vida digna.

A minha querida esposa, Lis Pergentino, por todo o amor e sacrifício, sempre estando ao meu lado, nos bons e maus momentos, me incentivando a lutar pelos meus objetivos.

As minhas duas princesinhas, Ester e Rute, por serem uma luz em minha vida, me dando coragem para enfrentar todos os obstáculos.

A meu sogro Rizemá e minha sogra Maria Daguia, por todo o apoio que me deram.

Aos professores Flávio Cipriano de Assis do Carmo e Pedro Nicó de Medeiros Neto, pela orientação, ensinamentos e dedicação durante a orientação dessa dissertação.

A professora Naelza, por toda a orientação na construção desse trabalho.

A todos os professores do Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais, por todos os ensinamentos que me passaram ao longo desse tempo.

Aos funcionários do Laboratório de Tecnologia de Produtos Florestais, Wagner e Iara, pelo apoio durante o desenvolvimento do meu trabalho.

A Gerlanny Moraes, por toda ajuda na reta final do experimento.

E por fim, a todos aqueles que contribuíram direta e indiretamente na minha jornada acadêmica e que, porventura, tenha esquecido de citar.

Sem vocês eu não teria conseguido. Muito obrigado!

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVO GERAL.....	11
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
3 REVISÃO DE LITERATURA	12
3.1 Uso energético da madeira.....	12
3.2 Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal para uso energético	13
3.3 Processo de carbonização da madeira	14
3.4 O bioma caatinga e a utilização de espécies exóticas na região semiárida	16
4 METODOLOGIA	19
4.1 Espécies estudadas e amostragem.....	19
4.2 Caracterização anatômica, físico-química e energética da madeira	22
4.2.1 Caracterização anatômica e física da madeira	22
4.2.2 Caracterização química da madeira	25
4.2.3 Caracterização energética da madeira	26
4.2.4 Carbonização da madeira e avaliação da qualidade do carvão vegetal	27
4.3 Análise estatística dos resultados.....	29
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1 Características anatômicas, dendrométricas, físico-químicas e energéticas das espécies <i>Prosopis juliflora</i> e <i>Leucaena leucocephala</i>.....	30
6 CONCLUSÕES	37
REFERÊNCIAS.....	38

RESUMO

A utilização da madeira de espécies exóticas presentes na Caatinga para finalidades energéticas tornou-se uma alternativa, contribuindo para a redução da exploração intensiva na vegetação nativa deste bioma. Desse modo, esta pesquisa teve como objetivo avaliar as características físico-químicas e energéticas da madeira das espécies exóticas *Prosopis juliflora* (Sw.) D.C.) e *Leucaena leucocephala* (Lam.) R. de Wit), para que estas sejam melhor aproveitadas. De cada árvore, foram retirados discos de 5 cm de espessura a 0 (base), 25, 50, 75 e 100% da altura comercial do tronco. Cada disco foi subdividido em quatro partes em forma de cunha, passando pela medula. Duas destas, diametralmente opostas, foram utilizadas para a determinação da densidade básica e o restante foi reservado para as análises químicas e energéticas. A espécie *Prosopis juliflora* apresentou maiores valores para a massa seca (77,92 kg), densidade básica (779,31 kg.m⁻³) e relação C:A (1,00) da madeira, com diferenças significativas entre as espécies. A *Leucaena leucocephala* exibiu um maior teor de lignina insolúvel (28,17 %), em contrapartida, a *Prosopis juliflora* apresentou maiores teores de extrativos A:T (9,75%) e cinzas da madeira (2,20%). A densidade energética da madeira (3,73 Gcal.m⁻³) foi superior para a *Prosopis juliflora*, mas não houve diferença significativa entre as espécies. Em relação ao poder calorífico superior e inferior e os teores de carbono fixo e materiais voláteis, as espécies apresentaram valores próximos para a madeira e carvão vegetal. Os valores de rendimento gravimétrico (42,33 %) e produtividade em carvão vegetal (329,77 kg.m⁻³) foram superiores para a *Prosopis juliflora*, apresentando diferenças significativas entre as espécies. Desse modo, as madeiras dessas espécies possuem características propícias para o consumo energético.

Palavras-chave: Produtividade; Densidade energética; Carvão vegetal.

ABSTRACT

The use of wood from exotic species present in the Caatinga for energy purposes has become an alternative, contributing to the reduction of intensive exploitation in the native vegetation of this biome. Thus, this research aimed at evaluating the physical, chemical and energetic attributes of the wood from the exotic species *Prosopis juliflora* (Sw.) D.C.) and *Leucaena leucocephala* (Lam.) R. de Wit), so that they are better used. From each tree, 5 cm thick discs were removed at 0 (base), 25, 50, 75 and 100% of the commercial trunk height. Each disc was subdivided into four wedge-shaped parts, passing through the medulla. Two of them, diametrically opposite, were used to determine the basic density and the rest was reserved for chemical and energetic analyses. The species *Prosopis juliflora* showed higher values of dry mass (77.92 kg), basic density (779.31 kg.m^{-3}) and heartwood/sapwood ratio (1.00) of wood, with significant differences between species. *Leucaena leucocephala* showed a higher content of insoluble lignin (28.17 %); in contrast, *Prosopis juliflora* showed higher levels of alcohol/toluene (A:T) extractives (9.75%) and wood ash (2.20%). The energy density of wood (3.73 Gcal.m^{-3}) was higher for *Prosopis juliflora*, but there was no significant difference between species. Regarding the higher and lower calorific value and the contents of fixed carbon and volatile materials, the species showed similar values for wood and charcoal. Gravimetric yield (42.33%) and charcoal productivity (329.77 kg.m^{-3}) were higher for *Prosopis juliflora*, showing significant differences between species. Therefore, the woods of those species have characteristics that are favorable for energy consumption.

Keywords: Productivity; Energy density; Charcoal.

1 INTRODUÇÃO

O meio ambiente vem sofrendo alterações há vários anos em decorrência das ações antrópicas, como por exemplo, o desmatamento de vegetações nativas para a utilização da madeira. Esse processo foi acelerado desde a época em que o homem começou a utilizar o fogo para desenvolver as atividades produtivas ao longo do tempo.

No entanto, para atender as necessidades de consumo e desenvolvimento, foram utilizadas diversas fontes de energia, em grande parte, não renováveis, como os combustíveis fósseis e nucleares. Dessa forma, a degradação ambiental ocasionada pela poluição e pelo uso irracional dos recursos naturais teve um aumento vertiginoso. Assim, como alternativa de minimizar os danos ambientais e possibilitar um desenvolvimento mais sustentável, tem-se buscado a utilização de fontes de energia renovável.

Desse modo, a madeira como fonte de energia renovável tornou-se uma alternativa viável. A utilização desse material na sua forma direta como lenha ou do seu derivado, o carvão vegetal, é destinada ao setor industrial e comercial, seja nas cerâmicas, olarias, casas de farinha e padarias, assim como na cocção de alimentos.

Assim, o uso de biomassa vegetal como fonte de energia apresenta uma grande vantagem ambiental em comparação aos combustíveis fósseis, visto que possui baixo custo e diminui a emissão de gases poluentes que causam o efeito estufa e provocam alterações climáticas. Desse modo, as pesquisas científicas sobre o uso de matérias renováveis devem ser intensificadas, com a finalidade de diversificar as fontes de energia para reduzir a dependência dos produtos não renováveis (MEDEIROS NETO et al., 2014).

Nesse contexto, a Caatinga, bioma exclusivamente brasileiro que possui um grande potencial de recursos naturais (INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE, 2020), vem ao longo dos anos sofrendo com as práticas irregulares de manejo e exploração, trazendo prejuízos sociais, econômicos e ambientais.

No semiárido brasileiro a utilização da lenha e de carvão vegetal é considerada uma prática comum nas comunidades rurais. Porém, ao longo dos anos, essa

demanda por energia ocasionou altos níveis de supressão vegetal, principalmente de espécies nativas.

Nesse sentido, a utilização de espécies florestais exóticas se torna uma alternativa viável, evitando assim o uso das espécies nativas. Contudo, essas espécies exóticas devem apresentar qualidades iguais ou superiores às espécies nativas, como o rápido crescimento, menor ciclo de corte, madeiras mais densas e um maior potencial energético. Neste contexto, estão inseridas a algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC.) e a leucena *Leucaena leucocephala* (Lam.) R. de Wit), espécies exóticas que se adaptaram na Caatinga e que apresentam grande potencial de utilização para fins econômicos, exigindo assim a realização de estudos que contribuam para o seu melhor aproveitamento.

Os estudos realizados por Fonseca et al. (2020) e Silva et al. (2018b), avaliaram, respectivamente, o potencial energético da algaroba e leucena, porém, não envolveram características como a densidade energética e produtividade em carvão vegetal. Desse modo, o presente estudo se torna importante em virtude da avaliação energética de espécies florestais exóticas que se desenvolveram no semiárido brasileiro, apresentando rápido crescimento e fácil estabelecimento nesse local, tornando-se uma ótima alternativa para o setor energético regional.

Esse estudo também contribui para a preservação das espécies nativas, tornando-se uma referência que pode auxiliar em ações de manejo adequado dessas espécies lenhosas exóticas presente na região, visando um melhor aproveitamento, reduzindo a degradação ambiental e, sobretudo, o desmatamento indiscriminado.

2 OBJETIVO GERAL

- Avaliar as características anatômicas, físico-químicas e energéticas da madeira das espécies exóticas *Prosopis juliflora* (Sw.) D.C.) e *Leucaena leucocephala* (Lam.) R. de Wit) de ocorrência no semiárido brasileiro.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar as características anatômicas e físicas (teores de casca, cerne e alburno, relação C:A, massa seca e densidade básica) da madeira das espécies;
- Determinar as características químicas (extrativos A:T e o teores de lignina insolúvel e cinzas) das madeiras das espécies analisadas;
- Avaliar as características energéticas (rendimento gravimétrico do carvão vegetal, rendimento em carbono fixo, gases condensáveis e não condensáveis, teores de carbono fixo, materiais voláteis e cinzas, densidade energética da madeira, produtividade em carvão vegetal e poder calorífico superior e inferior) da madeira e carvão vegetal, oriundos das espécies analisadas.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Uso energético da madeira

Durante o desenvolvimento da humanidade a madeira foi amplamente utilizada para diversas finalidades, principalmente para fins energéticos (CARNEIRO et al., 2014). Esse material pode ser considerado o mais antigo combustível empregado na geração de energia, apresentando como vantagens o baixo custo e menores impactos ambientais (NASCIMENTO; BIAGGIONI, 2010).

O aumento da utilização de combustíveis fósseis para suprir o consumo mundial de energia direcionou o surgimento de uma matriz energética de alto custo, insegura e prejudicial ao meio ambiente (BRUN et al., 2018). Desse modo, nos últimos anos, os órgãos ambientais intensificaram as medidas de redução na emissão de gases poluentes e, conseqüentemente, os países têm buscado a utilização de combustíveis provenientes de fontes renováveis, com destaque para a energia eólica, solar e a madeira (CARNEIRO et al., 2014).

No Brasil, os principais usos da madeira como fonte de energia estão associados aos setores industrial e comercial, assim como na utilização para cocção de alimentos. Essa madeira é proveniente de florestas plantadas e nativas (DIAS JÚNIOR et al., 2015). Segundo o Instituto Brasileiro de Árvores - IBÁ (2021), o Brasil é o país líder mundial em carvão vegetal, sendo responsável por 12% da produção global do carvão vegetal. Além disso, cerca de 91% dessa produção é oriunda da madeira de árvores plantadas.

No semiárido brasileiro, devido ao crescimento populacional e a grande demanda por novos produtos, os vegetais lenhosos foram intensivamente utilizados para a produção de energia, seja na forma de lenha ou carvão vegetal, normalmente de floresta nativa (OLIVEIRA et al., 2006).

Nesse contexto, um dos problemas enfrentados no setor energético está relacionado à falta de informações sobre os insumos madeireiros que são empregados como fonte de energia, de modo a quantificar e qualificar o produto final. Desse modo, os estudos sobre o potencial energético da madeira tornam-se extremamente importantes, em virtude da estimação para determinar o melhor

aproveitamento da madeira oriunda das florestas nativas, proporcionando a redução dos impactos ambientais causados por essa atividade (SILVA et al., 2018a).

3.2 Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal para uso energético

A melhor conversão energética na queima direta ou na produção de carvão vegetal é obtida através de uma avaliação da qualidade da madeira a ser utilizada, proporcionando alto rendimento e baixo custo. As características físico-químicas e energéticas da madeira, como a densidade básica, teor de lignina, teor de carbono fixo, materiais voláteis, teor de cinzas e poder calorífico, influenciam diretamente o rendimento energético. Desse modo, o conhecimento das propriedades energéticas da madeira permite uma maior eficiência nos resultados (SANTOS et al., 2013).

Com relação às características que qualificam o carvão vegetal, a densidade básica é considerada um índice de qualidade importante na avaliação energética, uma vez que para a obtenção de um maior desempenho energético deve-se usar a madeira com maior densidade. Uma das vantagens de se utilizar madeira com maior densidade é que o carvão vegetal possuirá uma resistência mecânica maior (SANTOS et al., 2013).

O teor de carbono fixo é considerado como a quantidade de carbono presente no carvão vegetal, tornando-se uma das principais características químicas para a produção energética. Esse parâmetro está diretamente ligado ao poder calorífico, ou seja, quanto maior for a quantidade de carbono presente na madeira maior será o poder calorífico (BRUN et al., 2018), podendo estabelecer uma relação positiva com a resistência térmica, de modo que a madeira que apresenta alto teor de carbono terá um maior fornecimento de energia, devido à natureza química do carbono (SANTOS et al., 2013).

A eliminação dos voláteis pode alterar a densidade, a porosidade, o diâmetro médio dos poros e outras características físicas do carvão vegetal. Desse modo, o teor de materiais voláteis pode afetar a estrutura do carvão (OLIVEIRA, 2003; OLIVEIRA et al., 2006). Já as cinzas são oriundas dos componentes minerais e da casca presentes da madeira. Para algumas espécies, o teor de cinzas pode ser

inversamente proporcional ao teor de lignina (ALMEIDA, 2015), afetando também de forma negativa o poder calorífico da madeira (SANTOS et al., 2013).

O poder calorífico expressa a quantidade de energia desprendida após a combustão completa da madeira, sendo considerado uma propriedade importante na avaliação qualitativa de material e na seleção de espécies com melhores características para fins energéticos (SANTOS et al., 2011). O valor do poder calorífico pode ser influenciado por algumas características, sendo uma delas relacionada à umidade, uma vez que a produção de calor por unidade de massa será maior à medida que o teor de umidade seja menor. As madeiras com maior densidade geram maior poder calorífico por unidade de volume. Por fim, o valor do poder calorífico é determinado com a utilização de equipamentos apropriados denominados calorímetros (MUZEL et al., 2014) ou por meio de equações.

Outro fator importante que deve ser observado na produção do carvão vegetal é o teor de umidade. Segundo Brito (1993), para um melhor rendimento, o carvão vegetal utilizado deve apresentar um baixo teor de umidade, evitando assim, a necessidade de utilizar elevadas temperaturas no processo e algumas características indesejáveis, como a elevada geração de finos.

O diâmetro e o comprimento das toras utilizadas na produção também estão relacionados à qualidade do carvão vegetal, uma vez que influenciam na distribuição da temperatura (GOMES, 2004). Quanto maior o diâmetro mais tempo será gasto para homogeneizar a temperatura na tora de madeira (CARVALHO et al., 2012).

Dessa forma, todas essas características devem ser analisadas e estudadas para facilitar a seleção de madeiras que tenham alta qualidade para o uso energético, seja para a queima direta ou para a produção de carvão vegetal.

3.3 Processo de carbonização da madeira

O processo de carbonização da madeira tem como objetivo a concentração de carbono no volume disponível, com a eliminação dos elementos voláteis, visando não somente sua transformação em carvão vegetal como também seu alto desempenho e eficiência energética (CANAL et al., 2016b).

Grande parte da madeira é transformada e lançada para o meio ambiente na forma gasosa, uma vez que os rendimentos desse processo estão entre 30 a 35% em massa de carvão vegetal (CANAL et al., 2016a).

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

- I. Abaixo de 200 °C – secagem da madeira;
- II. De 200 a 280 °C – fase predominantemente endotérmica, com liberação de ácido acético, metanol, água, dióxido de carbono, e outros;
- III. De 280 a 380 °C – início da fase dos hidrocarbonetos, emissão do primeiro grupo de substâncias voláteis;
- IV. De 380 a 500 °C - fase dos hidrocarbonetos, fase predominantemente exotérmica, em que é formada a maior parte dos alcatrões e gases combustíveis (monóxido de carbono, metano, entre outros).

Segundo Oliveira (2003), o fenômeno da carbonização pode ser melhor compreendido a partir da mudança ocorrida na composição química elementar da madeira, basicamente, constituída de carbono (50%), oxigênio (44%) e hidrogênio (6%).

Com relação à composição química, é composta pela celulose, hemicelulose e lignina, que responsáveis pela formação da parede celular, das propriedades da madeira, assim como, pelos extrativos e cinzas que constituem os componentes secundários (LIMA et al., 2007).

O teor de lignina da madeira e as condições de carbonização, como a temperatura final e a taxa de aquecimento, exercem influência sob os teores de carbono fixo e de substâncias voláteis, que são propriedades químicas desejáveis no carvão vegetal. As elevadas temperaturas e taxas de aquecimento reduzem o rendimento em carvão, favorecendo a geração de gases em virtude da maior degradação térmica dos componentes da madeira (OLIVEIRA et al., 2010).

Durante o processo de carbonização, o percentual de celulose é considerável até 300 °C, com uma contribuição em cerca de 34,2%. Mas, à medida que a temperatura aumenta, a decomposição desse elemento é acelerada, tornando-o pouco expressivo no carvão ao final do processo, ocasionando uma grande produção de gases (OLIVEIRA et al., 1982).

Segundo os mesmos autores, o líquido pirolenhoso produzido durante a carbonização, em sua maior parte, é oriundo da decomposição das hemiceluloses submetidas a temperaturas superiores a 300 °C, sendo que ao final do processo esse componente possui uma participação aproximada de 10% no carvão. Quanto a lignina, considera-se o componente mais expressivo, com presença em cerca de 55% entre temperaturas de 450 °C e 500 °C.

3.4 O bioma caatinga e a utilização de espécies exóticas na região semiárida

A Caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro que ocupa uma área de cerca de 844.453 Km², equivalente a 11% do território nacional. Cerca de 27 milhões de pessoas vivem na região e dependem dos recursos presentes no bioma para garantir a sua sobrevivência. Porém, durante as últimas décadas, a vegetação dessa região tem sido vastamente explorada de forma ilegal e insustentável para atender o consumo de lenha destinada para fins domésticos e industriais. Assim, grandes áreas foram desmatadas, chegando a um percentual de 46% da área total do bioma (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2020).

A vegetação presente nesse bioma é vastamente utilizada na produção de energia, no entanto, existem poucos estudos sobre as características das madeiras e seu potencial energético. Na maior parte, essa exploração acontece de forma inadequada, sem nenhum plano de manejo que torne essa prática sustentável (MEDEIROS NETO et al., 2014).

Contudo, as espécies arbóreo-arbustivas apresentam bifurcações e fustes tortuosos, características que limitam sua aplicação no setor industrial. No entanto, as madeiras dessas espécies, como o angico, a catingueira e a jurema-preta (SANTOS et al., 2020), por exemplo, são destinadas para a produção de estacas, lenha e carvão vegetal, onde esses produtos madeireiros obtidos são utilizados como fonte de energia em alguns estabelecimentos (padarias, doceiras, olarias e caeiras) e como material de construção para os meios urbano e rural (caibros, linha e ripas). Assim, a madeira das espécies presentes na caatinga exerce um grande papel socioeconômico nessa região.

No entanto, ao longo de muitos anos, a região semiárida brasileira vem sofrendo uma significativa degradação em decorrência da utilização das espécies nativas, o que ocasionou uma maior preocupação quanto à preservação destas espécies (PAES, MORESCHI, LELLES, 2005) e a busca por novas alternativas para suprir as necessidades da região. A utilização de espécies florestais exóticas se tornou uma das alternativas, principalmente para o setor de produção de energia. Algumas espécies como a algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw.) D.C.) e o eucalipto (*Eucalyptus* spp.) apresentaram grande potencial energético no Nordeste brasileiro (SILVA et al., 2018a).

A algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw.) D.C.) é uma espécie originária dos Andes, no Peru, que se adaptou ao semiárido brasileiro por ser pouco exigente em água e ocorrer naturalmente em zonas tropicais áridas, sendo resistente à seca, a baixa pluviosidade, apresentando rápido crescimento (ANDRADE et al., 2010). Ela foi introduzida no Nordeste do Brasil na década de 40, como uma alternativa viável para fins forrageiros e madeireiros.

Sua árvore pode atingir uma altura de 12 m, podendo chegar a 20 m em condições favoráveis (DAVE; BHADARI, 2013), com tronco curto e tortuoso, atingindo um diâmetro a altura do peito (DAP) de cerca de 65 cm (ABBASI et al., 2017). Possui madeira densa com boas propriedades mecânicas e durabilidade natural (GOMES, 2007), apresentando um poder calorífico na faixa de 4000 kcal.kg⁻¹, baixo teor de cinzas e considerável capacidade de queima, tornando-se a principal fonte de energia para pessoas em regiões áridas (WALTER; ARMSTRONG, 2014).

No semiárido brasileiro a população rural utiliza a madeira da algaroba para diversos fins socioeconômicos, principalmente para a produção de estacas, moirões, lenha e carvão (FARIAS SOBRINHO et al., 2005), possuindo, dessa forma, importância comercial nessa região.

Segundo o MMA (2018), a utilização da algaroba como fonte de energia apresenta algumas vantagens. Por se tratar de uma espécie exótica não existem restrições legais para a sua exploração, com exceção no estado da Paraíba, onde é requerido o inventário e autorização prévia.

Devido ao seu tamanho e densidade, a sua madeira é adequada para fins energéticos e as suas altas taxas de crescimento permitem a aplicação de sistemas

de manejo simples, com ciclos de cortes curtos, proporcionando uma diversidade de produtos como lenha, estacas e moirões.

A leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) R. de Wit), pertencente à família Mimosaceae e originária da América Central, é uma espécie exótica de porte arbóreo-arbustiva, com altura de até 20 m e diâmetro a altura do peito (DAP) de 30 cm. Possui ampla diversidade de uso, principalmente na região semiárida, onde o seu desenvolvimento é satisfatório e sua madeira é utilizada para a produção de lenha e carvão (DRUMOND; RIBASKI, 2010).

Na década de 1970 a leucena começou a ser implantada no Nordeste brasileiro pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) em conjunto com o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF). Já na região semiárida, essa espécie apresentou rápido crescimento com grande capacidade de regeneração, tornando-se um destaque devido a sua multifuncionalidade, onde a sua madeira foi destinada para a produção de lenha e carvão vegetal, assim como a espécie forrageira foi considerada altamente palatável e com grande valor nutricional, sendo também, vastamente utilizada na melhoria dos solos e na recuperação de áreas degradadas (DRUMOND et al., 2010).

Espécies como a algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw) D.C.) e a leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit.) possibilitaram a produção de forragem para animais no semiárido. Além da forragem, a sua madeira foi utilizada para a produção de moirões, lenha e carvão, em consequência da boa adaptação na região semiárida (PAES et al., 2014).

4 METODOLOGIA

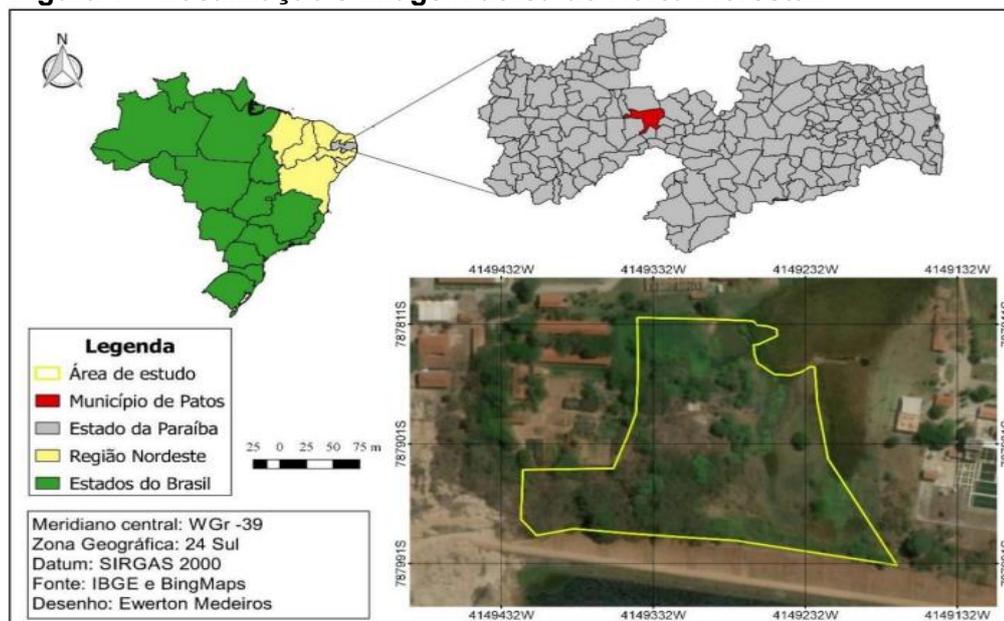
4.1 Espécies estudadas e amostragem

O material utilizado foi coletado no Horto Florestal do Centro de Saúde e Tecnologia Rural (CSTR) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), campus de Patos – PB (Figura 1).

O município de Patos está localizado na porção central do Estado da Paraíba, na Região Geográfica Intermediária Imediata, possui uma população estimada de 108.766 habitantes (IBGE, 2021). Situa-se a 300 km da capital, João Pessoa, possui altitude de 245 metros em relação ao nível do mar (FUNES, 2017), extensão territorial de 472,892 km² e densidade demográfica de 212,82 hab/km² (IBGE, 2021). O referido município está inserido na região do polígono das secas.

Seu clima é quente e úmido com pluviosidade média anual em torno dos 700 mm, com 78% das chuvas concentradas nos primeiros quatro meses do ano e temperatura média anual em torno dos 28 °C. O relevo varia de ondulado a suavemente ondulado, com declividade média à baixa. A topografia varia de 240 a 580 m (CPRM, 2005).

Figura 1 – Localização e imagem aérea do Horto Florestal.

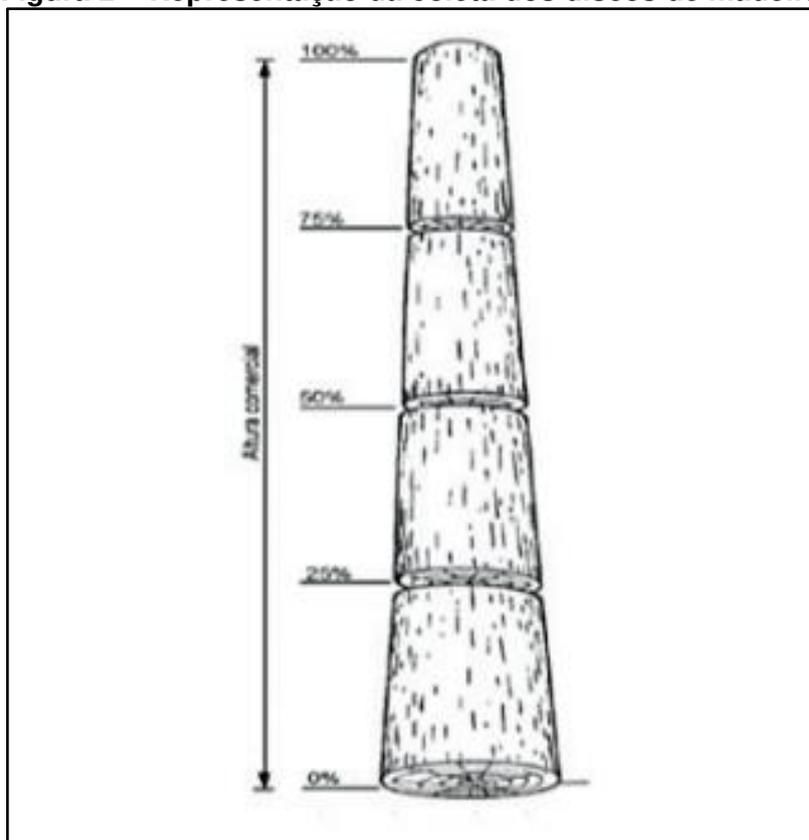


Fonte: Santos (2019).

Para cada espécie, foram coletadas aleatoriamente três árvores, todas apresentando boa fitossanidade (ausência de ataque de insetos, podridão e outros). A seleção das árvores de cada espécie teve como base os valores médios para o diâmetro obtidos através de um levantamento realizado na área anteriormente.

Foram obtidos de cada árvore cinco discos nas posições 0 (base), 25, 50, 75 e 100% da altura comercial do tronco, conforme a figura 2, considerado um diâmetro mínimo de 5,0 cm de espessura.

Figura 2 – Representação da coleta dos discos de madeira.



Fonte: Gonçalves et al. (2014).

As amostras coletadas foram transportadas para o Setor de Tecnologia de Produtos Florestais (STPF) da UFCG, onde foram realizadas as análises. Os discos foram subdivididos em quatro partes, em forma de cunha, passando pela medula (Figuras 3 e 4). Duas destas, diametralmente opostas, foram utilizadas para a determinação da densidade básica.

O restante foi utilizado para as análises físico-químicas e energéticas da madeira e para avaliação dos rendimentos da carbonização.

Figura 3 – Discos de *Prosopis juliflora* subdivididos em quatro partes.



Fonte: o autor.

Figura 4 – Discos de *Leucaena leucocephala* subdivididos em quatro partes.



Fonte: o autor.

4.2 Caracterização anatômica, físico-química e energética da madeira

4.2.1 Caracterização anatômica e física da madeira

Calculou-se o volume de madeira sem casca e o volume do cerne ao ser empregado o método de Smalian, conforme as equações 1, 2 e 3 (SILVA, J. A. A., 1979), sendo o volume de alburno obtido pela diferença entre estes valores.

$$V_i = \frac{g_1 + g_2}{2} * L \quad (1)$$

$$g_i = \frac{\pi * d_i^2}{40000} \quad (2)$$

$$V_t = V_1 + V_2 \quad (3)$$

Sendo: V_i = volume da secção (m^3); g_1 = área transversal da extremidade de maior diâmetro (m^2); g_2 = área transversal da extremidade de menor diâmetro (m^2); L = comprimento da secção (m); d_i (cm) = diâmetro de cada extremidade e V_t = volume total (m^3).

Na determinação da relação cerne: alburno das madeiras, os discos foram mensurados nas posições 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial das árvores, obtendo o diâmetro médio destes sem casca e o diâmetro médio do cerne, ao realizar a medição do maior e menor diâmetro com régua graduada em milímetros.

Os teores de cerne e alburno foram determinados por meio das Equações 4 e 5.

$$\%Cerne = \frac{V_{cerne}}{V_{madeira\ s/c}} * 100 \quad (4)$$

$$\%Alburno = \frac{V_{alburno}}{V_{madeira\ s/c}} * 100 \quad (5)$$

Em que: V_{cerne} : volume de cerne (m^3); V_{alburno} : volume de alburno (m^3); e $V_{\text{madeira s/c}}$: volume de madeira sem casca (m^3).

A delimitação da relação cerne: alburno (C:A) foi realizada seguindo os preceitos descritos por Evangelista (2007) e Silva (2018). Sendo assim, em cada disco determinou-se visualmente a região limitante entre a região do cerne e alburno, com auxílio de uma lupa com aumento de 10x. Posteriormente, foi delineada duas retas perpendiculares, passando pela medula, de aresta igual ao diâmetro em que foram medidas, bem como a região limítrofe, com o uso de régua de aço graduada em milímetros, conforme a figura 5. A relação C:A foi calculada de acordo com a Equação 6.

$$C:A = \frac{Dc^2}{D^2 - Dc^2} \quad (6)$$

Em que:

C:A - relação cerne: alburno; D_c : diâmetro do cerne (cm); e D: diâmetro sem casca do disco (cm).

Na determinação da porcentagem de casca, foi utilizada a metodologia descrita por Oliveira (2015), realizando-se a medição da circunferência do disco com casca e sem casca. A porcentagem de casca foi determinada segundo a Equação 7:

$$\%Casca = \frac{Acc - Asc}{Acc} * 100 \quad (7)$$

Sendo,

A_{cc} = Área Seccional com casca, em cm^2 ; e,

A_{sc} = Área Seccional sem casca, em cm^2 .

Figura 5 – Delineação de duas retas perpendiculares passando pela medula.



Fonte: o autor.

O volume do corpo de prova foi medido de acordo com o método da balança hidrostática (VITAL,1984). Para a determinação da densidade básica (MEB) das espécies florestais avaliadas no estudo foram seguidas as especificações da Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 11941 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2003).

A massa seca foi calculada em relação à densidade básica da madeira e o volume comercial da madeira sem casca, para cada espécie, segundo a Equação 8 (GOULART et al, 2003).

$$MS = DMB * Vi \quad (8)$$

Em que: MS: é a massa seca individual da madeira (kg); DBM: densidade básica da madeira (kg.m⁻³); Vi: volume comercial da madeira sem casca (m³).

4.2.2 Caracterização química da madeira

Após a secagem ao ar, os cavacos destinados às análises químicas foram transformados em palitos e, posteriormente, em serragem em moinho do tipo *Willey* (Figura 6). As análises foram efetuadas na fração de serragem, classificadas em peneiras de 40/60 mesh e condicionadas a uma umidade relativa de $65 \pm 5\%$ e temperatura de $25 \pm 2^\circ\text{C}$. Em seguida, foram armazenadas em frascos de vidro.

Figura 6 – Moinho do tipo *Willey*.



Fonte: o autor.

A determinação do teor absolutamente seco foi realizada de acordo com a norma Technical Association of the Pulp and Paper Industry- TAPPI 264 om - 88 (TAPPI, 1996). O teor de extrativos Álcool:Tolueno foi efetuado através da solubilidade da madeira em álcool/tolueno, segundo a norma American Society for Testing and Materials - ASTM D1105 (2013), em extratores tipo Soxhlet, conforme a figura 7.

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

química imediata foi realizada conforme a NBR 8112 (ABNT, 1986), com determinação do teor de materiais voláteis cinzas e carbono fixo.

Figura 7 – Extratores do tipo Soxhlet.



Fonte: o autor.

4.2.3 Caracterização energética da madeira

O poder calorífico superior (Kcal.kg^{-1}) da madeira e carvão vegetal foi estimado com base na sua composição química imediata (Equação 9). Já o poder calorífico inferior (Kcal.kg^{-1}) foi calculado por meio da relação com o poder calorífico superior de acordo com a Equação 10 (CORDEIRO et al., 2001).

$$PCS = 0,3543 * CF + 0,1708 * MV \quad (9)$$

Em que: PCS é o poder calorífico superior da madeira (MJ.kg); CF é teor de carbono fixo da madeira (%) e MV é o teor de materiais voláteis da madeira (%).

$$PCI = PCS * 324 \quad (10)$$

Em que: PCI: poder calorífico inferior (Kcal.kg⁻¹); PCS: poder calorífico superior (Kcal.kg⁻¹).

A densidade energética foi obtida pela multiplicação da densidade básica da madeira (DBM) pelo seu poder calorífico superior (PCS), expressa em Gcal.m⁻³ de acordo com a Equação 11 (CARVALHO et al., 2020).

$$DE = \frac{PCS*DMB}{10^6} \quad (11)$$

Em que: DE: densidade energética (Gcal.m⁻³); PCS: poder calorífico superior (kcal.kg⁻¹); DBM: densidade básica da madeira (kg.m⁻³).

4.2.4 Carbonização da madeira e avaliação da qualidade do carvão vegetal

Para a carbonização da madeira, os discos foram subdivididos em quatro partes, em forma de cunha, passando pela medula. As cunhas destinadas à carbonização foram transformadas em cavacos manualmente e secos ao ar livre. Em seguida, foram homogeneizados por espécie e levados à estufa, a 105 ± 3 °C, por 24 horas.

As carbonizações foram realizadas em escala de laboratório, com a finalidade de avaliar a quantidade e qualidade do carvão vegetal produzido por cada espécie. Esse processo foi realizado em um forno elétrico (mufla), adaptado para essa operação (Figura 8). A marcha de carbonização foi programada com temperatura inicial de 100°C e temperatura final de 450°C, com aquecimento de 50°C a cada 30 minutos, totalizando 4 horas.

Foram carbonizados aproximadamente 350 g de cavacos, com cinco repetições para cada espécie, totalizando 10 carbonizações. A captação dos gases condensáveis foi realizada com um condensador conectado a uma cápsula metálica dentro do forno, com o recolhimento do líquido pirolenhoso em um kitassato, liberando

assim, os gases para a atmosfera. Com a finalidade de evitar fumaças no laboratório, os gases foram queimados durante o processo.

Figura 8 – Mufla elétrica utilizada nas carbonizações.



Fonte: o autor.

Após a carbonização da madeira, além da determinação dos rendimentos gravimétricos, foram analisadas as características do carvão vegetal, a fim de conhecer suas propriedades, como a análise química imediata, poder calorífico superior e inferior e produtividade em carvão vegetal.

Os rendimentos em carvão vegetal e gases condensáveis e não condensáveis foram avaliados de acordo com Oliveira et al. (2010). O rendimento gravimétrico do carvão vegetal foi calculado em relação à madeira seca de cada repetição (Equação 12).

$$RGCV = \frac{M_c}{M_m} * 100 \quad (12)$$

Em que: RGCV = rendimento gravimétrico em carvão vegetal (%); M_c = massa do carvão (g); M_m = massa seca da madeira (g).

O rendimento em gases condensáveis e não condensáveis foi determinado por meio da relação com o rendimento gravimétrico em carvão vegetal (Equação 13).

$$RGCNC = 100 - RGCV \quad (13)$$

Em que: RGCNC: rendimento gravimétrico em gases condensáveis e não condensáveis (%); RGCV: rendimento gravimétrico em carvão vegetal (%).

A composição química imediata foi realizada conforme a NBR 8112 (ABNT, 1986), com determinação do teor de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo. O rendimento em carbono fixo foi obtido pelo produto entre o teor de carbono fixo e rendimento gravimétrico da carbonização.

A produtividade de carvão vegetal (kg.m^{-3}) foi calculada com base na equação 14 (PROTÁSIO et al., 2015).

$$PCV = \frac{RGCV}{100} * DMB \quad (14)$$

Em que: PCV: Produtividade em carvão vegetal (kg.m^{-3}); RGCV: rendimento gravimétrico em carvão (%); DBM: densidade básica da madeira (kg.m^{-3}).

4.3 Análise estatística dos resultados

Na avaliação do experimento utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), para a madeira e o carvão vegetal, com dois tratamentos (espécies) e três repetições (árvores). Na análise dos resultados foi empregado o teste de Tukey ($p \leq 0,05$) para as interações detectadas como significativas pelo teste de F ($p \leq 0,05$).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Características anatômicas, dendrométricas, físico-químicas e energéticas das espécies *Prosopis juliflora* e *Leucaena leucocephala*

Pode-se observar na Tabela 1 que os valores para as características dendrométricas, físicas e anatômicas, foram superiores, com exceção do teor de alburno (%) para a espécie algaroba.

Tabela 1 – Características dendrométricas, físicas e anatômicas das espécies algaroba e leucena.

Características dendrométricas, físicas e anatômicas	Espécie	
	Algaroba	Leucena
Diâmetro a altura do peito (cm)	18,2	12,5
Altura comercial (m)	9,90	8,57
Volume comercial sem casca (m ³)	0,099a	0,065a
Massa seca (kg)	77,92a	46,02b
Densidade básica média (kg.m ⁻³)	779,31a	700,53b
Espessura da casca (cm)	0,59	0,31
Teor de casca (%)	10,37	6,21
Teor de cerne (%)	55,95	37,91
Teor de alburno (%)	44,05	62,09
Relação C:A	1,00a	0,30b

As médias seguidas por uma mesma letra, em cada linha, não diferem entre si (Tukey, $p > 0,05$).

A espécie algaroba apresentou maiores valores de densidade básica (779,31 kg.m⁻³) e volume sem casca (0,099 m³), conseqüentemente, maior massa seca (77,92 kg) em relação à leucena, que apresentou valores inferiores para a densidade básica (700,53 kg.m⁻³), volume sem casca (0,065 m³) e massa seca (46,02 kg), diferindo estatisticamente entre as espécies para as características de massa seca e densidade.

Para um mesmo volume de madeira é possível obter-se maior rendimento gravimétrico em carvão vegetal, caso a madeira utilizada possua maior densidade. Dessa forma, maiores valores de densidade contribuem diretamente para uma melhor qualidade da madeira e, conseqüentemente, a produção de carvão vegetal com alto rendimento (OLIVEIRA, et al., 2010; LOUREIRO et al., 2021). Em virtude disso, a madeira da algaroba possui uma maior geração de energia.

Comparando-se os dados apresentados por Santos et al. (2020), para a densidade básica das espécies catingueira (718 kg.m^{-3}), angico (799 kg.m^{-3}) e jurema-preta (799 kg.m^{-3}), madeiras comumente utilizadas para fins energéticos na região semiárida, nota-se que as madeiras da algaroba e leucena apresentaram valores próximos aos observados para as espécies citadas.

Ao considerar a densidade da madeira de espécies comumente utilizadas para uso na geração de energia no Brasil, como o *Eucalyptus* (CARVALHO et al., 2020), com valor superior a $500,00 \text{ kg.m}^{-3}$ (LIMA, 2020), os valores apresentados pela algaroba e leucena são tecnicamente viáveis, tornando-se evidente o potencial energético da madeira dessas espécies.

Quanto às características anatômicas, a espécie algaroba apresentou os valores de 0,59 cm para a espessura da casca, 10,37%, 55,95% e 44,05% para os teores de casca, cerne e alburno, respectivamente, e relação C:A de 1,00, a qual apresentou diferença significativa entre as espécies. A espécie leucena apresentou os valores de 0,31 cm para a espessura da casca, 6,21%, 37,91% e 62,09% para os teores de casca, cerne e alburno, respectivamente, e 0,30 para a relação C:A.

No estudo realizado por Pereira et al. (2013), ao avaliarem a relação C:A da madeira no *Eucalyptus*, constataram valores médios entre 0,49 a 1,01. Os mesmos autores afirmam que os menores valores para a relação C:A, resultam em redução no tempo necessário para a eliminação da umidade presente na madeira durante o processo de secagem. Uma vez que, o alburno possui uma secagem mais rápida que o cerne, devido a sua maior permeabilidade.

Quanto a geração de finos, menores relações C:A são requeridas, uma vez que a carbonização da madeira ocorre da superfície para o seu interior, existindo a liberação de gases originários que percorrem o caminho inverso, durante o processo.

Para que esses gases sejam liberados, pode ocorrer o rompimento das células parenquimáticas, que possuem paredes celulares menos espessas e com menor rigidez. Desse modo, quanto maior a porcentagem de cerne, maior será a quantidade de células rompidas, durante o processo, e conseqüentemente, maior será o teor de finos (SILVA; TRUGILHO, 2003).

Contudo, maiores relações C:A indicam uma maior dificuldade para a liberação dos gases produzidos na carbonização da madeira, assim como maior será o número de células rompidas, gerando um carvão vegetal mais friável (PEREIRA et al., 2013). Dentre as espécies estudadas nesse trabalho, a algaroba apresentou uma maior relação C:A, indicando, provavelmente, ser mais propícia a geração de finos.

Na tabela 2, observa-se que a algaroba apresentou maiores valores para os teores de extrativos (9,75%) e cinzas (2,20%), porém, quanto a lignina insolúvel, um maior valor (31,17%) foi encontrado para a leucena, apresentando diferenças significativas entre as espécies.

Tabela 2 – Valores das características químicas e energéticas das madeiras das espécies algaroba e leucena.

Análise química e rendimentos da madeira	Espécie	
	Algaroba	Leucena
Teor de Extrativos A:T (%)	9,75a	2,84b
Lignina insolúvel (%)	28,17b	31,17a
Teor de Cinzas (%)	2,20a	1,15b
Teor de carbono fixo (%)	19,45a	20,80a
Rendimento em carbono fixo (%)	8,23	8,27
Teor de materiais voláteis (%)	78,35a	78,05a
Poder calorífico superior (Kcal.kg ⁻¹)	4842,47a	4944,06a
Poder calorífico inferior (Kcal.kg ⁻¹)	4518,60a	4620,11a
Densidade energética (Gcal.m ⁻³)	3,73a	3,46a

As médias seguidas por uma mesma letra, em cada linha, não diferem estatisticamente (Tukey, $p > 0,05$).

Segundo Silva e Trugilho (2003) a porcentagem de extrativos é diretamente proporcional à porcentagem de cerne presente na madeira. Desse modo, observou-se que a madeira da algaroba apresentou maiores percentuais de extrativos (9,75%) e cerne (55,95%), além de uma maior densidade ($779,31 \text{ kg.m}^{-3}$).

No estudo realizado por Araújo et al. (2016), ao avaliarem a composição química da madeira de clones de *Eucalyptus*, observaram valores entre 20,93% e 29,50% para o teor de lignina insolúvel, sendo próximos aos valores encontrados para a algaroba (28,17%) e leucena (31,17%).

O carbono fixo existente na madeira pode ser considerado a principal fonte de energia para a combustão, incrementando o poder calorífico, uma vez que a madeira libera energia por mais tempo durante esse processo (SOARES et al., 2015; SILVA et al., 2014). Esse comportamento foi observado neste trabalho, uma vez que a leucena apresentou um maior teor de carbono fixo (20,80%) e rendimento em carbono fixo (8,27%), menor teor de materiais voláteis (78,05%) e, conseqüentemente, valores superiores para o poder calorífico superior ($4944,06 \text{ Kcal.kg}^{-1}$) e inferior ($4620,11 \text{ Kcal.kg}^{-1}$) da madeira.

Ao avaliarem a produção de energia em espécies da Caatinga, Carvalho et al. (2020) observaram valores para o teor de materiais voláteis da madeira entre 77,03% a 82,45%. Em relação ao teor de carbono fixo, os valores obtidos para algumas das espécies estudadas como a jurema-preta (22,22%), pereiro (21,02%) e marmeleiro (19,08%) foram próximos aos observados neste trabalho.

Ainda fazendo referência aos autores Carvalho et al. (2020), as espécies jurema-preta e pereiro apresentaram os valores de $4.897,00$ e $4675,00 \text{ kcal.kg}^{-1}$, respectivamente, para o poder calorífico superior da madeira. Ao avaliarem as propriedades energéticas do *Eucalyptus benthamii*, Silva et al. (2015) obtiveram para o poder calorífico inferior e superior, valores médios de $4.379,1$ e $4.679,7 \text{ kcal.kg}^{-1}$, respectivamente.

No estudo realizado por Protásio et al. (2015), ao avaliarem a densidade energética em clones de *Eucalyptus*, constataram valores entre $2,30$ a $3,20 \text{ Gcal.m}^{-3}$. Os autores Santos et al. (2016), observaram um valor de $2,17 \text{ Gcal.m}^{-3}$ no *Eucalyptus urograndis*, sendo inferiores aos valores encontrados neste trabalho, onde $3,73$

Gcal.m⁻³ e 3,46 Gcal.m⁻³ foram referentes a algaroba e leucena, respectivamente, não apresentando diferenças significativas entre as espécies.

A densidade energética é considerada um importante parâmetro para combustíveis sólidos, uma vez que avalia a quantidade de energia armazenada em um determinado volume de material (SANTOS et al., 2016).

O rendimento gravimétrico em carvão vegetal apresentou valores próximos para as espécies algaroba (42,33%) e leucena (40,13%), no entanto, diferiram estatisticamente entre si. O rendimento em carbono fixo para a algaroba (29,04%) e leucena (26,73%) também apresentou valores próximos, entre as espécies, como descrito na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores das características energéticas do carvão vegetal das espécies algaroba e leucena.

Rendimentos do carvão vegetal	Espécie	
	Algaroba	Leucena
Rendimento gravimétrico em carvão vegetal (%)	42,33a	40,13b
Gases condensáveis e não condensáveis (%)	57,79b	59,86a
Teor de carbono fixo (%)	68,60a	67,25a
Rendimento em carbono fixo (%)	29,04	26,73
Teor de materiais voláteis (%)	29,10a	31,00a
Teor de cinzas (%)	2,30a	1,75b
Poder calorífico superior (Kcal.kg ⁻¹)	6992,21a	6955,19a
Poder calorífico inferior (Kcal.kg ⁻¹)	6674,88a	6631,19a
Produtividade de carvão vegetal (kg.m ⁻³)	329,77a	278,46b

As médias seguidas por uma mesma letra, em cada linha, não diferem entre si (Tukey, p > 0,05).

Segundo Oliveira et al. (2010), maiores teores de lignina e extrativos na madeira proporcionam um maior rendimento em carvão vegetal, em virtude da considerável quantidade de carbono presente nesses constituintes. Embora a espécie algaroba apresente uma menor quantidade de lignina (28,17%), o percentual de extrativos (9,75%) é superior ao encontrado para a leucena.

Os autores Medeiros Neto et al. (2012) observaram para os rendimentos gravimétrico e em carbono fixo, os valores de 43,03% e 26,04% para a catingueira e 37,90% e 25,65% para o pau-d'arco, respectivamente. No estudo realizado por Oliveira et al. (2006), constataram um rendimento gravimétrico em carvão de 39,68%, para a espécie jurema-preta.

Na pesquisa realizada por Fonseca et al. (2020), os valores observados para o rendimento gravimétrico em carvão vegetal nas espécies juazeiro (38,60%) e algaroba (45,05%) foram próximos em relação aos valores obtidos no presente estudo. Segundo Silva et al. (2018b), o rendimento em carvão vegetal pode influenciar diretamente a escolha da espécie a ser utilizada na produção, levando em consideração a demanda dessa atividade em larga escala.

Os teores de carbono fixo (68,60%) e de cinzas (2,30%) foram superiores para o carvão vegetal da algaroba. Os autores Oliveira et al. (2006), encontraram um valor de 71,97% para o teor de carbono fixo no carvão vegetal da jurema-preta. Ao caracterizarem as propriedades energéticas das espécies catingueira e pau-d'arco, Medeiros Neto et al. (2012) encontraram os valores de 60,58% e 67,68% para o teor de carbono fixo, e para as cinzas foram observados 3,69% e 0,87%, respectivamente.

A quantidade de carbono fixo é considerada uma propriedade importante nos setores produtivos em que o carvão vegetal é utilizado (SILVA et., 2018). Já as elevadas quantidades de cinzas podem resultar na danificação dos equipamentos que utilizam a madeira como fonte de energia, necessitando de limpezas mais frequentes nos sistemas (PEREIRA, et al., 2013).

Em relação aos gases condensáveis e não condensáveis e o teor de materiais voláteis, a leucena apresentou maiores valores (59,87% e 31,00%), respectivamente. Os teores de materiais voláteis observados por Almeida et al. (2015), para amburana-de-cheiro (32,61%) e jurema-branca (32,04%) foram superiores aos valores encontrados neste trabalho.

Quanto ao poder calorífico superior e inferior do carvão vegetal, a espécie algaroba apresentou os valores de 6992,21 e 6674,88 Kcal.kg⁻¹, já para a leucena os valores observados foram de 6955,19 e 6631,19 Kcal.kg⁻¹, respectivamente. Essa diferença pode ser explicada em decorrência dos teores de carbono fixo e materiais

voláteis, que exercem influência direta nessa característica energética, uma vez que a estimativa do poder calorífico superior tem como base essas variáveis.

Quanto à produtividade de carvão vegetal, a algaroba apresentou o valor de 329,77 kg.m⁻³ e para a leucena observou-se um valor de 278,46 kg.m⁻³, diferindo estatisticamente entre as espécies. Essa superioridade em relação à produtividade está relacionada com a densidade básica da madeira e o rendimento gravimétrico em carvão vegetal, os quais foram superiores para a algaroba.

No estudo realizado por Protásio et al. (2015), ao avaliarem a produtividade de carvão vegetal em clones de *Eucalyptus*, observaram valores entre 159 kg.m⁻³ a 201 kg.m⁻³, sendo inferiores aos observados neste trabalho.

6 CONCLUSÕES

As características como a densidade básica, o teor de lignina, o rendimento gravimétrico, teor de carbono fixo, o poder calorífico superior e inferior da madeira e carvão vegetal, a densidade energética da madeira e a produtividade em carvão vegetal indicam viabilidade do uso da madeira das espécies algaroba e leucena para geração de energia, uma vez que apresentaram valores próximos e/ou superiores a outras espécies nativas da Caatinga ou exóticas, como o *Eucalyptus*, que são comumente utilizadas para esta finalidade.

REFERÊNCIAS

- ABBASI, S. A.; PATNAIK, PRATIKSHA.; ABBASI TASNEEM. *Prosopis (Prosopis juliflora): blessing and bane*. **Tropical Ecology**. 58(3): 455–483, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/S-A-Abbasi/publication/322682224_Prosopis_Prosopis_juliflora_Blessing_and_bane/links/5a6971bda6fdcccd01a1a7ff/Prosopis-Prosopis-juliflora-Blessing-and-bane.pdf. Acesso em: 15/09/2022.
- ALMEIDA, M. C.; OLIVEIRA, O.; CALEGARI, L; MEDEIROS NETO, P. N. 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, v. 25, n. 1, p. 165-173, jan.-mar.,2015. Disponível em:<https://www.scielo.br/j/cflo/a/ZF6dfzbHk9KGqyhGVKNgpLs/?lang=pt>. Acesso em: 10/07/2022.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. **ASTM D 1105**: standard test method for preparation of extractive-free wood. Annual Book of ASTM Standard, Philadelphia, 2013. 2 p. Disponível em: <http://file.yizimg.com/175706/2011120520563359.pdf>. Acesso em: 14/12/2020.
- ANDRADE, L. A.; FABRICANTE, J. R.; OLIVEIRA, F. X. Impactos da invasão de *Prosopis juliflora* (SW.) DC. (Fabaceae) sobre o estrato arbustivo-arbóreo em áreas de Caatinga no Estado da Paraíba, Brasil. **Acta Scientiarum - Biological Sciences**, Maringá, PR, v. 32, n. 3, p. 249-255. 2010. Disponível em: <http://www.periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciBiolSci/article/view/4535/4535>. Acesso em: 26/08/2020.
- ARAÚJO, A. C. C.; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; BRAGA, P. P. C.; LIMA, R. V.; PROTÁSIO, T. P. Efeito da relação siringil/guaiacil e de fenóis derivados da lignina nas características da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus* spp. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.44, n.110, p. 405-414, jun. 2016. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr110/cap13.pdf>. Acesso em: 24/09/2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR-11941**: madeira - determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/2363959/nbr-11941-densidade-basica-da-madeira>. Acesso em: 14/12/2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8112**: carvão vegetal: análise imediata. Rio de Janeiro: 1986. 8p.
- BASTOS FILHOS, J. G. **Desenvolvimento de um forno metálico para carbonização da madeira**. 1988. 37 f. Dissertação (mestrado em Ciências

Florestais) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1988. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/171>. Acesso em: 06/11/2020.

BRITO, J. O. **Reflexões sobre a qualidade do carvão vegetal para uso siderúrgico**. Piracicaba: IPEF, 1993. 6p (Circular Técnica, 181). Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr181.pdf>. Acesso em: 26/08/2020

BRUN, J. E.; BERSCH, A. P.; PEREIRA, F. A.; SILVA, D. A.; BARBA, Y. R.; JUNIOR, J. R. D. Caracterização energética da madeira de três materiais genéticos de *Eucalyptus* sp. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 48, n.1, p. 87-92, 2018. Disponível em: <file:///C:/Users/Lis%20Pergentino/Downloads/51673-228095-1-PB.pdf>. Acesso em: 17/08/2020.

CANAL, W. D.; CARVALHO, A. M. M. L.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; PEREIRA, B. L. C.; DONATO, D. B. Efeito do teor de umidade da madeira na emissão de gases de efeito estufa no processo de carbonização. **Scientia Forestalis**, Piracicaba-SP, v. 44, n. 112, p. 831-840, 2016a. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr112/cap05.pdf#:~:text=Observa%2Dse%20que%20um%20aumento,na%20fra%C3%A7%C3%A3o%20gasosa%20n%C3%A3o%20condens%C3%A1vel>. Acesso em: 17/08/2020.

CANAL, W. D.; CARVALHO, A. M. M. L.; OLIVEIRA, A. C.; MAGALHÃES, M. A.; CÂNDIDO, W. L.; FIALHO, L. F. Comportamento térmico e emissão de gases condensáveis e não condensáveis no processo de carbonização da madeira. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 36, n. 87, p. 261-267, jul./set, 2016b. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/17332/1/artigo.pdf>. Acesso em: 19/09/2022.

CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, A. F. N. M.; CASTRO R. V. O.; SANTOS, R. C.; FERREIRA, L. P.; DAMÁSIO R. A. P.; VITAL, B. R. Potencial energético da madeira de *Eucalyptus* sp. em função da idade e de diferentes materiais genéticos. **Revista Árvore**, v. 38, n.2, p. 375-381, 2014. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622014000200019&script=sci_abstract&lng=pt#:~:text=Observou%2Dse%20que%20houve%20efeito,os%20tr%C3%AAs%20materiais%20gen%C3%A9ticos%20avaliados. Acesso em: 24/07/2020.

CARVALHO, A. C.; SANTOS, R. C.; CASTRO, R. V. O.; SANTOS, C. P. S.; COSTA, S. E. L.; CARVALHO, A. J. E.; PAREYN, F. G. C.; VIDAURRE, G. B.; DIAS JUNIOR, A. F.; ALMEIDA, M. N. F. Produção de energia da madeira de espécies da Caatinga aliada ao manejo florestal sustentável. **Scientia Forestalis**, 48(126), e3086, 2020. <https://doi.org/10.18671/scifor.v48n126.08>. Acesso em: 06/07/2022.

CARVALHO, S. R.; BORGES, V. L.; MULINA, B. H. O.; OLIVEIRA, R. L. M.; FIGUEIRA JÚNIOR, E. A.; PESSOA FILHO, J. S. Instrumentação térmica aplicada ao processo de produção de carvão vegetal em fornos de alvenaria. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.36, n.4. p.787-776, 2012. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rarv/a/g9WfqBQnJwvdbWKN75GxSkk/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 24/09/2022.

CORDERO, T. et al. Predicting heating values of lignocellulosics and carbonaceous materials from proximate analysis. **Fuel**, London, v. 80, n. 11, p. 1567-1571, 2001. Disponível em:

www.academia.edu/12875678/Predicting_heating_values_of_lignocellulosics_and_carbonaceous_materials_from_proximate_analysis. Acesso em: 07/09/2022.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de São José de Espinharas, Estado da Paraíba, 2005.

DAVE, P. N. & J. BHANDARI. 2013. *Prosopis julifera*: A review. **International Journal of Chemical Studies**. 1: 2321–4902.

DIAS JÚNIOR, A. F.; ANDRADE, C. R.; BRITO, J. O.; MILAN, M. Desdobramento da função da qualidade (QDF) na avaliação da qualidade do carvão vegetal utilizado para cocção de alimentos. **Floresta e Ambiente**, v.22, n.2, p.262-270, 2015.

Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S2179-](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S2179-80872015000200262&script=sci_abstract&tlng=pt)

[80872015000200262&script=sci_abstract&tlng=pt](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S2179-80872015000200262&script=sci_abstract&tlng=pt). Acesso: 04/08/2020.

DRUMOND, M. A.; RIBASKI, J. Leucena (*Leucaena leucocephala*): leguminosa de uso múltiplo para o semiárido brasileiro. **Comunicado Técnico**, Petrolina, n. 142, p. 1-8, 2010. Disponível em:

<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/880169/1/CT262.pdf>.

Acesso em: 24/08/2020.

DRUMOND, M. A.; RIBASKI, J.; SÁ, I. B.; NASCIMENTO, C. E. S.; OLIVEIRA, V. R. **Espécies arbóreas exóticas de uso múltiplo para o Semiárido brasileiro**.

Semiárido Brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação, cap. 7, p. 243- 274.

Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/862023>. Acesso em: 24/08/2020.

EVANGELISTA, W. V. **Caracterização da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake, oriunda de consórcio agrossilvipastoril**. 2007. 120 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

FARIAS SOBRINHO, D. W.; PAES, J. B.; FURTADO, D. A. Tratamento preservativo da madeira de algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw) D.C.), pelo método de substituição de seiva. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 3, p. 225 – 236, 2005. Disponível em:

http://www.dcf.ufra.br/cerne/artigos/11-02-20095739v11_n3_artigo%2003.pdf.

Acesso em: 24/08/2020.

FONSECA, C. M. B.; OLIVEIRA, E.; CALEGARI, L.; PIMENTA, A. S.; SOUZA, P. F.; JÚNIOR, D. S. C. Potencial energético do carvão vegetal do *Ziziphus joazeiro* (Martins) e da *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.30, n.3, p.613-619, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/5070>. Acesso: 21/11/2020.

FUNES – Fundação Ernani Sátiro. A cidade de Patos. 2017.

GOMES, J. J.; FILHO, R. D. T.; NASCIMENTO, J. W. B.; SILVA, V. R.; NÓBREGA, M. V. Características tecnológicas da *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. e alternativas para o uso racional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.5, p. 537-542, 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662007000500015. Acesso em: 24/08/2020.

GOMES, J.I. Aproveitamento de resíduos de madeira em três empresas madeireiras do estado do Pará. Belém: **EMBRAPA**; 2004. Comunicado técnico. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/395422/1/com.tec.102.pdf>. Acesso em: 17/08/2020.

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/publication/284128446_Determinacao_do_teor_de_lignina_em_material_lenhoso_Metodo_Klason_modificado. Acesso em: 30/07/2020.

GONÇALEZ, J.C.; SANTOS, G.L.; JUNIOR, F.G.S.; MARTINS, I.S.; COSTA, J.A. Relações entre dimensões de fibras e de densidade da madeira ao longo do tronco de *Eucalyptus urograndis*. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 101, p. 81-89, 2014. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr101/cap08.pdf>. Acesso em: 07/09/2022.

GOULART, M.; HASELEIN, C. R.; HOPPE, J. M.; FARIAS, J. A.; PAULESK, D. T. MASSA ESPECÍFICA BÁSICA E MASSA SECA DE MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* SOB O EFEITO DO ESPAÇAMENTO DE PLANTIO E DA POSIÇÃO AXIAL NO TRONCO. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 167-175, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/6z3ffbFYdXh6hBCw3qNrSYS/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 7 set. 2022.

IBGE – **Instituto brasileiro de Geografia e Estatística**. Cadastro de Municípios localizados na Região Semiárida do Brasil. 2021. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/semiario.shtm?c=4>. Acesso em: 20/08/2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ÁRVORES (IBÁ), **Relatório anual**, 2021. Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2021-compactado.pdf> Acesso em: 07/09/2022.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE - ICMBIO. **Ministério do meio ambiente**, 2020. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/portal/unidadesdeconservacao/biomas-brasileiros/caatinga>. Acesso em: 30/07/2020.

LIMA, M. D. R.; BARROS JUNIOR, U. O.; ASSIS, M. R.; MELO, I. C. N. A.; FIGUEIREDO, I. C. R.; PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F. Variabilidade das densidades básica e energética e estoque de carbono na madeira no fuste de clones de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, 48 (128), e3302, 2020. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr128/2318-1222-sci-for-48-128-e3302.pdf>. Acesso em: 22/08/2022.

LIMA, S. R. et al. Estudo dos constituintes macromoleculares, extrativos voláteis e compostos fenólicos da madeira de candeia – *Moquinia polymorpha* (Less.) DC. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 2, p. 145-155, abr./jun.. 2007. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1980-50982007000200145&script=sci_abstract&lng=pt. Acesso em: 06/10/2020.

LOUREIRO, B.A.; ASSIS, M.R.; MELO, I.C.N.A.; OLIVEIRA, A.F.F; TRUGILHO, P.F. Rendimento gravimétrico da carbonização e caracterização qualitativa do carvão vegetal em clones de híbridos de *Corymbia* spp para uso industrial. **Ciência Florestal**, v. 31, n. 1, p. 214-232, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509836120>. Acesso em: 25/08/2022.

MEDEIROS NETO, P. N.; OLIVEIRA, E.; CALEGARI, L.; ALMEIDA, A. M. C.; PIMENTA, A. S.; CARNEIRO, A. C. O. Características físico-químicas e energéticas de duas espécies de ocorrência no semiárido brasileiro. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 3, p. 579-588, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/6624>. Acesso em: 08/08/2022.

MEDEIROS NETO, P. N.; OLIVEIRA, E.; PAES, J. B. Relações entre as características da madeira e do carvão vegetal de duas espécies da caatinga. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n. 4, p. 484-493, Dec. 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2179-80872014000400008&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 30/07/2020.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Biomassa para energia no Nordeste: atualidade e perspectivas/ Ministério do Meio Ambiente** – Brasília, DF: 2018. Disponível em: https://www.mma.gov.br/phocadownload/gestao_territorial/desertificacao/Livro_APN_E_NE_AGO20.pdf. Acesso em: 06/11/2020.

MUZEL, S. D.; DE OLIVEIRA, K. A.; HANSTED, F. A. S.; PRATES, G. A.; GOVEIA, D. Poder calorífico da madeira de *Eucalyptus grandis* e da *Hevea brasiliensis*. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 166-172, 17 nov. 2014. Disponível:

<https://seer.tupa.unesp.br/index.php/BIOENG/article/view/191/0>. Acesso em: 30/07/2020.

NASCIMENTO, M. D. do; BIAGGIONI, M. A. M. Avaliação energética do uso de lenha e cavaco de madeira para produção de energia em agroindústria seropédica. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 3, p. 104 -117, 2010. Disponível em:

<http://revistas.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/70>. Acesso em: 17/08/2020.

OLIVEIRA, A. C. **Secagem de toras de eucalipto**. 71f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, 2015. Disponível em: <https://poscienciaflorestal.ufv.br/wp-content/uploads/2020/07/Aylson-Costa-Oliveira.pdf>. Acesso em: 08/08/2022.

OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A.C. O.; VITAL, B. R.; ALMEIDA, W.; PEREIRA, B. L. C.; CARDOSO, M.T. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, p. 431-439, 2010. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr87/cap10.pdf>. Acesso em: 17/08/2022.

OLIVEIRA, E. **Características anatômicas, químicas e térmicas da madeira de três espécies de maior ocorrência no Semiárido Nordestino**. 2003. 122f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003. Disponível em: <http://www.poscienciaflorestal.ufv.br/wp-content/uploads/2020/07/Elisabeth-de-Oliveira.pdf>. Acesso em: 26/08/2020.

OLIVEIRA, E.; VITAL, B. R.; PIMENTA, A. S.; DELLA LUCIA, R. M.; LADEIRA, A. M. M.; CARNEIRO, A. C. O. Estrutura anatômica da madeira e qualidade do carvão de *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, n.2, p. 311-318, 2006. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0100-67622006000200018&lng=en&nrm=iso&tIng=pt. Acesso: 26/08/2020.

OLIVEIRA, J. B.; P. A.; ALMEIDA, M. R. Propriedades do carvão vegetal. In: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (Ed.). **Carvão Vegetal: destilação, propriedades e controle de qualidade**. Belo Horizonte: CETEC, 1982. P 39-61. (Série de Publicações Técnicas, 6). Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.mg.gov.br/consulta/verDocumento.php?iCodigo=73246&codUsuario=0>. Acesso em: 26/08/2020.

PAES, J. B.; MORESCHI, J. C.; LELLES, J. G. Avaliação do tratamento preservativo de moirões de *Eucalyptus viminalis* LAB. e de bracinga (*Mimosa scabrella* Benth)

pelo método de substituição de seiva. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 1/2, p. 75-86, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/cflo/v15n1/1980-5098-cflo-15-01-00075.pdf>. Acesso em: 26/08/2020.

PAES, J. B.; SANTOS, G. C.; MELO, R. R.; LIMA, C. R.; SOBRINHO, W. N. Efeito da inversão no tratamento de moirões submetidos ao método de substituição da seiva. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 211-221, 2014. Disponível em: <http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/download/13338/8398>. Acesso em: 24/08/2020.

PEREIRA, B. L. C.; OLIVEIRA, A. C.; CARVALHO, A. M. M. L.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; SANTOS, L. C. Correlações entre a relação Cerne/Alburno da madeira de eucalipto, rendimento e propriedades do carvão vegetal. **Scientia Forestalis**, v.41, n.98, p. 217-225, 2013. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr98/cap07.pdf>. Acesso em: 11/07/2022.

PROTÁSIO, T. P. Avaliação tecnológica do carvão vegetal da madeira de clones jovens de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 108, p. 801-816, dez. 2015. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr108/cap06.pdf>. Acesso em: 08/08/2022.

SANTOS, C. P. S.; SANTOS, R. C.; CARVALHO, A. J. E.; CASTRO, R. V. O.; COSTA, S. E. L.; LOPES, L. I.; PAREYN, F. G. C.; DIAS JÚNIOR, A. F.; TRUGILHO, P. F.; CARVALHO, N. F. O.; MAGALHÃES, M. A. Estoque de energia da madeira em áreas sob manejo florestal no Rio Grande do Norte. **Scientia Forestalis**, v.48, n.126, 2020. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr126/2318-1222-scifor-48-126-e3080.pdf>. Acesso em: 22/07/2022.

SANTOS, D. R. S.; SETTE JÚNIOR, C. R.; SILVA, M. F.; YAMAJI, F. M.; ALMEIDA, R. A. Potencial de espécies de Bambu como fonte energética. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v 44, n. 111, p. 751-758, set. 2016. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr111/cap21.pdf>. Acesso em: 17/08/2022.

SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, A. F. M.; CASTRO, R. V. O.; BIANCHE, J. J.; SOUZA, M. M.; CARDOSO, M. T. Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v.39, n.90, p.221-230, 2011. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr90/cap10.pdf>. Acesso em: 30/07/2020

SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. C. O.; PIMENTA, A. S.; CASTRO, R. V. O.; MARINHO, I. V.; TRUGILHO, P. F.; ALVES, I. C. N.; CASTRO, A. F. N. M. Potencial energético da madeira de espécies oriundas de plano de manejo florestal no estado do Rio Grande do Norte. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 491-502, 2013. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-50982013000200491. Acesso em: 26/08/2020.

SANTOS, W. S. **Composição e diversidade florística do banco de sementes de um fragmento de Caatinga no município de Patos-PB, Brasil.** Trabalho de conclusão de curso (Engenharia florestal) – Universidade Federal de Campina Grande, Patos/PB, 2019. Disponível em:

file:///C:/Users/Lis%20Pergentino/Downloads/MONOGRAFIAWELLINGTON%20DE%20SOUSA%20SANTOS%20(1).pdf. Acesso em: 14/12/2020.

SILVA, D. A.; MULLER, B. V.; KUIASKI, E. C.; ELOY, E.; BEHLING, A.; COLAÇO, C. M. Propriedades da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de energia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S. l.], v. 35, n. 84, p. 481–485, 2015. DOI: 10.4336/2015.pfb.35.84.677. Disponível em:

<https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/677>. Acesso em: 20 ago. 2022.

SILVA, D. A.; TRUGILHO, P.F. Comportamento dimensional da madeira de cerne e alburno utilizando-se metodologia de análises de imagem submetida a diferentes temperaturas. **Revista Cerne**, Lavras, v. 9, n. 1, p. 56-65, 2003. Disponível em:

<http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/18180>. Acesso em: 22/08/2022.

SILVA, J. A. A. **Princípios básicos de dendrometria.** Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1979. Disponível em:

https://esalqlastrop.com.br/img/aulas/24_principios_dendrometria.pdf. Acesso em: 02/08/2022.

SILVA, L. F. **Avaliação da aptidão da madeira de seis clones de híbridos de *Eucalyptus* para o processamento mecânico.** 90 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, 2018a.

SILVA, L. F., PAES, J. B., JESUS JUNIOR, W. C., OLIVEIRA, J. T. S., FURTADO, E. L., & ALVES, F. R. (2014). Deterioração da madeira de *Eucalyptus* spp. por fungos xilófagos. **Cerne**, 20(3), 393-400, 2014. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/cerne/a/8xhGXhcBSdx9VTgSKwvsPRM/?format=pdf&lang=p>. Acesso em: 10/07/2022.

SILVA, L. L. H.; OLIVEIRA, E.; CALEGARI, L.; PIMENTA, M. A. C.; PIMENTA, A. S.; DANTAS, M. K. L. Características energéticas do carvão vegetal de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) e leucena (*Leucaena leucocephala* (Lam.) R. de Wit). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 1, p. 412-419, 2018b. Disponível em:

https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1980-50982018000100412&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso em: 26/08/2020.

SOARES, V. C.; BIANCHI, M. L.; TRUGILHO, P. F.; HÖFLER, J.; PEREIRA, A. J. Análise das propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto em três idades. **Cerne**, 21(2), 191-197, 2015. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/cerne/a/pNMF9vvhmVj6bGdC4XWdJN/abstract/?lang=pt#:~:t=ext=Foi%20observado%20um%20aumento%20nos,com%20a%20idade%20da%20%C3%A1rvore>. Acesso em: 22/07/2022.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI. Test methods T 264 om - 88: preparation of wood for chemical analysis**. Atlanta: Tappi Technology Park, 1996. v.1.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa: SIF;1984. (Boletim Técnico, 1). Disponível em: http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1984_Metodos_determinacao_densidad e.pdf. Acesso em: 30/07/2020.

WALTER, K. J.; ARMSTRONG , K. V. Benefits, threats and potential of Prosopis in South India. **Forests, Trees and Livelihoods**. 2014. 23: 232–247.