



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS E RENOVÁVEIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIAS RENOVÁVEIS**



INGRID LÉLIS RICARTE CAVALCANTI

**PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO ENERGÉTICA DE BRIQUETES A PARTIR DO
RESÍDUO DA PODA DE ESPÉCIES ARBÓREAS DE JOÃO PESSOA**

**JOÃO PESSOA – PB
2020**

PPGER / MESTRADO ACADÊMICO / N° XX

INGRID LÉLIS RICARTE CAVALCANTI

**PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO ENERGÉTICA DE BRIQUETES A PARTIR DO
RESÍDUO DA PODA DE ESPÉCIES ARBÓREAS DE JOÃO PESSOA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Paraíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas e Renováveis, área de concentração Meio Ambiente, Economia e Aproveitamento Energético, para a obtenção do título de Mestre.

Riuzuani Michelle Bezerra Pedrosa Lopes
Orientadora

**JOÃO PESSOA - PB
2020**

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

C376p Cavalcanti, Ingrid Lelis Ricarte.
PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO ENERGÉTICA DE BRIQUETES A PARTIR
DO RESÍDUO DA PODA DE ESPÉCIES ARBÓREAS DE JOÃO PESSOA
/ Ingrid Lelis Ricarte Cavalcanti. - João Pessoa, 2020.
62 f.

Orientação: Riuzuani Michelle Bezerra Pedrosa Lopes.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CEAR.

1. Resíduos orgânicos, poder calorífico. I. Lopes,
Riuzuani Michelle Bezerra Pedrosa. II. Título.

UFPB/BC

INGRID LÉLIS RICARTE CAVALCANTI

**PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO ENERGÉTICA DE BRIQUETES A PARTIR DO
RESÍDUO DA PODA DE ESPÉCIES ARBÓREAS DE JOÃO PESSOA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Paraíba, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis do Centro de Energias Alternativas e Renováveis, área de concentração em energias renováveis, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 02 de Março de 2020.



Prof. Dr. Silvia Layara Floriani Andersen
Examinador Interno



Prof. Dr. Sayonara Andrade Eliziário
Examinador Externo



Prof. Dr. Marta Célia Dantas Silva
Coorientadora



Prof. Dr. Riuzuani Michelle Bezerra Pedrosa Lopes
Orientadora

**JOÃO PESSOA – PB
2020**

DEDICATÓRIA

¹ Ora, a fé é o firme fundamento das coisas que se esperam e a prova das coisas que não se vêem.

Hebreus11.1

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a Deus, que por muitas vezes mostrou-se nos pequenos detalhes.

Agradeço aos meus pais, Amaro e Geralda, minha irmã Rayana, por todo amor, paciência e compreensão comigo durante toda a minha vida.

Ao meu namorado, Jorge, eu agradeço por todo o auxílio durante esta caminhada, foi de fundamental importância sua presença nela.

Agradeço aos meus colegas de turma, os quais compartilharam bons momentos em sala de aula, com troca de experiências, aprendizagens, ensinamentos e risadas. E as minhas boas amizades construídas durante a caminhada, na qual a convivência saiu das salas e foi para o dia-a-dia, em especial menciono o nome dos amigos Isaac, Grazi, Nyara, Arturo, Alex e Maria Luíza.

Agradeço a SEMAM por subsidiar a coleta do material de estudo.

Agradeço aos professores que compartilharam os seus saberes. Espero futuramente poder fazer o mesmo em minha vida profissional. Agradeço a minha Coorientadora Marta Célia por todas as contribuições durante o trabalho. Agradeço aos professores que estiveram em minha banca, por cada apontamento construtivo durante a pesquisa.

Por fim, agradeço a minha Orientadora prof^a Riuzuani, por me receber no “meio do caminho” e de braços abertos, e sempre me auxiliar durante a caminhada do mestrado, seja em conversas informais ou em orientações acerca do trabalho. Serei eternamente grata pela paciência e ensinamentos repassados.

RESUMO

A capacidade de resiliência dos recursos naturais e a qualidade dos ecossistemas foram comprometidas pelo crescimento populacional e pela demanda econômica. Além disso, o uso desenfreado dos combustíveis fósseis, somado a sua possível exaustão causou a abertura para a participação e estudos em fontes alternativas de energia e menos impactantes para o meio ambiente. E, no contexto de fontes alternativas, tem-se o reaproveitamento de resíduos sólidos orgânicos como matéria-prima energética. No ano de 2018, no município de João Pessoa – Paraíba foi produzida 14.142,54 toneladas de resíduos de podas da arborização urbana, que foram para o aterro sanitário sem nenhum tipo de aproveitamento ou tratamento. Configurando um desperdício de carga orgânica de biomassa que pode ser aplicada no emprego energético. Sendo assim, este trabalho objetivou-se em produzir e avaliar o potencial energético de briquetes confeccionados a partir dos resíduos da poda arborea do município de João Pessoa - PB, utilizando espécies de Ficus Bejamina, Castanhola, Algobora e da mistura de diversas outras – o composto. Para os resultados foram abordadas a composição imediata das biomassas, bem como dos briquetes proveniente delas. Encontrou-se valores de Poder Calorífico Superior de 18,589 MJ.Kg⁻¹, 15,322 MJ.Kg⁻¹, 15,798 MJ.Kg⁻¹, 15,457 MJ.Kg⁻¹, respectivamente, para os briquetes de algaroba, ficus, castanhola e composto, representando a quantidade de energia existente nelas, conferindo viabilidade de uso como combustível sólido. Os resultados analíticos da composição imediata da biomassa residual da poda propiciam informações essenciais para saber se há viabilidade do seu processamento energético; E a partir do confronto entre valores de PCS da pesquisa com a literatura, observou-se que os resíduos da poda da arborização podem ser utilizados como matéria-prima para produção de briquetes, apresentando possibilidades de emprego energético. Logo, conclui-se que entender o potencial das espécies exóticas é de grande valia para perceber a viabilidade de seu uso energético. Ainda mais, quando tais espécies caracterizam-se como resíduos que, no caso do município de João Pessoa, são dispostos de forma inadequada, pois ainda são passíveis de reaproveitamento. E de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, todos os resíduos que são passíveis de reaproveitamento devem ser destinados para um tratamento adequado, sendo o tratamento energético uma possibilidade.

Palavras-Chave: Resíduos orgânicos, poder calorífico, energias renováveis.

ABSTRACT

The resilience of natural resources and the quality of ecosystems have been compromised by population growth and economic demand. In addition, the rampant use of fossil fuels, added to their possible exhaustion, caused the openness to participation and studies in alternative energy sources and less impact on the environment. And, in the context of alternative sources, there is the reuse of organic solid waste as an energy raw material. In 2018, in the municipality of João Pessoa - Paraíba, 14,142.54 tons of pruning of urban afforestation were produced, which went to the landfill without any type of use or treatment. Configuring a waste of organic biomass load that can be applied in energy use. Thus, this work aimed to produce and evaluate the energy potential of briquettes made from the residues of arborea pruning in the municipality of João Pessoa - PB, using species of *Ficus Bejamina*, *Castanhola*, *Algoroba* and the mixture of several others - the compound. For the results, the immediate composition of the biomasses, as well as the briquettes from them, were approached. Higher Calorific Value values of 18,589 MJ were found. Kg-1, 15,322 MJ. Kg-1, 15,798 MJ. Kg-1, 15,457 MJ. Kg-1, respectively, for the briquettes of algaroba, ficus, castanhola and compound, representing the amount of energy existing in them, conferring viability of use as solid fuel. The analytical results of the immediate composition of the residual biomass of pruning provide essential information to know if there is viability of its energy processing; And from the comparison between PCS values of the research with the literature, it was observed that the residues of afforestation pruning can be used as raw material for the production of briquettes, presenting possibilities of energy use. Therefore, it is concluded that understanding the potential of exotic species is of great value to realize the viability of their energy use. Furthermore, when such species are characterized as residues that, in the case of the municipality of João Pessoa, are inadequately disposed, because they are still passive for reuse. And according to the National Solid Waste Policy, all waste that is suitable for reuse should be destined for proper treatment, and energy treatment is a possibility.

Keywords: Organic wastes, calorific value, renewable energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Consumo final de energia por fonte	16
Figura 2: Ficus Benjamina e suas folhas.	23
Figura 3: Castanhola e suas folhas..	23
Figura 4: Algaroba e suas folhas.	24
Figura 5: Processos de Conversão da Biomassa.....	25
Figura 6: Molde confeccionado.....	36
Figura 7: Prensa Hidráulica.	37
Figura 8: Briquete desmoldado.....	37
Figura 9: Ensaio de resistência à compressão.	38
Figura 10: Comportamento durante a compressão	42

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Matriz Elétrica Brasileira: 2018.	20
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Ensaio de resistência à compressão para briquetes.....	43
Tabela 2: Caracterização do teor de umidade das biomassas in natura e dos briquetes proveniente delas.....	44
Tabela 3: Teor de cinzas presente na composição das biomassas in natura e dos briquetes.....	45
Tabela 4: Valores de Cinzas.....	46
Tabela 5: Materiais voláteis presente nas biomassas in natura e dos briquetes.....	47
Tabela 6: Valores de Materiais Voláteis.....	47
Tabela 7: Caracterização da composição imediata das biomassas in natura e dos briquetes proveniente delas.....	48
Tabela 8: Valores de Carbono Fixo.....	49
Tabela 9: Concentração de elementos presentes nas biomassas in natura.....	50
Tabela 10: Poder Calorífico Superior das biomassas in natura e dos briquetes.....	52
Tabela 11: Poder Calorífico Superior (MJ.Kg-1).....	53

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM - American Society for Testing and Materials

CZ – Cinzas

CF - Carbono fixo

DTG – Derivada da Termogravimetria

GEE – Gases de Efeito Estufa

EMLUR – Autarquia Especial Municipal de limpeza urbana de João Pessoa

EPE – Empresa de Pesquisa Energética

MV - Materiais voláteis

PCS – Poder Calorífico Superior

PNRS – Política Nacional dos Resíduos Sólidos

RS – Resíduos Sólidos

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SEMAM – Secretaria de Meio Ambiente

SEPLAN - Secretaria de Planejamento

U - Teor de umidade

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS	15
3.1 Objetivo Geral	15
3.2 Objetivos Específicos	15
4. REFERÊNCIAL TEÓRICO	15
4.1 Panorama energético no Brasil	15
4.2 Potencial energético da biomassa no Brasil	17
4.3 Biomassa.....	24
4.4 Rotas de conversão da biomassa energética.....	26
4.4.1 Conversão da biomassa através da combustão.....	27
4.5 Biocombustíveis sólidos - Briquetes	28
4.6 Caracterização da biomassa.....	30
4.6.1 Análise imediata.....	30
4.6.2 Poder calorífico.....	32
4.6.3 Fluorescência de raios X - FRX.....	32
4.7 Resíduos sólidos no município de João Pessoa	19
4.8 Resíduo da poda da arborização do município de João Pessoa/PB	20
4.8.1 Biomassa do Ficus-Bejamina.....	22
4.8.2 Biomassa da Castanhola	23
4.8.3 Biomassa da Algaroba	24
5. METODOLOGIA	33
5.1 Coleta e preparo da biomassa residual	Erro! Indicador não definido.
5.2 Caracterização química das biomassas <i>in natura</i> e dos briquetes	34
5.2.1 Análise imediata.....	37
5.2.2 Análise de Espectrômetros de Fluorescência de Raios X (FRX).....	40
5.3 Produção dos briquetes.....	Erro! Indicador não definido.
5.3.1 Ensaio de resistência à compressão nos briquetes	Erro! Indicador não definido.
5.4 Caracterização energética.....	Erro! Indicador não definido.
5.4.1 Poder calorífico.....	40

5.4.2 Análises Termogravimétricas	Erro! Indicador não definido.
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
6.1 Caracterização química das biomassas <i>in natura</i> e dos briquetes	43
6.1.1 Análise imediata.....	43
6.1.2 Análise de Espectrômetros de Fluorescência de Raios X (FRX).....	49
6.2 Produção dos briquetes.....	41
6.2.1 Ensaio de resistência à compressão nos briquetes	41
6.3 Caracterização energética.....	51
6.3.1 Poder calorífico.....	51
7. CONCLUSÃO	536
8. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	54

1. INTRODUÇÃO

A capacidade de resiliência dos recursos naturais e a qualidade dos ecossistemas foram comprometidas pelo crescimento populacional e pela demanda econômica. A fim de promover a sustentabilidade socioeconômica e energética têm-se como importante a proteção destes recursos, a recuperação dos ecossistemas degradados, redução e tratamento de descargas ambientais, bem como o desenvolvimento e aprimoramento de fontes energéticas a fim de reduzir as emissões de gases poluentes e os impactos no solo e água e a exaustão dos insumos energéticos.

Dentro do panorama energético, as fontes renováveis estão inseridas em um viés promissor, principalmente, em potencial. O uso desenfreado dos combustíveis fósseis, somado a sua possível exaustão causou a abertura para a participação e estudos em fontes alternativas e menos impactantes para o meio ambiente, ao associar estes à redução da poluição ambiental.

Os maiores contribuintes para as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) são provenientes dos usos dos combustíveis fósseis nos diversos setores econômicos, como fornecimento de energia, industrial e de transporte. Porém, outros cenários somam-se nas descargas ambientais em relação às emissões, como por exemplo: o gerenciamento inadequado dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) (FEAM; GOUVEIA, 2012). Nesse contexto, é imprescindível refletir sobre as condições que comprometem a qualidade do meio ambiente, principalmente as que estão associadas à produção energética e a gestão de resíduos sólidos.

De acordo com a Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE (2019) cada brasileiro produziu 1,039 kg/dia e do total de “lixo” coletado no Brasil, apenas 43,3 milhões de toneladas obteve algum tipo de destinação, seja em lixões ou aterros controlados. Na Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei de nº 12.305 de agosto de 2010, considerou-se que uma das formas de destinação final ambientalmente adequada para os resíduos era o aproveitamento energético, no qual busca evitar danos ou riscos à saúde pública e a segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos (BRASIL, 2010).

No município de João Pessoa - Paraíba, em 2018, foi gerada 445.641,13 toneladas de RSU, e a composição gravimétrica destes deram-se, principalmente, a partir de resíduos comerciais e domiciliares (258.932,52 toneladas), de entulhos

(167.616,40 toneladas), resíduos de podas (14.142,54 toneladas), e outros (EMLUR, 2019).

Os RSU provenientes da poda são resultantes da manutenção arbórea de um determinado local. O potencial arbóreo de um município representa o equilíbrio entre os elementos bióticos e abióticos, bem como o melhoramento das condições climáticas da região, e a redução da poluição do ar, sonora e visual, além de funcionar como barramento natural para o escoamento hídrico superficial (FEAM, 2012).

O município de João Pessoa possui em sua área verde a vegetação de Restinga e a Floresta Estacional e em seu potencial arbóreo existem espécies nativas e exóticas que compõem a arborização de áreas públicas, parques, praças e vias de uso da população. Porém, com a manutenção destas zonas de arborização ocorre a geração de resíduos orgânicos, acumulando cerca de tem-se 104.587,77 toneladas de resíduos oriundos da poda, ao considerar a série histórica de 2014 a 2018 (EMLUR, 2019). Atualmente, a manutenção da arborização é realizada tanto pela Secretaria de Meio Ambiente (SEMAM), a partir do serviço “Poda Programada” e pela Empresa de Limpeza Urbana (EMLUR) por meio de solicitação da população. Os valores acerca da quantidade de resíduo contabilizada por ano referem-se ao que foi coletado pelo serviço prestado pela EMLUR.

O material proveniente da coleta realizada pelo serviço da “Poda Programada” é depositado no Viveiro Municipal e o coletado pela EMLUR é disposto no aterro sanitário municipal, podendo este ser reaproveitado como fonte de energia a partir do beneficiamento energético da poda.

Sendo assim, estudar materiais residuais e beneficiá-los, tornando-os matéria-prima energética traz diversas vantagens, como a melhoria da qualidade ambiental, redução das pressões sob a vegetação e as práticas extrativistas com o intuito energético, além contribuir para redução da poluição ambiental do solo, ar e água pela disposição inadequada e decomposição dos resíduos sólidos (SILVA et al., 2016).

O resíduo da arborização - biomassa residual - do município de João Pessoa pode representar um depósito energético com fins de melhor aproveitamento para produção de energia. Cabendo, neste contexto, produzir de briquetes através da compactação do resíduo da poda e estudar o potencial da biomassa residual existente na matéria.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Produzir e avaliar o potencial energético de briquetes confeccionados a partir dos resíduos da poda arborea do município de João Pessoa - PB, utilizando espécies de Ficus Bejamina, Castanhola, Algobora e da mistura de diversas outras – o composto.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Produzir briquetes a partir das biomassas residuais;
- Realizar a caracterização físico-química das biomassas, bem como dos briquetes produzidos por elas;
- Caracterizar os briquetes quanto a sua Resistência à Compressão;
- Determinar o Poder Calorífico Superior de cada biomassa, bem como dos briquetes proveniente delas;

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 PANORAMA ENERGÉTICO NO BRASIL

A crise ambiental vivenciada pelo comprometimento de seus recursos e exaustão destes induz que as atividades antrópicas considerem alternativas no uso e melhor aproveitamento da matéria-prima sem comprometê-la para as futuras gerações. Nos anos 70, com a crise no petróleo, este posicionamento foi fortalecido no setor energético. A participação das energias renováveis foi considerada uma solução segura a ser inserida dentro do setor (TOLMASQUIM, 2016).

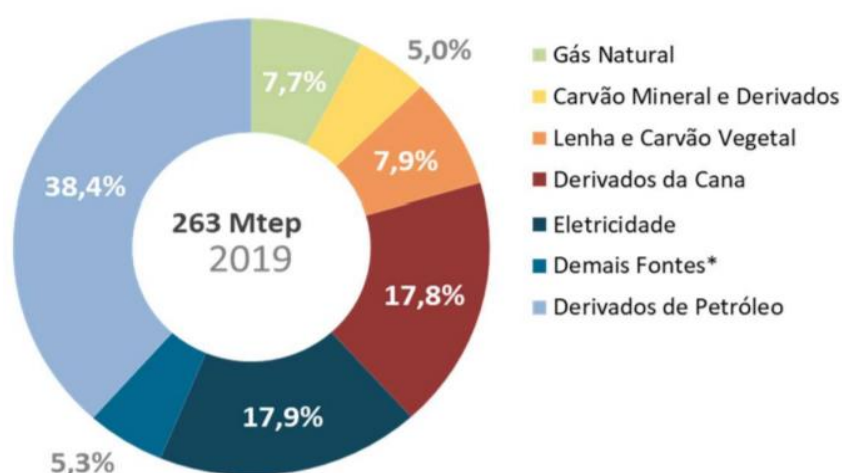
As energias renováveis ganham fortalecimento pela sua capacidade inesgotável, devido ao reabastecimento natural de seus recursos. As matérias primas destas energias podem ser oriundas do sol, dos ventos, marés e outras, e combinado com ações que visam à redução de impactos ambientais e sociais, estas fontes podem ser usufruídas de forma ilimitada e sustentável (EPE, 2018).

De acordo com Tolmasquim (2012) o setor energético do Brasil obteve uma recuperação no que diz respeito à capacidade de planejamento e execução. E esse engajamento deve-se pelo fato do Brasil ser vasto em matérias-primas e capacidade explorável de forma sustentável e em larga escala, advindas dos investimentos nas tecnologias renováveis.

Além disso, faz-se possível perceber o impulso que tais fontes estão trazendo nos diversos setores da sociedade, pois de acordo com o Plano Decenal de Expansão de Energia 2029 publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) ocorrerá uma mudança na participação dos setores econômicos no consumo de energia, com o fortalecimento do setor comercial, tornando-se um vetor de crescimento econômico durante o período de 2019 a 2029. E nesse mesmo período, tem-se uma tendência de crescimento para o uso dos derivados da cana, e no setor de transporte as projeções indicam um crescimento no mercado de etanol e biodiesel, reduzindo aos poucos a dependência de fontes combustíveis oriundas do petróleo (EPE, 2019).

De acordo com EPE (2019) as energias renováveis tornaram-se um investimento rentável no Brasil, tendo a hidráulica, solar, eólica, etanol, biomassa, entre outras com tendências de crescimento. Na figura 1, logo abaixo, tem-se o consumo final de energia por fonte em 2019, no qual esses 263 milhões de toneladas de petróleo são destinados para todos os setores da sociedade, desde o industrial até o residencial.

Figura 1: Consumo final de energia por fonte



Notas: *Inclui biodiesel, lixívia, outras renováveis e outras não renováveis.

Fonte: EPE, 2019.

Em relação ao fornecimento de energia elétrica, o Plano Decenal de Expansão de Energia 2019 apresentou os valores associados à Evolução da Capacidade Instalada por fonte de Geração em MegaWatt (Tabela 1) mostrando a participação das diversas fontes de geração de energia elétrica.

Tabela 1 – Evolução da Capacidade Instalada por Fonte de Geração (MW)

Fonte	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
HIDRO ^(a)	83.169	85.483	86.295	88.499	89.681	94.656	104.476	104.151	108.598	116.699
URÂNIO	2.007	2.007	2.007	2.007	2.007	3.412	3.412	3.412	3.412	3.412
GÁS NATURAL	8.860	9.356	9.8356	11.327	11.533	11.533	11.533	11.533	11.533	11.533
CARVÃO	1.765	2.485	3.205	3.205	3.205	3.205	3.205	3.205	3.205	3.205
ÓLEO COMBUSTÍVEL	3.380	4.820	5.246	8.864	8.864	8.864	8.864	8.864	8.864	8.864
ÓLEO DIESEL	1.728	1.903	1.703	1.356	1.149	1.149	1.149	1.149	1.149	1.149
GÁS DE PROCESSO	687	687	687	687	687	687	687	687	687	687
PCH	4.043	4.116	4.116	4.116	5.066	5.566	5.816	6.066	6.416	6.966
BIOMASSA	5.380	6.083	6.321	6.671	7.071	7.421	7.621	7.771	8.121	8.521
EÓLICA	1.436	1.436	3.241	3.641	4.041	4.441	4.841	5.241	5.641	6.041
Total ^(b)	112.455	118.375	122.676	130.774	133.305	140.935	147.605	152.080	157.628	167.078

Fonte: EPE, 2019.

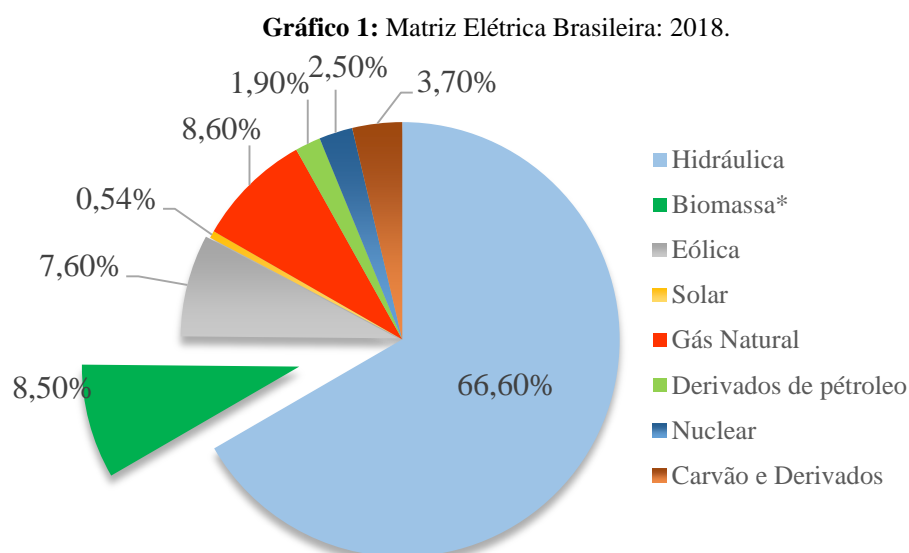
E ao que concerne ao uso da biomassa energética, esta aparece entre as quatro principais fontes de capacidade instalada, ficando atrás de Hidroelétrica, Gás Natural e Óleo Combustível. A respeito da produção de energia elétrica a partir de biomassa, associamos a combustão como processo de conversão desta em energia mecânica, e logo depois em energia elétrica.

3.2 POTENCIAL ENERGÉTICO DA BIOMASSA NO BRASIL

O Brasil é uma nação rica em diversos aspectos energéticos, seja pela sua disponibilidade em recursos naturais, renováveis e não-renováveis. Dentre os renováveis, a biomassa possui destaque em sua potencialidade energética voltada para o setor elétrico, ficando atrás apenas dos recursos hídricos (EPE, 2018). O marco para o uso de biocombustíveis no Brasil foi tido a partir das políticas propostas no Programa Nacional de Álcool (Proálcool), criado em 14 de novembro de 1975 pelo decreto n° 76.593. Tal programa introduziu o uso de biocombustíveis como fonte alternativa após

o choque sofrido, na década de setenta, pelo petróleo e seus derivados (TOLMASQUIM, 2016).

Na publicação do Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional de 2019, ano base 2018, a biomassa surgiu representando 8,5% da Matriz Elétrica Brasileira (Gráfico 1), ficando atrás apenas da geração por hidrelétrica, no que diz respeito ao uso de energias alternativas (EPE, 2019). Este recurso pode ser classificado em: “Biomassa florestal, seu produtos e subprodutos ou resíduos; biomassa energética agrícola, as culturas agro-energéticas e os resíduos e subprodutos das atividades agrícolas, agroindustriais e da produção animal; e rejeitos urbanos” (EPE, 2018).



Fonte: EPE, 2019.

Do ano de 2017 para 2018 houve um crescimento de 0,3% no uso da Biomassa como matéria-prima para produção de energia (EPE, 2019). De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, na energia elétrica, o bagaço da cana-de-açúcar se destacou dentre as demais biomassas, devido à quantidade e economicidade. Porém, outras podem ser mencionadas como os resíduos florestais (ANEEL, 2016).

O Brasil está inserido em um cenário que viabiliza tanto a produção, quanto a sustentabilidade no uso da biomassa como matéria-prima para o fornecimento de energia elétrica (combustão direta, gaseificação, queima de gases, e outras), para produção de biocombustíveis sólidos, com finalidade para térmica (carvão e resíduos agroflorestais) e a produção de biocombustíveis líquidos, como álcool e biodiesel, usados na combustão de motores (EMBRAPA, 2016).

A variabilidade de recursos, as amplas áreas agricultáveis, a disponibilidade hídrica, somadas às condições climáticas são pontos pertinentes para o crescimento do bio-mercado no Brasil. Além da significativa participação da biomassa no segmento da energia elétrica, a EMBRAPA quantificou outros segmentos, os industriais: o de alimentos e bebidas (26,4%), ferro-gusa e aço (18,4%), papel e celulose (12%), química (7,9%) e cerâmica (6%) (EMBRAPA, 2016).

O desenvolvimento de produtos energéticos a partir da biomassa é uma realidade no Brasil: o uso da cana-de-açúcar na produção de Etanol de primeira e segunda geração, o uso de oleaginosas para produção de biodiesel, a exploração do potencial biotecnológico das microalgas e até o uso do potencial presente nos resíduos, buscando convertê-los em bioenergia e biocombustível (OTHEMAN et al., 2017).

Os resíduos provenientes de atividades agrícolas, da pecuária, os florestais, da indústria e os resíduos sólidos urbanos deixaram o viés de passivo ambiental para o de energia limpa, sustentável e renovável.

Em relação ao uso residencial da biomassa, tem-se a lenha como destaque em uso. Após a crise econômica ocorrida em meados de 2015 e com as alterações dos preços do GLP, houve um aumento de 27% entre 2016 e 2018 na utilização da biomassa, cobrindo os usos de 14 milhões de famílias (EPE, 2019).

3.3 RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA

De acordo com dados da Abrelpe (2019) foram produzidos 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil no ano de 2018, e 72,7 milhões desse total foi passível de coleta e 6,3 milhões de toneladas não passaram pelo processo de coleta realizado no local de geração. Do montante coletado, houve a destinação em aterros sanitários de 59,5% de RSU, o equivalente a 43,3 milhões de toneladas e o restante, 29,5 milhões de toneladas, tiveram destinações inadequadas em lixões ou aterros controlados, distribuídos em 3.001 municípios brasileiros. Vale salientar que os lixões e aterros controlados não são consagrados por sistemas de tratamento e segurança a saúde, comprometendo o meio ambiente, bem como a população que o abrange (ABRELPE, 2019).

Durante o ano de 2018, houve a geração per capita de 1,039 kg/hab.dia de RSU, 0,39% a mais do que em 2017 (ABRELPE, 2019). A partir destes valores, faz-se

possível afirmar que houve o aumento na geração de RSU no Brasil. O aumento na produção de RSU pode ser relacionado ao aumento populacional e consequente demanda por serviços de atendimento de bens de consumo e de alimentos, produzindo, assim uma maior carga de resíduos (EMLUR, 2019).

No Nordeste, 844 municípios utilizaram lixões para destinar seus resíduos, 496 municípios em aterros controlados e 454 em aterros sanitários (ABRELPE, 2019). Dentre esses 454 municípios que possuem como destinação ambientalmente adequada o aterro sanitário, está o município de João Pessoa, que teve o início de operação do aterro sanitário em 2003, finalizando as atividades do Lixão do Roger, que ainda passa por um processo de recuperação ambiental (EMLUR, 2014).

O aterro sanitário municipal recebeu no ano de 2018 cerca de 445.450,93 toneladas de resíduos de acordo com dados da Emlur (2019) atualizados na revisão do Plano Municipal. O Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Município de João Pessoa foi elaborado no ano de 2014 e revisado no ano de 2019 por uma comissão de diversos órgãos associados à gestão do meio ambiente e gestão urbana do município. De acordo os dados fornecidos pela Emlur (2019) presentes nas revisões do plano, a geração per capita de RSU no município de João Pessoa equivale a 0,89kg/hab.dia.

3.4 RESÍDUO DA PODA DA ARBORIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE JOÃO PESSOA - PB

A construção de uma paisagem arbórea em um município contribui para diversos aspectos positivos intrínsecos a qualidade ambiental da localidade. Melhorias nos padrões de qualidade do ar, estabilização climática, com a redução de ilhas de calor, abrigo para fauna silvestre, bem como a valorização de imóveis. Porém, o grande volume de resíduos deste cenário urbano, quando manejados inadequadamente causam problemas. A prática de podagem da arborização urbana geram galhos, ramos, folhas, sementes, frutos, furtes e raízes (MEIRA, 2010).

O município de João Pessoa, no estado da Paraíba, está inserido na mesorregião Zona da Mata Paraibana, e suas zonas verdes estão associadas a matas densas e fechadas, áreas de manguesais, restingas, matas ciliares e pela população arbórea e urbana (SEMAM, 2012). O município não contempla um inventário arboreo, porém

abordam aspectos legais acerca do assunto, como na publicação da Lei Nº 7845, de 04 de agosto de 1995, que autorizou a criação do Projeto Arborizar, favorecendo o plantio de árvores nas calçadas residenciais, sendo responsabilidade dos moradores os cuidados sob as estas.

Com o melhoramento da qualidade ambiental do município de João Pessoa houve a elaboração do Plano de Arborização, trazendo neste a importância que a arborização tem para o espaço urbano, melhorando as condições ambientais do local, reduzindo a poluição e favorecendo um melhor conforto térmico (SEMAM, 2012).

Além do Plano de Arborização, em 2018 foi criada a Lei Ordinária Nº 13.631, de 12 de julho de 2018 dispendo sobre a campanha permanente de incentivo à arborização de ruas, avenidas, praças e jardins da capital João Pessoa, fomentando a presença da arborização do município em áreas configuradas como Zoneamento Urbano.

A manutenção e monitoramento da arborização urbana são fundamentais para a qualidade e paisagem do meio e para evitar a geração de resíduos sólidos proveniente do crescimento e da troca de folhas das espécies. De acordo com o Plano Municipal de Resíduos Sólidos de João Pessoa foram acumulados aproximadamente 127 mil toneladas de resíduos orgânicos originados da poda da arborização, contabilizando os anos de 2008 a 2012. Esta quantidade, segundo a Autarquia Especial Municipal de limpeza urbana de João Pessoa - EMLUR, foi depositada no aterro sanitário do município (EMLUR, 2014).

Alguns dados foram atualizados a partir da revisão realizada no ano de 2019 do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de João Pessoa, nestas atualizações foi possível perceber que houve uma redução dos resíduos da poda produzidos no município, sendo este valor de 104.587,77 toneladas considerando os anos de 2014 a 2018, tendo este último ano o de menor contribuição, com 14.142,54 toneladas (EMLUR, 2019). Martins (2013) pontua sobre a elevação dos custos associados à limpeza pública dentro dos municípios, em relação ao transporte de resíduos da poda para o aterro sanitário, e sobre a ocupação de áreas de disposição final, aumentando o risco de incêndios nestes, além de no seu processo de decomposição orgânica aumentar a carga de poluição do ar e dos lençóis freáticos, pois mesmo estando em um aterro sanitário, o impacto ambiental ocorre, porém em menor escala quando comparado à disposição inadequada.

O acúmulo de resíduos orgânicos em lixões, aterros controlados e em aterros sanitários em longo prazo tornam-se prejudiciais, pois em seu processo de decomposição e em contato com outros resíduos, produzem gases que contribuem para a poluição do ar, e na produção de chorume afetam a qualidade da água e solo. A partir do conhecimento das características físico-químicas e mecânicas da biomassa residual torna-se possível o aproveitamento do potencial energético da poda da arborização urbana (MARTINS, 2013).

O resíduo da biomassa da poda pode ser transformado em matéria-prima de combustíveis sólidos usados em usinas termoelétricas para obtenção de energia elétrica ou em fornos e caldeiras industriais e domésticas, para obtenção de energia em forma de calor (QUIRINO, 2005; MARTINS, 2013).

Dentre o resíduo da arborização de João Pessoa, as seguintes espécies exóticas podem ser encontradas: Ficus-bejamina, Castanhola, Cássia-Brasil, Eucalipto, Algaroba e outras. O ponto inicial para a escolha da biomassa foi à identificação das espécies exóticas invasoras, que proporcionam condições de alelopatia e frequentes na arborização viária do município de João Pessoa, como a Ficus Bejamina, Castanhola e Algaroba.

3.4.1 Biomassa do Ficus-Bejamina

Biomassa oriunda do gênero *Ficus*, a *Ficus benjamina* L. pertence à família *Moraceae*, tribo: *Ficeae*, subgênero: *Conosycea*. Tal árvore é nativa das regiões da Índia, China, Sudeste da Ásia, Malásia e Filipinas, Austrália e as Ilhas do Pacífico Sul. Foi introduzida na vegetação brasileira na década de 70, sendo considerada uma espécie exótica invasora. Caracterizam uma das 65.000 espécies do grupo das angiospermas. Souza e Lorenzi (2005) destacam o seu uso para arborização urbana e ornamentação de interiores, devido às características de sua copa, com caules acinzentados e folhas perenifólas, com formas e colocação que vislumbram atenção. Por ter uma madeira robusta, pode ser utilizada em relação ao seu potencial tecnológico (Figura 2).

Figura 2: Ficus benjamina e suas folhas



Fonte: Imagem retirada da internet, 2020.

3.4.2 Biomassa da Castanhola

A árvore Castanhola (Figura 3), de grande porte, possui o nome científico *Terminalia catappa* Linn., pertence à família Combretaceae, natural das Áreas litorâneas do leste da Índia, Indochina, Malásia, Austrália, Filipinas e Taiwan. Presente na região Nordeste do Brasil, como uma espécie exótica invasora, compete com a vegetação nativa podendo suprimi-la, caso haja um manejo inadequado das espécies. De acordo com Stace (2004) as espécies da família Combretaceae adaptam-se bem em regiões de mangues, florestas úmidas e de regiões semi-áridas, Drummond (1994) traz o cultivo desta planta nos estados do Pernambuco e Ceará, e esta ainda apareceu em listas de espécies exóticas no estado da Paraíba nos levantamentos de Albuquerque e Duré (2013).

Figura 3: Castanhola e suas folhas



Fonte: Retirado da internet (2020).

3.4.3 Biomassa da Algaroba

Presente nos estados do Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe, a Algaroba, de nome científico *Prosopis juliflora* (Figura 4), família das leguminosas - Fabaceae e subfamília Mimosoideae, pertencente ao gênero *Prosopis*, foi inserida dentro da flora brasileira na década de quarenta, em Pernambuco. A algaroba adaptou-se as condições do semiárido brasileiro e apresentou potencialidades econômicas dentro do sistema na qual estava inserida e Nobre (1984) menciona a respeito do uso da madeira da mesma em mourões, estacas, lenha e ainda para sombreamento e arborização.

Figura 4: Algarobeira e suas folhas



Fonte: Retirado da internet (2020).

3.5 BIOMASSA

A biomassa é qualquer material orgânico - de origem animal ou vegetal - que passado por alguma transformação de suas características podem prover energia térmica, elétrica ou mecânica. O seu uso tornou-se intrínseco a evolução do homem, fornecendo luz e calor. As biomassas para fins energéticos podem ser: culturas e descartes associados à lavoura, matéria florestal, esterco animal, resíduo orgânico urbano, resíduo doméstico, esgotos urbanos, material lignocelulósico, descartes industriais, embalagens, materiais de construção, descarte de matadouros e outros (GOLDEMBERG, 1998).

A biomassa de origem vegetal possui sua composição química agrupada entre: açúcares simples, água, lipídeos, proteínas, compostos inorgânicos e outros metabólitos secundários e em cadeias maiores, tem-se a celulose, hemicelulose e, por fim, a lignina. A celulose constrói as fibras vegetais que estruturam a biomassa. A lignina caracteriza-se como um polímero tridimensional, agregando a plasticidade e aglomeração às partículas (RENDEIRO *et al.*, 2008).

Nos primórdios, a biomassa vegetal era utilizada para aquecimento humano e cocção de alimentos. Durante a evolução do homem, tal matéria-prima passou a ter outros fins, como para usos na construção civil e transporte, difundindo ainda mais o seu uso em diversos setores econômicos. O consumo predatório e indiscriminado da biomassa ocorreu principalmente para alimentar os setores que a usam como matéria-prima energética e no agronegócio, causando o desmatamento e degradação da qualidade do solo (GOLDEMBERG, 1998).

A biomassa residual pode ser proveniente de três cadeias: a de origem agrícola, a de pecuária e a urbana. Perante o emprego da PNRS, art. 13, os resíduos agrícolas e de pecuária são classificados como resíduos agrossilvopastoris e os de atividades urbanas são classificados como resíduos sólidos urbanos, englobando os de limpeza urbana e os domiciliares (BRASIL, 2010).

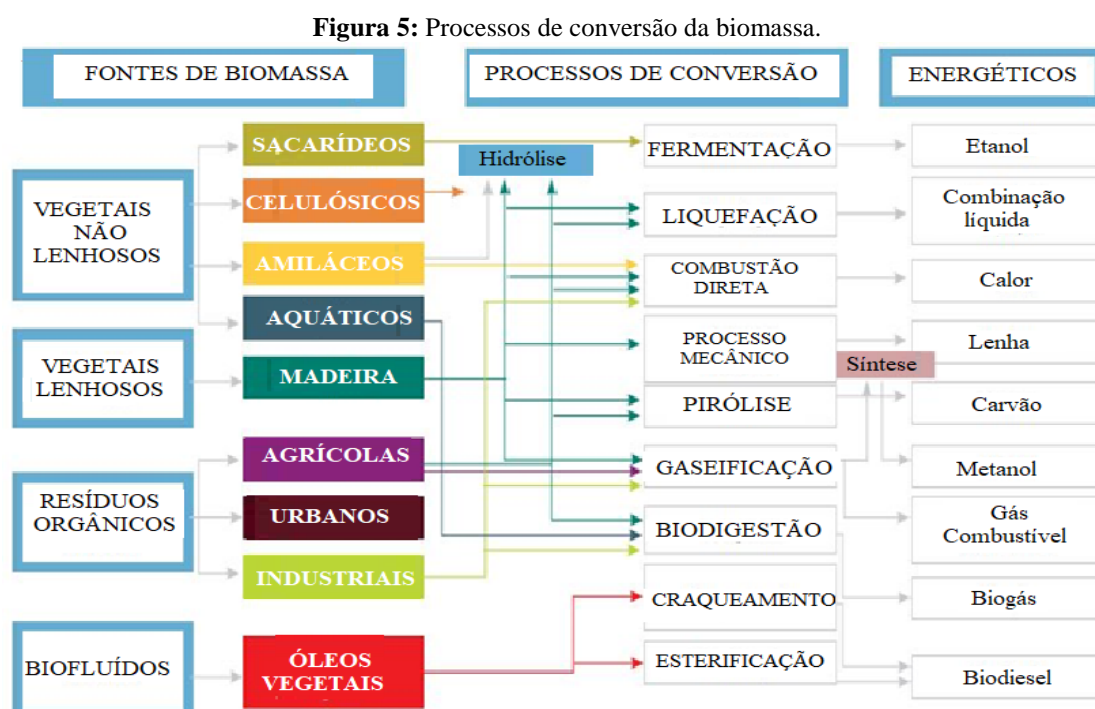
O Brasil, em 2015, teve sua produção per capita de resíduo orgânico chegando a 0,22 toneladas. E, ao considerar um período entre 2015 a 2050, a fração orgânica representou mais de 40% da composição dos RSU (TOLMASQUIM, 2016).

O emprego do resíduo sólido como matéria-prima energética enquadra-se em uma prática de destinação final ambientalmente adequada proposta no art. 3 da PNRS. Além da redução do consumo de combustíveis fósseis, e dos impactos adversos propagados pela queima destes. Resíduos da biomassa quando manejados de forma inadequada ou queimados diretamente promovem consequências adversas ao meio ambiente, além de caracterizar a perda de material energético. Os usos destes resíduos acrescentam variabilidade e valorização de novos insumos inseridos na matriz energética, assim como abre viés para geração de renda e valorização da própria matéria utilizada (QUIRINO, 2005).

3.6 ROTAS DE CONVERSÃO DA BIOMASSA ENERGÉTICA

O reaproveitamento da energia da biomassa pode ser proveniente da combustão, da cogeração, de processos termoquímicos específicos, como gaseificação, hidrólise, pirólise, craqueamento, liquefação e transesterificação, e/ ou processos biológicos, como a digestão anaeróbia e fermentação (EMBRAPA, 2016).

As rotas de conversão (Figura 5) empregada à biomassa podem depender das características de origem, da finalidade para qual ela deverá ser usada e, principalmente, suas propriedades físicas, químicas e energéticas (LORA; VENTURINI, 2012).



Fonte: Retirado do Plano Energético do Rio Grande do Sul – 2016/2025 (2016).

As rotas de conversão da biomassa podem ocorrer por processos termoquímicos, bioquímicos e físico-químicos, e os produtos podem gerar energia em forma de calor, energia elétrica e combustível.

- Os processos termoquímicos abrangem a conversão da energia armazenada na biomassa em calor, através da combustão; dessa forma, fazem parte do processo as rotas referentes à combustão direta, pirólise e gaseificação (DINKELBACH, 2000).

- A conversão físico-química ocorrerá de acordo com o produto final que deseja ser obtido, no qual aborda a compressão, esmagamento e extração de óleos provenientes de material vegetal. Em tal processo, abordam-se as rotas como de esterificação, transesterificação e craqueamento. O exemplo de um dos produtos de conversão físico-química tem-se o biodiesel (MACEDO e NOGUEIRA, 2005).
- Os processos bioquímicos abrangem as rotas a partir da digestão anaeróbica, a fermentação/destilação e da hidrólise. Alguns produtos provenientes de tais processos são os combustíveis líquidos, como o etanol e o biogás (MACEDO e NOGUEIRA, 2005).

3.6.1 Conversão da biomassa através da combustão

Dentre as tecnologias de conversão da biomassa, a mais antiga é a combustão direta, que transforma um material combustível em uma fonte de calor, utilizando, geralmente, o oxigênio do ar como comburente da reação. Para fins de obtenção de energia a “queima” direta da biomassa ocorre em fornos e caldeiras, e considerando o seu uso primordial, em fogueiras e fogões na cocção de alimentos. Um dos problemas associados a essa rota de transformação é a alta umidade que o material energético possui, dificultando o processo da combustão, no caso da lenha sua umidade caracteriza-se acima de 20% (ANEEL, 2016).

Rendeiro et al. (2008) traz a combustão de uma biomassa em quatro fases, que podem ocorrer simultaneamente em diferentes regiões do material, sendo estas:

- 1** – Aquecimento e Secagem: adição de calor e redução de umidade;
- 2** – Pirólise: em temperatura ideal, ocorre a liberação de gases presentes na matéria orgânica, que irão entrar em contato com o oxigênio do ar, gerando uma mistura inflamável;
- 3** – Combustão: etapa em que a “chama” se torna visível, com a reação exotérmica entre os gases formados na pirólise e o oxigênio;
- 4** – Pós-Combustão: nesta etapa a biomassa queimada torna-se carvão, cinzas e gases residuais, como CO, CH₄ e H₂ e outros, que conseguem gasificar e escoar.

As fases da combustão podem ser percebidas visualmente, qualificando-as em três: inicialmente, (1) a fase de ignição, na qual só uma parte do combustível que foi

consumida por uma por chama intensa; posteriormente, na (2) fase de chama caracteriza a presença de chama em praticamente todo o combustível e, por fim, (3) a fase de incandescência, a chama que estava presente no combustível já não existe mais, completando a queima propriamente dita (CIESLINSKI, 2014).

O uso da biomassa no processo de combustão para finalidade energética pode ocorrer de forma incompleta, em suas condições naturais, permitindo a liberação de emissões, nas quais além da liberação de água (H_2O) e dióxido de carbono (CO_2), existem aquelas que subsidiam o efeito estufa, como: metano (CH_4), monóxido de carbono (CO) e os óxidos de nitrogênio (NO_x). Estes podem ser nocivos à saúde humana, bem como ao meio ambiente (MCTIC, 2017).

A combustão direta da biomassa ocorre a partir da submissão a altas temperaturas na presença de oxigênio, comumente realizado dentro de indústrias e fornos domésticos. E a preocupação ambiental associada a este processo de conversão é devido à quantidade de material particulado produzido comprometendo a qualidade do ar atmosférico (CIESLINSKI, 2014).

Durante a queima da biomassa residual a liberação de CO_2 , CO , CH_4 , material particulado e outros poluentes variam sua concentração de acordo com o tipo de biomassa e do processo de queima. Porém, quando a conversão da biomassa é completa, o produto liberado é $H_2O + CO_2 + CALOR$ (SOARES, 1995).

3.7 BRIQUETES

A técnica de briquetar consiste em aglomerar partículas ao exercer pressão, compactando-as com a utilização ou não de aglomerante. No processo ocorre a redução do volume do material, que podem ser finos de carvão vegetal, turfa, plásticos, lixo biológico, limalhas metálicas, resíduos ligno-celulósicos e outros, devendo atender os parâmetros granulometria e de umidade. A resistência mecânica ao impacto conferida viabilidade econômica no transporte e armazenamento do material (QUIRINO, 1991).

A primeira patente foi conferida a William Easby, no ano de 1848. A partir do tratamento de materiais residuais, que antes considerados rejeitos sem valor agregado passaram a ter viabilidade energética em processos de aquecimento, dentro dos setores industriais, em máquinas a vapor, caldeiras, fornos e outros. Em trabalhos técnicos-científicos, Quirino (1991), Gonçalves et al. (2009), Silva et al. (2015), a biomassa

residual passou a ser beneficiada para produção de briquetes. Os resíduos mais comuns para a fabricação de briquetes são a palha de milho, pó de serra, serragem de madeira (eucalipto, pinus, seringueira entre outros), e resíduos de compensado (principalmente de pinus), casca de arroz e bagaço de cana. A aglomeração do material permite ocorrer uma maior concentração energética por unidade de volume, além de uma maior resistência mecânica (FONTES et al., 1984).

A energia fornecida pelos briquetes realiza a mesma “função” que a lenha como combustível, não necessitando de nenhum adiconante para tal substituição, e ainda se sobressai por realizar o processo de ignição de forma mais rápida e a uma temperatura estável em relação à lenha, sem contar nos aspectos ambientais positivos, como a redução da dependência da madeira e conseqüente redução do desmatamento. De acordo com a descrição de RENDEIRO et al. (2008) a transformação da biomassa em combustível sólido ocorre desde:

- Escolha do material;
- Secagem para a redução de umidade;
- Padronização granulométrica, a partir da moagem, influenciando no adensamento das partículas;
- Adição de material aglutinante, caso necessário;
- Compactação do material, que pode ser exercida por dois tipos de equipamentos: a prensa (mecânica ou hidráulica) ou por extrusão;
- Secagem do briquete;
- Por fim, embalagem e estocagem do briquete.

Alguns aspectos devem ser considerados para garantia da qualidade do briquete como a granulometria, teor de umidade, densidade, poder calorífico e resistência. Os tamanhos das partículas influenciam na densidade, coesão e na necessidade de ligantes e na resistência do briquete. Quando com granulometria coerente, não ocorrem à presença de espaços vazios entre partículas de maiores. O teor de umidade da matéria-prima depende de sua origem e pode atribuir ao combustível sólido um maior ou menor poder calorífico. Se houver altos valores de umidade, parte da energia do processo de combustão será gasta para “consumir” a umidade do material, tardando, inclusive o processo de ignição do resíduo. No processamento com carvão mineral, comumente o teor de umidade utilizado é de $1,5-2\% \pm 0,5\%$ (DEMIRBAS, 1999). Para resíduos secos

briquetados, os teores de umidade encontram-se entre 8-12%, tendo uma equivalência semelhante à lenha seca (QUIRINO, 1991).

A aglomeração de resíduos vegetais pode ser um dos produtos energéticos para a energia térmica (SILVA *et al.*, 2016). O processo de briquetagem confere a biomassa uma densidade energética superior à de qualquer espécie lenhosa, devido à compactação do resíduo e redução da umidade (RENDEIRO *et al.*, 2008).

De acordo com Quirino (1991) o poder calorífico expressa “a quantidade de calor liberadas na combustão completa de uma unidade de massa do combustível”. Em relação à resistência à compressão, Ramos e Paula *et al.* (2011) associa a importância dos valores de resistência dos briquetes a capacidade de empilhamento durante a estocagem. A heterogeneidade das partículas confere problemas à resistência, podendo levar o rompimento do briquete quando submetido a pressões e temperaturas elevadas.

3.8 CARACTERIZAÇÃO PARA A BIOMASSA E PARA OS BRIQUETES

VASSILEV *et al.* (2015) menciona comportamento variável da biomassa ao ser submetida à combustão direta. Logo, faz-se imprescindível a realização de estudos térmicos e da composição química das biomassas aplicadas na pesquisa.

3.8.1 Análise imediata

A análise imediata é uma etapa simples e indispensável para o estudo da composição da biomassa em termos de umidade (U), material volátil (MV), carbono fixo (CF) e cinzas (Z), sendo elas expressas em porcentagem de massa. A importância de conhecer tal composição é sua influência direta com os estudos energéticos e impactos de cada material durante o seu uso, pois existe uma relação direta entre o rendimento de cada biomassa e o seu percentual de CF, e uma relação inversamente proporcional entre os materiais voláteis e as cinzas produzidas durante os processos combustivos (BRITO e BARRICHELO, 1978; CORTEZ *et al.*, 2008). O Poder Calorífico Superior (PCS) das biomassas possui interação direta com composição imediata da mesma. O PCS faz-se proporcional aos teores de CF e inversamente proporcional aos teores CZ e U, afetando o rendimento do combustível. Biomassas com

teores de material voláteis mais elevados tem uma maior reatividade, acelerando o processo de ignição do material (DEMIRBAŞ, 1997; PROTÁSIO et al., 2011).

O teor de umidade de uma amostra expressa a massa de água presente na biomassa. Em relação a processos de combustão da mesma, faz-se fundamental baixo teor de U, para que não seja necessária muita energia para “consumir” a água, e a partir disto começar a combustão. A água presente no combustível sólido está associada à qualidade do mesmo, pois quanto maior umidade, menor o rendimento energético do material (RENDEIRO et al, 2008).

O teor de Cinzas na composição da amostra representa o resíduo inorgânico da biomassa a partir da combustão completa a condições controladas em laboratório. É possível acrescentar que este percentual expressa à composição residual da matéria, geralmente em estado sólido (RENDEIRO et al., 2008; KHAN et al., 2009). Existem preocupações em relação aos teores de cinzas, além de refletir a redução do PCS, estas causam depósitos nos interiores dos equipamentos de combustão, como caldeiras e fornos, originando problemas de escórias, incrustações e corrosões (GARCÍA et al., 2012; XING et al., 2016).

O Material Volátil da biomassa expressa o percentual volatilizado durante o aquecimento da amostra previamente seca, em uma atmosfera inerte, ou seja, permite conhecer a quantidade de amostra queimada durante o estado gasoso. A presença do MV capacita alterações na temperatura mínima para a ocorrência da combustão e na velocidade reacional. Valores elevados de MV significam rapidez no consumo da biomassa durante a conversão. Quanto maior a quantidade de voláteis no material menor é sua temperatura de ignição, desta forma, a presença da biomassa reduz a energia necessária para ativar a reação de combustão do carvão. Porém, quanto maior tal teor, maior a produção de gases durante a queima da fase sólida do combustível, tornando-se um passivo ambiental (BRITO e BARRICHELO, 1978; RENDEIRO et al., 2008; FARROW, 2013).

Já o valor do carbono fixo representa a fração residual do combustível, sendo o material remanescente da liberação da fração volatilizada da amostra. Em estudos de composição imediata da biomassa, o percentual em massa do CF é expresso através da diferença entre os teores de MV e de CZ da amostra (Equação 1) (RENDEIRO et al., 2008; GARCÍA et al., 2012).

$$CF = 100 - (MV + CZ) \qquad \text{Equação 1.}$$

Na qual:

CF(%): percentual em massa de carbono fixo;

MV(%): percentual em massa de material volátil;

CZ(%): percentual em massa de cinzas.

3.8.2 Poder calorífico

O poder calorífico superior (PCS) condiz com a quantidade de energia existente em um combustível e pode ser determinada a partir da submissão da biomassa em um sistema de Bomba Calorimétrica e através da análise elementar. No processo de conversão de energia como a combustão direta, o PCS refere-se à quantidade de energia liberada durante a reação e pode ser fortemente influenciado pela composição imediata do material, os teores de Carbono Fixo e de Volátil causam interação com os resultados do mesmo, tornando-o mais reativo (RENDEIRO et al., 2008; GARCÍA et al., 2012).

Outro fator que influencia nos valores de PCS é a quantidade de água existente na biomassa, pois existem gastos de energia para reduzir a umidade do mesmo durante os processos combustivos, reduzindo sua eficiência, sendo um fator limitante da combustão (JENKINS et al., 1998; RENDEIRO et al., 2008; RIBEIRO, 2017).

3.8.3 Fluorescência de raios X - FRX

Durante o processo de combustão completa em que a biomassa é submetida é produzida matéria inorgânica - as cinzas – consideradas produto residual resultante do processo, que afeta o rendimento da combustão e do aparelho que fornece o processo. Para entender o efeito deste determinam-se as concentrações de seus elementos inorgânicos através do método de Fluorescência de Raios X (GARCÍA et al., 2012; XING et al., 2016).

Os resultados provenientes do método de Fluorescência de Raios X expressam raios emitidos em elementos químicos do material. O procedimento compreende a incidência de radiação gama na matéria, seja ela sólida ou líquida, ocorrendo uma excitação adequada, a ponto de gerar uma emissão de espectros. Ocorre à interação entre o fóton incidente e o átomo, que o absorve, em decorrência desta dinâmica o elétron é deslocado para uma camada de menor energia, deixando um espaço vazio.

Logo, a partir desta técnica faz-se possível quali-quantificar a presença de Si, K, Ca, P, Fe, Mn, Ti, Mg e Na na composição do material, e a radiação emitida faz-se proveniente do comprimento de onda destes elementos. Nas análises de FRX são mostrados os elementos ($Z > 13$) da tabela periódica, e a importância de conhecê-los permite um de melhor gerenciamento dos resíduos que os contêm (VAZ JÚNIOR, SOARES, 2014).

4. METODOLOGIA

4.1 ESCOLHA E COLETA BIOMASSA RESIDUAL

Para este trabalho foram selecionados resíduos provenientes da poda do município de João Pessoa, estabelecendo o uso de três espécies exóticas e a mistura de diversas outras espécies – o composto. Dentre estas, as três biomassas oriundas das espécies Algaroba, Ficus Benjamina e Castanhola, e foram coletadas durante o acompanhamento do serviço prestado pela “Poda Programada” oferecido pela Secretaria do Meio Ambiente, que tem por objetivar a manutenção da arborização das ruas, praças, calçadas da cidade.

A escolha das três espécies foi dada a partir de dados fornecidos pela prefeitura, através do Inventário Arbóreo de João Pessoa, documento de caráter inicial que foi interrompido no ano de 2014. Neste o estudo, continha a catalogação de informações sobre 37 bairros e 941 ruas do município, além de dados sobre dados sobre as espécies de grande porte com maiores quantidades distribuídas entre os bairros de estudos, e as espécies de maiores quantidades foram a Ficus-benjamina e a Castanhola.

Para a escolha da Algaroba - espécie de médio porte - considerou-se sua utilização na área energética, visto que na Paraíba ocorre o seu uso como biomassa produtora de lenha.

Por fim, o quarto material utilizado na pesquisa, resultou-se da mistura da poda de diversas espécies. Durante o processo de manutenção da arborização não ocorre a separação prévia da poda ao realizar o corte das árvores, a partir disto houve a motivação de utilizar o material misturado. Tal resíduo foi denominado como “Composto”, para melhor identificá-lo durante o estudo. A coleta do composto, foi realizada diretamente no Viveiro Municipal, no qual é depositado todo o resíduo da poda realizada pelo Serviço da Poda Programada no município.

4.2 PREPARO DO MATERIAL PARA ANÁLISES

Após coleta, houve a exposição de todo o resíduo ao sol durante quinze dias para redução da umidade e a separação do material que seriam inicialmente analisados *in natura*, do que iria ser processado para produzir o briquete. Logo, houve duas etapas: 1º etapa – Preparo das Biomassas *In Natura*, e 2º etapa – Preparo e produção dos Briquetes.

4.2.1 Preparo das biomassas *in natura*

O preparo das amostras das biomassas residuais foi realizado no Laboratório de Carvão Ativado - LCA da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, passando pelo processo de moagem, os galhos de maior diâmetro foram processados em uma forrageira - de marca WEG e modelo D560585 - e o pó resultante desse processo foi encaminhado para o moinho de facas - modelo SL-31, Solab. Em seguida, o pó foi peneirado em uma malha de 100 mesh possibilitando a classificação das amostras para as análises de caracterização.

4.2.2 Preparo das biomassas e produção dos briquetes

Para confecção de cada briquete considerou-se adaptação da metodologia desenvolvida por Rendeiro et al. (2008), Dias Junior et al. (2014) e Martins et al. (2016). Os briquetes foram produzidos a partir das biomassas residuais da poda da Algaroba, Ficus Benjamina, Castanhola e do Composto.

De acordo com Rendeiro et al. (2008) o processamento do material lenhoso para fins energéticos e de transformação em combustível sólido – briquete, deve seguir inicialmente as etapas de pré-tratamento, contemplando secagem, moagem e padronização granulométrica.

Portanto, as amostras passaram por um pré-tratamento, com a secagem em exposição solar durante 15 dias para redução de umidade. Com o intuito de homogeneizar o material, as amostras foram moídas na forrageira do LCA e classificadas de acordo com a sua passagem por uma peneira de malha três mm, adequando sua granulometria, como proposto por Dias Junior et al. (2014).

Ao considerar novamente os apontamentos de Rendeiro et al. (2008), após pré-tratado o material passa para o processo de briquetagem, incluindo a adição do aglutinante, posterior compactação e secagem. A etapa de briquetagem do material ocorreu no Laboratório de Materiais Cerâmicos - LMC da UFPB, onde se realizou a preparação do material e posterior compactação na prensa hidráulica.

Fez-se necessário a construção de um molde cilíndrico, de aço inoxidável, com 15 centímetros de altura e 5 centímetros de diâmetro interno, e uma tampa de PVC colocada para impedir que transbordasse material na parte inferior da estrutura (Figura 6).

Figura 6: Molde confeccionado.



Fonte: acervo pessoal (2019).

O molde foi preenchido por completo pela biomassa *in natura*, já moída e classificada granulometricamente, com o intuito de observar quanto de resíduo cabia em cada estrutura. Após pesado, estabeleceu-se um padrão de mistura para preencher cada molde, sendo 75 gramas de biomassa residual, e para o agente aglutinante usou-se 30 gramas de amido de milho e 75 ml de água, quantidades estabelecidas a partir testes, buscando proporções que melhor homogeneizasse a mistura com cada espécie de estudo; além disso, para estabelecer o agente aglutinante fez-se necessário o uso de uma manta de aquecimento, de marca TECNAL, modelo TE-0853, com o intuito de aquecer a água à 100°C e armazenou-se a água em garrafa térmica, assim, ao misturar a água e o amido, formou-se uma pasta com consistência de cola, permitindo a liga entre o aglutinante e o resíduo.

Depois de preenchido o molde, para a prensagem do material utilizou-se uma prensa hidráulica com capacidade para 30 toneladas, de Marca MARCON 30 TON MPH-30. Foi exercida em cada corpo de prova uma carga de 1,5 toneladas, durante 3 minutos (Figura 7).

Figura 7: Prensa Hidráulica.



Fonte: acervo pessoal (2019).

Foram confeccionados três briquetes de cada amostra residual. Quando desmoldados, os briquetes foram à secagem ao ar livre até a estabilização da umidade com o ambiente, durante oito dias (Figura 8). Depois de produzidos e secos, cada briquete foi submetido aos ensaios de resistência à compressão, análise imediata, poder calorífico e análises termogravimétricas.

Figura 8: Briquete desmoldado.



Fonte: acervo pessoal (2019).

4.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO NOS BRIQUETES

O ensaio de resistência à compressão foi realizado a partir do uso Máquina Universal de Ensaio da marca SHIMADZU, modelo Autograph AG - X, no qual foi aplicada uma célula de carga na parte superior de um dos hemisférios do briquete até a sua ruptura (Figura 9). Foi considerada a adaptação da norma ABNT NBR 7222: Concreto e argamassa - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos.

Figura 9: Ensaio de resistência à compressão.



Fonte: acervo pessoal (2019).

O preparo das amostras dos briquetes para Análises Imediatas, de Poder Calorífico e Termogravimétrico foram feitas a partir do rompimento dos corpos de prova durante o ensaio de resistência à compressão, realizadas no Laboratório de Solidificação Rápida. Após a ruptura, cada briquetes proveniente deste rompimento passou pelo o moinho de facas, de modelo SL-31, SOLAB, atingindo granulometria em uma malha de 100 mesh possibilitando adequação para as análises posteriores.

4.4 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E ENERGÉTICA DAS BIOMASSAS *IN NATURA* E DOS BRIQUETES

4.4.1 Análise imediata

A análise imediata e os teores por ela expressos foram realizados tanto para as biomassas *in natura* quanto para os briquetes, porém a análise destes só ocorreu após seu rompimento.

Para a realização da análise imediata, foram coletados os dados da umidade (U), material volátil (MV), carbono fixo (CF) e teor de cinzas (CZ). O manejo do resíduo foi realizado no Laboratório de Materiais e Química Ambiental (LABMAQ) da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, no qual os teores de U, MV, CF, CZ foram analisados em triplicata. E para cada uma destas, utilizou-se 1 g da biomassa seca em estufa a $100\pm 5^\circ\text{C}$, foram seguidas as orientações das normas ASTM E1755 e ASTM E872 para estudos da composição imediata de biomassas.

a) Umidade

Para expressar o teor de umidade, usou-se a balança de umidade (Moisture Analyzer, MF-50) presente no LABMAQ da UFPB, na qual se pesou um grama de cada amostra.

b) Cinzas

Para a CZ usou-se a Norma ASTM E1755, no qual tal teor foi realizado em triplicata, secando-se as amostras na balança de umidade, cada uma com um grama. Estas foram colocadas em cadinhos e levadas para mufla (marca QUIMIS), onde se aqueceu até 250°C com taxa de $10^\circ\text{C}/\text{min}$ e as amostras foram deixadas por 30 minutos; após isso, ainda na mufla, aqueceu-se até 575°C com taxa de $10^\circ\text{C}/\text{min}$ e deixando por cerca de uma hora e meia. Quando terminado este processo, os cadinhos foram colocados no dessecador e ao atingir temperatura ambiente, foram pesados. Consideraram-se tais equações:

$$M_{\text{CINZAS}} = M_{i(\text{amostra})} - M_{\text{CÁPSULA}} \quad \text{Equação 2.}$$

$$\% \text{Cinzas} = \frac{m_{\text{cinzas}}}{m_{i(\text{amostra})}} \times 100 \quad \text{Equação 3.}$$

Nos quais:

M_{CINZAS} : Fração residual da amostra (cinzas);

$M_{i(\text{AMOSTRA})}$: Massa inicial da amostra, desconsiderando a massa do cadinho (pesagem antes da análise ser realizada);

$M_{\text{CÁPSULA}}$: Massa da amostra após análise finalizada (desconsidera a massa do cadinho);

%Cinzas: Teor de cinzas, dado em porcentagem.

c) Material volátil

Para obter o teor de MV considerou-se a Norma ASTM E872, no qual inicialmente o material foi seco na balança de umidade. Após, pesado um grama, cada das amostras foram reservadas em cadinhos tampados, e levadas separadamente a mufla (marca QUIMIS), esta aquecida até 950°C. A análise foi realizada em um cadinho por vez, no qual este era colocado em cima porta aberta da mufla por 2 minutos; logo em seguida, o cadinho foi colocado dentro da mufla, onde permaneceu por 5 minutos, com a porta fechada. Esta sequência ocorreu em triplicata, com as quatro biomassas *in natura* e com as quatro amostras dos briquetes. Após este processo, o cadinho analisado foi colocado em um tijolo e depois dentro do dessecador, e ao atingir temperatura ambiente foram pesados. Consideraram-se tais cálculos:

$$M_{\text{RESIDUAL}} = M_{i(\text{amostra})} - M_{\text{CADINHO}} \quad \text{Equação 4.}$$

$$\text{MV}\% = \frac{m_{\text{residual}}}{m_{i(\text{amostra})}} \times 100 \quad \text{Equação 5.}$$

Nos quais:

M_{RESIDUAL} : Fração volatilizada da amostra;

$M_{i(\text{AMOSTRA})}$: Massa inicial da amostra, desconsiderando a massa do cadinho (pesagem antes da análise ser realizada);

M_{CADINHO} : Massa da amostra após análise finalizada (desconsidera a massa do cadinho);

MV%: Teor de voláteis, dado em porcentagem.

d) Teor de Carbono Fixo

Para chegar ao valor da fração residual do combustível sólido, sendo o material remanescente da liberação da fração volatilizada da amostra. Utilizou-se a equação

$$CF = 100 - (MV + CZ) \quad \text{Equação 6.}$$

Na qual:

CF(%): percentual em massa de carbono fixo;

MV(%): percentual em massa de material volátil;

CZ(%): percentual em massa de cinzas.

4.4.2 Análise de Espectrômetros de Fluorescência de Raios X (FRX)

A análise de FRX foi realizada no laboratório do Instituto de Pesquisa do Semiárido – INSA e permitiu investigar a composição elementar das amostras das três espécies de biomassa, bem como da mistura das diversas espécies. Inferiu-se este estudo a partir da exposição das amostras das cinzas de cada material – um grama cada – a feixes de radiação, propiciando a captura da radiação fluorescente, realizada no equipamento S2 RANGER EDXRF.

4.4.3 Poder calorífico

Para esta análise usou-se uma bomba calorimétrica de marca IKA, modelo C-200 realizadas no LABMAQ da UFPB, se considerou a norma ASTM D2015 e foram analisadas as biomassas *in natura* e os briquetes provenientes destas. Cada amostra foi inserida em um sistema calorimétrico, no qual a biomassa foi queimada em um ambiente fechado, na presença de oxigênio e mergulhada em uma massa de água de temperatura monitorada.

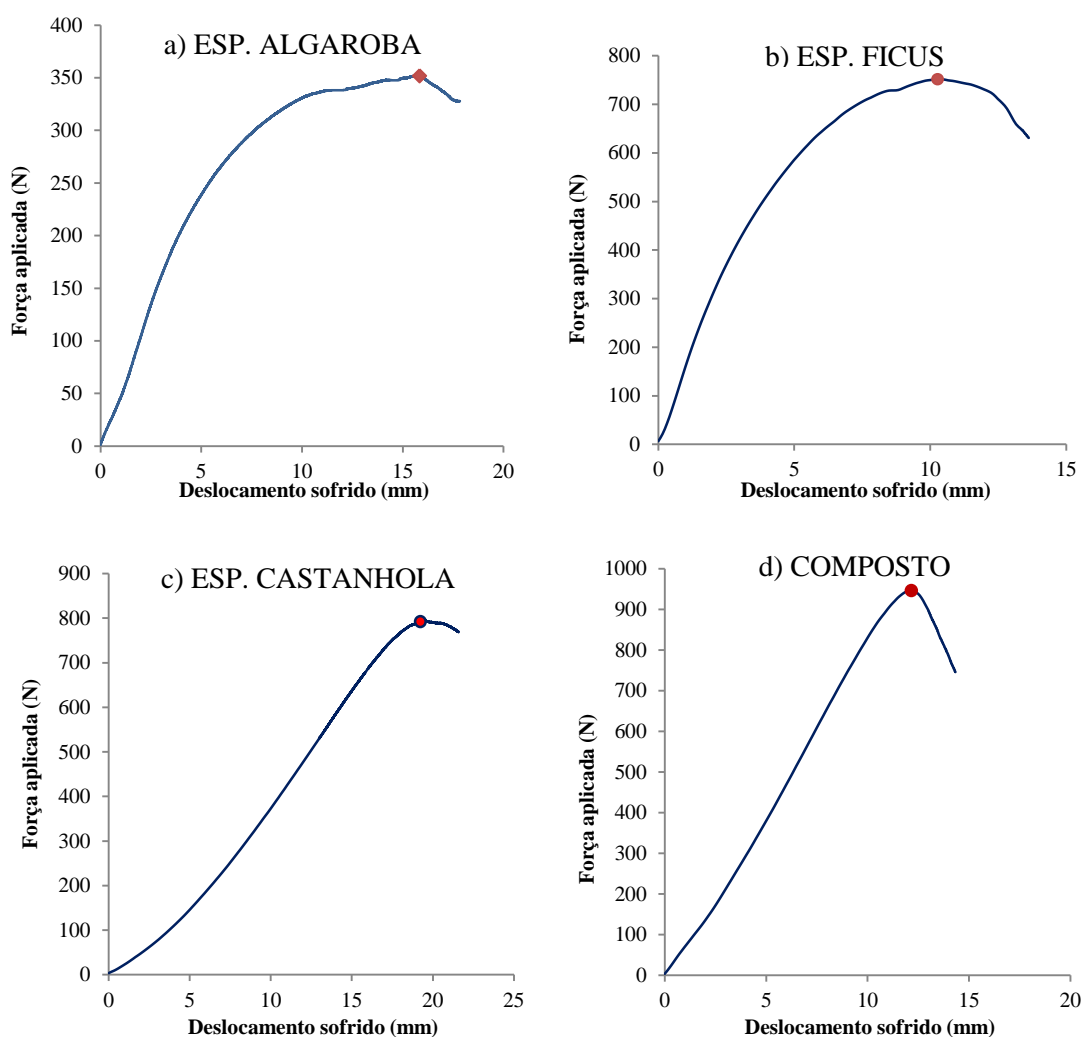
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 PRODUÇÃO DOS BRIQUETES

5.1.1 Ensaio de resistência à compressão nos briquetes

Os gráficos abaixo demonstram o comportamento de cada briquete em relação carga de ruptura exercida e o deslocamento por ele sofrido durante seu rompimento. Após atingir a carga de máxima – os pontos marcados nos gráficos da Figura 10 - os briquetes perderam sua estabilidade, iniciando um decaimento de sua resistência.

Figura 10: Comportamento durante compressão



Os briquetes que apresentaram melhores valores em relação à resistência foram provenientes do Composto, ou seja, oriundo da mistura de diversas biomassas diferentes. No Figura 10, de letra d, referente ao ensaio em que os briquetes do composto foram submetidos, fez-se necessário a aplicação de uma carga de 946,213 N para causar um deslocamento de 12,15 mm e uma deformação de 11,7338% no briquete (Tabela 1).

Tabela 1: Ensaio de resistência à compressão para briquetes.

	Carga de ruptura – N	Tensão máxima - N/mm²	Deformação - %
Algobora	352,03	0,19	14,95
Ficus	751,62	0,43	11,21
Castanhola	794,29	0,39	21,78
Composto	946,21	0,53	11,73

O briquete que apresentou a menor resistência foi proveniente da Algaroba, no qual se teve aplicação de uma pressão de 352,03 N para que houvesse um deslocamento de 15,77 mm, perdendo assim sua estabilidade. Os briquetes produzidos a partir das biomassas do Ficus e da Castanhola apresentaram valores semelhantes em relação à carga de ruptura, porém o da Castanhola teve uma maior deformação. Faz-se importante salientar que todos os briquetes foram produzidos considerando a mesma granulometria, mesmas quantidades de material, bem como proporções de agente aglutinante, o amido.

De acordo com Motter (1979) os valores indicados para fins industriais referentes à resistência a compressão ou tensão máxima para briquetes deve ser superior ou igual a 6,86 N/mm², e caso forem menores, os combustíveis sólidos continuam tendo viabilidade, porém para emprego comercial e doméstico.

Ao comparar os valores encontrados para as amostras de briquetes na pesquisa com o que foi proposto por Motter (1979) percebe-se as resistências foram inferiores ao aconselhável para fins industriais, porém enquadraram-se ao que é proposto para fins comerciais e de uso doméstico, reforçando a viabilidade de substituição da lenha para estes usos.

5.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS BIOMASSAS *IN NATURA* E DOS BRIQUETES

Neste tópico foram expostos os dados referentes à caracterização da composição imediata, abrangendo os teores de umidade, cinzas, voláteis e carbono fixo das biomassas *in natura* e dos briquetes; e as análises de Espectrômetros de Fluorescência de Raios X (FRX) que foram realizadas nas biomassas *in natura*.

5.2.1 Análise imediata

5.2.1.1 Teor de umidade

A tabela 2 apresenta os valores referentes à caracterização dos resíduos das biomassas *in natura* e dos briquetes produzidos a partir destas em relação à umidade do material.

Tabela 2: Caracterização do teor de umidade das biomassas *in natura* e dos briquetes proveniente delas

Análises %	<i>In natura</i>			
	Algaroba	Ficus	Castanhola	Composto
Umidade	10,45	9,90	10,70	10,75
Análises %	Briquete			
	Algaroba	Ficus	Castanhola	Composto
Umidade	12,20	13,50	13,70	11,75

Em relação à umidade, houve um aumento de seus valores dos briquetes em comparação com suas respectivas biomassas *in natura*. No estudo de Donato et al. (2015) para briquetes produzidos a partir de finos de carvão, a média do valor de umidade do briquete foi de 8,9% e os valores para os materiais ligantes foram 9,2% para o silicato e 8,4% para o melaço de soja, tais valores estão próximos ao do briquete do presente estudo, permitindo concluir que estes não elevaram significativamente o valor da umidade do mesmo. Já nas pesquisas realizadas por Ponte et al. (2019) com podas da arborização das espécies Cajueiro, Mangueira e com o Bagaço de Cana-de-açúcar, encontrou-se as umidades, respectivamente, de 23,4%, 10,6% e 14%.

Em escala industrial, utilizam-se prensas de pistão e extrusão para fabricar briquetes com biomassa e as umidades geralmente encontradas estão entre 10-15% e 8-9%, respectivamente (PONTE et al., 2019). De acordo com Rendeiro (2008) biomassas

agrícolas com usos energéticos possuem um teor de umidade entre uma faixa de 15% a 30%. Já Garcia et al. (2012) acrescenta que biomassas com teores de umidade abaixo de 50% podem ser utilizadas em processo de combustão, porém normalmente para biomassas secas o ideal é que estes valores estejam abaixo de 10%, para que não exista dificuldades durante a ignição do material combustível. Os valores da tabela 2 para umidade encontram-se entre 9,90 a 10,75% para biomassas *in natura* e 11,75 a 13,70% para os briquetes, tais valores encontram-se abaixo do mencionado por Rendeiro (2008), porém acima da faixa de umidade trazida por Garcia et al. (2012) como ideal para biomassas secas. Em casos para produção de briquetes, quando ocorre uma elevação de umidade Ponte et al. (2019) propõe uma etapa prévia de secagem de secagem antes do seu uso como biocombustível.

5.2.1.2 Teor de cinzas

Na Tabela 3 encontram-se os resultados das análises imediatas das amostras das biomassas proveniente do resíduo da poda arbórea, bem como dos briquetes produzidos a partir destas em relação aos teores de cinzas.

Tabela 3: Teor de cinzas presente na composição das biomassas *in natura* e dos briquetes

Análises %	<i>In natura</i>			
	Algaroba	Ficus	Castanhola	Composto
Cinzas	8,75	17,26	10,23	9,87
Análises %	Briquete			
	Algaroba	Ficus	Castanhola	Composto
Cinzas	14,11	11,49	6,65	12,10

Para o teor de cinzas, para a caracterização das biomassas *in natura*, a média do menor teor foi do resíduo da espécie algaroba com 8,75% e, o maior encontrado foi o da espécie ficus com 17,26%. Já para os briquetes produzidos a partir de cada biomassa, encontrou-se o menor valor para o briquete proveniente da espécie castanhola com 6,65% e o maior proveniente da espécie da algaroba com 14,11%. Ponte (2019) trabalhou em seu estudo com podas de cajueiro, de mangueira e com bagaço de cana-de-açúcar, e o teor de cinzas foram, respectivamente, 4,60%, 13,50% e 15,40%. Na tabela 4 foram dispostos alguns valores de CZ de diversas biomassas de estudos da literatura.

Tabela 4: Valores de Cinzas

Autor	Biomassa	CZ%	
Pesquisa	Algaroba	8,75 <i>in natura</i>	14,11 briquete
	Ficus	17,26 <i>in natura</i>	11,49 briquete
	Castanhola	10,23 <i>in natura</i>	6,65 briquete
	Composto	9,87 <i>in natura</i>	12,10 briquete
Marchese et al. (2018)	Bagaço de Cana-de-açúcar	9,50	
	Casca de Pinhão	9,20	
	Casca de Uva	9,60	
	Farelo de Trigo	11,20	
	Serragem de Madeira	9,80	
	Bagaço de Maça	14,20	
Silva et al. (2017)	Resíduo de Coco	1,28	
	Resíduo de Cacau	6,02	
	Resíduo de Dendê	8,24	
Macedo et al. (2014)	Casca de Arroz	26,4	
	Bambu	2,1	
	Bagaço de Cana-de-açúcar	11,0	
Rodrigues et al. (2019)	Casca de Arroz	18,65	
	Amendoim	2,92	

Diante do exposto na tabela acima, pode-se perceber que os valores encontrados na pesquisa estão dentro do rol da literatura, no qual Macedo et al. (2014) ainda encontrou valores bem superiores de CZ para a biomassa residual da Casca de Arroz, valor mais elevado do que o de Rodrigues et al. (2019) para a mesma biomassa, e ainda superior do que o teor presente na biomassa *in natura* do Ficus (17,26%), maior teor de CZ encontrado para as biomassas estudadas na pesquisa.

A literatura reporta que as cinzas representam a fração incombustível da biomassa e teores elevados destas acarretam em valores de PCS reduzidos, logo são indesejadas frações elevadas em materiais combustíveis (DONATO et al., 2015). Ainda é sabido que culturas energéticas e biomassas residuais possuem um teor de cinzas mais elevados e ao serem inseridos em equipamentos para combustão podem causar corrosão e incrustações (SHETH; BABU, 2010; HENNE, 2018). Além disso, as cinzas de um processo de combustão podem se tornar um passivo ambiental se manejadas inadequadamente, porém Melo et al. (2018) menciona a reaproveitamento das cinzas para produção de cal, também para enriquecimento nutricional do solo e substituição em produtos da construção civil.

5.2.1.3 Teor de voláteis

A Tabela 5 apresenta os resultados das análises imediatas das amostras das biomassas proveniente do resíduo da poda arbórea, bem como dos briquetes produzidos a partir destas em relação ao teor de materiais voláteis.

Tabela 5: Materiais voláteis presente nas biomassas *in natura* e dos briquetes

Análises %	<i>In natura</i>			
	Algaroba	Ficus	Castanhola	Composto
Material volátil	73,89	65,55	64,64	70,10
Análises %	Briquete			
	Algaroba	Ficus	Castanhola	Composto
Material volátil	74,66	70,77	72,23	72,62

Para o material volátil, quanto maior o seu valor, mais reativo é o combustível sólido, a reação da biomassa pela queima está relacionada ao conteúdo de materiais voláteis, ou seja, a facilidade de ignição da biomassa devido à volatilização das substâncias materiais durante o aquecimento. Esse percentual não interfere de modo a aumentar o PCS do material (DEMIRBAS, 1997; MCKENDRY, 2002; SOUZA e VALE, 2016). Gentil (2008) ainda acrescenta que são esperados valores elevados para o teor de volátil quando o intuito de aplicação da biomassa é termoquímico.

Os valores encontrados durante o estudo para as biomassas *in natura* estiveram na faixa entre 64,64- 73,89% e para os briquetes estiveram entre 70,77% -74,66%. Na literatura, ao abordar trabalhos com a combustão direta da biomassa, faz-se aconselhável que os valores sejam elevados como os da tabela 6, pois representam uma alta reatividade em relação à ignição no processo de queima da matéria. Na Tabela 6 foi possível observar os teores de voláteis dessas biomassas, percebendo a conformidade entre os valores estabelecidos pelos materiais resíduos da pesquisa em questão.

Tabela 6: Valores de Materiais Voláteis

Autor	Biomassa	MV%	
Pesquisa	Algaroba	73,89 <i>in natura</i>	74,66 briquete
	Ficus	65,55 <i>in natura</i>	70,77 briquete
	Castanhola	64,64 <i>in natura</i>	72,23 briquete
	Composto	70,10 <i>in natura</i>	72,62 briquete
Marchese et al. (2018)	Cana-de-açúcar	77,50	
	Casca de pinhão	65,40	
	Casca de uva	78,60	
	Farelo de trigo	73,80	

	Serragem de madeira	76,20
	Bagaço de Maça	66,90
Silva et al. (2017)	Resíduo de Coco	78,88
	Resíduo de cacau	71,14
	Resíduo de Dendê	77,53
Macedo et al. (2014)	Casca de arroz	55,90
	Bambu	78,30
	Cana-de-açúcar	75,00
Rodrigues et al. (2019)	Casca de arroz	68,03
	Amendoim	76,74

Nos estudos de Rodrigues et al. (2019) foram encontrados para biomassa da casca de arroz e de amendoim, respectivamente, 68,03% e 76,74%, para MV. Já Macedo et al. (2014) encontrou valores de MV de 55,9% e 78,3%, respectivamente, para casca de arroz e biomassa de bambu, e de 75% para o bagaço da cana-de-açúcar. Outros autores como Marchese et al. (2018) trabalhou com análises em biomassas de cana-de-açúcar, casca de pinhão, casca de uva, farelo de trigo, serragem de madeira e bagaço de maçã; já Silva et al. (2017) analisou resíduos de coco, cacau e dendê com intuito de estudos dessas biomassas para fins energéticos a partir da torrefação das mesmas. Na literatura, ao trabalhar com a combustão direta de biomassa, os valores na tabela 6 para MV são coerentes, significando uma boa reatividade em relação à ignição da biomassa.

5.2.1.4 Carbono Fixo

A Tabela 7 apresentou os resultados das análises imediatas das amostras das biomassas proveniente do resíduo da poda arbórea, bem como dos briquetes produzidos a partir destas em relação ao Carbono Fixo.

Tabela 7: Caracterização da composição imediata das biomassas *in natura* e dos briquetes proveniente delas

Análises %	<i>In natura</i>			
	Algaroba	Ficus	Castanhola	Composto
Carbono fixo	17,36	17,19	25,13	20,03
Análises %	Briquete			
	Algaroba	Ficus	Castanhola	Composto
Carbono fixo	11,23	17,74	21,12	15,28

Nos estudos de Costa et al. (2019) foram abordadas a caracterização de briquetes provenientes de *Macaúba* e de *Pinus Sp.*, tendo respectivamente, 13,3% e 10,5% de CF, sendo estes valores abaixo dos encontrados na pesquisa, para os quatro resíduos trabalhados. Ainda de acordo com Costa et al. (2019) citando Brito e Barrichello (1982) o comportamento da madeira diante da sua quantidade de CF varia entre 15% e 25%, porém podem variar de acordo com a espécie. Na Tabela 8 foram apresentados valores do Carbono Fixo de diversas outras espécies em estudos desenvolvidos por outros autores.

Os teores de CF expressam o comportamento lento ou acelerado de queima do combustível, altos índices representam um processo lento durante a queima, o que é uma característica positiva para o rendimento do combustível, além disso, o PCS torna-se proporcional ao aumento de CF (DEMIRBAŞ, 1997; PROTÁSIO et al., 2011; VALE et al., 2011; BRITO, BARRICHELLO, 1978).

Tabela 8: Valores de Carbono Fixo

Autor	Biomassa	CF%	
Pesquisa	Algaroba	17,36 <i>in natura</i>	11,23 briquete
	Ficus	17,19 <i>in natura</i>	17,74 briquete
	Castanhola	25,13 <i>in natura</i>	21,12 briquete
	Composto	20,03 <i>in natura</i>	15,28 briquete
Marchese et al. (2018)	Cana-de-açúcar	13,10	
	Casca de pinhão	25,40	
	Casca de uva	11,90	
	Farelo de trigo	15,00	
	Serragem de madeira	13,90	
	Bagaço de Maça	18,90	
Silva et al. (2017)	Resíduo de Coco	19,84	
	Resíduo de cacau	22,84	
	Resíduo de Dendê	14,22	
Macedo et al. (2014)	Casca de arroz	17,70	
	Bambu	19,60	
	Cana-de-açúcar	13,90	
Rodrigues et al. (2019)	Casca de arroz	13,32	
	Amendoim	20,39	

Os valores de CF associados a carvão vegetal costumam ser mais elevados, e variam proporcionalmente ao aumento da temperatura, pelo calor gerado durante o processo de combustão, já o teor de voláteis é reduzido com o aumento da temperatura (McKendry, 2002). É possível evidenciar que os valores Macedo et al. (2014), Silva et

al. (2017), Marchese et al. (2018), Rodrigues et al. (2019) estão em conformidade aos valores encontrados na presente pesquisa, no qual o menor valor foi o de briquete de algaroba (11,23%) e o maior entre os briquetes foram os de castanhola (21,12%). Já para as biomassas in natura, os valores se encontram em uma faixa de 17,19% a 25,13%.

5.2.2 Análise de Espectrômetros de Fluorescência de Raios X (FRX)

Na tabela 9, foram expressas as concentrações multi-elementares presentes nas amostras das cinzas residuais da poda da algaroba, ficus, castanhola, bem como da mistura de diversas outras espécies, o composto.

Tabela 9: Concentração de elementos presentes nas biomassas *in natura*.

Elemento		Concentrações %			
Nomenclatura	Fórmula	Algaroba	Ficus	Castanhola	Composto
Óxido de Cálcio	CaO	39,19	69,16	50,38	68,40
Óxido de Potássio	K₂O	15,79	6,16	6,75	7,04
Óxido de enxofre	SO₃	11,15	2,44	3,77	4,73
Óxido de Sódio	Na₂O	8,70	-	-	1,60
Óxido de Magnésio	MgO	7,50	5,60	11,50	4,70
Cloro	Cl	5,78	1,24	11,88	0,39
Óxido de Fósforo	P₂O₅	3,73	1,26	2,77	1,87
Óxido de Silício	SiO₂	2,61	11,69	9,32	8,35
Óxido de Alumínio	Al₂O₃	2,00	0,94	2,79	2,04
Óxido de Ferro	Fe₂O₃	0,89	0,24	0,56	0,70
Óxido de Lantânio	La₂O₃	0,88	0,75	-	-
Óxido de Titânio	TiO₂	0,74	-	-	-
Óxido de Césio	CeO₂	0,37	0,18	-	-
Óxido de Manganês	MnO	0,19	-	-	-
Óxido de Cobre	CuO	0,08	-	0,05	-
Óxido de Zinco	ZnO	0,07	-	0,08	-
Bromo	Br	0,07	-	-	-

Ao considerar os estudos de Vassilev et al. (2010) tornou-se possível mencionar que a classificação das biomassas de resíduos de madeira dependem dos teores de K₂O + P₂O₅ + SO₃ + Cl₂, teor de CaO + MgO + MnO e teor de SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ + Na₂O + TiO₂. E relacionando com a presente pesquisa, todos estes elementos possuem presença nas concentrações das amostras estudadas. De forma mais representativa para as concentrações de Óxidos de Cálcio para as quatro amostras trabalhadas,

principalmente em teores elevados para o Ficus (69,16), Castanhola (50,38%) e o Composto (68,40), representando acima de 50% de sua composição inorgânica.

Na caracterização realizada por Vassilev et al. (2011) com as biomassas provenientes do bagaço de cana de açúcar e palha de trigo, tem-se, respectivamente, os seguintes elementos para o bagaço de cana: Na₂O (1,61%), MgO (4,56%), P₂O₅ (3,87%), SiO₂ (46,79%), Al₂O₃ (14,60%), e para a palha de trigo: Na₂O (3,52%), MgO (2,74%), P₂O₅ (3,54%), SiO₂ (50,35%), Al₂O₃ (1,54%). Alguns desses elementos estão presentes nas análises expostas na tabela 10, a biomassa da algaroba e do composto possuem estes mesmos elementos, porém em concentrações diferentes.

Nos estudos de Ribeiro (2017) houve a realização da análise de FRX para o bagaço de cana-de-açúcar e bagaço de sorgo, com o intuito de utilização como combustíveis energéticos pelo processo de combustão direta. Nestes foram encontrados quantidades elevadas de Silício, Alumínio, Potássio e Cálcio para o bagaço de cana, e Potássio, Cálcio e Cloro para o bagaço de sorgo. A autora relata as grandes quantidades na concentração de elementos inorgânicos indicam que o processo combustivo pode gerar inconvenientes acerca de corrosão e incrustações em fornos, fornalhas, caldeiras e outros, principalmente pelas elevadas presenças de Silício, Cálcio e Potássio. O comprometimento de equipamentos de processamento energético de biomassa ocorrem a partir da aglomerações de espécies ricas em concentrações de Si, K, Na, S, Cl, Ca, Mg, Fe, que se depositam nos interiores e causam deterioração nas superfícies, ocasionando a ineficiência dos processos e a vida útil dos equipamentos (JENKINS et al.,1998).

Dentre os resíduos estudados, óxidos oriundos do Si, K, Na, S, Cl, Ca, Mg, Fe estiveram presentes em variadas concentrações, e segundo Jenkins et al. (1998) estes elementos podem representar possíveis problemas durante a combustão da matéria. Além disso, Ribeiro (2017) ainda reforça em relação aos teores elevados de Silício, Cálcio e Potássio. Na pesquisa as concentrações de CaO foram elevadas com valores de 39,19% para a Algaroba, 50,38% para a Castanhola, 68,40% para o Composto e 69,16% para Ficus; já em relação ao K₂O, as maiores concentrações foram para a Algaroba com 15,79%, para o Composto com 7,04%, para a Castanhola com 6,75% e Ficus com 6,16%; e, por fim, para as concentrações de SiO₂ a biomassa residual que apresentou valores mais elevados foi a Ficus com 11,69%, e as demais espécies apresentaram,

respectivamente, 9,32% para Castanhola, 8,35% para o Composto e 2,61% para a algaroba.

Nas biomassas estudadas tem-se a possibilidade viável de aplicação de suas cinzas, favorecida pelas concentrações elevadas dos Óxidos de Cálcio (CaO) em sua composição, pois nos estudos Melo et al. (2018) é mencionado a viabilidade produção de cal a partir das cinzas da algaroba, surgindo como uma opção de reutilização deste resíduo, tanto para redução de acidez no solo, para adequação de pH em tratamentos de águas, bem como na construção civil, como substituição de agregados.

5.3 CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA

5.3.1 Poder calorífico

Na tabela 10 foram dispostos os valores associados ao Poder Calorífico Superior (PCS) em base seca das biomassas *in natura* e dos briquetes proveniente destas.

Tabela 10: Poder Calorífico Superior das biomassas *in natura* e dos briquetes

	PCS <i>in natura</i> (MJ.Kg⁻¹)	PCS briquete (MJ.Kg⁻¹)
Algabora	18,94	18,59
Ficus	17,35	15,32
Castanhola	16,64	15,80
Composto	17,12	15,46

Os valores associados ao Poder Calorífico Superior (PCS) são relacionados ao potencial energético da biomassa para substituto de derivados fósseis, pois refletem a quantidade de energia produzida na forma de calor durante o processo de combustão do material (VALE et al., 2011).

De acordo com a Tabela 10 foi possível observar que os resíduos provenientes da poda da biomassa de Algabora obtiveram um maior PCS, bem como os valores em relação aos briquetes. Para efeito de comparação na Tabela 11 foram dispostos alguns valores de PCS estudados por outros autores, bem como os encontrados durante o estudo, com o intuito de utilização para combustíveis sólidos.

Tabela 11: Poder Calorífico Superior (MJ.Kg⁻¹)

Autor	Biomassa	PCS (MJ.Kg⁻¹)	
Pesquisa	Algaroba	18,93 <i>in natura</i>	18,58 briquete
	Ficus	16,63 <i>in natura</i>	15,79 briquete
	Castanhola	17,35 <i>in natura</i>	15,32 briquete
	Composto (PODA)	17,12 <i>in natura</i>	15,46 briquete
Carneiro Junior (2015)	Algaroba	16,33	
Pereira e Lima (2002)	Algaroba	20,65	
Silva (2012)	Castanhola	14,90	
Ponte et al. (2019)	Cana-de-açúcar	15,20	
Costa et al. (2019)	Macaúba	18,07	
	Pinus	21,28	
Cortez et al. (2008)	Média dos combustíveis sólidos de origem vegetal	15,70	
Marchese et al. (2018)	Cana-de-açúcar	16,70	
	Casca de pinhão	19,10	
	Casca de uva	16,40	
	Farelo de trigo	17,10	
	Serragem de madeira	16,90	
	Bagaço de Maça	17,80	
Silva et al. (2017)	Resíduo de Coco	19,30	
	Resíduo de Cacau	19,12	
	Resíduo de Dendê	17,05	

Cortez et al. (2008), que obteve 15,70 MJ.Kg⁻¹, abordou em seu estudo as médias do PCS de diversas espécies utilizadas como biomassa para fonte de energia e os valores encontrados na pesquisa estão próximos do percentual encontrado por ele, bem como pela literatura, inclusive para as mesmas biomassas.

Para a espécie Castanhola, o valor do PCS do briquete produzido durante o estudo foi de 15,79 MJ.Kg⁻¹, superior ao obtido por Cortez et al. (2008) e por Silva (2012) que produziu briquetes da mesma espécie e obteve o valor de 14,90 MJ.Kg⁻¹.

Os resultados do PCS do resíduo da poda da algaroba e dos briquetes por ela produzidos foram mais elevados que a média de espécies de madeiras realizada por Cortez *et al.* (2008). Porém, foram inferiores aos valores encontrados por Pereira e Lima (2002), com PCS médio de 20,65 para mesma biomassa.

Os valores de PCS obtidos por Marchese et al. (2018) foram oriundos da equação proposta por Demirbas et al. (1997) que consideram os valores de MV e CF presentes na biomassa. E estes teores estão semelhantes aos das biomassas do estudo em

questão, desde os valores de MV e CF, até os de PCS, mesmo sendo para biomassas de espécies diferentes.

De acordo com Garcia (2012), que trabalhou com combustíveis sólidos provenientes de biomassa e de carvão vegetal, abordou que a variação do PCS da biomassa ocorre entre 15 e 20 MJ.kg⁻¹ e para o carvão vegetal tem-se o PCS sendo acima de 29,71.MJ kg⁻¹, por estes apresentarem maiores quantidades de Carbono presentes em sua formulação. Os valores encontrados durante a pesquisa encontraram-se dentro da faixa de variação de PCS vista por Garcia et al. (2012).

6. CONCLUSÃO

Os resultados analíticos da composição imediata da biomassa residual da poda propiciam informações essenciais para saber se há viabilidade do seu processamento energético. Ao contemplar a respeito dos teores trabalhados na composição imediata houve conformidade entre os valores abordados pela literatura.

Vale salientar que os valores de umidade para os briquetes estão dentro do proposto por Rendeiro (2008) para processos de combustão.

Os teores de cinzas estão em acordo com a literatura, ressaltando que quanto menor este teor, menos inconvenientes em relação à incrustações e corrosões nos equipamentos combustivos ocorrerá. E, com o intuito de redestinar este material residual do processo de combustão direta, a partir do experimento de FRX percebeu-se a presença de elementos na composição destas cinzas que permitem apreciar a possibilidade de reaproveitamento na área de construção civil, na correção nutricional dos solos e até no tratamento de águas residuais.

Em relação ao material volátil, percebe-se que estão inclusos entre os teores encontrados na literatura, sendo acrescentado que estes não comprometem o poder calorífico da biomassa, mas sim demonstram uma alta reatividade no processo de combustão. Acerca dos valores de Carbono Fixo, estes pertencem ao que é proposto por literatura para fins de combustão direta, valendo-se que este parâmetro possui importância por tornar o consumo do combustível mais lento, ou seja, mais duradouro e eficiente.

Ao analisar a resistência à compressão pode-se perceber que os briquetes possuem baixos valores, não sendo recomendadas para usos industriais, mas sim para aplicação de fins comerciais e domésticos em processos combustivos.

Em confronto dos valores de PCS da pesquisa com os abordados em literatura, foi possível concluir que as biomassas, provenientes dos resíduos da poda arbórea do Município de João Pessoa, podem ser aproveitadas como biocombustível sólido em processos energéticos mais sustentáveis, destacando que os maiores valores de PCS foram derivados da biomassa da poda de algaroba, bem como do briquete deste.

Estudar o potencial da biomassa de espécies exóticas é de grande valia para perceber a viabilidade de seu emprego energético, principalmente no contexto em que o município de João Pessoa encontra-se: de disposição inadequada do material residual de sua arborização; E, com o reaproveitamento deste, ocorrerá uma concordância entre a Lei de nº 12.305 de agosto de 2010 com a realidade do município e as formas de tratamentos dos seus resíduos passíveis de tratamento energético.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar estudos da Análise térmica diferencial dos briquetes, podendo inferir o Índice de combustão de cada um deles.
- Realizar estudos de outras biomassas provenientes dos resíduos da poda da arborização do município.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J. V. DE; DURÉ, R. C. FLORA EXÓTICA INVASORA NA PARAÍBA: UMA ANÁLISE ECOLÓGICA E LEGISLATIVA. **Anais...**: do Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental e Sustentabilidade - Vol. 1, 2013.

ANTAL, M. J.; CROISSET, E.; DAI, X.; ALMEIDA, C. DE; MOK, W.S.; NORBERG, N.; RICHARD, J. R.; MAJTHOUB, M. A. High-yield biomass charcoal. **Energy & Fuels**, v. 10, n. 3, p. 652-658, 1996.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS -, **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**: 2018. Abrelpe, 2019.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS; PLASTIVIDA. Recuperação energética de resíduos sólidos urbanos. **Caderno Informativo**, Abrelpe, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 7222: **Concreto e argamassa: Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos**, Associação Brasileira de Normas Técnicas: Rio de Janeiro, 2011.

ASTM. D2015. **Test Method for Gross Calorific Value of Coal and Coke by the Adiabatic Bomb Calorimeter**, 2000.

ASTM. E1755. **Test Method for Ash in Biomass**, 2001.

ASTM. E872. **Test Method for Volatile Matter in the Analysis of Particulate Wood Fuels**, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8633: **determinação do poder calorífico superior**. Rio de Janeiro, 1984

BRASIL. **Lei nº 12.305, de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília: Diário Oficial da União, 2010.

BRASIL. **Lei Nº 7845, de 04 de agosto de 1995**. Autoriza a criação do projeto arborizar, e dá outras providências. 1995.

BRASIL. **Lei Ordinária Nº 13.631, de 12 de julho de 2018**. Dispõe sobre a campanha permanente de incentivo à arborização de ruas, avenidas, praças e jardins e adota outras providências. 2018.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. **Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca**. IPEF, n.16, p. 63-70, 1978.

BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G.; MURAMOTO, M.C.; COUTO, H.T.Z. **Estimativa da densidade de granel do carvão vegetal a partir de sua densidade aparente**. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. Circular Técnica n ° 150. 1982.

CARNEIRO JUNIOR, J. A. DE M. **Desenvolvimento experimental de um reator em batelada para torrefação de biomassa**. 2015. 73 f. (Dissertação.) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

CIESLINSKI, J. E. F. **Estudo da emissão e do controle dos gases e particulados provenientes da queima de biomassa**. 2014. 157 f. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2014.

CORTEZ, L.A.B.; LORA, E.E.S.; GOMEZ, O. **Biomassa para energia**. Campinas, SP: Unicamp, 2008.

COSTA, S. E. DE L.; SANTOS, R. C. DOS.; CASTRO, V. O; CASTRO, A. F. N. M.; MAGALHÃES, M. A. DE.; CARNEIRO, A. DE C. O.; SANTOS, C. P. DE S.; GOMES, I. R. F.; ROCHA, S. M. G. Briquettes quality produced with the macauba epicarp (*Acrocomia aculeata*) and *Pinus* sp. WOOD. **Rev. Árvore**, Viçosa , v. 43, n. 5, 2019.

DEMIRBAS, A. Physical properties of briquettes from waste paper and wheat straw mixtures – **Energy Conversion and Management**, v. 40, mar., 1997.

DEMIRBAS A. Carbonization ranking of selected biomass for charcoal, liquid and gaseous products. **Energy Conversion and Management**. v. 42, 2001.

DONATO, D. B.; SILVA, C. M. S. da; MAGALHAES, M. A. de; ARAÚJO JÚNIOR, A.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R. Propriedades de briquetes obtidos de finos de carvão vegetal. **Revista Ciência da Madeira**, v. 6, n. 2, set. 2015. ISSN 2177-6830. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/cienciadamadeira/article/view/5263/4283>. Acesso em: 29 dez. 2019.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional 2019** – Relatório Síntese: Ano base 2018 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2019.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2029** - Empresa de Pesquisa Energética e Ministério de Minas e Energia – MME. Brasília: EPE, 2019.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Uso da biomassa para a geração de energia** / Anderson Carlos Marafon... [et al.] – Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016.

EMLUR - Autarquia Especial Municipal de limpeza urbana de João Pessoa. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos–PMGIRS: Diagnóstico e Planejamento dos Serviços de Limpeza Urbana e Manejo de Resíduos Sólidos**. João Pessoa. v. 2, 2014. Revisado, 2019.

FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos: guia de orientação para governos municipais de Minas Gerais** / Fundação Estadual do Meio Ambiente. Belo Horizonte: FEAM, 2012.

GARCÍA, R.; PIZARRO, C.; LAVÍN, A. G.; BUENO, J. L. Characterization of Spanish biomass wastes for energy use. **Bioresource Technology**, v. 103, p. 249-258, 2012.

GOLDEMBERG, J. **Energia, meio ambiente e desenvolvimento**. Ed. Edusp. 234p. São Paulo. 1998.

GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciências e saúde coletiva**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 6, p. 1503-1510, 2012.

HENNE, R. A.; MARCA, M. A.; SCHVEITZER, B.; SCHEIN, V. A. S. Thermal behavior of forest biomass wastes produced during combustion in a boiler system. **Rev. Árvore**, Viçosa, v. 43, n. 1, e430108, 2019.

IONASHIRO, M. **Giolito: Fundamentos da Termogravimetria e Análise Térmica Diferencial e Calorimetria Exploratória Diferencial**, Giz Editorial, São Paulo, 2005.

JENKINS, B. M.; BAXTER, L. L.; MILES, T. R. Jr.; MILES, T. R. Combustion properties of biomass. **Fuel Processing Technology**, v. 54, p. 17-46, 1998.

KHAN, A., JONGA, W., JANSSENSB, P., SPLIETHOFF, H., **Biomass combustion in fluidized bed boilers: Potential problems and remedies**, Fuel Processing Technology. 21-50. 2009.

LOPES, V. R.; MUDRY, C. de S.; BETTONI, M. M.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C. Enraizamento de estacas caulinares de *Ficus benjamina* L. sob diferentes concentrações de ácido indolbutírico. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.12, n.3, p.179-183, May/June 2011.

LORA, E. E. S.; VENTURINI, O. J. Biocombustíveis. Rio de Janeiro: **Interciência**, v. 1, 2012.

MACEDO, L. A. **Influência da composição da biomassa no rendimento em condensáveis do processo de torrefação**. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais - Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

MACEDO, I. C.; NOGUEIRA, L. A. H. Biocombustíveis. Núcleo de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, **Cadernos NAE**, Brasília, 2005.

MARCHESE, L.; SOUZA, F. B. de; SOARES, D.; DOMENICO, M. D. **Avaliação do potencial combustível de biomassas residuais por termogravimetria**. 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, 2018.

MARTINS, C. H. O aproveitamento de madeiras das podas da arborização viária de Maringá/PR. **Revista Verde** (Mossoró – RN - Brasil), v. 8, n. 2, p. 257 - 267, abr – jun, 2013.

MELO, M. C. S.; NEVES, G. A.; MENEZES, R. R.; FERREIRA, H. C.; NÓBREGA, A. C. V.; MARINHO, E. P. Cal produzida a partir de cinza de biomassa rica em cálcio. **Cerâmica** 64 , [S. l.], 2018.

MEIRA, A. N. de. **Gestão de resíduos de arborização**. 2010. 179 f. Tese. (Doutorado) Doutorado em Recursos Florestais, com opção em Tecnologia de Produtos Florestais) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

MORTARI, D. A et al. Study of thermal decomposition and ignition temperature of bagasse, coal and their blends. **Thermal Engineering**, v. 9, p. 81–88, dez. 2010.

MOTTER, C. **Aproveitamento de finos de carvão vegetal para produção de briquetes de uso siderúrgico**. 22º Congresso Anual da ABM. Vitória, ES, Julho, 1979.

MCKENDRY, P. Produção de energia a partir de biomassa (parte 1): visão geral da biomassa. **Tecnologia Biorecurso**. v. 83, 2002.

MCTIC - MINISTÉRIO DE ESTADO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil, 4º edição**. MCTIC, n. 4, 2017.

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

PEREIRA, J. C. D.; LIMA, P. C. F. Comparação da qualidade da madeira de seis espécies de algarobeira para produção de energia. **Colombo**, n. 45, 2002.

PONTE, M. R.; GADELHA, A. M.T.; MACHADO, Y. DE L; LOPES, A. A. S.; MALVEIRA, J. Q.; MAZZETTO, S. E.; LOMONACO, D.; RIOS, M. A. DE S. Blendas de bagaço de cana-de-açúcar, podas de mangueira e cajueiro: caracterização das propriedades e investigação de seus potenciais energéticos. **Matéria (Rio J.)**, Rio de Janeiro, v. 24, n. 2, 2019.

PROTÁSIO, T.P.; ALVES, I.C.N.; TRUGILHO, P.F.; SILVA, V.O.; BALIZA, A.E.R. Compactação de biomassa vegetal visando à produção de biocombustíveis sólidos. **Pesquisa Florestal Brasileira**. v. 31, 2011,

QUIRINO, W. F. **Briquetagem de Resíduos Ligno-Celulósicos**. Circular Técnica do LPF, Brasília, v. 1, n. 2, p. 69 - 80, 1991.

QUIRINO, W. F. 1; VALE, A. T. DO; ANDRADE, A. P. A. DE; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. C. DOS S. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira**. nº 89, abril 2005.

RAMOS e PAULA, L. E. de; TRUGILHO, P. F.; REZENDE, R. N.; ASSIS, C. O.; BALIZA, A. E. R. Produção e avaliação de briquetes de resíduos lignocelulósicos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 66, p. 103-112, abr./jun. 2011.

RENDEIRO, G.; NOGUEIRA, M. F. M.; BRASIL, A. C. DE M.; CRUZ, D. O. DE A.; GUERRA, D. R. DA S.; MACÊDO, E. N. ICHIHARA, J. DE A. **Combustão e Gasificação de Biomassa Sólida: Soluções Energéticas para a Amazônia**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008.

RIBEIRO, N.da S. **Estudo termogravimétrico da combustão e oxidação de misturas carvão mineral-biomassa**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá. São Paulo, 2017.

RODRIGUES, D. S.; ALEXANDRINO, I. C. A.; SOUZA, M. A. C. De.; TONELI, J. T. de C. L.; ANTONIO, G. C. **Análise imediata de biomassas agrícolas: um estudo comparativo**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, 2019.

SEMAM - SECRETARIA MUNICIPAL DE MEIO AMBIENTE. **Plano de Arborização Urbana de João Pessoa 2012**. João Pessoa – Paraíba, 2012.

SILVA, D. A. da; YAMAJI, F. M.; BARROS, J. L.; RÓZ, A. L. da; NAKASHIMA, G. T. Caracterização de biomassas para a briquetagem. Floresta. **Revista Floresta**. Curitiba, PR, v. 45, n. 4, 2015.

SILVA, J. W. F.; CARNEIRO, R. A. F.; LOPES, J. M. Da biomassa residual ao briquete: viabilidade técnica para produção de briquetes na microrregião de Dourados-Ms. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.6, n.4, p. 624-646, 2016.

SILVA, A. G.; SANTOS, T. A. dos; BANDEIRA, M. L. S. de F.; OLIVEIRA, P. F. de. Estudo do processo de torrefação de resíduos de biomassas para fins energéticos. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 45, 2017.

SILVA, L. L. H. DA; OLIVEIRA, E. DE; 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, 2018.

SOUZA, F.; VALE, A.T. Densidade energética de briquetes de biomassa lignocelulósica e sua relação com os parâmetros de briquetagem. **Rev. Pesq. florestal brasileira**. v. 36, 2016.

TOLMASQUIM, M. T. Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil. **Estudos avançados**, São Paulo , v. 26, n. 74, p. 247-260, 2012

TOLMASQUIM, M. T. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. Empresa de Pesquisa Energética, Rio de Janeiro, 2016.

WILD, P.J.; DEN UIL, H.; REITH, J.H.; KIEL, J.H.A.; HEERES, H.J. Biomass valorisation by staged degasification: A new pyrolysis-based thermochemical conversion. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 85, p. 124–133, 2009.

VALE, A, T, do; MENDES, R, M.; AMORIM, M. R. S.; DANTAS, V. F. de S. Potencial energético da biomassa e carvão vegetal do epicarpo e da torta de pinhão manso (*Jatropha curcas*). **CERNE** [online]. vol.17, n.2, 2011.

VASSILEV, S. V. An overview of the organic and inorganic phase composition of biomass. **Fuel**, v.89, n.5, p. 1-33. 2011.

VASSILEV, S. V. An overview of the chemical composition of biomass. **Fuel**, v. 89, n. 5, p. 913–933, 2010.

XING, P. A comparative assessment of biomass ash preparation methods using X-ray fluorescence and wet chemical analysis **Fuel**, p.161-165, 2016.