

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

GABRIEL CHACON DE FRANÇA SOARES

BENEFICIAMENTO DO RESÍDUO DO COCO VERDE DA CIDADE DE
JOÃO PESSOA PARA PRODUÇÃO DE PÉLETES

JOÃO PESSOA - PB 2024

GABRIEL CHACON DE FRANÇA SOARES

**BENEFICIAMENTO DO RESÍDUO DO COCO VERDE DA CIDADE DE JOÃO
PESSOA PARA PRODUÇÃO DE PÉLETES**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à
Coordenação de Engenharia Química do Centro
de Tecnologia da Universidade Federal da
Paraíba – Campus I (UFPB) em cumprimento
aos requisitos para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Química.

Orientador(a): Prof^ª. Dr^ª. Sharline Florentino
de Melo Santos

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S676b Soares, Gabriel Chacon de França.
BENEFICIAMENTO DO RESÍDUO DO COCO VERDE DA CIDADE DE
JOÃO PESSOA PARA PRODUÇÃO DE PÉLETES / Gabriel Chacon
de França Soares. - João Pessoa, 2024.
48 f. : il.

Orientação: Sharline Florentino de Melo Santos.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Biomassa. 2. Coco verde. 3. João Pessoa. 4.
Péletes. 5. RSU. I. Santos, Sharline Florentino de
Melo. II. Título.

UFPB/CT/BSCT

CDU 66.01(043.2)

GABRIEL CHACON DE FRANÇA SOARES

**BENEFICIAMENTO DO RESÍDUO DO COCO VERDE DA CIDADE DE JOÃO
PESSOA PARA PRODUÇÃO DE PÉLETES**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à
Coordenação de Engenharia Química do Centro
de Tecnologia da Universidade Federal da
Paraíba – Campus I (UFPB) em cumprimento
aos requisitos para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Química.

Aprovado em 14 de outubro de 2024

BANCA EXAMINADORA:

Prof^ª. Dr^ª. Sharline Florentino de Melo Santos (Orientadora)
Universidade Federal da Paraíba – UFPB – Campus I

Prof^ª. Dr^ª. Nataly Albuquerque dos Santos
Universidade Federal da Paraíba – UFPB – Campus I

M. Sarah Ingrid dos Santos Silva
Universidade Federal da Paraíba – UFPB – Campus I

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais, Leonardo e Vivian, pelo apoio incondicional ao longo da minha graduação. Junto à minha irmã, Anna Laura, eles são meu lar, minha força e meu alicerce.

Agradeço à Rita pelo suporte; sem você, com certeza, já teria esquecido a cabeça em casa.

Sou grato à minha família, especialmente aos meus avós, tios, primos e, em particular, à Wilene, de quem espero um dia poder me espelhar e ser um pouco do que você é.

Agradeço aos meus amigos de infância, especialmente Pedro, Ana Rita, Carol e Natalia, que me acompanham nesta grande e louca jornada da vida.

Sou grato à Professora Dr^a Sharline por me aceitar duas vezes, como voluntário e orientando neste trabalho. Ela é um exemplo de professor com um olhar humano.

Agradeço à Dr^a Nataly pela oportunidade de ingressar na pesquisa científica e pelo apoio junto a Sarah, Thiago, Duda e Ruth, que foram fundamentais para o meu crescimento profissional e me fizeram companhia durante os dois anos como bolsista.

Agradeço a todos os pesquisadores do POLICOM da UPE, em especial ao auxílio recebido por Sérgio Peres, Eduardo e Alexandre na elaboração dos péletes.

Agradeço a todos os colegas e amigos que me acompanharam nos 6 anos na UFPB; sem vocês, a caminhada teria sido muito mais difícil. Em especial, agradeço à Luana Addobbati pela companhia e indicação, e a Isis, Gabriel, Luana “*milk*”, João Pedro, Bione, Vivian e Carol. Ao Gustavo, que é mais que um amigo, é um irmão, espero que esses 6 anos sejam apenas o começo da nossa amizade.

Agradeço a todos os técnicos, coordenadores de laboratório, funcionários e terceirizados que me auxiliaram durante minha jornada na UFPB e na elaboração desse trabalho, especialmente a Adna, Fernando, Jhonatas, Rafael, Hebert e Ângela pelas longas visitas para processar e analisar o coco.

Por fim, sou grato a todo o departamento de Engenharia Química e Química Industrial, ao pessoal da secretaria e a todos os professores que contribuíram para minha formação acadêmica. Em especial, agradeço aos professores Nagel, Fabiola, Ana Flávia, Vivian e Melânia, que deixaram uma marca indelével em minha trajetória, e espero que seus ensinamentos floresçam durante minha vida como bacharel em Engenharia Química.

RESUMO

A casca do coco verde (*Coco nucifera* L.) é um resíduo sólido urbano comum nas áreas litorâneas do Brasil, e seu descarte inadequado representa um desafio sanitário e ambiental. Em 2023, a Paraíba produziu cerca de 69 milhões de frutos de coco, resultando em um custo público aproximado de R\$ 11,9 milhões para o descarte desse resíduo, que poderia ser valorizado, mas acaba contribuindo para a poluição ambiental. Diante do crescente foco global na mitigação do aquecimento global e na transição para matrizes energéticas alternativas, os biocombustíveis provenientes de biomassas residuais estão ganhando destaque. A biomassa compactada, utilizada como combustível sólido, oferece vantagens como maior poder calorífico e densidade. No Brasil, a produção de biomassa compactada, como péletes e briquetes, ainda não é regulamentada, sendo frequentemente adotada a norma ISO 17225 para alcançar o mercado internacional. Este trabalho teve como objetivo estudar a viabilidade da produção de péletes a partir do resíduo do coco verde em João Pessoa, visando o mercado internacional. A revisão bibliográfica realizada entre 2007 e os dias atuais revelou a escassez de dados sobre o consumo de coco verde na cidade, sendo o dado mais robusto de 2007, o que dificulta a implementação de ações de sustentabilidade e o aproveitamento desses resíduos. As curvas termogravimétricas em atmosfera sintética mostraram o comportamento esperado para o coco, com três fases de degradação. Os resultados de umidade (9,7%), cinzas (4,0%) e poder calorífico inferior (PCI) de $15,68 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ estão em conformidade com os parâmetros da ISO. No entanto, os péletes obtidos por prensa de empelotamento apresentaram resultados insatisfatórios: comprimento (12,26 mm), diâmetro (9,97 mm) e densidade a granel ($331,789 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) não atenderam aos padrões da ISO, afetando negativamente a densidade energética ($5202,45 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$), que foi significativamente inferior ao de outras publicações sobre péletes. Estudos futuros são essenciais para aplicar metodologias e análises conforme a ISO 17225-6, utilizando uma peletizadora industrial para validar o uso do resíduo do coco verde de João Pessoa na produção de péletes de qualidade para o mercado internacional.

Palavras-chave: Biomassa; Coco verde; João Pessoa; Péletes; RSU.

ABSTRACT

The green coconut husk (*Coco nucifera* L.) is a common municipal solid waste in the coastal areas of Brazil, and its improper disposal poses a sanitary and environmental challenge. In 2023, Paraíba produced approximately 69 million coconut fruits, resulting in an estimated public cost of R\$ 11.9 million for the disposal of this waste, which could be valued but instead contributes to environmental pollution. In light of the growing global focus on mitigating climate change and transitioning to alternative energy matrices, biofuels derived from residual biomass are gaining prominence. Compacted biomass, used as solid fuel, offers advantages such as higher calorific power and density.

In Brazil, the production of compacted biomass, such as pellets and briquettes, is still not regulated, and ISO 17225 is often adopted to reach the international market. The objective of this study was to investigate the feasibility of producing pellets from the green coconut waste in João Pessoa, aiming for the international market. The literature review conducted from 2007 to the present revealed a lack of data on green coconut consumption in the city, with the most robust data dating back to 2007, which hinders the implementation of sustainability actions and the utilization of this waste.

The thermogravimetric curves in a synthetic atmosphere showed the expected behavior for coconut, presenting three phases of degradation. The results for moisture (9.7%), ash (4.0%), and lower heating value (LHV) of $15.68 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ comply with ISO parameters. However, the pellets obtained through the pelleting press showed unsatisfactory results: length (12.26 mm), diameter (9.97 mm), and bulk density ($331.789 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$) did not meet ISO standards, negatively affecting the energy density ($5202.45 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-3}$), which was significantly lower than that of other pellet publications.

Future studies are essential to apply methodologies and analyses in accordance with ISO 17225-6, using an industrial pelletizer to validate the use of green coconut waste from João Pessoa in the production of quality pellets for the international market.

Key words: Biomass; Green Coconut; João Pessoa; Pellets; MSW.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Valor de produção nacional do coco entre 2019 e 2023.....	13
Figura 2 – Mapa da Paraíba com a arrecadação da produção de coco por cidade em mil reais no ano de 2023.....	14
Figura 3 – Situação dos municípios da Paraíba quanto a disposição final dos Resíduos Sólidos Urbanos.	16
Figura 4 – Recorte da situação dos municípios da Paraíba quanto a disposição final dos Resíduos Sólidos Urbanos: João Pessoa.	16
Figura 5 – Unidades de disposição final e suas abrangências no estado da Paraíba.	17
Figura 6 – Composição gravimétrica dos resíduos domiciliares de João Pessoa no ano de 2014.....	17
Figura 7 – Resíduo do coco verde na cidade de João Pessoa.....	19
Figura 8 – Coleta dos resíduos do coco verde na praia de Cabo Branco na cidade de João pessoa por colaboradores da EMLUR.	19
Figura 9 – Distribuição por tipo de biomassa utilizada na fabricação de biomassa compactada no Brasil no ano de 2019.....	22
Figura 10 – Distribuição Regional de Industrias de Péletes no Brasil em 2017.	23
Figura 11 – Partes da ISO 17725: 2021 e as normas de análise.	25
Figura 12 – Resíduo de coco verde cortado exposto ao sol.	27
Figura 13 – Processamento do Resíduo do coco verde.....	28
Figura 14 – Trituração e Peneiramento do pó do resíduo de coco.....	28
Figura 15 – Produção do pélete do resíduo do coco verde	289
Figura 16 – Levantamento do consumo de coco verde na cidade de João Pessoa pela EMLUR no ano 2007.	32
Figura 17 – Levantamento do consumo de coco verde na cidade de João Pessoa por Santos no ano 2014.	33
Figura 18 – Levantamento até o mês de setembro do consumo de coco verde na cidade de João Pessoa por Emlur no ano 2018.	33
Figura 19 – TG/DTG do resíduo da casca do coco verde.	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Seleção das principais cidades por valor de arrecadação do coco na Paraíba.	14
Tabela 2 – Recorte do relatório do SINIR+ do resumo de informações do município de João Pessoa no ano de 2019.	18
Tabela 3 – Recorte da norma ISO 17225-6:2021 para péletes de biomassas não-lenhosas.	26
Tabela 4 – Perda de massa (%) por degradação térmica da amostra do resíduo do coco verde.....	35
Tabela 5 – Dados obtidos do pélete e do pó do resíduo do coco verde e sua comparação com o recorte da norma ISO 17225-6.....	36

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GERAL	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. REFERENCIAL TEÓRICO	13
3.1 COCO VERDE	13
3.2 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	15
3.2.1 Resíduo do coco verde	15
3.3 BIOMASSAS COMPACTADAS	20
3.3.1 Produção de péletes	22
3.4 NORMAS E ESPECIFICAÇÕES PARA ANÁLISE DE BIOMASSAS COMPACTADAS	24
3.4.1 ISO 17225-6: Péletes de biomassa não-lenhosa	25
4. METODOLOGIA	27
4.1 LEVANTAMENTO SOBRE CONSUMO DE COCO VERDE EM JOÃO PESSOA	27
4.2 PROCESSAMENTO FÍSICO DO RESÍDUO DE COCO VERDE	27
4.3 PERFIL TÉRMICO DA BIOMASSA RESÍDUAL DO COCO VERDE	28
4.4 ELABORAÇÃO DO PÉLETE DO RESÍDUO DO COCO VERDE	29
4.5 CARACTERIZAÇÃO DO PÓ, PÉLETE E COMPARAÇÃO COM VALORES DA ISO 17225.	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5.1 CONSUMO DE COCO VERDE EM JOÃO PESSOA	32
5.2 TG DO PÓ DO COCO VERDE	34
5.3 PÉLETE DO RESÍDUO DO COCO VERDE: COMPARAÇÃO COM PADRÕES DA ISO 17225-6	35
6. CONCLUSÃO	38
ESTUDOS FUTUROS	39
REFERÊNCIAS	40
APÊNDICE A – UMIDADE E CINZAS DO PÓ DO COCO.	46
APÊNDICE B – COMPRIMENTO, DIAMÊTRO e DENSIDADE GRANELDO PÉLETE e PÓ.	47

1. INTRODUÇÃO

A busca global por alternativas aos combustíveis fósseis tem impulsionado avanços significativos em pesquisa e inovação, visando mitigar as preocupações relacionadas às mudanças climáticas. Nesse cenário, os biocombustíveis, derivados de biomassa, emergem como uma solução ecológica e sustentável. Entre suas principais vantagens estão a diversificação da matriz energética, a redução da dependência de combustíveis fósseis, a diminuição da emissão de poluentes, o reaproveitamento de resíduos, e sua versatilidade, podendo ser comercializados nas formas sólida, líquida e gasosa (Miranda et al., 2021).

“No Brasil e no mundo, resíduos orgânicos, que antes tinham como destino final lixões ou aterros, vem se mostrando uma interessante fonte de biomassa para uso energético, devido a grande quantidade gerada por ano e aos problemas ambientais associados ao descarte delas.” (Lazarri et al., 2017).

Segundo o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), no ano de 2020 a produção de coco verde (*Cocos nucifera* L.) no Brasil correspondeu a 4,5% da produção mundial, ficando atrás da Indonésia (30,1%), Filipinas (24,7%) e Índia (19,0%).

No Brasil, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no ano de 2023, foram produzidos cerca de 1,93 bilhões de frutos em todo o país, destes a grande parte é produzida da região Nordeste.

O consumo de água de coco verde é associado à saúde e bem-estar nas áreas litorâneas do Brasil, incluindo João Pessoa, capital da Paraíba, que em 2018 registrou uma média diária de 4.000 cocos consumidos (Santos et al., 2018). Contudo, cerca de 80% do peso do coco é descartado como resíduo e enviado a aterros sanitários, criando desafios para a gestão de resíduos e gastos públicos.

A biomassa residual de coco possui baixo poder calorífico, alta umidade e baixa densidade, portanto, não é utilizada como fonte energética no Brasil, necessitando de métodos de beneficiamento. Entretanto, a biomassa compactada, encontrada na forma de péletes e briquetes, não possui tais problemas, pois tem baixa umidade, maior densidade e maior poder calorífico (Oliveira, 2013; Rangel et al., 2018).

Por mais, que já existam indústrias de produção de péletes e briquetes no Brasil há muitos anos, ainda não existem normas específicas para caracterização e parâmetros de qualidade para biomassa compactada. A maioria dos estudos sobre o tema adapta normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) voltadas para o carvão vegetal e segue

normas internacionais, como a norma ISO 17225 para biomassa compactada (Embrapa, 2012; Miranda et al., 2015).

Diante desse cenário e demandas, a pesquisa que foi desenvolvida nesse trabalho teve como objetivo estudar a viabilidade de utilização do resíduo de coco verde produzido na cidade de João Pessoa para a produção de péletes, analisando e comparando com os padrões de qualidade internacionais da ISO 17225.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o potencial da biomassa compactada em forma de pélete, proveniente do resíduo de coco verde da cidade de João Pessoa, como uma alternativa energética sustentável e com padrão de qualidade internacional.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar levantamento investigativo de dados nos órgãos públicos e publicações sobre o consumo de coco verde em João Pessoa;
- Processar o resíduo do coco verde;
- Obter o perfil térmico da biomassa através da análise de TG/DTG;
- Produzir o pélete do pó do resíduo do coco verde;
- Caracterizar o pó e o pélete obtido e comparar com os parâmetros compilados da ISO 17225-6.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 COCO VERDE

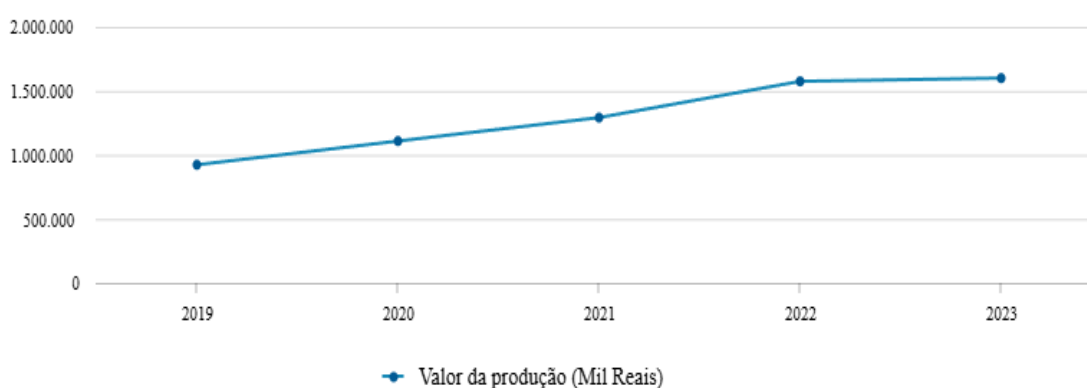
O coco (*Cocos nucifera* L.), foi introduzido no Brasil através da Bahia, durante a invasão portuguesa no início no século XVI, recebendo então a denominação coco-da-baía, expandiu-se inicialmente pelo litoral nordestino, onde se encontra seus principais produtores nacionais, Ceará, Bahia e Sergipe. Posteriormente, foi disseminado para todo o país, com exceção do sul (Brainer, 2018).

O Brasil apresenta uma peculiaridade em relação ao cenário mundial, quanto destino comercial dos derivados do coco. Enquanto mundialmente o coco é conhecido como uma oleaginosa, sendo processado majoritariamente na forma de coco seco para produção de óleo e outros produtos, no Brasil, a produção se destina à comercialização *in natura* ou na forma de produto industrializado, como o coco-ralado, leite de coco ou água de coco (Rocha; Ferreira; Garcia, 2022).

Devido a suas propriedades nutricionais, além do gosto adocicado, a água de coco destaca-se no mercado nacional e internacional, sendo o Brasil um dos principais produtores da versão envasada do produto, em 2021 produziu cerca de 157 milhões de litros, além de um consumo de 740 mL por habitante naquele ano. (ABIR, 2021).

Segundo dados do IBGE, a produção nacional de coco no ano de 2023, gerou cerca de 1,9 bilhões de frutos, gerando um valor de produção de 1,61 bilhões de reais. É possível observar na Figura 1, o aumento da arrecadação nos últimos quatro anos, representando um crescimento no cenário nacional.

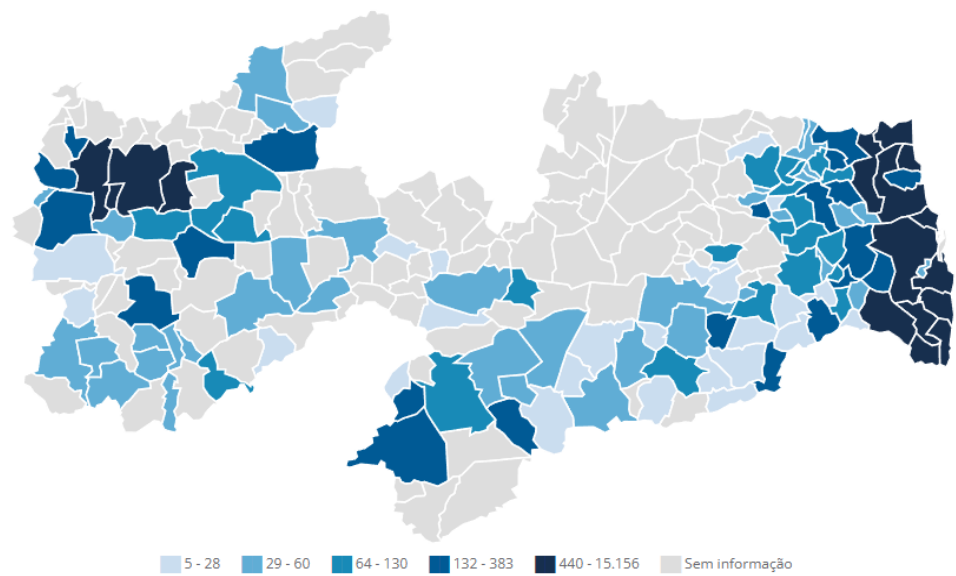
Figura 1 – Valor de produção nacional do coco entre 2019 e 2023.



Fonte: IBGE (2023).

Na Paraíba, foram produzidos 69 milhões de frutos, sendo possível observar na Figura 2, os maiores arrecadadores se localizando no litoral do estado, tendo os de maior destaque expostos na Tabela 1.

Figura 2 – Mapa da Paraíba com a arrecadação da produção de coco por cidade em mil reais no ano de 2023.



Fonte: IBGE (2023).

Tabela 1 – Seleção das principais cidades por valor de arrecadação do coco na Paraíba.

Cidade da Paraíba	Valor de produção (Mil Reais)
Lucena	15.156
Santa Rita	14.700
Pitimbu	7.700
Mamanguape	4.165
Conde	2.640
João Pessoa	600

Fonte: Adaptado do IBGE (2023).

Segundo Silveira (2008), o peso médio do resíduo do coco verde gerado após o consumo de água é em média 1,5 kg por unidade. Então, no Brasil a partir dos dados do IBGE no ano de 2023, foi estimada a produção de cerca de 2,85 bilhões de quilos do resíduo do coco naquele ano. Já na Paraíba, a produção estimada foi de cerca de 103,5 milhões de quilos.

3.2 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

De acordo com o Ministério de Meio Ambiente e Mudança do Clima do Brasil (MMA), Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) são materiais, objetos e substâncias descartadas da atividade humana, tendo sua origem nas residências, no comércio, na indústria e no saneamento, que necessitam de destinação adequada. Sendo a gestão deles, um desafio ambiental e de saúde pública.

No Brasil em 2010, foi instituída a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) pela Lei nº 12.305/2010. Essa lei é de grande importância para a dinâmica processual dos resíduos sólidos e em especial dos resíduos sólidos urbanos (Leite et al., 2021 *apud* Brasil, 2010).

Os princípios norteadores da política nacional dos resíduos sólidos, se baseiam na não geração, redução e na inclusão dos resíduos gerados na cadeia produtiva de forma sustentável (Leite et al., 2021 *apud* Lino et al., 2013).

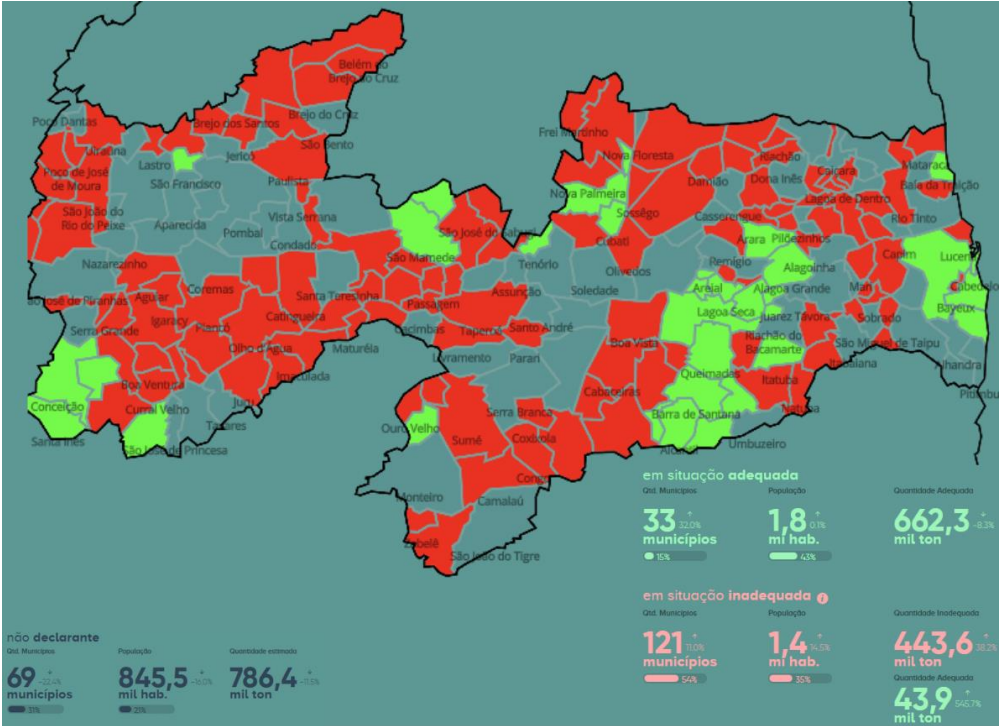
Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre a gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR+), no ano de 2019, apenas 37% dos municípios estão em situação adequada em relação a disposição final de seus resíduos, sendo estes ocupados por 61% da população nacional.

Além disso, apenas 54% dos municípios são atendidos por aterros sanitários, representando ainda uma realidade onde 28% dos municípios tem como disposição final os lixões.

Outro desafio para a gestão pública é o Índice de Recuperação de Resíduos (IRR), que mede a proporção de resíduos sólidos urbanos destinados à reutilização, reciclagem e recuperação energética em relação ao total gerado. Segundo o relatório, o IRR alcançou apenas 1,65% no Brasil.

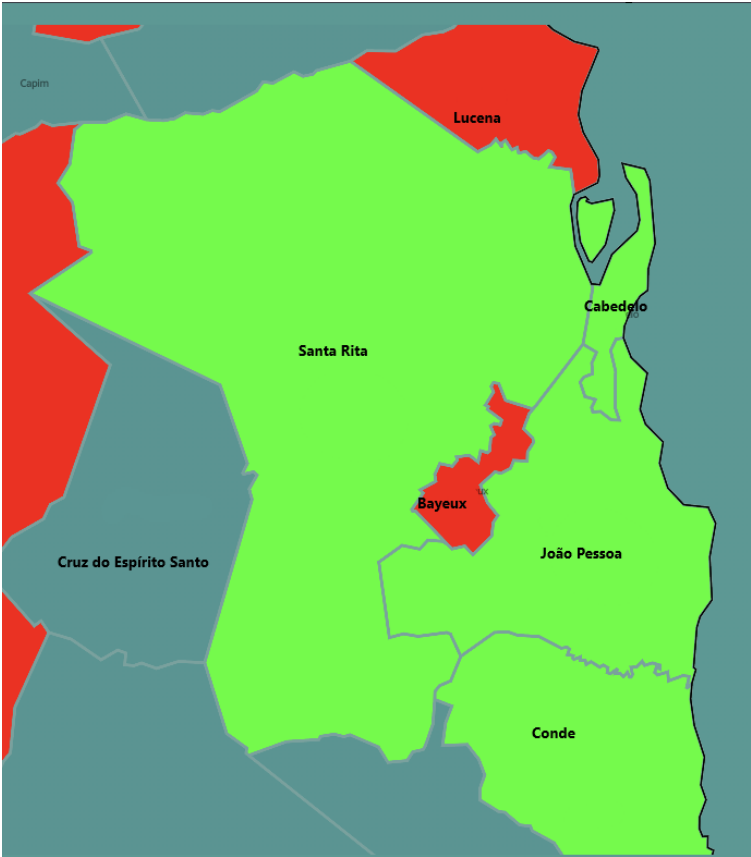
No relatório SINIR+ de 2019, a Paraíba apresentou dados alarmantes, como mostrado nas Figuras 3, 4 e 5. Apenas 15% dos municípios estão em situação adequada, simbolizados pela cor verde, abrangendo 43% da população. Além disso, apenas 25% dos municípios destinam resíduos a aterros sanitários, enquanto 63% ainda utilizam lixões. Apresentou também, valor do IRR de 1,4%, sendo inferior à média nacional.

Figura 3 – Situação dos municípios da Paraíba quanto a disposição final dos Resíduos Sólidos Urbanos.



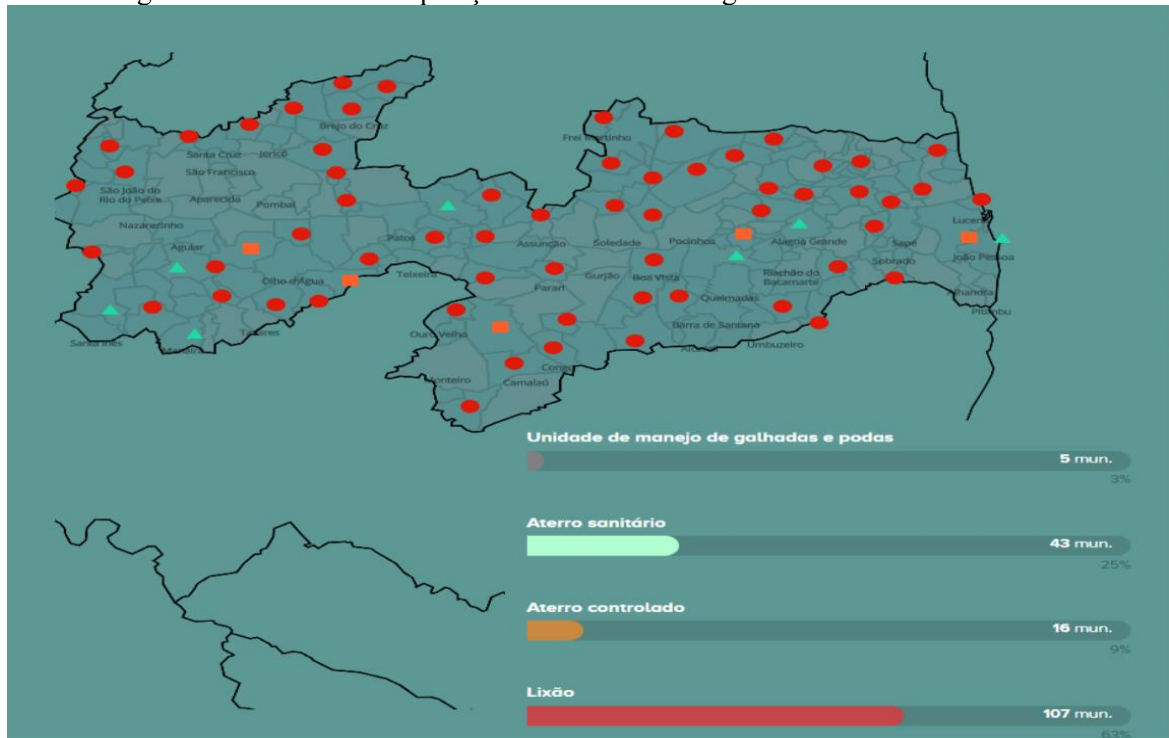
Fonte: SINIR + (2019).

Figura 4 – Recorte da situação dos municípios da Paraíba quanto a disposição final dos Resíduos Sólidos Urbanos: João Pessoa.



Fonte: SINIR + (2019).

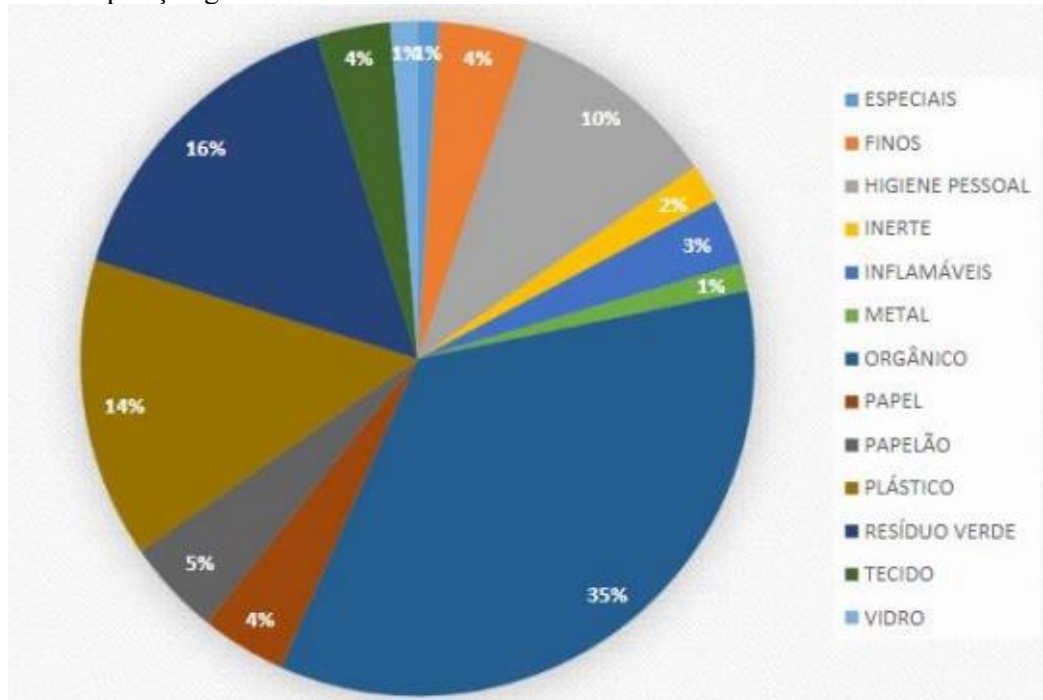
Figura 5 – Unidades de disposição final e suas abrangências no estado da Paraíba.



Fonte: SINIR+ (2019).

No ano de 2014, João Pessoa apresentou cerca de 51% dos resíduos sólidos urbanos como material orgânico, como apresentado na Figura 6 (Silva, 2019 *apud* PMJP, 2014)

Figura 6 – Composição gravimétrica dos resíduos domiciliares de João Pessoa no ano de 2014.



Fonte: Silva (2019 *apud* PMJP, 2014).

No relatório SINIR+ de 2019, João Pessoa apresentou resultados positivos em comparação ao cenário nacional, como mostrado na Tabela 2 e na Figura 5. A cidade está em situação adequada, destinando integralmente seus resíduos ao Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa, localizado no bairro de Mussurê. Esse aterro também recebe resíduos de municípios vizinhos, como Bayeux, Cabedelo, Santa Rita, Conde e Alhandra. Além disso, apresentou um IRR de aproximadamente 4,6%, superior à média estadual e nacional.

Tabela 2 – Recorte do relatório do SINIR+ do resumo de informações do município de João Pessoa no ano de 2019.

Município da Paraíba	João Pessoa
IRR	4,57%
Geração de RSU	256.138 t
Tratamento	11.712 t
Aterro Sanitário	322.926 t
Lixão/Aterro Controlado	0 t

Fonte: Adaptado de SINIR+ (2019).

Embora o relatório de resíduos sólidos urbanos de João Pessoa apresente perspectivas positivas sobre o destino final nos aterros sanitários, os resíduos orgânicos, aproximadamente 51% do total, geram problemas ambientais. “O confinamento desses resíduos resulta em biodegradação anaeróbia, produzindo biogás composto por CO₂ e CH₄ (gases de efeito estufa), gerando lixiviados com um potencial poluidor cerca de 25 vezes maior que o do esgoto doméstico” (Leite *et al.*, 2021).

Para evitar o acúmulo de resíduos urbanos, a ocupação desnecessária dos aterros, a geração de poluentes pelo soterramento e o aumento de gastos públicos com a coleta, é essencial adotar ações de sustentabilidade que promovam o beneficiamento e a criação de novos produtos a partir desses materiais.

3.2.1 Resíduo do coco verde

Segundo a Embrapa (2012), 70% do lixo gerado no litoral dos grandes centros urbanos do Brasil, seja composto por cascas de coco verde. Em João Pessoa, essa realidade não é diferente, como possível visualizar na Figura 7, é possível observar com grande facilidade ao redor da cidade, situações de acúmulo de casca de coco, gerando riscos à saúde pública, por oferecem foco de proliferação de pragas urbanas, como ratos e insetos.

Figura 7 – Resíduo do coco verde na cidade de João Pessoa.



Fonte: Autor (2024).

Os resíduos coletados pela Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana (EMLUR), responsável pela limpeza e coleta em João Pessoa, são direcionados ao aterro sanitário, conforme ilustrado na Figura 8. “A casca do coco verde, por sua vez, é um material de difícil decomposição, levando mais de oito anos para se decompor” (Carrijo *et al.*, 2002). Enquanto está nos aterros, o material passa por fermentação anaeróbia, contribuindo assim para a poluição ambiental.

Figura 8 – Coleta dos resíduos do coco verde na praia de Cabo Branco na cidade de João Pessoa por colaboradores da EMLUR.



Fonte: Prefeitura de João Pessoa (2023).

Em 2019, o estado da Paraíba gastou 95 milhões de reais com a coleta de resíduos sólidos urbanos (RSU), a um custo de aproximadamente 115 reais por tonelada (SNIR+, 2019). Com base na estimativa de produção de resíduos de coco em 2023, os gastos públicos para o

manejo desse resíduo no estado da Paraíba foram de aproximadamente 11,9 milhões de reais naquele ano.

A problemática dos resíduos de coco verde tem incentivado pesquisas globais para desenvolver novos produtos a partir do seu beneficiamento. Há publicações que exploram o uso tanto da fibra quanto do pó resultante do processamento físico desse resíduo.

Os resíduos estão sendo utilizados como substrato agrícola, biorremediação de solos e biosorção de metais pesados (Mattos *et al.*, 2011; Sousa *et al.*, 2007). Reforço em materiais, como isolante térmico, acústico e matriz polimérica (Mattos *et al.*, 2011; Vale *et al.*, 2006). Produção de mantas, telhas ecológicas, vasos, placas, bastões e artesanato (Bonamone, 2019).

Por fim, o resíduo de coco verde vem sendo aproveitado na produção de biocombustíveis, fontes de energia renováveis que se apresentam como uma alternativa ecológica e sustentável aos combustíveis fósseis, devido à grande quantidade de resíduos gerados e a diminuição dos gases de efeito estufa (GEE).

“Entre as opções de biocombustíveis, as biomassas compactadas, como os péletes e briquetes surgem como solução aos resíduos da silvicultura, agricultura ou uma combinação de ambos” (Miranda *et al.*, 2015).

3.3 BIOMASSAS COMPACTADAS

As atividades voltadas a agricultura e silvicultura, representam 27,4% do Produto Interno Bruto (PIB) no Brasil (CEPEA, 2021). Uma das formas de solucionar os problemas gerados na produção dos resíduos dessas atividades, é a partir da compactação das biomassas residuais, ou seja, produção de sólidos densificados, com alta concentração de energia e baixa umidade, denominados como péletes ou briquetes (Silva *et al.*, 2015).

De acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) (MME; EPE, 2024), a principal fonte de energia utilizada no Brasil em 2023 foi a biomassa, representando cerca de 32,7%. Essa porcentagem inclui biomassa de cana-de-açúcar, lenha, carvão vegetal, licor preto, biodiesel e outras fontes de biomassa.

Apesar da perspectiva positiva no ramo, com exceção do bagaço de cana-de-açúcar, a biomassa residual de atividades agrícolas ainda é subutilizada, onde na maioria das vezes é deixada para decomposição natural, sem aproveitamento de suas potencialidades como fonte energética. (Embrapa, 2012)

“Devido à baixa densidade e alta umidade dos resíduos lignocelulósicos, são necessários processos industriais para reduzir a fração de água e concentrar ou compactar esses materiais em formas como pastilhas, briquetes e péletes” (Batista, 2021). Esse tratamento melhora a logística de transporte, estocagem e manuseio, além de otimizar o processo químico de combustão.

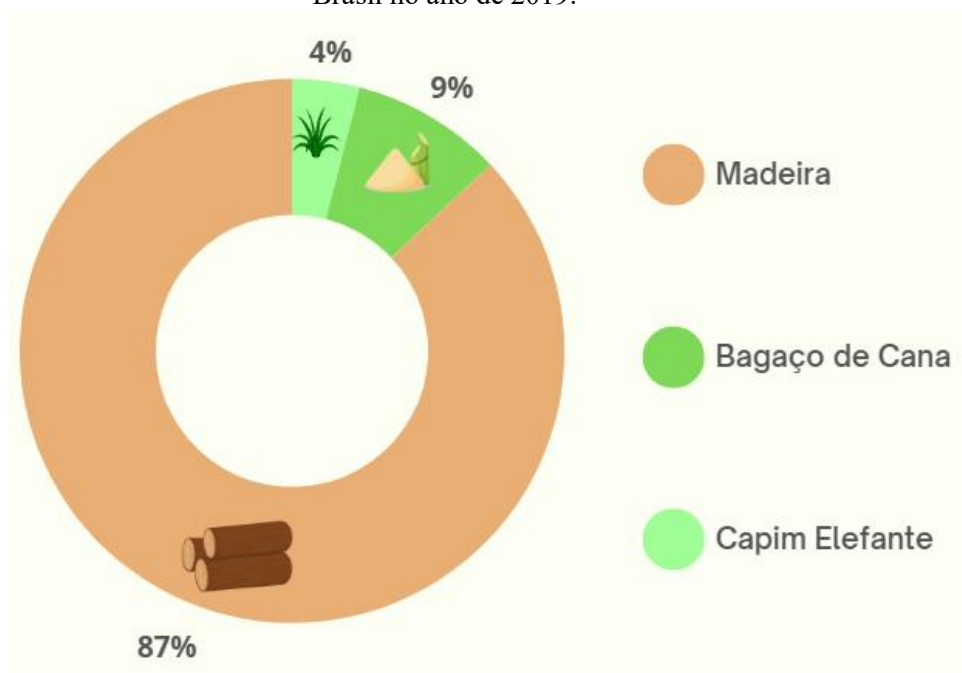
A principal diferença entre péletes e briquetes, está em vários fatores. No formato, os péletes são cilindros de 6 a 16 mm de diâmetro e 25 a 30 mm de comprimento, enquanto os briquetes são blocos maiores, com mais de 50 mm de diâmetro e 250 a 400 mm de comprimento. Em relação ao processo de fabricação, péletes são produzidos por prensas peletizadoras, enquanto briquetes utilizam prensas briquetadeiras, que operam por pressão ou extrusão. Devido à diversidade e complexidade das biomassas, adaptações nos equipamentos são frequentemente necessárias, feitas em escala piloto ou diretamente na planta (Embrapa, 2012).

Péletes e briquetes são combustíveis sólidos utilizados tanto na indústria, em caldeiras e sistemas de aquecimento, quanto em padarias, restaurantes, pizzarias, hotéis e residências, em fornos, lareiras e churrasqueiras. Segundo Bhattacharya (2002), os péletes são mais comuns em países desenvolvidos, devido à sua compatibilidade com sistemas automáticos de aquecimento, mas exigindo fogões e caldeiras específicos. Por outro lado, os briquetes têm uso semelhante à lenha tradicional, porém requerem alimentação manual.

Durante o preparo de biomassas compactadas, alguns produtores utilizam agentes ligantes, como lignossulfonato, devido à baixa lignina na matéria-prima ou limitações nos equipamentos, como pressão e temperatura. No entanto, seu uso é restrito por normas, pois podem reduzir o poder calorífico e aumentar as emissões de monóxido de carbono (Ahn *et al.*, 2014; Tarosov; Shahi; Leitch, 2013).

Segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa (ABIB) no ano de 2019, no Brasil, existiam 73 empresas produtoras de biomassa compactada. Como demonstrado na Figura 9, das empresas avaliadas, 87% utilizam resíduo de madeira, 9% bagaço de cana e 4% capim elefante (Moraes *et al.*, 2017).

Figura 9 – Distribuição por tipo de biomassa utilizada na fabricação de biomassa compactada no Brasil no ano de 2019.



Fonte: Adaptado de ABIB (2019).

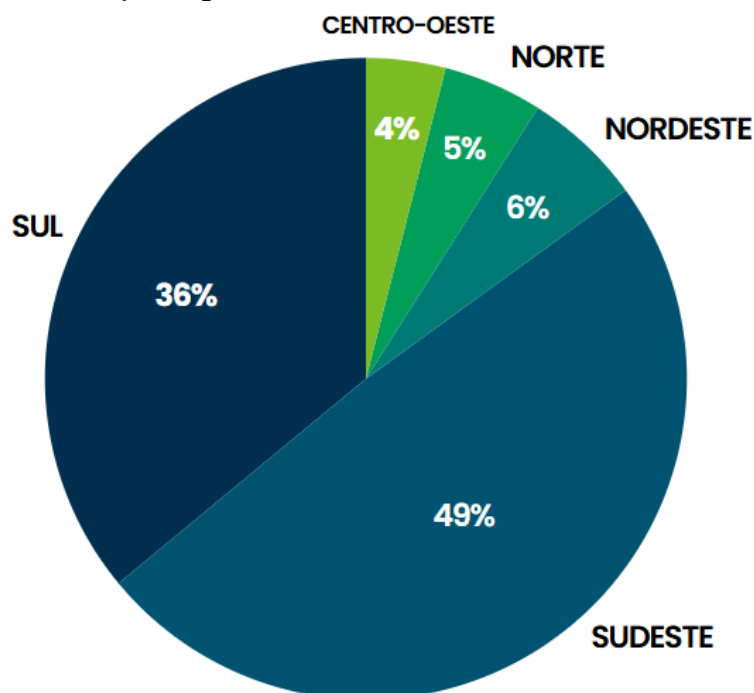
3.3.1 Produção de péletes

Segundo Garcia (2018), o consumo de péletes no mundo tem crescido exponencialmente, saindo de 15 milhões de toneladas em 2010, para 26 milhões em 2015 e com projeções de 80 milhões de toneladas em 2025.

No Brasil, a produção de péletes, segundo a ABIB, passou de 61,5 mil toneladas em 2013, para 504 mil toneladas em 2018. Entretanto, a produção é ainda pouco competitiva no mercado mundial, devido à falta de infraestrutura, baixa produtividade, necessidade de importação de equipamentos, altos juros e carga tributária (Bernardo *et al.*, 2022).

Segundo Moraes *et al.* (2017), as principais indústrias produtoras de péletes no Brasil estão situadas na região sul e sudeste do país, sendo possível visualizar na Figura 10. As duas regiões são as mais desenvolvidas no segmento, possuindo cerca de 85% das indústrias de péletes.

Figura 10 – Distribuição Regional de Industrias de Péletes no Brasil em 2017.



Fonte: Adaptado de Moraes (2017).

Na Paraíba, de acordo com levantamento feito na plataforma Econodata, que se especializa em prospecção B2B com uma ampla base de dados de empresas no Brasil, não foram encontradas indústrias do ramo de pellets ou "*pellet*". A aquisição desse produto na região é realizada por meio de revendedores locais. Essa informação destaca a ausência de fábricas dedicadas à produção de pellets na Paraíba, o que pode implicar na dependência de fornecedores externos para atender à demanda local.

O Brasil apresenta várias vantagens na produção de pellets, sendo o quarto maior parque de serrarias do mundo e ocupando a décima primeira posição na produção de papel e celulose. Os resíduos dessas atividades podem ser aproveitados na fabricação de pellets. Além disso, conforme Tavares e Tavares (2015), a principal fonte de energia do país é renovável e de baixo custo, proveniente de hidrelétricas. Isso significa que o Brasil não depende da produção de pellets para a geração de energia, mesmo que o país consuma esses biocombustíveis em algumas atividades. Portanto, a produção excedente de pellets poderia ser direcionada para exportação.

Para entrar no mercado de exportação, onde a Europa é o principal consumidor e produtor de pellets, o Brasil deve buscar certificações de qualidade internacionais. Essas certificações são fundamentais para garantir a aceitação dos produtos brasileiros no mercado europeu, que exige altos padrões de qualidade e sustentabilidade. Além disso, obter essas

certificações pode aumentar a competitividade dos péletes brasileiros, facilitando o acesso a novos mercados e oportunidades de exportação.

3.4 NORMAS E ESPECIFICAÇÕES PARA ANÁLISE DE BIOMASSAS COMPACTADAS

Devido à influência das propriedades químicas, físicas e mecânicas na qualidade de briquetes e péletes, é essencial estabelecer normas técnicas que definam métodos de análise e classificação de suas propriedades físicas. Além disso, a padronização dos produtos garante uniformidade e abre novas perspectivas, beneficiando tanto produtores quanto consumidores de biomassas compactadas (Dias *et al.*, 2012).

Segundo Rangel *et al.* (2018), o Brasil, ainda não possui normas específicas para análise de péletes e briquetes, sendo comum a adaptação de normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) como a NBR 6922 que trata ensaios físicos, determinação de massa específica e densidade a granel para o carvão vegetal. Entretanto, esses métodos não são aceitos no mercado externo.

No mundo, diversos países elaboraram ao longo dos anos, normas específicas para padronizar as biomassas compactadas, como as DIN da Alemanha, as ÖNORM da Áustria, as SS da Suécia, CTI da Itália e a ASTM dos Estados Unidos da América (Embrapa, 2012; Rangel *et al.*, 2018).

Como a Europa é o maior mercado consumidor e importador de pelétes, em 2014 foi adotada uma norma internacional que unificou as normas existentes, visando atender aos requisitos dos países importadores (Quéno *et al.*, 2019). Atualmente, para garantir certificação e padrões de qualidade, utiliza-se a ISO 17225, que apresenta divisões, especificidades e metodologias de análise, como ilustrado na Figura 11.

Figura 11 – Partes da ISO 17725: 2021 e as normas de análise.

ISO 17725 : 2021

ISO 17725-1 [Classificação geral de biocombustíveis sólidos.](#)

ISO 17725-2 [Péletes de madeira.](#)

ISO 17725-3 [Briquetes de madeira.](#)

ISO 17725-4 [Cavacos de madeira.](#)

ISO 17725-5 [Madeira para queima.](#)

ISO 17725-6 [Péletes de biomassa não-lenhosa.](#)

ISO 17725-7 [Briquete de biomassa não-lenhosa.](#)

ISO 17725-8 [Cavacos de madeira para uso industrial.](#)

ISO 17725-9 [Péletes de madeira para uso industrial.](#)

ISO 16948: Biocombustíveis sólidos — Determinação do teor total de carbono, hidrogênio e nitrogênio.

ISO 16968: Biocombustíveis sólidos — Determinação de elementos menores.

ISO 16994: Biocombustíveis sólidos — Determinação do teor total de enxofre e cloro.

ISO 17828: Biocombustíveis sólidos — Determinação da densidade a granel.

ISO 17829: Biocombustíveis sólidos — Determinação do comprimento e diâmetro dos pellets.

ISO 17830: Biocombustíveis sólidos — Distribuição do tamanho das partículas de pellets desintegrados.

ISO 17831: Biocombustíveis sólidos — Determinação da durabilidade mecânica de pellets e briquetes — Parte 1: Pellets.

ISO 18122: Biocombustíveis sólidos — Determinação do teor de cinzas.

ISO 18125: Biocombustíveis sólidos — Determinação do valor calorífico.

ISO 18134: Biocombustíveis sólidos — Determinação do teor de umidade .

ISO 21404: Biocombustíveis sólidos — Determinação do comportamento de fusão das cinzas.

ISO 21945: Biocombustíveis sólidos — Método simplificado de amostragem para aplicações de pequena escala.

Fonte: Adaptado de ISO 17725 (2021).

3.4.1 ISO 17725-6: Péletes de biomassa não-lenhosa

A ISO 17725-6, determina a qualidade de combustíveis sólidos em formato de péletes para amostras de biomassa não-lenhosa. O documento abrange os materiais produzidos pelas seguintes biomassas; Biomassa de origem Herbácea, Biomassa de origem Frutal, Biomassa Aquática e Mistura e Combinação de Biomassas.

Segundo a norma, os pelétes de origem não-lenhosa apresentam desvantagens em relação aos de origem lenhosa, pois contêm níveis mais altos de cinzas, cloro (Cl), nitrogênio (N), enxofre (S) e metais pesados. Esses elementos são cruciais na seleção de uma fonte energética devido ao seu potencial de corrosão dos equipamentos e à formação de gases poluentes durante a combustão. A norma recomenda o uso desses pelétes em residências, pequenos comércios e construções públicas, enfatizando a necessidade de garantir uma melhor qualidade nesses casos, considerando as limitações dos equipamentos e as exigências de manutenção. Além disso, a mistura com biomassas de origem lenhosa pode aprimorar as características de combustão do produto.

O resíduo do coco verde, é classificado como biomassa não-lenhosa, sendo uma biomassa de origem frutal. A partir dos recortes da norma ISO 17725-6 de Miranda *et al.* (2015), Neri *et al.* (2022) e Garcia *et al.* (2018) é possível observar na Tabela 3, os alguns dos parâmetros e classificação de qualidade A e B para biomassas não-lenhosas.

Tabela 3 – Recorte da norma ISO 17225-6:2021 para péletes de biomassas não-lenhosas.

Propriedade	Unidade	Péletes de biomassa não lenhosa	
		A	B
Umidade	% m/m	≤ 12	≤ 15
Cinzas	% m/m	≤ 6	≤ 10
Poder cal. (PCI)	MJ·Kg ⁻¹	$\geq 14,5$	$\geq 14,5$
Densidade Granel	Kg·m ⁻³	≥ 600	≥ 600
Diâmetro	mm	6-10	6-10
Comprimento	mm	15,0 - 40,0	15,0 -40,0
Durabilidade Mecânica	%	$\geq 97,5$	$\geq 96,0$
Enxofre	%	$\leq 0,2$	$\leq 0,3$
Nitrogênio	%	$\leq 1,5$	$\leq 2,0$

Fonte: Adaptado de Miranda *et al.* (2015), Neri *et al.* (2022) e Garcia *et al.* (2018).

4. METODOLOGIA

4.1 LEVANTAMENTO SOBRE CONSUMO DE COCO VERDE EM JOÃO PESSOA

Os dados sobre o consumo de coco verde em João Pessoa foram coletados por meio de investigação bibliográfica em trabalhos disponíveis no Google Acadêmico, utilizando o filtro "coco verde João Pessoa" para publicações entre 2007 e 2024. Esses dados foram organizados em uma tabela no Excel e visualizados em um mapa com a ferramenta 3D Maps.

4.2 PROCESSAMENTO FÍSICO DO RESÍDUO DE COCO VERDE

Treze cascas de coco verde, foram coletadas em pontos de venda de água de coco localizados na Avenida Ministro José Américo de Almeida (Beira Rio), no Bairro da Torre, na cidade de João Pessoa-PB.

Os cocos foram cortados manualmente com ajuda de uma faca, removendo qualquer resto da polpa dele, após isso ficaram expostos ao sol durante 4 a 6 horas, como visualizado na Figura 12, com intuito de otimizar o processamento da etapa posterior.

Figura 12 – Resíduo de coco verde cortado exposto ao sol.



Fonte: Autor (2024).

Os cocos, foram direcionados ao Laboratório de Operações Unitárias no Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional da UFPB (CTDR) em João Pessoa - PB. Onde foram adicionados a um triturador de coco – TRC40 da fabricante Trapp. A amostra após processamento, foi seca em uma estufa de circulação de ar a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas como descrito na Figura 13.

Figura 13 – Processamento do Resíduo do coco verde.



Fonte: Autor (2024).

Após a secagem em estufa, o material seco foi moído em um moinho de facas SL-31, peneirado em um agitador de peneiras da Matest SpA e classificado e armazenado em mesh 16, 24, 30, 45, 120 e fundo, conforme descrito na Figura 14.

Figura 14 – Trituração e Peneiramento do pó do resíduo de coco.



Fonte: Autor (2024).

4.3 PERFIL TÉRMICO DA BIOMASSA RESÍDUAL DO COCO VERDE

A curva Termogravimétrica (TG) e sua derivada (DTG), foram obtidas em condições não isotérmicas (dinâmica) em um Analisador Térmico da TA Instruments SDT 2960. As amostras foram analisadas em atmosfera de ar sintético (gás oxigênio) com fluxo de 100 ml.min⁻¹, razão de aquecimento de 10 °C.min⁻¹, intervalos de temperaturas entre 25-950 °C e aproximadamente 10 mg de massa, em cadinho de alumina.

4.4 ELABORAÇÃO DO PÉLETE DO RESÍDUO DO COCO VERDE

Os péletes de resíduo do coco verde foram produzidos manualmente, no laboratório PoliCOM da Escola Politécnica de Pernambuco UPE em Recife - PE, utilizando a prensa de empelotamento IKA – JANKE & KUNKEL, conforme mostrado na Figura 15. O pó de coco triturado, com granulometria mesh 45, foi inserido na câmara de compressão até o topo para o processo de formação dos péletes.

Figura 15 – Produção do pélete do resíduo do coco verde.



Fonte: Autor (2024).

4.5 CARACTERIZAÇÃO DO PÓ, PÉLETE E COMPARAÇÃO COM VALORES DA ISO 17225-6.

Para caracterizar o produto obtido, foram realizadas análises de umidade, cinzas e poder calorífico no pó do resíduo do coco verde, além de medições de comprimento, diâmetro, densidade a granel e densidade energética nos pellets produzidos.

O teor de umidade representa a quantidade de água presente na amostra. Foi utilizado como base a metodologia do Instituto Adolf Lutz (2008). Foram pesadas aproximadamente 5,0g da amostra do pó de coco em triplicada em cadinhos previamente identificados, secos e tarados. Em seguida, o conjunto amostra + cadinho foi colocado na estufa a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas e colocados no dessecador por 30 minutos para pesagem. Parâmetro determinado através da Equação 1:

$$\% \text{ umidade } \left(\frac{m}{m} \right) = \frac{m_1 - m_3}{m_2} \times 100(1)$$

m_1 = massa inicial do cadinho com amostra (g);

m_3 = massa final do cadinho com amostra após secagem (g);

m_2 = massa inicial da amostra (g);

O Teor de cinzas também se utilizou da metodologia do Instituto Adolf Lutz (2008) e realizada em triplicata, com cadinhos previamente identificados, secos, pesados e tarados, foram pesadas as amostras livre de umidade obtidas previamente no teste anterior. Essas amostras foram colocadas na cabine de exaustão numa chapa aquecedora elétrica para carbonização a 300 °C até atingir o ponto de carvão. Foi necessária 1 hora para obter o ponto de carbonização para as duas amostras, após isso foi levado a mufla para incineração a 550 °C por 6 horas, até a eliminação completa do carvão. Esperou-se o equipamento chegar à temperatura de 105 °C para realizar a retirada dos cadinhos e o levasse para o dessecador, até esfriar para pesagem. Parâmetro determinado através da Equação 2:

$$\% \text{ cinzas } \left(\frac{m}{m} \right) = \frac{CA - C}{A} \times 100(2)$$

CA = massa final do cadinho com amostra após mufla (g);

C = massa inicial do cadinho (g);

Para o Poder Calorífico Superior (PCS), usou-se uma bomba calorimétrica de marca IKA, modelo C-200, realizadas no LabMaQ da UFPB, se considerou a norma ASTM D5468 e foi analisado o pó do resíduo do coco. As amostras foram analisadas em parâmetros de energia de ignição foi de 17 cal, na presença de oxigênio e mergulhada em uma massa de água de temperatura monitorada. Para o poder calorífico inferior (PCI) foi calculado a partir do PCS, utilizando-se o teor de umidade presente no material (base úmida) e o teor de hidrogênio estimado em 6% (base seca). O cálculo do PCI foi feito com base na Equação 3 (Van Loo;Koppejan, 2012).

$$PCI \text{ (MJ} \cdot \text{Kg}^{-1}) = PCS * \left(1 - \frac{TU}{100} \right) - 2,447 * \frac{TU}{100} - 2,447 * \frac{TH}{100} * 9,01 * \left(1 - \frac{TU}{100} \right)(3)$$

PCI: poder calorífico inferior em MJ/kg, base úmida;

PCS: poder calorífico superior em MJ/kg, base seca;

TU: teor de umidade em %, base úmida;

TH: teor de hidrogênio em %, base seca.

A determinação do diâmetro e comprimento dos péletes seguiu uma adaptação da norma ISO 17829. Foram selecionados aleatoriamente 6 péletes das amostras obtidas. O diâmetro de cada péletes foi medido com um paquímetro digital. Da mesma forma, os mesmos 6 péletes tiveram seus comprimentos medidos, também com o auxílio de um paquímetro digital.

A densidade a granel do pélete foi determinada segundo a Equação 4, medindo sua massa e adotando o volume como cilindro ideal, a partir dos valores de comprimento e diâmetro. Para o pó do coco, foi utilizado uma proveta e uma balança, utilizando a mesma relação da Equação 4. A densidade energética foi obtida pelos valores de Densidade granel e PCI, segundo a Equação 5, sendo um valor não especificado na norma ISO.

$$\text{Densidade granel} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{M}{V} (4)$$

M: massa do pélete, em Kg;

V: volume do recipiente, em m³.

$$\text{Densidade calorífica} \left(\frac{\text{MJ}}{\text{m}^3} \right) = \text{PCI} * \text{DG} (5)$$

DG: densidade a granel, em kg/m³, base úmida;

PCI: poder calorífico inferior, em MJ/kg, base úmida.

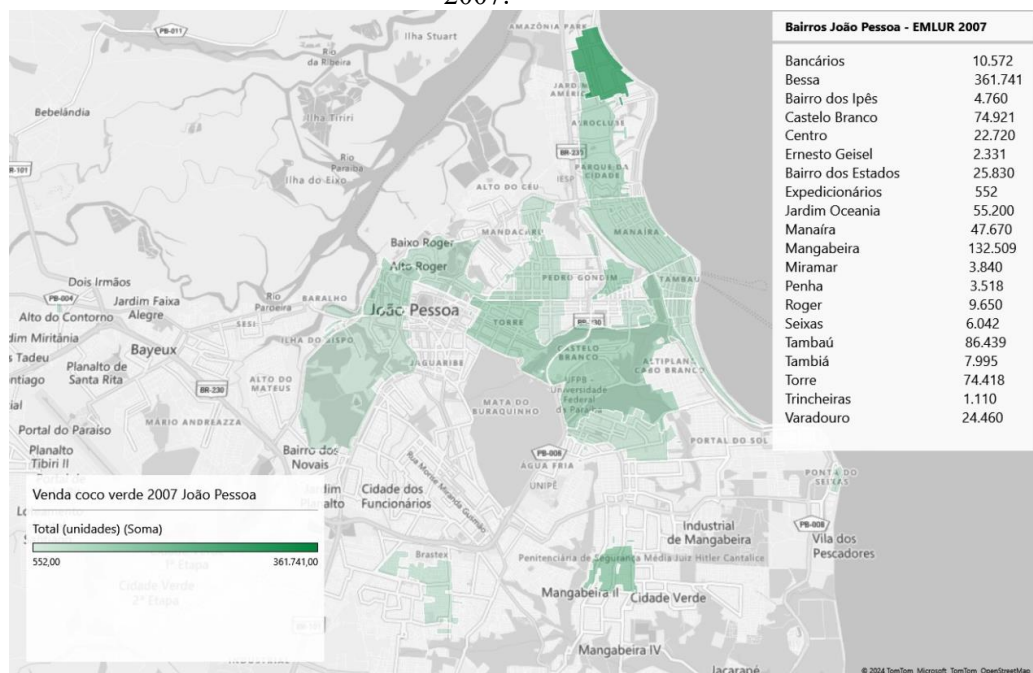
Os resultados e metodologias das análises de umidade, cinzas, PCS, PCI, comprimento, diâmetro, densidade a granel e densidade energética foram tabelados e comparados com o recorte da Tabela 3.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CONSUMO DE COCO VERDE EM JOÃO PESSOA

Silva (2019) realizou um levantamento sobre o consumo de coco verde por bairro em João Pessoa, utilizando entrevistas e dados da Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana (EMLUR), responsável pela coleta e limpeza no município. O levantamento da EMLUR, conforme mostrado na Figura 16 realizado em 2007, é a fonte mais robusta e atual sobre a disposição do consumo de coco verde na cidade e surgiu da preocupação do órgão a ocupação do aterro sanitário pelo resíduo de coco. Silva (2019), comenta sobre o bairro do Bessa, naquele ano, ser o maior consumidor de cocos de João Pessoa, e durante a alta estação (verão no Brasil) o consumo representou cerca de 46% do consumo anual.

Figura 16 – Levantamento do consumo de coco verde na cidade de João Pessoa pela EMLUR no ano 2007.

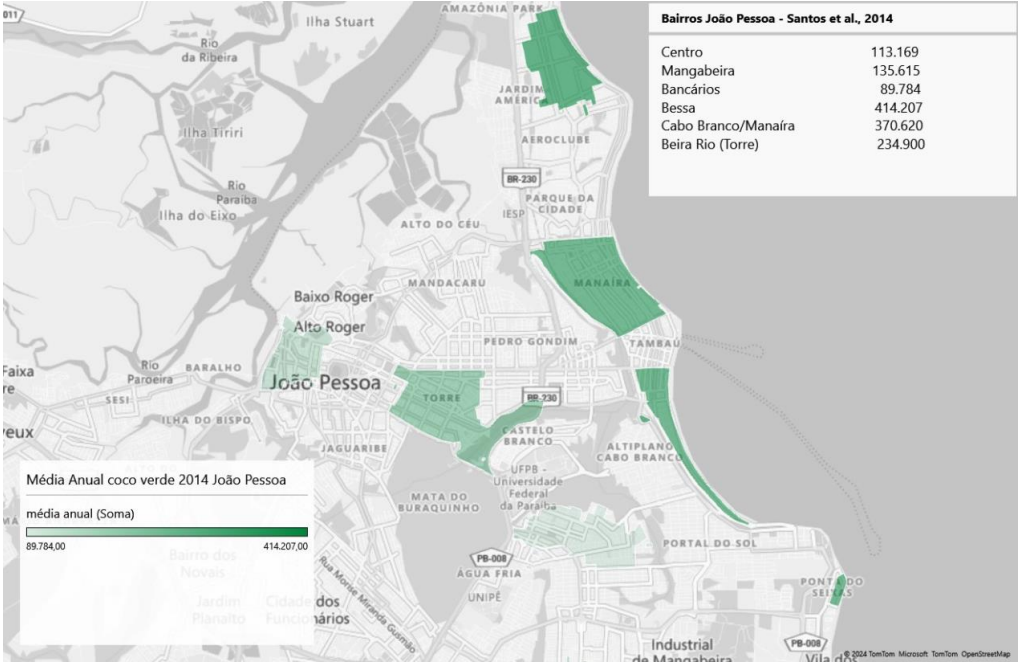


Fonte: Adaptado de Silva (2019 *apud* EMLUR 2007) no Excel 3D MAPS.

Santos *et al.* (2018), durante o ano de 2014, realizou o levantamento do consumo de coco verde por semana em alguns bairros da cidade. Os dados foram utilizados como média para o consumo anual, como descrito na Figura 17. A quantidade de bairros pesquisados foi inferior ao levantamento de 2007, ocorrendo o aumento na média nos bairros do Bessa, Manaíra, Bancários e Centro, entretanto Mangabeira manteve a mesma média em comparação a aquele ano.

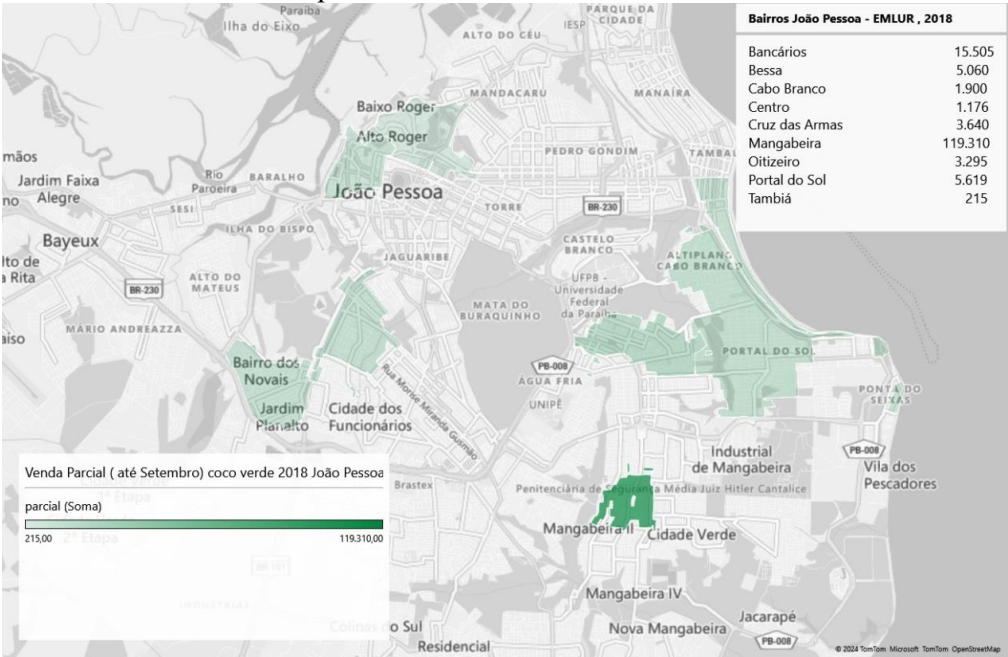
No ano de 2018 a EMLUR realizou uma análise parcial do consumo de coco verde em João Pessoa até o mês de setembro, conforme mostrado na Figura 18. Porém, Silva (2019) observa uma diminuição significativa no número de pontos entrevistados e de bairros, o que impactou na quantidade de dados em comparação com as informações de 2007.

Figura 17 – Levantamento do consumo de coco verde na cidade de João Pessoa por Santos no ano 2014.



Fonte: Adaptação de Santos et al. (2018) no EXCEL 3D MAPS.

Figura 18 – Levantamento até o mês de setembro do consumo de coco verde na cidade de João Pessoa por Emlur no ano 2018.



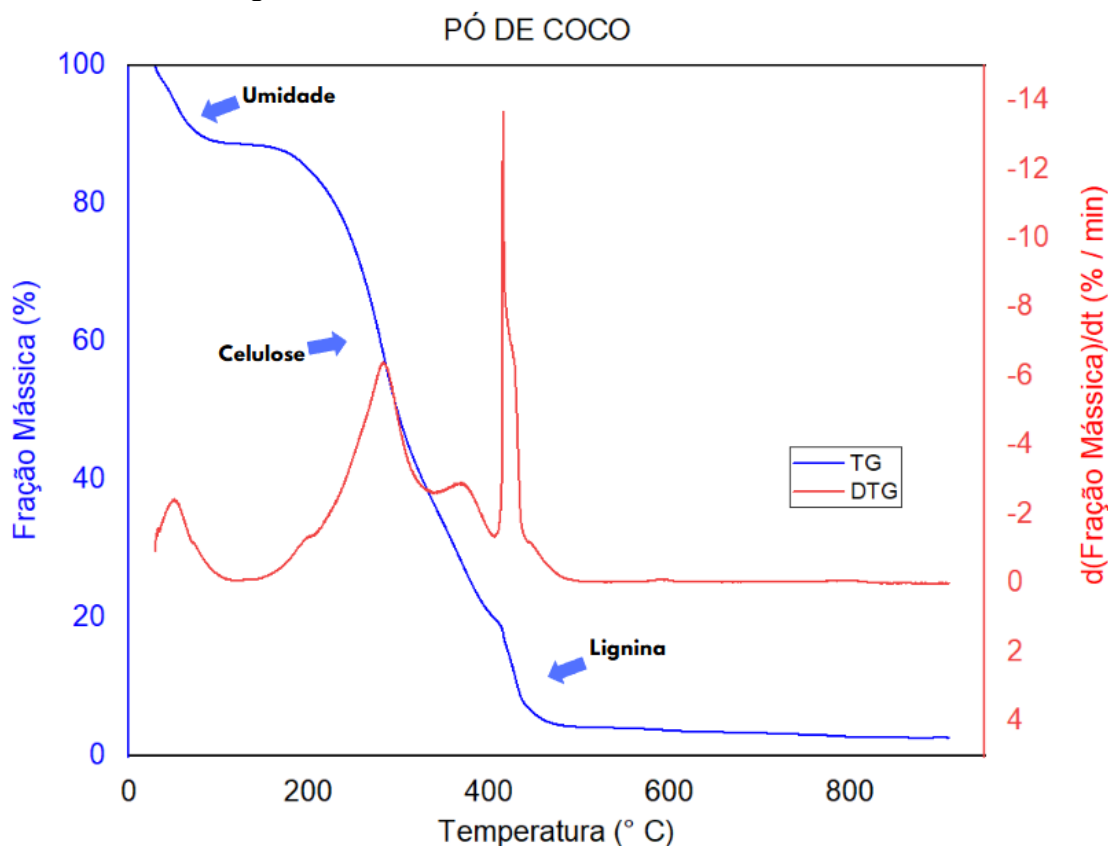
Fonte: Adaptado de Silva (2019 *apud* EMLUR 2018) no Excel 3D MAPS.

A ausência das publicações de dados atuais por pesquisadores e órgãos públicos sobre o consumo de coco verde e sua distribuição por bairros em João Pessoa representa um desafio para encontrar soluções para o manejo de seus resíduos. Esses dados são fundamentais para planejar ações de coleta e transporte, voltadas ao beneficiamento do material e redução do encaminhamento aos aterros sanitários.

5.2 TG DO PÓ DO COCO VERDE

A análise de termogravimétrica (TG) não é exigida pela norma ISO 17225, mas é útil para estudar a degradação e a formação de voláteis no resíduo de coco verde durante a combustão, correlacionando-se com as análises de umidade e cinzas. O resultado obtido na curva da TG/DTG da amostra do resíduo do coco verde, Figura 19, mostra o comportamento térmico da amostra até 950 °C.

Figura 19 – TG/DTG do resíduo da casca do coco verde.



Fonte: Autor (2024).

Através dos valores obtidos, é possível selecionar pontos que delimitam três etapas de degradação, obtendo assim a perda de massa (%) nesses intervalos, na Tabela 4.

Tabela 4 – Perda de massa (%) por degradação térmica da amostra do resíduo do coco verde.

Amostra:	Temperatura Inicial	Temperatura Final	Perda de massa
Pó de coco	(°C)	(°C)	(%)
Umidade	25,30	105,00	11,2
Celulose	190,00	400,01	65,4
Lignina	400,01	600,00	18,2

Fonte: Autor (2024).

Durante a primeira etapa, entre 25 e 105 °C, ocorre o processo de desidratação do material e a liberação de voláteis. Entre 190 e 400 °C, dá-se a degradação da fração de holocelulose (celulose + hemicelulose), com a liberação de voláteis como CO₂, CO e hidrocarbonetos.

A partir dos dados de DTG, observa-se um pico acentuado entre 405 e 455 °C, indicando uma perda de massa de aproximadamente 16%. Esse pico representa o intervalo referente a conclusão da degradação da holocelulose e o início, quase que completamente, da degradação da lignina.

Por fim, na última fase, a degradação da lignina ocorre entre 400 e 600 °C, embora não haja uma degradação completa da biomassa, resultando na permanência de frações inorgânicas inertes (cinzas).

5.3 PÉLETE DO RESÍDUO DO COCO VERDE: COMPARAÇÃO COM PADRÕES DA ISO 17225-6

Devido às limitações de equipamentos e quantidade de amostras, algumas metodologias utilizadas neste trabalho não são reconhecidas pela ISO 17225. No entanto, os valores obtidos fornecem uma base para o estudo da produção de péletes a partir do resíduo de coco verde. É possível observar na Tabela 5, os valores obtidos durante o trabalho, no processo de caracterização do pélete do resíduo do coco verde.

Tabela 5 – Dados obtidos do pélete e do pó do resíduo do coco verde e sua comparação com o recorte da norma ISO 17225-6.

Propriedade	Péletes de biomassa			Metodologia	Pélete do resíduo do coco verde (autor)
	Norma Internacional (ISO 17225)	não- lenhosa (ISO 17225-6)			
		A	B		
Umidade (%)	ISO 18134	≤ 12	≤ 15	Adolf Lutz (2008)	9,7128
Cinzas (%)	ISO 18122	≤ 6	≤ 10		4,0525
PCI (MJ·Kg ⁻¹)	ISO 18125	≥ 14,5	≥ 14,5	Eq. (3)	15,68
PCS (MJ·Kg ⁻¹)		-	-	ASTM D5468 (2012)	18,95
Diâmetro (mm)	ISO 17829	6-8	6-10	ISO 17829 adaptada	9,973
Comprimento (mm)		15,0 - 40,0	15,0 -40,0		12,275
Densidade Granel (Kg·m ⁻³)	ISO 17828	≥ 600	≥ 600	Eq. (4)	331,789
Densidade Energética (MJ·m ⁻³)	-	-	-	Eq. (5)	5202,45

Fonte: Adaptado de Miranda *et al.* (2015), Neri *et al.* (2022) e Garcia *et al.* (2018).

O valor médio de umidade obtido (Apêndice A) foi adequado (<10%) para processos termoquímicos, como a combustão (Miranda *et al.*, 2021). De acordo com Silveira (2008), a umidade da casca do coco verde é cerca de 80%, o que indica a eficácia do método de secagem e armazenamento da amostra, tendo em vista a propriedade higroscópica do material.

A quantidade de cinzas encontrada (Apêndice A) está dentro dos valores estabelecidos pela ISO, sendo inferior ao registrado por Yerizam et al. (2020), de 10,58%, e superior ao de Purwanto et al. (2010), de 3,27%, para péletes de coco.

“O poder calorífico depende da composição química do material, principalmente devido a lignina e extrativos” (Gunther et al., 2012). Isso se correlaciona com a fração inorgânica de inertes, as cinzas, pois não contribuem para a reação de combustão, diminuindo então o poder calorífico.

“Conforme exigido pela norma ISO 17225, o poder calorífico inferior é obtido em base úmida, e, deste modo, o teor de umidade do material também influencia negativamente essa propriedade” (Sá, 2019). O valor obtido para o PCI foi inferior ao relatado pela Embrapa (2012), de 17,9 MJ/kg. Em relação a outras publicações sobre a produção de pelétes a partir de resíduos de coco, não está claro se o poder calorífico mencionado é o PCI ou PCS (Yerizam et al., 2020), ou se apenas os valores de PCS foram considerados (Purwanto et al., 2010).

Os péletes obtidos pela prensa de empelotamento apresentaram comprimento, diâmetro e densidade a granel (Apêndice B) fora dos padrões estabelecidos pela ISO 17225. A densidade a granel dos péletes aumentou apenas 33% em relação ao pó, enquanto o esperado em condições ideais seria um aumento mínimo de 140%. Além disso, a densidade energética dos péletes foi, em média, 50% inferior à de várias biomassas catalogadas por Miranda *et al.* (2015). Esses resultados podem ser atribuídos às limitações da prensa utilizada, que não oferece a pressão e o atrito adequados, nem a elevação de temperatura necessária, como ocorre em uma peletizadora. Assim, o processo de "plastificação" promovido pela lignina foi insuficiente para uma consolidação adequada do material.

6. CONCLUSÃO

A proposta de utilizar os resíduos do coco verde para a produção de péletes em João Pessoa, enfrenta barreiras, principalmente pela ausência de indústrias de péletes na cidade, na Paraíba e com poucas opções no Nordeste. Isso complica o processamento do material, que já possui desafios devido à sua dureza e alta umidade.

O estudo da degradação térmica do pó do coco verde em atmosfera de ar sintético, apresentou resultados consistentes com materiais lignocelulósicos, mostrando três fases de degradação, sem a decomposição completa do material.

O pó do resíduo de coco verde apresentou valores satisfatórios de acordo com a ISO 17225 em termos de umidade, teor de cinzas e poder calorífico inferior (PCI). Entretanto, os péletes produzidos em escala laboratorial com uma prensa de empelotamento não atingiram os padrões da ISO 17225. A densidade dos péletes aumentou aproximadamente 33% em relação ao pó, e a densidade energética foi inferior à de outros materiais, um fator crucial para combustíveis dos sólidos compactados.

Além disso, não houve tempo suficiente para realização de todos os ensaios para os parâmetros de qualidade exigidos pela ISO 17225, como a determinação elementar (C, H, N), teor de enxofre e cloro (S, Cl), metais e durabilidade mecânica, que são fundamentais para garantir a qualidade do pélete como combustível.

Estudos futuros são necessários, aplicando metodologias conformes à ISO 17225-6, utilizando uma peletizadora industrial para validar o uso do resíduo do coco verde de João Pessoa na produção de péletes com qualidade para o mercado internacional.

ESTUDOS FUTUROS

Deixo como sugestão para estudos futuros;

- Levantamento atualizado, junto a EMLUR, do consumo do coco verde em João Pessoa, com enfoque nas principais áreas de centro urbano e turístico;
- Produção do pélete do coco verde em uma peletizadora;
- Avaliação de todos os parâmetros da ISO 17725-6, com suas devidas metodologias;
- Estudo e avaliação da produção de péletes de coco verde misturado com resíduos de madeira produzidos no Brasil. (Pinus, Eucalipto, Ipê, etc).

REFERÊNCIAS

ABIB. Associação Brasileira das Indústrias de Biomassa. Conjuntura Nacional e Internacional Setor Industrial de Biomassa Pellets Briquetes. Curitiba, 2019. Disponível em: <https://www.biomassabioenergia.com.br/>. Acesso em: 23 de jun. de 2020.

ABIR. Água de coco. Disponível em: <https://abir.org.br/o-setor/dados/agua-de-coco/>. Acesso em: set. 2024.

AHN, B. J. et al. Effect of binders on the durability of wood pellets fabricated from *Larix kaemferi* C. and *Liriodendron tulipifera* L. sawdust. ***Renewable Energy***, v. 62, p. 18-23, 2014.

ASTM. ASTM D5468: Standard Test Method for Gross Calorific and Ash Value of Waste Materials. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2012.

BATISTA, J. L. **Pellets e briquetes produzidos a partir de resíduos madeireiros como alternativa no mercado global de bioenergia.** XI Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção, 2021.

BERNARDO, A. P. et al. Oportunidades e desafios do uso de biomassa compactada para fins energéticos. ***Biomassa: recursos, aplicações e tecnologias em pesquisa***, v. 1, 2022.

BHATTACHARYA, S. C. **Biomass energy and densification: a global review with emphasis on developing countries.** In: *World Conference on Pellets*, 2002, Stockholm, Sweden. Anais... Stockholm: Swedish Bioenergy Association, 2002. p. 1-17.

BONAMONE, M. B. LOGÍSTICA REVERSA DO RESÍDUO DE COCO VERDE - UMA ABORDAGEM SOBRE POSSIBILIDADES DE REAPROVEITAMENTO. ***Logística e Operações Globais Sustentáveis***, 2019.

BRAINER, M. S. C. Produção de coco: o Nordeste é destaque nacional. ***Caderno Setorial ETENE***, n. 61, 2018.

BRASIL. **Lei Nº 12.305/2010: Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm. Acesso em: set. 2024.

CARRIJO, O. A.; LIZ, R. S.; MAKISHIMA, N. Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 4, p. 533-535, 2002.

CEPEA. PIB do agronegócio cresceu abaixo das projeções. **PIB do Agronegócio**, 2022. Disponível em:

https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Cepea_CNA_PIB_JAn_Dez_2021_Março2022.pdf. Acesso em: set. 2024.

DIAS, J. M. S. et al. **Produção de briquetes e pêletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2012. 132 p.

ECONODATA. Busca de empresas. Disponível em:

<https://www.econodata.com.br/empresas/pb/busca-pellet>. Acesso em: set. 2024

EMBRAPA. **Aproveitamento da casca do coco para geração de energia térmica: potencialidades e desafios**. Aracaju, 2019.

EMBRAPA. Produção de briquetes e pêletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais. **Documento 13**, out. 2012.

GARCIA, D. P. Cresce a produção de pellets no Brasil. **Revista O papel**, Nota Técnica. Disponível em: <http://www.revistaopapel.org.br/publicacoes.php?id=2685>. Acesso em: set. 2024.

GARCIA, D. P. et al. Qualidade dos pellets de biomassa brasileira para aquecimento residencial: padrões da norma ISO 17225. **Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, 2018.

GEORGES, F. **Caracterização da palha de cana-de-açúcar do Rio Grande do Sul e seus produtos de pirólise**. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

GÜNTHER, Björn et al. Calorific value of selected wood species and wood products. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 70, n. 5, p. 755-757, 2012.

IBGE. **Produção de coco-da-baía**. 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/coco-da-baia/br>. Acesso em: set. 2024.

INSTITUTO ADOLF LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolf Lutz. Métodos físico-químicos para análises de alimentos**. 4ª ed. (1ª Edição digital), 2008.

ISO. **ISO 17225-1:2015 – Solid biofuels – Fuel specifications and classes – Part 1: General requirements**. Geneva: ISO, 2015.

ISO. **ISO 17225-6:2021 – Solid biofuels – Fuel specifications and classes – Part 6: Graded non-woody pellets**. Geneva: ISO, 2021.

ISO. **ISO 17828: Solid biofuels — Determination of bulk density**. Geneva: International Organization for Standardization, 2015.

ISO. **ISO 17829: Solid biofuels — Determination of length and diameter of pellets**. Geneva: International Organization for Standardization, 2015.

LAZZARI, E. et al. Classification of biomass through their pyrolytic bio-oil composition using FTIR and PCA analysis. **Industrial Crops & Products**, 2017.

LEITE, V. D. et al. Resíduos sólidos urbanos no Estado da Paraíba e o contexto da sustentabilidade ambiental. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, 2021.

LINO, F. A. M.; ISMAIL, K. A. R. Contribution of recycling of municipal solid waste to the social inclusion in Brazil. **Journal of Waste Manage.**, p. 1-4, 2013.

MATTOS, A. L. A. et al. Beneficiamento da casca do coco verde. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2011.

MIRANDA, N. T. et al. Sugarcane bagasse pyrolysis: A review of operating conditions and products properties. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 149, 2021.

MIRANDA, T. et al. A review of pellets from different sources. **Materials**, v. 8, 2015.

MME; EPE. **Relatório Síntese 2024 - Ano base 2023**. BEN, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2024>. Acesso em: set. 2024.

MMA. Resíduos Sólidos Urbanos. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/qualidade-ambiental-e-meio-ambiente-urbano/residuos-solidos-urbanos>. Acesso em: set. 2024.

MORAES, S. L. et al. Cenário brasileiro da geração e uso de biomassa adensada. **Revista IPT Tecnologia e Inovação**, v. 1, n. 4, abr. 2017.

Neri, N. H. et al. Valorisation of rice husks and bean straws through fuel pellets production: na experimental and modelling approach. **Revista Mexicana de Ingeniería Química**, v. 21, n. 2, 2021.

OLIVEIRA, C. M. Demanda de pellets e biomassa no mercado Europeu. **Revista da Madeira**, Edição n. 137, out. 2013.

PURWANTO, W. W.; SUPRAMONO, D.; FISAFARANI, H. **Biomass waste and biomass pellets characteristics and their potential in Indonesia**. International Seminar on Fundamental and Application of Chemical Engineering, Bali-Indonesia, 2010.

RANGEL, I. C. et al. Normas e padrões para produção de biomassa compactada no mundo: em breve o Brasil terá a sua?. **ACTA Biomedica Brasiliensia**, v. 9, abr. 2018.

ROCHA, K. D. C.; FERREIRA, M. S.; GARCIA, C. E. R. Produção e produtos à base de coco (*Cocos nucifera L.*): uma revisão. **Brazilian Journal of Development**, 2022.

SÁ, I. A. **Produção e caracterização de pellets de resíduos de madeiras amazônicas para fins energéticos visando o mercado internacional: conformidade com a norma ISO 17225-2**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Florestal) - Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

SANTOS, S. F. M. et al. **Levantamento de dados da geração de resíduos de coco verde na cidade de João Pessoa**. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2016.

SILVA, E. C. et al. Características químicas da casca de coco para utilização como biomassa energética. **Revista Científica da UFPR**, v. 8, 2020.

SILVEIRA, M. S. **Aproveitamento das cascas de coco verde para produção de briquetes em Salvador-BA**. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) — Escola Politécnica. Programa de Pós-graduação em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo – Ênfase em Produção Limpa. Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2008.

SINIR+. **Painel de Destinação**. Disponível em: <https://sinir.gov.br/paineis/destinacao/>.

SILVA, D. A. et al. **Caracterização de Biomassas para a Briquetagem**. Universidade Federal de São Carlos. Sorocaba, São Paulo, 2015.

SILVA, S. I. S. **Aproveitamento da biomassa de coco verde para produção de biocombustíveis sustentáveis**. Dissertação de Mestrado - UFPB. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2019.

SOUSA, F. W.; ANDRÉ, G. O.; MOREIRA, S. A.; ROSA, M. F.; CAVALCANTE, R. M.; NASCIMENTO, R. F. Estudo da viabilidade de uso da casca de coco verde como adsorvente para remoção de metais pesados de efluentes industriais. **Química Nova**, 2007.

TARASOV, D.; SHAHI, C.; LEITCH, M. Effect of additives on wood pellet physical and thermal characteristics: a review. **International Scholarly Research Notices Forestry**, London, v. 2013, ID 876939, 6 p.

TAVARES, M. A. M. E.; TAVARES, S. R. L. Perspectivas para a participação do Brasil no mercado internacional de pellets. **Holos**, 2015.

QUÉNO, L. R. M. et al. Aspectos técnicos da produção de pellets de madeira. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 3, 2019.

USDA - UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Produção, suprimento e distribuição. 2020.

VALE, A. C.; PINTO, I. C.; SOARES, J. B. **Estudo laboratorial da viabilidade do uso de fibras de coco em misturas asfálticas do tipo SMA**. In: ENCONTRO DE ASFALTO, 18., 2006, Rio de Janeiro. Anais [...]. Rio de Janeiro, 2006.

VAN LOO, Sjaak; KOPPEJAN, Jaap. The handbook of biomass combustion and co-firing. **Earthscan**, 2012.

YERIZAM, M. Y., et al. Production of Bio-Pellet Briquettes From Coconut Shell Waste as Alternative Energy for Household Scale. **Atlantis Highlights in Engineering**, v. 7, 2020.

APÊNDICE A – UMIDADE E CINZAS DO PÓ DO COCO.

Umidade - Triplicata				
Cápsula	Massa cápsula (g)	Massa pó (g)	Massa cápsula + pó seco (g)	Umidade (%)
Cápsula 44	11,1062	2,0749	12,9807	9,6582
Cápsula 45	11,5465	2,0033	13,3539	9,7789
Cápsula 47	11,6701	2,1523	13,6136	9,7012
Média				9,7128

Cinzas - Triplicata				
Cadinho	Massa cadinho (g)	Massa cadinho (g)	Massa cadinho + cinzas (g)	Cinzas (%)
Cadinho V	37,6663	2,1031	37,7509	4,02263
Cadinho F	38,3592	2,0033	38,4425	4,0680
Cadinho T	39,3962	2,1523	39,4795	4,0670
Média				4,0525

APÊNDICE B – COMPRIMENTO, DIÂMÊTRO e DENSIDADE GRANELDO PÉLETE e PÓ.

Pélete					
Pélete	Comprimento (mm)	Diâmetro (mm)	Massa (g)	Volume (mm ³)	Densidade Granel (Kg/m ³)
Pélete 1	9,190	12,725	0,782	2337,497	334,546
Pélete 2	9,890	12,400	0,754	2388,689	315,654
Pélete 3	11,125	12,630	0,981	2787,575	352,026
Pélete 4	11,330	11,070	0,903	2180,946	414,178
Pélete 5	9,850	12,385	0,729	2373,275	306,960
Pélete 6	8,450	12,440	0,549	2054,080	267,370
Média	9,973	12,275			331,789

Pó			
Proveta	Volume (ml)	Massa (g)	Densidade Granel (Kg/m ³)
1	2,0	0,5044	252
2	2,0	0,4918	246
3	3,0	0,7492	250
Média			249