



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
PERNAMBUCO
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO AMBIENTAL**

MONIQUE LUCIANA NUNES

**UTILIZAÇÃO DE SECADOR SOLAR E RESÍDUOS DE COCO VERDE PARA
PRODUÇÃO ENERGÉTICA**

Recife, 2022.

MONIQUE LUCIANA NUNES

**UTILIZAÇÃO DE SECADOR SOLAR E RESÍDUOS DE COCO VERDE PARA
PRODUÇÃO ENERGÉTICA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental como requisito para obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco.

Linha de Pesquisa: Tecnologias e Inovações Ambientais

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Faustino da Silva

Recife, 2022

N972u Nunes, Monique Luciana.
Utilização de secador solar e resíduos de coco verde para produção energética. /
Monique Luciana Nunes. – Recife, PE: A autora, 2022.
53 f.: color. ; il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Faustino da Silva.

Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE, Campus Recife, Coordenação de Pós-Graduação - Mestrado Profissional em Gestão Ambiental, 2022.

Inclui referências.

1. Energia da Biomassa. 2. Recursos Naturais - Energia. 3. Coco Verde. 4. Secador Solar. 5. Gestão Ambiental. I. Silva, Ronaldo Faustino da. (Orientador). II. Título.

662.88 CDD (22 Ed.)

MONIQUE LUCIANA NUNES

**UTILIZAÇÃO DE SECADOR SOLAR E RESÍDUOS DE COCO VERDE PARA
PRODUÇÃO ENERGÉTICA**

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco como parte integrante dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Gestão Ambiental.

Data da defesa: 27/05/2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ronaldo Faustino da Silva

Orientador - IFPE

Prof. Dr. Eduardo Alcício

Examinador Interno - IFPE

Prof. Dr. Hernandes Pereira

Examinador Externo – IFPE

Prof. Dr. Joao Manoel de Freitas Mota

Examinador Externo – IFPE

AGRADECIMENTOS

A Deus, porque dEle e por Ele, e para Ele, são todas as coisas; glória, pois, a Ele eternamente.

Rm 11:36

À minha família, pai, irmão, mãe, marido e amigos. Base de tudo.

Ao professor orientador Dr. Ronaldo Faustino, um gênio das ideias inovadoras.

À banca, pela presença e valiosas observações.

Ao professor Dr. Eduardo Alécio, pela ajuda e apoio.

Ao MPGA, pela oportunidade de realizar esse trabalho.

A George e Aligreisson, pela construção do secador solar.

À Lógica Ambiental, em especial Andreia e Amone, pelo apoio ao trabalho.

Ao professor Sérgio Peres, ser iluminado que me abriu as portas do seu laboratório.

Ao Clériston, Allison, Cassiano, Enderson e Ricardo pela ajuda, boa vontade e disponibilidade para execução dos trabalhos.

A Miélix, pela parceria no trabalho.

A Gisely Alves e Tayara Lima, pela gentileza e disposição.

RESUMO

A matriz energética do país tem sofrido alterações, encaminhando-se para a sustentabilidade. As fontes energéticas brasileiras são diversas (hidroelétrica, biomassa, eólica), tornando-se cada vez menos subordinadas ao desmatamento. No que se refere à temática ambiental, para que a emissão de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera seja diminuído, deve-se reavaliar a redução do uso de fontes não-renováveis, como os combustíveis fósseis. A utilização de briquetes são alternativas viáveis e atrativas para atenuar a emissão desses gases. O resíduo do coco verde, uma biomassa de origem natural e renovável, constitui uma grande parcela em massa do resíduo urbano, principalmente litorâneo, e é pouco aproveitado. Tem um grande potencial para aproveitamento como combustível e pode ser utilizado para a fabricação de briquetes. O seguinte trabalho tem como objetivo principal o aproveitamento energético da casca do coco verde. Foi verificada a viabilidade do aproveitamento da casca do coco após secagem e tratamento em briquetes (lenha ecológica). Para substituir a secagem por meio de estufa para a produção dos briquetes foi construído e avaliado o potencial de secagem de um secador solar. O secador solar foi feito com material reciclado que seria destinado ao descarte. Por meio de fenômenos transferência de calor e de massa o secador é aquecido sob luz solar, atingindo temperaturas internas acima dos 70°C, enquanto a externa era em torno de 30°C. Por conta disso, água é eliminada do secador, permitindo que as cascas de coco a serem utilizadas percam em torno de 80% da umidade em aproximadamente 20 dias. A literatura aponta que os briquetes devem ser feitos com teor de umidade de 8% a 23%, dependendo da biomassa. Sendo assim, o secador solar construído atende a esse requisito. Foram feitas análises de teor de carbono, teor de umidade, teor de cinzas, teor de voláteis, composição química elementar e poder calorífico superior e inferior. As análises foram feitas em triplicata e de acordo com o método, as que diferenciavam umas das outras mais que 2% eram desconsideradas do cálculo. Os briquetes foram produzidos com prensa manual e tiveram suas dimensões calculadas por meio de um paquímetro. Com dados da literatura, foi elaborada uma tabela em que se comparava o poder calorífico de diversos combustíveis e seu valor financeiro. De acordo com os dados literais, é possível substituir a lenha por briquetes da casca de coco. Devido às condições econômicas atuais, torna-se atrativa essa substituição principalmente para famílias de baixa renda para cocção de alimentos, devido à alta dos preços do gás de cozinha.

Palavras-chave: Coco. Secador solar. Análises.

ABSTRACT

The country's energy matrix has needs, and changes are moving towards sustainability. The Brazilian energy sources are diverse (hydroelectric, biomass, wind), becoming less and less subordinated to deforestation. With regard to the environmental issue, in order to reduce the emission of greenhouse gases (GHG) in the atmosphere, the reduction in the use of non-renewables, such as fossil sources, must be reassessed. The use of viable emission alternatives of these gases for emission attenuators. The coconut deposit constitutes a large portion of green and urban mass, mainly coastal, is little used. It has great potential for use as fuel and can be used to manufacture briquettes. It is characterized as a biomass of natural and renewable origin, and appears as an alternative for the use of fossils. The following work has as main objective the energetic use of the green coconut husk. It was verified the feasibility of using coconut husk after drying and treatment in briquettes (ecological firewood). To replace drying by means of an oven for the production of briquettes, the drying potential of a solar dryer was built and evaluated. The solar dryer was made with recycled material that would be destined for disposal. Through heat and mass transfer phenomena, the dryer is heated under sunlight, reaching internal temperatures above 70°C, while the external temperature was around 30°C. Because of this, water is eliminated from the dryer, allowing the coconut husks to be used to lose around 80% of their moisture in 20 days. The literature points out that briquettes should be made with a moisture content of 8% to 23%, depending on the biomass. Therefore, the solar dryer built meets this requirement. Analysis of carbon content, moisture content, ash content, volatile content, higher and lower calorific value and elemental composition were performed. The analyzes were carried out in triplicate and, according to the method, those that differentiated one from the other by more than 2% were disregarded from the calculation. The briquettes were produced with a manual press and their dimensions were calculated using a caliper. With data from the literature, a table was created comparing the calorific value of different fuels and their financial value. According to the literal data, it is possible to replace the firewood with coconut husk briquettes. Due to current economic conditions, this substitution becomes attractive mainly for low-income families for cooking food, due to the high prices of cooking gas.

Key words: Coconut. Solar dryer. Analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Corte longitudinal do coco e suas partes	15
Figura 2- Comparativo dos combustíveis.....	18
Figura 3- Relação entre cascas de coco e briquetes.....	18
Figura 4- Quadro de etapas desde a coleta de resíduo até a briquetagem	21
Figura 5- Esquema representativo de secador solar	26
Figura 6- Secador solar modelo IAPAR ainda sem pintura	28
Figura 7- Secador solar com amostras de casca de coco amassadas	29
Figura 8- Secador solar visto por outro ângulo	30
Figura 9- Moinho de facas.....	31
Figura 10- Conjunto de peneiras mesh 14	31
Figura 11- Prensa manual para fabricação de briquetes	32
Figura 12- Briquetes de casca de coco	32
Figura 13- Paquímetro e briquete de casca de coco	33
Figura 14- Calorímetro Digital.....	35
Figura 15- Analisador elementar	37
Figura 16- Secador solar e termômetro	44

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	14
2.1	OBJETIVO GERAL.....	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3	REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1	O COCO E SUAS DIFERENTES APLICAÇÕES.....	15
3.2	ETAPAS DA PRODUÇÃO DE BRIQUETES	19
	3.2.1 Recepção e picotamento	19
	3.2.2 Prensagem	19
	3.2.3 Seleção e secagem	19
	3.2.4 Moagem e briquetagem	20
	3.2.5 Análises dos briquetes	21
3.3	BIOMASSA	24
3.4	SECADOR SOLAR	25
4	METODOLOGIA	28
4.1	OBTENÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA	28
4.2	SECADOR SOLAR	28
4.3	PRODUÇÃO DE BRIQUETES DE CASCA DE COCO E CARACTERIZAÇÃO	29
4.4	DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DAS CASCAS DE COCO.....	33
4.5	CARACTERÍSTICAS DOS BRIQUETES PRODUZIDOS	33
	4.5.1 Poder calorífico	34
	4.5.2 Teor de materiais voláteis	35
	4.5.3 Teor de carbono fixo	36
	4.5.4 Determinação do teor de cinzas	36
	4.5.5 Densidade dos briquetes	37
	4.5.6 Análise química elementar	37
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1	UTILIZAÇÃO DO SECADOR SOLAR	38
5.2	TEOR DE UMIDADE	38
5.3	PRODUÇÃO DE BRIQUETES	39
5.4	TEOR DE VOLÁTEIS, TEOR DE CINZAS E TEOR DE CARBONO FIXO.....	40
5.5	PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS) E PODER CALORÍFICO INFERIOR (PCI).	41

5.6	LEVANTAMENTO DE CASCAS DE COCO RECEBIDAS PELA EMPRESA DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS.....	42
5.7	COMPARATIVO DO PCS E VALOR ECONÔMICO DE VÁRIOS COMBUSTÍVEIS E BRIQUETES DE CASCA DE COCO.....	42
5.8	DENSIDADE DOS BRIQUETES PRODUZIDOS.....	43
5.9	ANÁLISE ELEMENTAR.....	43
5.10	SUBSTITUIÇÃO DA ESTUFA PARA SECAGEM DAS CASCAS PELO SECADOR SOLAR ELABORADO COM BASE NO PROJETO DA IAPAR.....	44
6	CONCLUSÃO E SUGESTÕES	46
	REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos 40 anos, a matriz energética do país sofreu modificações, tomando um rumo mais voltado para a sustentabilidade. As fontes energéticas brasileiras são variadas (hidroelétrica, biomassa, eólica) e cada vez menos dependente do desmatamento (FEIDEN *et. al.* 2015). Pelos recursos naturais disponíveis no Brasil, o modo de obtenção de energia é bem diferente do quadro mundial; usamos mais fontes renováveis do que os outros países. Quando se associam lenha, carvão vegetal, energia hidráulica, derivados de cana e outras fontes renováveis, estas somam-se 42,9%, correspondendo a quase metade da matriz energética (BEN, 2018). Embora que se esperasse um crescimento da utilização de energias renováveis, o Ministério de Minas e Energia publicou um relatório em julho de 2021, apontando que no ano de 2021 haveria uma projeção de aumento do consumo de energia e também que esta energia viria de fontes não renováveis (BRASIL, 2021).

De acordo com o relatório, para a Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE) de 2021, a expectativa seria um acréscimo de 5,2%, enquanto que as fontes não renováveis poderiam ser acrescidas até 50% e as renováveis poderiam diminuir 3% (BRASIL, 2021).

No que diz respeito à vertente ambiental, para que o lançamento de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera seja reduzido, deve-se repensar na diminuição do uso de fontes não-renováveis, como os combustíveis fósseis. A utilização de briquetes são alternativas viáveis para diminuir o lançamento desses gases. Edenhofer *et. al.* (2011) cita que para atenuar as consequências do lançamento dos GEE é necessário reduzir sua emissão de 50 a 85% até 2050. De acordo com a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC (FEDERAL, 2008), os GEE deveriam ser reduzidos em no mínimo 35% até o ano de 2020 pelo Brasil. Uma alternativa para que a meta fosse atingida seria utilizar resíduos, que antes eram desprezados, como fonte energética. Por exemplo, Silveira (2008) cita que o resíduo do coco verde tem um grande potencial para aproveitamento como combustível. O resíduo do coco verde caracteriza-se como uma biomassa de origem natural e renovável, e surge como uma alternativa ao uso de combustíveis fósseis (GOMEZ, 1996).

A problemática da pesquisa mostra sua face quando se depara com a realidade brasileira, principalmente a do litoral do país. O resíduo do coco verde corresponde a uma grande parcela em massa do resíduo urbano e é pouco aproveitado. Face ao cumprimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei 12.305/10 (CIVIL, 2010), uma alternativa à sua destinação atual é explorar a sua capacidade de aproveitamento como briquete (lenha orgânica). Assim, insere-se um modelo de destinação que inclui os três pilares do desenvolvimento sustentável: o econômico, quando se gera energia barata a partir de um resíduo em detrimento a outras fontes energéticas; ambiental, ao encontrar uma fonte de energia limpa; e social, quando o tratamento adequado para o resíduo pode ser uma fonte de renda para catadores. Secundariamente, o processamento da casca do coco verde gera um resíduo que sua destinação atual causa um impacto negativo ao meio ambiente, pois não é adequadamente tratado. O líquido da casca do coco verde, ou LCCV, como é chamado, é originado durante a etapa de trituração e prensagem dessas cascas e é um resíduo com elevada carga orgânica. Torna-se indispensável, então, encontrar soluções adequadas para o tratamento dos líquidos produzidos no processo de beneficiamento da casca de coco verde, sabendo-se que atualmente no país ainda não existem estações de tratamento para esse efluente especificamente (SOUZA, 2007).

Além disso, como alternativa ao uso de equipamentos movidos a energia elétrica, uma das etapas da produção de briquetes poderá ser substituída por um secador que usa energia solar, promovendo o aproveitamento ambientalmente correto das cascas de coco verde. Os secadores confeccionados poderão ser produzidos com materiais reciclados, que teriam seu destino o lixo. Associado ao baixo custo e facilidade de obtenção de material, a montagem é relativamente simples, podendo ser uma forma alternativa de renda para pessoas em situação de vulnerabilidade social. Sendo assim, atende aos três pilares do desenvolvimento sustentável: a vertente econômica, ambiental e social (ALMEIDA, 2016).

Segundo dados apresentados pela Embrapa, em torno de 125 cocos descartados ocupam 1m^3 nos aterros (CINTRA *et al.*, 2009). Por conta de ser uma massa consideravelmente volumosa, o resíduo do coco não é coletado manualmente nas ações voluntárias ambientais. Outro fator a considerar, pela mesma razão anterior, os cocos descartados muitas vezes não cabem nos baldes de coleta ou mesmo podem causar avarias nestes, inutilizando-os. Martins e Jesus Jr (2011) conjecturam que no país são desprezados em torno de 7 milhões de toneladas de cascas de coco anualmente. O descarte inadequado causa contaminação, pelo apodrecimento dos cocos. Além disso, se expostos ao ambiente, podem ser receptáculos para larvas de insetos

que podem transmitir sérias doenças (PADILLA *et al.*, 2018).

Os resíduos do coco podem ser utilizados na fabricação de tapetes, revestimentos, filtros, entre outras aplicações. É um mercado grande, mas o aumento da demanda tem gerado uma grande quantidade de resíduos sólidos, que é um material problemático “Basta pensar que cada coco tem entre 2 kg e 2,5 kg, e até 70% de seu peso está na casca” cita Fernando Abreu, pesquisador da Embrapa Ceará (SNA, 2014).

Segundo Francisco Porto, presidente do Sindcoco, o Brasil produz em média anualmente 1 bilhão de cocos verdes (de onde é extraída a água) e 1 bilhão de cocos secos (matéria-prima do coco ralado e do leite de coco). Apenas 10% desse total é reciclado. “Quase tudo vai para o lixo. É um subaproveitamento”, cita (SNA, 2014).

Em consequência da grande quantidade das cascas de coco destinadas incorretamente, vários pesquisadores se debruçam sobre o assunto para aumentar as alternativas para suas aplicações. Segundo Esteves (2015), as análises físico-químicas (massa específica, umidade, teor de voláteis, teor de cinzas, carbono fixo e poder calorífico) apontaram que o resíduo de casca de coco verde processado como briquete tem propriedades inerentes a combustíveis, podendo ser utilizado como fonte energética. Os briquetes podem ser utilizados como substitutos à lenha ou madeira na indústria, alimentando caldeiras, fornalhas ou equipamentos similares. A utilização do briquetes pode ser uma alternativa economicamente viável e ambientalmente correta, pois promove a redução do desmatamento, além de utilizar uma fonte energética que seria descartada. (DIAS, *et al.*, 2012; ZAGO, *et al.*, 2020).

De acordo com um estudo feito pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2016), a exploração da biomassa como uma fonte de energia alternativa pode ser aumentada, principalmente devido ao esgotamento e/ou escassez das fontes não-renováveis.

Devido ao aumento do valor do gás de cozinha, substituição pela lenha ecológica não só se apresenta interessante do ponto de vista ambiental, como também do econômico e social, principalmente para famílias de baixa renda. De acordo com a Petrobras, *o GLP, assim como os outros combustíveis, é uma commodity, que tem seus preços determinados no mercado global pelos movimentos de oferta e demanda. O Brasil é importador de parcela importante do GLP aqui consumido* (PETROBRAS, 2021).

De acordo com dados da ANP (SINDIGAS, 2022), o valor do botijão de gás de 13kg foi de R\$ 76,86 em janeiro de 2021 a R\$ 102,41 em janeiro de 2022, apresentando um aumento de 33 % em apenas um ano.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Propor a produção energética com resíduos de coco verde

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obter e caracterizar os resíduos da casca do coco verde obtido em empresa de tratamento de resíduos no Recife (Lógica Ambiental LTDA);
- Produzir em escala piloto briquetes da fibra da casca do coco verde;
- Verificar de acordo com as NBR 8112/1986 e NBR 8633/84 as características dos briquetes produzidos em escala piloto;
- Realizar um levantamento de quantidade em média de cocos que a empresa de reciclagem recebe por período de tempo determinado;
- Realizar um comparativo entre o valor econômico entre lenha, briquetes e uso de gás de cozinha, gasolina, etanol e diesel;
- Verificar a viabilidade de secagem das fibras da casca com secador solar.

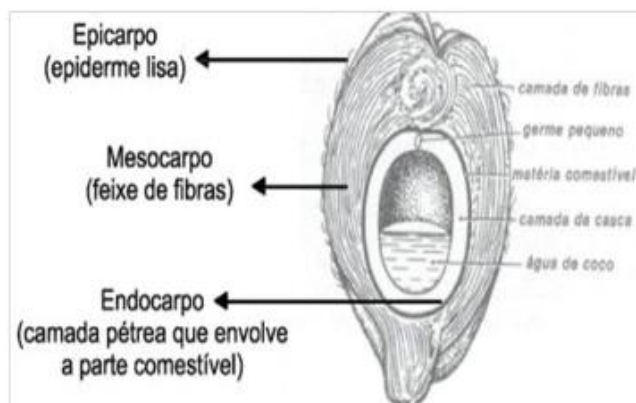
3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 O COCO E SUAS DIFERENTES APLICAÇÕES

O coqueiro (*Coccus nucifera* L.), planta bastante comum no litoral do Brasil, foi trazido pelos portugueses em meados de 1500. A princípio, encontrou boa aceitação na Bahia, partindo dali para o Nordeste e posteriormente para todo o país. Tem origem na Ásia, mais especificamente no Sudeste. Porém quase 90 países possuem variedades de coqueiros (DIAS *et al.*, 2012).

Genericamente, a parte que contém a água do coco é considerada casca. Porém, a maior porcentagem é constituída pelas fibras ou mesocarpo. A casca, na verdade, é área rígida que envolve a parte ingerível (castanha e água) (CORTEZ, *et al.* 2009). Erhardt *et al.* (1976), exemplifica bem as partes do coco conforme a figura seguinte:

Figura 1 - Corte longitudinal do coco e suas partes



Fonte: Erhardt *et al.* (1976)

Devido à sua variedade e abundância, vários produtos podem ser obtidos por meio do coqueiro, havendo ênfase na comercialização de água de coco, leite de coco, coco ralado, cocada, produtos artesanais e utilização do albúmen para indústria alimentícia (DIAS *et al.*, 2012).

O coco verde é o fruto do coqueiro, abundante nos trópicos. O seu consumo vem aumentando substancialmente no mundo. No país, segundo dados da FAO (2018), a produção saiu de 477 mil para 2,65 milhões de toneladas de 1990 a 2016. Silva (2014) aponta

que por conta do baixo custo, abundância e disponibilidade, o coco tem uma maior aceitação para comercialização.

Um estudo realizado aponta que a Bahia, Sergipe, Pará, Ceará e Espírito Santo juntos correspondem 72,8% do plantio de coco, com 29,4%, 12,5%, 11,2%, 10,7% e 9,0% respectivamente. Regionalmente, o estado do Pará detém praticamente todo o fornecimento do Norte do Brasil. A Bahia lidera o Nordeste com 42,0%. Ceará (17,9%) e Sergipe (15,3%) ocupam o segundo e terceiro lugar na produção nordestina. No Sudeste, especialmente Espírito Santo (55,8%), seguido do Rio de Janeiro (22,3%) e Minas Gerais (13,9%) detêm o plantio de coqueiros (DIAS *et al.*, 2012).

Em um levantamento elaborado pelo Sindcoco (Sindicato Nacional dos Produtores de Coco do Brasil), em torno de 1 bilhão e meio de cocos foram utilizados apenas no ano de 2014 para a indústria da água de coco (SNA, 2014). Toda essa produção gerou uma quantidade próxima de 2,5 milhões de quilos de resíduos. Calcula-se que em torno de 80% dos resíduos presentes nas praias brasileiras sejam de cascas de coco verde (LACERDA, 2021). O problema é o volume que este resíduo ocupa nos aterros sanitários, trazendo custos para o orçamento público. (DIAS *et al.*, 2012).

Após o consumo da água de coco, a casca configura-se como um subproduto. Esta equivale a 85% da massa do fruto do coqueiro (ROCHA *et al.*, 2015). Desta massa, somente 10% é reaproveitado pela indústria no processamento do coco (SNA, 2014), sendo então a maior fatia rejeitada sem o devido beneficiamento. (ROCHA *et al.*, 2015; SNA, 2014).

Assim, as cascas de coco em sua maioria são classificadas apenas como rejeitos, porém, com potencialidade ainda não explorada de entrar na produção. Pimenta *et al.* (2015) cita que empregar corretamente as cascas de coco favorece a preservação do meio ambiente, pois estas passam em torno de oito anos para se decompor.

As cascas do coco têm diversas aplicações: como briquetes podem substituir a lenha em fornos, fabricação de cordoalhas, tapetes, mantas acústicas, artesanato, entre outros. Entretanto, o alto teor de umidade presente na casca do coco verde, que é cerca de 85%, prejudica sua aplicação direta, sendo então necessário inserir a fase de secagem para melhor aproveitamento (SILVA, 2012). Na literatura foram relacionados vários trabalhos que dizem respeito ao aproveitamento do coco verde. Algumas das principais aplicações foram: briquetes (COELHO, *et al.*, 2001; ESTEVES, 2015; PIMENTA, *et al.*, 2015; SILVEIRA,

2008), bio-óleo (AGRIZZI, 2017; ROUT, *et al.*, 2016; SCHENA, 2015; SIENGCHUM *et al.*, 2013), biogás (LEITÃO, *et al.*, 2009; NEENA *et al.* 2007), etanol de segunda geração (CABRAL, *et al.*, 2017; GONÇALVES, *et al.*, 2015; SOARES, *et al.*, 2017) e carvão (ANDRADE, *et al.*, 2004; CORTEZ, *et al.*, 2009; PADILLA, *et al.*, 2018). BATISTA (2014) inferiu que a queima direta realmente pode ser uma boa aplicabilidade para o resíduo da casca do coco verde.

Os briquetes são resíduos lignocelulósicos compactados, usados na produção de energia na forma de calor ou eletricidade (DIAS *et al.*, 2012). Com relação ao seu uso por meio da transformação em briquetes, Silveira (2008) demonstra sua viabilidade na substituição da lenha. A produção de briquetes resumidamente realiza-se por meio do adensamento do material de origem lignocelulósica, danificando a flexibilidade das fibras do coco. Esse processo ocorre de tal maneira que se pode obter produtos compactos e de poder calorífico maior que o produto original destruindo a elasticidade natural das fibras do resíduo de coco. A queima de briquetes pode substituir a energia elétrica ou térmica de origem fóssil como fonte de calor. Os briquetes podem ser elaborados também por meio de outros resíduos vegetais, como os provenientes da serragem e restos de serraria, cascas de vários vegetais secos, sabugo de milho, restos de cana-de-açúcar, caroços, gramíneas, entre outros. Os resíduos agrícolas compactados são mais fáceis para transportar, inserir na produção, além das vantagens de cunho ambiental. Os briquetes podem ser utilizados diretamente no comércio e indústrias, na produção de materiais cerâmicos, pizzarias, cimenteiras, olaria, entre outros (SILVEIRA, 2008). Como cita Bhattacharya *et al.* (1989), o uso de briquetes cada vez mais encontra seu espaço em países em desenvolvimento.

Segundo Silveira (2008), comparado à lenha, os briquetes apresentam uma série de vantagens, algumas citadas abaixo:

- Mitigação do impacto negativo pela extração da lenha, principalmente em matas e florestas nativas;
- Redução da contaminação ambiental;
- Reinscrição do resíduo agrícola na cadeia produtiva;
- Facilidade no transporte e acomodação devido à forma definida;
- Substituição de 1 tonelada de briquete por até 1,96 ton de lenha;
- Poder calorífico maior que a lenha.

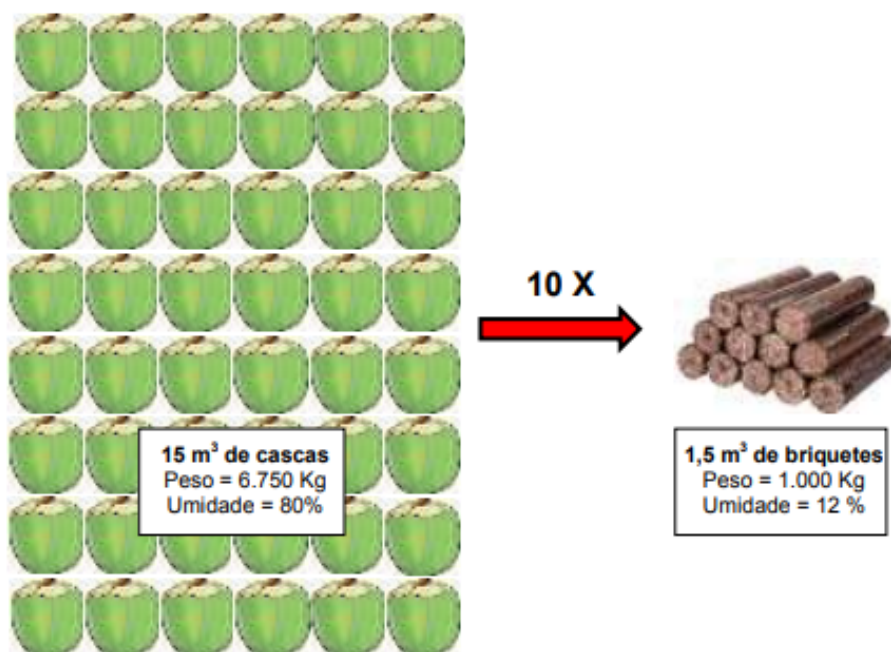
Lippel (2022) faz um breve comparativo entre alguns combustíveis, para a geração de 18,5 MBTU ou 19.518,53 MJ de energia, demonstrando a importância dos briquetes, de acordo com a Figura 2:



Fonte: Lippel (2022)

O volume que as cascas de coco desprezadas ocupam é bastante considerável. Cada casca de coco pesa aproximadamente 1,5 kg (SILVEIRA, 2008). Segundo Marafon (2019), estima-se 6.750 kg de cascas de coco com 80% de teor de umidade acomodam-se em um volume de 15.000 L e podem ser transformadas em 1.000 kg de briquetes com 12 % de umidade, que podem ocupar 1,5 m³, de acordo com a figura seguinte:

Figura 3- Relação entre cascas de coco e briquetes



Fonte: Marafon (2019)

3.2 ETAPAS DA PRODUÇÃO DE BRIQUETES

Abaixo seguem as principais etapas da produção industrial de briquetes e suas descrições.

3.2.1 Recepção e picotamento

Após a coleta do material que será briquetado, este será direcionado a uma prensa para fazer o levantamento de dados. Os dados obtidos dão informações sobre a alimentação, produção, armazenamento, peso, volume e energia necessária. O material então segue para uma plataforma que se destina à picotadeira (SOUZA, 2011).

Na picotadeira, os materiais têm sua granulometria reduzida para 1 cm por meio de um tipo moinho, podendo ser uma picotadeira ou triturador. O equipamento pode ser de um rolo de facas presas (com estas as fibras longas são poupadas) ou disco e facas associadas, discos de corte e moinhos (neste sistema as fibras longas não são aproveitadas). Geralmente, o material também pode apresentar um alto grau de umidade, sendo então necessário realizar sua secagem antes de passar pelo picotamento (SOUZA, 2011).

3.2.2 Prensagem

Somente para os resíduos que vêm com alto teor de umidade, como é o caso das casca do coco verde esta etapa é necessária. (uma de suas características é possuir um teor de umidade próximo de 85%) (ROSA *et al.*, 2001). Após a etapa de picotamento, o resíduo é encaminhado para uma prensa, para que seja reduzido o teor de líquidos. Para o beneficiamento do coco verde, essa etapa pode eliminar até 60% da umidade. Neste caso, não só a umidade é removida. Esse líquido separado é também chamado de água de embebição, e nesta estão vários nutrientes e sais presentes na casca do coco (SOUZA, 2011).

3.2.3 Seleção e secagem

Um equipamento composto de marteletes fixos helicoidais em uma chapa perfurada consegue fazer a separação das fibras e do pó. Esta fase deve ser aplicada em resíduos que têm um alto teor de fibras em sua composição. No caso dos resíduos da casca do coco verde, as fibras e o pó estão na proporção de 30% e 70% respectivamente (MATTOS, 2011).

No beneficiamento, a fase da secagem é feita com o objetivo de reduzir o teor de líquidos para próximo do teor de umidade dos briquetes; e a secagem pode ser feita ao natural (luz solar) ou utilizando equipamentos (secadores, estufas, etc) (MATTOS, 2011).

3.2.4 Moagem e briquetagem

A depender do tipo de resíduo, somente a fase do picotamento ainda não permite que esteja com as características desejadas para passar à etapa de briquetagem. Com a diminuição da umidade, alguns materiais aumentam de tamanho. Então adiciona-se o ciclo de moagem no beneficiamento, para a obtenção de partículas na faixa entre 0,5 a 1 cm. (CARVALHO, *et al.* 2010).

Quando se obtêm o material com as características de umidade baixa e granulometria definida, pode-se passar a fase de briquetagem. Algumas etapas anteriores podem ocorrer concomitantemente, pois a compactação ocorre a altas pressões, podendo até elevar a temperatura da biomassa utilizada para até 100°C. A elevação de temperatura auxilia na aglomeração dos constituintes, por meio da “plastificação” da lignina, processo que ocorre a 85°C. Para que esta reação ocorra, um percentual de água é necessário, sendo a faixa ideal entre 8% e 12% (QUIRINO, 2002).

Nilsson (2011) faz um breve resumo das etapas desde a coleta do material até sua transformação em briquetes, conforme a figura seguinte:

Figura 4- Quadro de etapas desde a coleta de resíduo até a briquetagem



Fonte: Nilsson (2011).

3.2.5 Análises dos briquetes

As características físicas, químicas e mecânicas dos briquetes são fundamentais para a determinação da sua qualidade. Sendo assim, é necessária a padronização por meio de normas técnicas e metodologia para garantir o uso e aplicação do produto com segurança e maior eficiência (DIAS *et al.*, 2012).

O mercado europeu já faz uso significativo de briquetes e peletes, em alternativa à lenha. Além dos briquetes e peletes terem custo menor que o da lenha, é mais cômodo, e há incentivos governamentais para seu uso, como as metas de emissões de gases de efeito estufa (GEE) (CARASCHI e GARCIA, 2012).

O Brasil, embora produza briquetes e peletes há anos, ainda não possui legislação ou normatização específica para a produção e comercialização de briquetes. Atualmente, o que se faz é uma adaptação das normas para carvão vegetal, as NBR 8112/86 e NBR 8633/84 (SILVEIRA, 2008). Estas normas foram revogadas, porém não há substitutos para elas, até o momento. A não normatização traz uma série de empecilhos para a exportação dos briquetes produzidos em solos brasileiros. De acordo com Dias *et al.* (2012), o Serviço Florestal Brasileiro do Ministério do Meio Ambiente (SFB/MMA), está com um movimento

para realizar a padronização por meio de normas para briquetes e pellets, caracterizando-os em diversas classes de produtos.

Sendo assim, basicamente, os briquetes são analisados com as normas de carvão vegetal: umidade, densidade, poder calorífico e análise imediata (teor de cinzas e voláteis).

A justificativa para que a umidade seja um dos parâmetros a serem analisados pode ser dada de duas maneiras. A água permite o processo de plastificação do amido, quebra das proteínas e dissolução das fibras na etapa de compactação. Porém o excedente pode levar à obstrução dos equipamentos. A literatura aponta que o teor de umidade ótimo para a maior parte da biomassa é entre 5 e 10%. Porém, outros trabalhos citam que o teor de umidade ideal para serragem e palha de outros tipos de biomassa é entre 15% e 23%. (DEMIRBAS *et al.*, 2004).

A partir dos briquetes prontos, o teor de umidade também influencia bastante na qualidade da queima. O teor de umidade é inversamente proporcional ao fornecimento de energia por parte do material, devido a perdas por evaporação na combustão. Estudos apontam para uma faixa de umidade entre 15% a 20%; acima disto o calor de combustão, temperatura do forno e a dos gases são reduzidos (GONÇALVES *et al.*, 2009). Além disso, soma-se o fato de que a umidade alta pode causar danos nos briquetes e degradação biológica. Em contrapartida, uma porcentagem baixa pode causar esfrelamento e fragilidade dos briquetes no transporte. É importante também que as características após a produção sejam mantidas. Para isso é necessário o correto armazenamento e transporte, para que as propriedades não sejam alteradas. Uma má acomodação pode elevar o teor de umidade (em locais úmidos) ou se empilhados acima da capacidade podem adensar-se (GONÇALVES *et al.*, 2009).

Densidade é uma característica considerável para a qualidade dos briquetes produzidos. É diretamente proporcional à razão entre energia/volume. Soma-se o fato de que produtos compactos têm maior aceitação no quesito logístico, acomodação e manipulação. A densidade dos materiais briquetados tem relação direta com a densidade do material de origem, do tipo de arranjo lignocelulósico, pressão, tempo e temperatura na fabricação. (DERMIBAS *et al.*, 2004). Maior umidade e granulometria leva à posterior redução de densidade ao final do processo. Por outro lado, pressões e temperaturas elevadas proporcionam um acréscimo na densidade do material. Em média, a densidade dos briquetes está compreendida na faixa entre 500 e 1200 kg/m³. A densidade a granel do produto pronto

raramente passa de 500 kg/m³, mas ainda é consideravelmente maior que a densidade do resíduo bruto não briquetado (DIAS et al., 2012).

O poder calorífico é definido como a quantidade de energia liberada na forma de calor por meio de combustão. A FAO (2012) cita que o poder calorífico da lenha e de outras biomassas pode ser obtido por meio da seguinte fórmula:

$$PCS = 20,0 * (1 - A - M) \quad (\text{Equação 1})$$

Onde

PCS= poder calorífico superior em MJ/kg;

A= Teor de cinzas;

M= teor de umidade em %

No caso de materiais com teores de cinzas baixos e umidade entre 10% e 15%, que é a faixa ideal para briquetes, a literatura aponta que o poder calorífico superior está compreendido entre 17-18 MJ/kg e o PCI: 15,4 entre 16,5 MJ/kg (FAO, 2012).

A composição química da cinza é basicamente de sais minerais. A quantidade de cada componente tóxico encontrado nestas, depende da matéria-prima utilizada, das formas de combustão e da deposição das cinzas residuais. As cinzas, geralmente, são ricas em potássio, o que pode se tornar um grande problema devido à lixiviação pelas chuvas. Outros tipos de cinzas são ricas em cálcio e pobres em potássio, como por exemplo, as oriundas da lenha (VASCONCELLOS *et al.*, 2004).

A combustão da biomassa gera uma quantidade relativamente baixa de cinzas, quando comparada à combustão do carvão mineral, por exemplo. As cinzas resultantes deste processo, normalmente, são emitidas e depositadas de forma inadequada, causando desequilíbrio ambiental. Devido a estes transtornos, muitos estudos têm surgido com o objetivo de dar uma aplicação ambientalmente correta a esse grande volume de resíduos produzidos.

De acordo com Raij (1991), as cinzas isentas de metais pesados podem ser utilizadas como fertilizantes, uma vez que estas correspondem à fração mineral do processo de combustão. De acordo com Capote (2012), estas podem atuar, de acordo com sua composição química, como adubo em solos pobres em nutrientes, sendo as mais recomendadas para o uso doméstico, devido ao baixo teor de contaminantes. O teor de cinzas é o percentual mássico de cinzas após a total combustão do material. No geral, os briquetes

de biomassa tem um teor reduzido de cinzas, excetuando-se a casca de arroz, em que se pode obter até 1/4 de fração de cinzas. As desvantagens de um teor de cinza elevado são principalmente a corrosão do equipamento de combustão ou forno e danos por atrito, o que pode ser mais grave quando o teor de cinzas ultrapassa 4% (MANDE, 2009). A combustão da biomassa gera, relativamente, uma baixa porcentagem de cinzas, em comparação às do carvão mineral. Uma parte é considerada leve e é arrastada pelos gases (VASCONCELLOS *et al.*, 2004). Porém, as mais pesadas são mais difíceis de manipular, pois são constituídas principalmente de sais minerais. As cinzas que não contém metais pesados podem ser utilizadas com biofertilizantes na agricultura, dependendo do tipo de solo. (VASCONCELLOS *et al.*, 2004).

3.3 BIOMASSA

De acordo com Marafon (2016), o termo biomassa está relacionado a materiais de origem natural, de baixo custo e que podem ser utilizados como fonte de energia. Sua constituição básica é carbono, oxigênio e hidrogênio. A biomassa pode ser aproveitada como fonte energética em larga escala e de maneira sustentável. Trata-se de uma das poucas fontes que pode facilitar a produção de energia em grande escala e de forma sustentável para apoiar o desenvolvimento da sociedade. Cortez *et al.* (2009) cita que a biomassa representa uma alternativa energética renovável de baixo custo com grande potencial a ser explorado no futuro, e menos poluente em relação às alternativas utilizadas na atualidade.

Composição química elementar é a porcentagem mássica dos elementos químicos presentes na biomassa. Entre os principais, pode-se citar: carbono, oxigênio, hidrogênio, nitrogênio, enxofre, cloro, entre outros. Em semelhança aos derivados de petróleo, a maior parte é constituída de carbono (entre 30 e 60%), seguido de oxigênio (em comparação aos de origem fóssil, a biomassa é mais oxigenada – 30 a 40 %). Após, segue-se em porcentagem de composição o hidrogênio (5 a 6%), e cloro, nitrogênio e enxofre, estes últimos sendo menos que 1% cada (GERALDO, 2013). A composição química elementar é fundamental para a caracterização e análise das etapas da queima da biomassa (DEMIRBAS, 2004).

3.4 SECADOR SOLAR

A secagem é um processo físico baseado na evaporação, que consiste na diminuição do teor de umidade de um produto. A secagem aparece em registros históricos, e é uma das formas mais antigas de conservar alimentos. Os humanos primitivos perceberam que algumas sementes comestíveis, quando expostas ao sol, mantinham-se em condições boas para consumo por mais tempo. Então, começaram a expor no sol também outros itens consumíveis, como carne, vegetais, grãos, entre outros (ALMEIDA *et al.*, 2016).

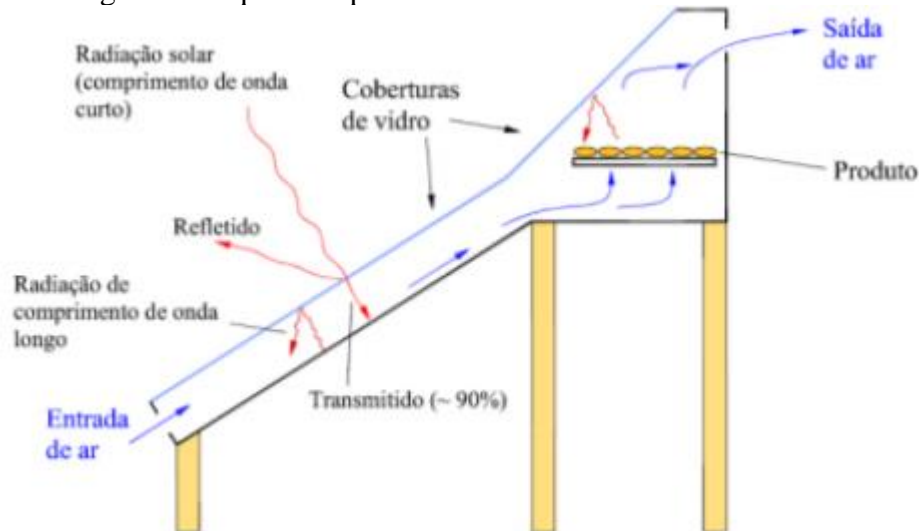
O uso de energia solar para a secagem de itens alimentícios é uma alternativa em potencial para regiões de incidência solar abundante, como o Nordeste brasileiro. (ALMEIDA *et al.*, 2016).

A desidratação tem por objetivo diminuir o teor de água do vegetal. Em alguns, o teor inicial parte de 60% a 90% para 8% a 10%. O processo dificulta a decomposição natural, atividades de microorganismos, e mantém as características organolépticas do vegetal por mais tempo. No passado, a secagem convencional consistia em apenas deixar o produto exposto ao sol e aos ventos. Porém, havia alguns impasses nesse processo, principalmente pela exposição a animais e sujidades (PARK *et al.*, 2007).

Este método de conservação de vegetais já é bastante conhecido e explorado, sendo utilizado a radiação solar ou secadores artificiais para a eliminação de água dos alimentos. No processo industrial, as variáveis de temperatura, umidade e de fluxo de ar durante a secagem são monitoradas com acurácia para a garantia de um produto de qualidade (FEIDEN *et. al* 2015).

Os fenômenos que ocorrem no secador solar envolvem transferência de calor e massa (OROZCO *et al.* ,2011). A luz incidida passa pelo anteparo translúcido (no caso o tampo de vidro). A energia é absorvida pelos produtos submetidos à luz e emitida em comprimentos de onda na faixa do infravermelho. O material translúcido não permite que esta faixa de energia no espectro de luz solar seja dispersada, sendo então mantida dentro secador, fazendo o aquecimento se tornar constante (NETO, 2018).

Figura 5- Esquema representativo de secador solar



Fonte: Domenico (2019) *apud* Silveira (2016).

O secador solar para produtos naturais é amplamente utilizado para secagem de madeira, fibras de coco, pimenta-do-reino, cupuaçu fermentado, entre outros. Em algumas análises executadas na unidade da Embrapa em Belém com jatobá, árvore bastante requisitada para exportação, o percentual de água foi diminuído para 10% em 40 dias de secagem solar. A temperatura dentro do secador solar pode alcançar 35°C a mais que a área externa exposta ao sol (FEIDEN *et. al* 2015).

A secagem de produtos agrícolas é um negócio promissor e com grande capacidade de ascensão. Porém ainda é pouco aproveitado pelas indústrias brasileiras (SOUZA, *et al.*, 2007). A secagem por energia solar mostra ser uma oportunidade interessante pelas suas características em elaborar produtos de alta qualidade, além do fato de que a energia solar é limpa, de baixo custo e abundante em quase todo o país (FERREIRA, *et al.*, 2008). O secador solar é um equipamento constituído por uma só câmara que funciona ao mesmo tempo como receptora e mantenedora da energia solar incidida. O ar tem a temperatura elevada pelo efeito de estufa, e o fluxo do ar é feito por convecção natural, a evaporação é acelerada e os custos não são elevados (OROZCO, *et al.* 2011).

A secagem por convecção é realizada por meio da transferência do calor sensível para o produto por convecção dentro do secador. O sólido é exposto ao ar quente, e a umidade presente no material é extraída deste e enviada para fora do secador. A estrutura da câmara

também protege os alimentos dos agentes externos (poeira, insetos, entre outros) (ALMEIDA *et. al.* 2016).

As temperaturas dentro e fora do secador no processo de secagem de um produto agrícola apresentam diferenças. A temperatura máxima média dentro do secador era de 39°C, ao passo que a externa era cerca de 29°C (MORAES-DUZAT *et. al.* 2000). Na sucessão das etapas, há um gradiente entre as temperaturas internas e ambiente. Isso porque após a eliminação da umidade da parte externa do produto, a energia fornecida começa a atuar para reduzir o teor de água das partes não expostas do material submetido à secagem. Este estudo aponta que os testes foram realizados em várias cidades brasileiras, em que os secadores estão instalados; tanto em regiões em que a umidade é mais baixa quanto nas cidades em que a umidade é mais elevada. As madeiras mais robustas podem chegar até 12% de umidade sob exposição solar por 30 dias, ao passo que madeiras menos densas podem alcançar o mesmo percentual de umidade em 20 dias. Outros fatores que podem influenciar no tempo de secagem é a época do ano e as características do produto (MORAES-DUZAT *et. al.* 2000).

4 METODOLOGIA

4.1 OBTENÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

A empresa Lógica Ambiental forneceu em torno de 10 kg de cocos verdes para o experimento.

4.2 SECADOR SOLAR

Como alternativa ao uso da estufa para a secagem do material, foi elaborado um projeto piloto de secador solar baseado no modelo desenvolvido pelo IAPAR. O secador é um equipamento simples uma caixa de madeira pintada de preto com um isolante térmico ao fundo, sobre o qual se coloca uma chapa metálica, também preta. Na parte de cima, um tampo de vidro que permite a entrada de luz e impede a saída de calor. A temperatura interna pode chegar a aproximadamente 70°C, suficiente para secar e até cozinhar ligeiramente os alimentos, eliminando microorganismos patogênicos. O secador solar foi elaborado baseado no modelo da Figura 6:

Figura 6- Secador solar modelo IAPAR ainda sem pintura



Fonte: IAPAR (1980)

O secador solar foi produzido a partir de materiais que seriam destinados ao descarte. O secador é de madeira com tampo de vidro e tem dimensões de 1,0mx0,7mx0,15m. De acordo com o método IAPAR, há perfurações para entrada e saída de ar na parte superior e inferior do secador. Os furos distam entre si 1,0 cm. A entrada de ar se dá pela parte inferior,

em que os furos estão a 3,5 cm do fundo do secador e a saída é pela parte superior, e os furos estão localizados a 9,0 cm do fundo. O ângulo foi ajustado com o auxílio de calços para a latitude da cidade do Recife (onde o experimento foi realizado) e é em torno de 8° e foi posicionado voltado para o norte para um melhor aproveitamento da luz solar. Foi disposto em local onde a luz solar incide na maior parte do dia. Foi inserido um termômetro simples para aferição da temperatura nos dias em que ficou submetido ao estudo.

4.3 PRODUÇÃO DE BRIQUETES DE CASCA DE COCO E CARACTERIZAÇÃO

As cascas de coco foram simplesmente amassadas com o uso de uma marreta e pesadas inicialmente (balança digital marca SF modelo 400 sensibilidade 1g. Após a pesagem, foram acondicionadas no secador solar conforme figuras seguintes:

Figura 7- Secador solar com amostras de casca de coco amassadas



Fonte: Autora (2022).

Figura 8- Secador solar visto por outro ângulo



Fonte: Autora (2022)

A pesagem era realizada a cada 3 dias, e após a verificação da estabilidade (não-variação) da massa, as cascas secas foram submetidas à moagem utilizando um moinho de facas Marconi, modelo MA-48 e seguida de peneiramento, em equipamentos conforme figuras seguintes:

Figura 9- Moinho de facas



Fonte: Autora (2022)

Figura 10- Conjunto de peneiras mesh 14



Fonte: Autora (2022)

A casca do coco então transformada em pó com granulometria determinada, foi submetida à prensagem manual, com a utilização da prensa conforme figura seguinte:

Figura 11- Prensa manual para fabricação de briquetes



Fonte: Autora (2022)

Como foi utilizada uma prensa manual, não foi possível mensurar a quantidade de força aplicada. Os briquetes obtidos após prensamento apresentaram a seguinte forma:

Figura 12- Briquetes de casca de coco



Fonte: Autora (2022)

Os briquetes foram pesados em balança analítica marca Shimadzu, modelo AY220, sensibilidade 0,0001g e as medidas obtidas com paquímetro conforme figura seguinte:

Figura 13- Paquímetro e briquete de casca de coco



Fonte: Autora (2022)

O pó que originou os briquetes foi submetido a diversas análises de acordo com a NBR 8112/86 e NBR 8633/84 (SILVEIRA, 2008).

Os equipamentos utilizados foram a balança analítica marca Marte modelo AD500 e sensibilidade 0,0001g, estufa marca Marconi MA035 e mufla marca Novus modelo N1030. Os experimentos foram feitos em triplica.

4.4 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DAS CASCAS DE COCO

Após a secagem no secador solar e antes da produção de briquetes foi determinado o teor de umidade da casca de coco moída. Foram pesados 3 recipientes limpos e secos. Após a pesagem, foram adicionados cerca de 5 gramas de fibra de casca de coco e pesados novamente. Foram mantidos em estufa por 3 horas a $105^{\circ} \text{C} \pm 2^{\circ} \text{C}$, até massa constante. Foram transferidos para um dessecador para serem pesados após esfriarem para realizar o cálculo do teor de umidade.

4.5 CARACTERÍSTICAS DOS BRIQUETES PRODUZIDOS

A metodologia utilizada para determinar o teor de materiais voláteis, teor de cinzas e o teor de carbono fixo do briquete foi baseada na NBR 8112/86 (SILVEIRA, 2008). A

metodologia utilizada para determinar o poder calorífico foi baseada na NBR 8633/84 (SILVEIRA, 2008). Esta norma também foi revogada e não há substitutos, até o momento.

4.5.1 Poder calorífico

O poder calorífico superior (PCS) dos briquetes foi determinado de acordo com uma adaptação da NBR 8633/84 (SILVEIRA, 2008), utilizando-se uma bomba calorimétrica com três repetições para cada tratamento. Foi utilizado um Calorímetro Digital Automático IKAWERKE, modelo C2000. O calorímetro funciona por meio de uma bomba adiabática de O₂, água deionizada e um recipiente para a biomassa.

Em primeiro lugar, verificou-se a umidade do material. Foram pesados 0,70 g do material e o calorímetro ligado no modo dinâmico. Em seguida, o manômetro de oxigênio foi mantido em 30 bar de pressão. Adicionou-se 2L de água deionizada em temperatura ambiente no calorímetro até o indicador. Inseriu-se a amostra, o fio de ignição e aguardou-se até o fim da combustão. A pressão de 30 bar de oxigênio foi mantida no recipiente de combustão.

O cálculo foi feito da seguinte maneira:

$$PCI = PCS - 304 \text{ (Equação 2)}$$

$$PCU = PCI (1 - U) - 600 U \text{ (Equação 3)}$$

Em que:

PCI = Poder calorífico inferior

PCS = Poder calorífico superior

PCU = Poder calorífico útil

U = teor de umidade em %

Figura 14- Calorímetro Digital



Fonte: Geraldo (2013).

4.5.2 Teor de materiais voláteis

Para essa análise foram utilizados cadinhos de porcelana, mufla, balança analítica Shimadzu, modelo AY 220, sensibilidade 0,0001g e dessecador. Seguindo as normas ABNT NBR 8112/86 (SILVEIRA, 2008), foram colocados nos cadinhos em torno de 1,0g do briquete produzido. Estes foram postos na porta da mufla a 900°C por 3 minutos. Depois, colocados no interior da mufla com a porta fechada a 900°C por 7 minutos. Após este tempo, foram postos no dessecador e pesados após o resfriamento. A Equação 4 mostra como foi feito o cálculo do teor de materiais voláteis.

$$MV = \frac{m_2 - m_3}{m} * 100 \quad (\text{Equação 4})$$

Em que:

MV = teor de materiais voláteis (%);

m₂ = massa inicial do cadinho somada à do resíduo (g);

m₃ = massa final do cadinho somada à do resíduo (g);

m = massa da amostra do resíduo (g)

A norma NBR 8112/86 (SILVEIRA, 2008) aponta que valores que diferem um do outro em mais que 2% não devem ser considerados.

4.5.3 Teor de carbono fixo

O teor de carbono fixo é uma medida indireta, obtido pelos dados de teor de cinzas e materiais voláteis de acordo com a equação abaixo:

$$CF = 100 - (Cz + MV) \quad (\text{Equação 5})$$

Em que:

CF= Teor de carbono fixo (%);

Cz= Teor de cinzas (%);

MV= Teor de materiais voláteis (%).

4.5.4 Determinação do teor de cinzas

O teor de cinzas foi determinado com base na norma NBR 8112/86 (SILVEIRA, 2008). Foram pesados 3 cadinhos e em seguida e 1 gramas do pó do briquete em cada um, registrando cada pesagem. Os cadinhos foram acomodados em uma mufla a por 6 horas a 700°C. Após este processo, os cadinhos foram acondicionados em um dessecador para que esfriem e serão pesados para o cálculo do teor de cinzas por meio da Equação 5:

$$Cz = \frac{Cf - Ci}{m} * 100 \quad (\text{Equação 6})$$

Em que:

Cz= teor de cinzas (%);

Cf= massa do cadinho somado à amostra final (g);

Ci= massa do cadinho (g);

m= massa inicial (g)

4.5.5 Densidade dos briquetes

A densidade dos briquetes, por terem forma definida, foi determinada por meio de um paquímetro e balança analítica Marte modelo AD500 sensibilidade 0,0001 g, de acordo com a Figura 13.

Para o cálculo da densidade, utilizou-se a fórmula da densidade, conforme cálculo abaixo:

$$\rho = m/v \text{ (Equação 7)}$$

$$v = \pi r^2 h \text{ (Equação 8)}$$

Onde m= massa do sólido, v= volume do sólido, h= altura do cilindro e r=raio do cilindro

4.5.6 Análise química elementar

A análise química elementar foi realizada em equipamento Vario Macro, modelo CHNOS-Cl, de acordo com as normas ASTM D5373/2008: Standard Test Methods for Instrumental Determination of Carbon, Hydrogen, and Nitrogen in Laboratory Samples of Coal e ASTM D4208/2007: Standard Test Method for Total Chlorine in Coal by the Oxygen Bomb Combustion/Ion Selective Electrode Method. O equipamento forneceu o resultado em leitura com o auxílio de um computador.

Figura 15- Analisador elementar



Fonte: Autora (2022)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 UTILIZAÇÃO DO SECADOR SOLAR

O secador foi disposto numa determinada área, no bairro de Boa Viagem, zona sul da cidade do Recife – PE e submetida à luz solar sem sombras das 8h às 16:30h. O experimento foi realizado no mês de janeiro de 2022, estação do verão no hemisfério sul. De acordo com dados da Agência Pernambucana de Água e Clima o mês apresentou temperaturas entre 30 °C e 33 °C e umidade relativa mínima absoluta de 44 % (LOPES *et. al*, 2022). Mantendo-se as condições citadas na metodologia, e pesando-se a cada 3 dias com o auxílio de uma balança simples, foi percebido que a biomassa apresentou massa constante no vigésimo dia após a inserção no secador solar. A literatura aponta que para as cascas são necessários em torno de 5 dias submetidos ao secador para o teor de umidade ser reduzido para 6%. (SILVA, 2012). Então, fazendo um comparativo com a literatura, foi gasto mais tempo para obter um resultado satisfatório. Porém, não se pode afirmar que o secador produzido é mais ou menos eficiente, pois devem ser consideradas outras variáveis.

5.2 TEOR DE UMIDADE

A análise de umidade foi realizada no Laboratório de Combustíveis da UPE.

Para averiguar o real teor de umidade, as cascas submetidas foram moídas e submetidas à análise de teor de umidade em triplicata, onde se pôde constatar que estavam com cerca de 3,5% de umidade, de acordo com a tabela abaixo:

Tabela 1- Cálculo da umidade

Uso do secador	%
Amostra 1	83,14
Amostra 2	80,93
Amostra 3	80,364
Média	81,48
Desvio	1,15

Fonte: Autora (2022)

Como a literatura aponta que a casca de coco tem em torno de 85% de água, os 3,5% foram obtidos por subtração (porcentagem na literatura menos o valor médio encontrado).

Demirbas et al., (2004), cita que alguns tipos de biomassa podem ter a faixa boa de umidade para a produção de briquetes entre 15 e 23%. Como a porcentagem de umidade estava abaixo do recomendado pela a literatura, foi necessário fazer correções com o uso de um borrifador. Após adicionar água, a umidade foi verificada com o auxílio de uma estufa para a confecção dos briquetes. Como recomenda a norma, os resultados diferentes entre si mais que 2% foram excluídos, neste caso, a amostra 1. Então, de acordo com a tabela abaixo, obteve-se uma média de 16% de umidade.

Tabela 2– Correção da umidade

Umidade corrigida	%
Amostra 1 (excluída)	23,42
Amostra 2	16,79
Amostra 3	16,37
Média	16,58
Desvio padrão	0,15

Fonte: Autora (2022)

Após a determinação e correção da umidade, utilizou-se a mesma porção da casca do coco moída e peneirada para a produção dos briquetes.

5.3 PRODUÇÃO DE BRIQUETES

Os briquetes foram produzidos no laboratório de combustíveis da UPE. Foram confeccionados com valor determinado em gramas de fibra de coco com granulometria definida, sob pressão, sem aquecimento e sem outras substâncias aglutinantes (SILVEIRA, 2008). Os briquetes tiveram formas dos moldes cilíndricos disponíveis por meio de uma prensa manual. Como a produção dos briquetes depende da fôrma e/ou maquinário disponível, torna-se um pouco mais complicado fazer uma comparação com briquetes produzidos em outros trabalhos.

5.4 TEOR DE VOLÁTEIS, TEOR DE CINZAS E TEOR DE CARBONO FIXO

Uma determinada amostra dos briquetes produzidos foi submetida às análises de teor de voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo. As análises citadas foram realizadas nos laboratórios de química do IFPE. A tabela abaixo mostra os resultados dos cálculos de acordo com as equações dos resultados e discussão.

Tabela 3 – Dados obtidos após análise

Parâmetro	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média	Desvio padrão
% de voláteis	94,25	96,19	95,45	95,30	0,98
% cinzas	3,11	2,91	3,01	3,00	0,09
% carbono fixo	2,64	0,90	1,54	1,71	0,89

Fonte: Autora (2022).

Sendo assim, o valor médio teor de voláteis é de 95,30%, o teor médio de carbono fixo é 1,71% e de cinzas 3,00%.

Abaixo, segue uma tabela em que os valores encontrados são comparados aos valores encontrados em diversos outros trabalhos presentes na literatura:

Tabela 4 - Comparativo dos parâmetros com outros trabalhos encontrados na literatura

Fonte \ Parâmetro	Teor de voláteis (%)	Teor de cinzas(%)	Teor de carbono fixo(%)
Autora	95,30	3,00	1,71
Padilha <i>et al.</i> (2018)	75,48	2,90	21,61
Lobato <i>et al.</i> (2017)	82,80	1,44	15,76
Ferreira, AFB <i>et al.</i> (2016)	87,09	5,03	7,87
Aguirre, e Martins Filho (2017)	77,83	1,76	11,22

Fonte: Autora (2022), Padilha *et al.* (2018), Lobato *et al.* (2017), Ferreira, AFB *et al.* (2016) e Aguirre, e Martins Filho (2017).

A literatura pesquisada aponta diversos valores para os parâmetros em questão. Como no Brasil ainda não há normatização para os briquetes, não se pode afirmar que os valores estão dentro do padrão ou devem ser excluídos. Porém, é possível observar que os valores encontrados no trabalho não diferem muito da literatura. Em linhas gerais, dos quatro trabalhos comparados, os resultados encontrados se assemelham mais aos obtidos por Ferreira, AFB *et al.* (2016) para o teor de voláteis e carbono fixo; e para cinzas, Padilha *et al.* (2018).

5.5 PODER CALORÍFICO SUPERIOR (PCS) E PODER CALORÍFICO INFERIOR (PCI).

Os resultados obtidos foram 15,36 MJ/kg para o poder calorífico superior (PCS) 15,17 MJ/kg para o poder calorífico inferior (PCI). As análises citadas foram feitas no laboratório de combustíveis da UPE. Os resultados encontrados foram comparados com diversos autores de trabalhos semelhantes e encontram-se na tabela seguinte:

Tabela 5 - Comparativo do PCS com outros trabalhos encontrados na literatura

Fonte \ Parâmetro	PCS (MJ/kg)
Autora	15,36
Padilha (2018)	18,67
Lobato <i>et al.</i> (2017)	15,56
Ferreira, AFB <i>et al.</i> (2016)	21,86
Jenkins (1990)	19,04
Marcelino (2017)	15,11

Fonte: Autora (2022), Padilha (2018), Lobato *et al.* (2017), Ferreira, AFB *et al.* (2016), Jenkins (1990), Marcelino (2017).

Marcelino (2017), avaliou características químicas das cascas de coco e obteve valores proporcionais 15,11 MJ/kg, para o poder calorífico superior (PCS), e foi o menor valor encontrado. Jenkins (1990), cita que as cascas de coco têm poder calorífico superior igual a 19,04 MJ/kg, sendo então o maior valor encontrado. Então, os valores obtidos estão, de certa forma, coerentes e compreendidos com os valores máximos e mínimos com o que

aponta a literatura. Dos cinco trabalhos citados, os resultados obtidos se assemelham mais aos de Lobato et al. (2017).

5.6 LEVANTAMENTO DE CASCAS DE COCO RECEBIDAS PELA EMPRESA DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS

Partindo-se do pressuposto acima, cada kg de casca de coco transformada em briquete produz 15,36 MJ de energia. Segundo dados coletados da Lógica Ambiental, são recebidos diariamente em média 700 cascas de coco. Sendo assim, cada casca pesando em média 1,5kg e com o teor de 85% de umidade, teremos 2419 MJ de energia diariamente que poderiam ser aproveitados em formas de briquetes, dadas as condições da pesquisa.

5.7 COMPARATIVO DO PCS E VALOR ECONÔMICO DE VÁRIOS COMBUSTÍVEIS E BRIQUETES DE CASCA DE COCO

De acordo com Souza (2006), Copergas (2022) e Viola (2017), os combustíveis apresentam o seguinte poder calorífico inferior e valor financeiro:

Tabela 6 - Poder calorífico superior (PCS) de alguns combustíveis

Combustível	PCS	PCS	Valor
Lenha	3000 kcal/kg	12,5 MJ/kg	2000 R\$/ton ou 2 R\$/kg
GLP	11920 kcal/kg 28000 kcal/m ³	49,9 MJ/kg 117,23 MJ/m ³	120 R\$ /13 kg (botijão) ou 9,23 R\$/kg
GN	9400 kcal/m ³	39,36 MJ/kg	3,09 R\$/m ³ ou 4,033 R\$/kg
Diesel	10750 kcal/kg	45,00 MJ/kg	6,20 R\$/L ou 7,29 R\$/kg
Gasolina	9187 kcal/kg	38,46 MJ/kg	7,09 R\$/L ou 10,12 R\$/kg
Etanol	5283 kcal/kg	22,12 MJ/kg	5,26 R\$/L ou 6,67 R\$/kg
Briquetes de cascas de coco	3668 kcal/kg	15,35 MJ/kg	- R\$/kg

Fonte: Adaptado de Souza (2006), Copergas (2022) e Viola (2017) e valores referentes ao dia 10/03/2022.

Os resultados confirmam o que Silveira (2008) afirma. Os briquetes de casca de coco apresentam poder calorífico maior que o da lenha.

5.8 DENSIDADE DOS BRIQUETES PRODUZIDOS

Os briquetes foram produzidos na prensa manual e apresentaram forma cilíndrica. Em média, apresentaram uma densidade de 268,35 kg/m³, abaixo da faixa em que aponta a literatura (DIAS et al., 2012). Este resultado pode ser devido ao fato de que a força utilizada na prensa foi apenas manual, e de difícil dimensionamento.

5.9 ANÁLISE ELEMENTAR

A análise elementar foi realizada no laboratório de combustíveis da UPE. Os resultados encontrados foram comparados com diversos autores de trabalhos semelhantes e encontram-se na tabela seguinte:

Tabela 7 - Comparativo dos resultados obtidos com outros trabalhos encontrados na literatura

Parâmetro Fonte	Carbono (%)	Hidrogênio (%)	Enxofre (%)
Autora	40,44	4,26	0,78
Cortez <i>et al.</i> (2009)	42,11	5,35	0,13
Ferreira, AFB <i>et al.</i> (2016)	48,23	5,23	0,12
Sulaiman <i>et al.</i> (2018)	46,93	3,96	0,19
Marcelino (2017)	44,03	4,85	0

Fonte: Autora (2022), Cortez *et al.* (2009), Ferreira, AFB *et al.* (2016), Sulaiman *et al.* (2018), Marcelino (2017).

Analisando a tabela, é possível perceber que os valores encontrados não diferem muito da literatura pesquisada. O parâmetro de carbono se assemelha mais ao encontrado por Cortez *et al.* (2009). A porcentagem referente ao hidrogênio se aproxima mais ao resultado obtido por Sulaiman *et al.* (2018), assim como o enxofre.

5.10 SUBSTITUIÇÃO DA ESTUFA PARA SECAGEM DAS CASCAS PELO SECADOR SOLAR ELABORADO COM BASE NO PROJETO DA IAPAR

Na figura seguinte é possível verificar o secador solar e a medição de uma das mais altas temperaturas registradas.

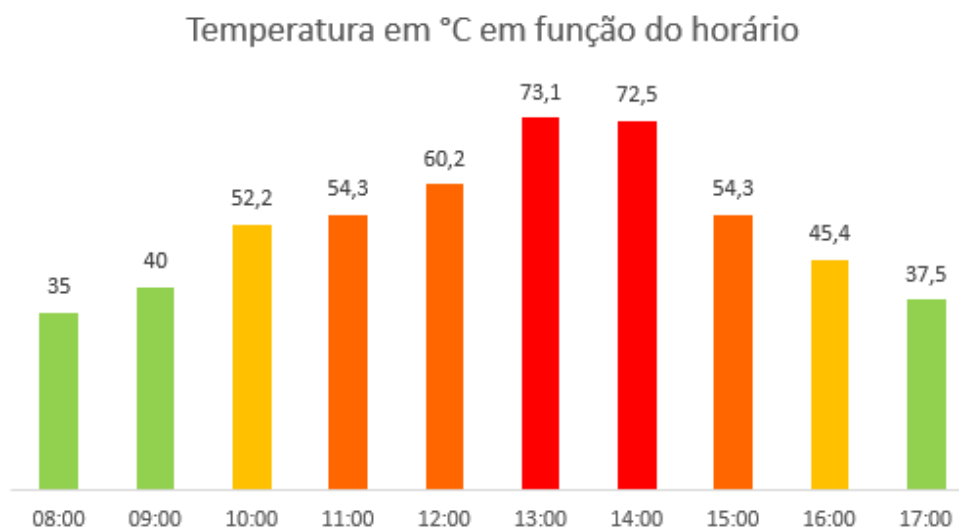
Figura 16- Secador solar e termômetro



Fonte: Autora (2022)

O gráfico seguinte mostra a média horária de temperatura em um mês na estação do verão.

Gráfico 1 - Temperatura em função do horário do dia solar



Fonte: Autora (2022)

Enquanto a parte interna do secador apresentava essa variação média de temperatura de acordo com o gráfico acima, a externa estava em torno de 30°C nos dias e horários em questão. Os valores encontrados não podem ser comparados com a literatura, pois há muita influência de diversos fatores para obtê-los. Podemos citar como fatores: local, latitude, horários de exposição solar, estação do ano, temperatura média da cidade, taxa de incidência solar, períodos chuvosos, entre outros. Então, caso a variável tempo não seja considerada (pois uma estufa conseguiria o mesmo resultado em algumas horas) e a variável custo seja mais importante, pode-se substituir a estufa por um secador solar artesanal fabricado com materiais reciclados, apenas nas condições apresentadas. Em certos casos, onde a incidência solar é baixa ou períodos de chuva constante, por exemplo, não se pode realizar essa afirmação, pois o desempenho da secagem é impactado diretamente por essas e outras variáveis, como já citado.

6 CONCLUSÃO E SUGESTÕES

Após os resultados expostos, conclui-se que o secador solar, nas condições submetidas, apresenta-se como um bom recurso que pode substituir a estufa na secagem das cascas de coco. De acordo com os experimentos realizados, o secador solar pode reduzir a umidade em torno de 80%, mantendo-a condizente com a literatura para a produção de briquetes de casca de coco, após uma simples correção na umidade. O secador solar pode apresentar em seu interior, dadas devidas condições e em certos períodos do dia, até próximo de 70°C, enquanto a temperatura externa era em torno de 30°C. Como sugestão, pode-se elaborar um secador solar com aberturas reguláveis e avaliar a eficiência.

As análises de teor de umidade, poder calorífico, teor de carbono fixo, teor de cinzas, teor de voláteis e análise elementar apresentaram-se de certa forma condizentes com a literatura pesquisada.

O secador solar, por ter sido elaborado a partir de materiais que seriam destinados ao descarte, apresentou custo financeiro não mensurável. As cascas de coco, obtidas por meio de empresa de tratamento de resíduos, que seriam após a coleta trituradas e destinadas a compostagem, também apresentou custo financeiro não-considerável. Porém, em caso de reprodução do experimento em maior escala, deve-se inserir vários custos subjacentes, como transporte do coco, o custo da mão-de-obra para confeccionar o secador solar, os materiais, energia para a produção dos briquetes com prensa não-manual, entre outros. Partindo-se do pressuposto de custo não-considerável e, de acordo com o comparativo do poder calorífico e valor monetário de vários combustíveis realizado na Tabela 4, os briquetes de casca de coco podem ser substitutos da lenha. A grande vantagem dos briquetes produzidos frente a qualquer outro combustível que foi citado na Tabela 4 é o custo. Como muitas vezes o destino da casca do coco são os aterros sanitários ou lixo comum, a fabricação dos briquetes torna-se atrativa economicamente (substituindo os custos da lenha). Além do mais, a vertente social pode ser fortalecida na produção dos briquetes com materiais reciclados gerando emprego e renda. A temática ambiental também pode ser atendida na diminuição da quantidade de cascas de coco que iriam ser dispostas no ambiente para descarte e terão um novo fim, fechando então o ciclo do desenvolvimento sustentável, que une o econômico, social e ambiental.

Há também a possibilidade de famílias de baixa renda produzirem e utilizarem os briquetes de casca de coco em pequena escala como substituição da lenha e do gás de cozinha. Nas condições apresentadas, desconsiderando a variável tempo e enfatizando a variável financeira, o secador solar pode substituir a estufa para a secagem das cascas de coco.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR: 8633**: Determinação do Poder Calorífico. Rio de Janeiro, 1984.

ABNT. **NBR: 8112**: Carvão vegetal - Análise Imediata. Rio de Janeiro, 1986.

AGUIRRE, Carlos Ricardo Gomes; MARTINS FILHO, Paulo Roberto dos Anjos. **Análise prévia e estudo de caso do beneficiamento da casca de coco verde para fins energéticos**. 2017.

AGRIZZI, T. **Pirólise da Casca de Coco: Estudo da Cinética de Devolatilização e Identificação dos Produtos**. 2017.

ALMEIDA, Isac Barbosa; LIMA, Michele Asley Alencar; SOUZA, Luiz Guilherme Meira. Desenvolvimento de secador solar construído a partir de material reciclável. **Holos**, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte Natal, Brasil. vol. 4, pp. 197-205, 2016.

ANDRADE, Azarias Machado de, *et al.* Pirólise de resíduos do coco-da-baía (*Cocos nucifera* Linn) e análise do carvão vegetal. **Revista Árvore**, v. 28, n. 5, p. 707-714, 2004.

ASTM D4208/2007: **Standard Test Method for Total Chlorine in Coal by the Oxygen Bomb Combustion/Ion Selective Electrode Method**. 2007

ASTM D5373/2008: **Standard Test Methods for Instrumental Determination of Carbon, Hydrogen, and Nitrogen in Laboratory Samples of Coal**.

BATISTA, Renato Rocha. **Rotas de aproveitamento tecnológico de resíduo orgânico agrícola: casca de coco, casca de cacau e casca de café-destinadas à geração de energia**. 2014.

BEN 2018 – **Balanco Energético Nacional**. Brasil, 2018. Disponível em: <http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018> Acesso em: 05 jun. 2019.

BHATTACHARYA, S. C.; SETT, Sivasakthy; SHRESTHA, Ram M. State of the art for biomass densification. **Energy Sources**, v. 11, n. 3, p. 161-182, 1989.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Boletim Mensal de Energia**. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia, jul. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/ptbr/assuntos/noticias/1BoletimMensaldeEnergiaJulho2021Portugus.pdf>. Acesso em 21 jul. 2021.

CABRAL, Mirelle Márcio Santos, *et al.* Composição da fibra da casca de coco verde in natura e após pré-tratamentos químicos. **Engevista**, v. 19, n. 1, p. 99-108, 2017.

CAPOTE, Franciele Gesleine. **Caracterização e classificação de co-produtos compactos da biomassa para fins energéticos**. Dissertação (Mestrado em Bioenergia). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

CARASCHI, José Cláudio; GARCIA, Dorival P. A expansão do mercado de pellets de madeira. **Painel Florestal**. 2012.

CARVALHO, Eduardo Augusto de; *et al.* Aglomeração. Parte 1: **Briquetagem**. Centro de Tecnologia Mineral. Ministério da Ciência e Tecnologia- CETEM. Comunicação técnica. Rio de Janeiro, 2010.

CINTRA, F. L. D.; *et al.* (Ed.). **Fundamentos tecnológicos para a revitalização das áreas cultivadas com coqueiro gigante no nordeste do Brasil**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2009. 232 p. p. 37-60.

CIVIL, Casa. LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**, 2010.

COELHO, Maria Alice Zarur. *et al.* **Aproveitamento de resíduos agroindustriais: produção de enzimas a partir da casca de coco verde**. Embrapa Agroindústria de Alimentos. 2001.

COPERGAS. **Industrial**: Informações Técnicas. Disponível em: <https://www.copergas.com.br/produtos/industrial/>. Acesso em: 17 maio 2022.

CORTEZ, Luis; *et al.* Processamento de casca e fibra de coco verde por carbonização para agregação de valor. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 3, n. 1, p. 21-30, 2009.

DE PESQUISA ENERGÉTICA, Empresa (EPE). **O compromisso do Brasil no combate às mudanças climáticas: produção e uso de energia**. Rio de Janeiro, 2016.

DEMIRBAS, AYHAN; SAHIN-DEMIRBAS, A. Y. S. E. **Briquetting properties of biomass waste materials**. *Energy Sources*, v. 26, n. 1, p. 83-91, 2004.

DIAS, JMC de S. *et al.* **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. Embrapa Agroenergia. 2012.

DOMENICO, André Luis di. **Estudo da capacidade produtiva e viabilidade econômica de diferentes modelos de secadores solares para desidratação de alimentos por pequenos produtores rurais**. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Engenharia de Produção). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2019.

EDENHOFER, Ottmar; *et al.* **Renewable energy sources and climate change mitigation: Special report of the intergovernmental panel on climate change**. Cambridge University Press, 2011.

ERHARDT, Theodor, *et al.* **Curso técnico têxtil: física e química aplicada, fibras têxteis, tecnologia.** São Paulo: EPU / EDUSP; 1976. v. 1, 88 p.

ESTEVES, Mayara Raysa Lima; ABUD, Ana Karla; BARCELLOS, Karla Miranda. Avaliação do potencial energético das cascas de coco verde para aproveitamento na produção de briquetes. **Scientia plena**, v. 11, n. 3, 2015.

FAO. Food Agriculture Organization. CHAPTER 4. 2012. **Technical aspects of briquetting.** Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/T0275E/T0275E03.htm>. Acesso em: 24 set. 2019.

FAO. Food Agriculture Organization. 2018. **World production of the natural foods.** Disponível em: www.faostat.org/family-farming-2014/pt/. Acesso em: 10 março. 2019.

FEDERAL, Governo. Plano Nacional sobre Mudança do Clima, Brasil. **Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima**, 2008.

FEIDEN, A.; GALVANI, F., CAMPOLIN, A. **Desidratação de frutas utilizando secador solar.** Corumbá: Embrapa Pantanal, 2015. 5 p. Embrapa Pantanal. Comunicado Técnico, 98. Disponível em: www.cpap.embrapa.br/publicacoes/online/COT98.pdf Acesso em: 16 out. 2019.

FERREIRA, A. G.; *et al.* Technical feasibility assesment of a solar chimney for food drying. **Solar Energy**. v. 82 p.44-52, 2008.

FERREIRA, AFB *et al.* Caracterização energética da fibra da casca do coco com posterior produção de briquete. In: **Congresso brasileiro de engenharia química, XXI**. 2016.

GERALDO, Bernardo Cirne de Azevêdo. **Gaseificação da casca e da torta da mamona para produção de gás combustível.** 2013. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

GOMEZ, Edgardo Olivares. **Projeto, construção e avaliação preliminar de um reator de leite fluidizado para gaseificação de bagaço de cana-de-acucar.** p. 200 . Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.

GONÇALVES, José E.; SARTORI, Maria MP; LEÃO, Alcides L. Energia de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 657-661, 2009.

GONÇALVES, Fabiano Avelino et al. Bioethanol production from coconuts and cactus pretreated by autohydrolysis. **Industrial Crops and Products**, v. 77, p. 1-12, 2015.

IAPAR. Instituto Agronômico do Paraná. **Secador solar IAPAR**. Londrina: IAPAR, 1980. Disponível em: http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/secadorsolar_iapar.pdf. Acesso em: 29 set. 2019.

JENKINS, B. M. Fuel properties for biomass materials. In: **International symposium on application an management of energy in agriculture: the role biomass fuels**, 1., 1990, New Delhi. Anais. Ludhiana: Punjab Agricultural University, 1990. p. 21-23.

LACERDA, Monique Silva, LEITÃO, Fabrício. O coco verde no contexto da economia circular: Uma revisão sistemática da literatura. **Revista Agronegócio e Meio Ambiente**. Maringá, v. 14, n. 3, p. 667-679, 2021.

LEITÃO, R. C. et al. Anaerobic treatment of coconut husk liquor for biogas production. **Water science and technology**, v. 59, n. 9, p. 1841-1846, 2009.

LIPPEL. **Briquetes de biomassa e carvão**. Brasil, 28 mar. 2022. Disponível em: <https://www.lippel.com.br/artigos-academicos/briquetes-de-biomassa-e-carvao/> Acesso em: 28 mar. 2022.

LOBATO, Camila Cristina Soares *et al.* **Aproveitamento de biomassa do coco (cocos nucifera l.) para uso energético**. 2017.

LOPES, Z. F. *et al.* **Boletim do Clima - Síntese Climática**. Recife: Agência Pernambucana de Água e Clima- APAC. v.10, n. 01, p.23, jan, 2022.

MANDE, S. P. Thermo chemical conversion of biomass. In: Kishore, V. V. N. (Ed.). **Renewable energy engineering and technology**. New Delhi: The Energy and Resources Institute, p. 705-728, 2009.

MARAFON, A. C. , *et al.* **Uso da biomassa para a geração de energia**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2016.

MARAFON, A. C. , *et al.* **Aproveitamento de cascas de coco para geração de energia térmica: potencialidades e desafios**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2019.

MARCELINO, Marcela Magalhães. **Biomassa residual do coco para obtenção de energia e intermediários químicos via gaseificação: caracterização, modelagem e simulação**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial). Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2017.

MARTINS, C. R.; JESUS JR., L. A. **Evolução da produção de coco no Brasil e o comércio internacional** - Panorama 2010. Embrapa, Aracaju-SE, 2011.

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

MORAES-DUZAT, Rejane.; BARBOSA, Ana Paula; VETTER, Roland. O secador solar do INPA: uma alternativa econômica para secar madeira. **Encontro de energia no meio**

rural, v. 3., 2000, Campinas. Disponível em:
http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022000000200041&lng=en&nrm=abn. Acesso em: 17 out. 2019.

NEENA C., AMBILYP.S., JISHA M. S. Anaerobic degradation of coconut husk leachate using UASB reactor, **Journal of Environmental Biology**. v.28, n.3, p. 611. 2007.

NETO, Raimundo Vicente Pereira. **Estudo de uma nova configuração de um forno solar fabricado a parte de estante metálica para o assamento de alimentos**. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

NILSSON, Daniel.; BERNESSON, Sven.;HANSSON, Per-Anders. Pellet production from agricultural raw materials – a systems study. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 35, n. 1, p. 679-689, 2011.

OROZCO, Carlos Alberto; ACOSTA, Ricardo; MONTOYA, Jorge Augusto. Optimización del aislamiento térmico de una cubierta transparente de un secador híbrido de guadua angustifolia. **Biología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial**, v. 9, n. 2, p. 58-65, 2011.

PADILLA, Elias Ricardo D., et al. Energetic potential of coconut shell (Cocos nucifera L.) for use in the charcoal production by pyrolysis. **Revista Virtual de Química**. v.10, n 2, p. 334- 345. 2018.

PARK, Kil Jin, *et. al.* **Conceitos de processo e equipamentos de secagem**. Campinas:Unicamp. v. 1. 2007.

PETROBRAS. **Verdades sobre os preços do gás de cozinha (GLP)**. Brasil, 18 jan. 2021. Disponível em: <https://petrobras.com.br/fatos-e-dados/verdades-sobre-os-precos-do-gas-de-cozinha-glp.htm?q=petrobras-nao-poderia-baixar-o-preco-do-gas-de-cozinha> Acesso em: 28 mar. 2022.

PIMENTA, A.S.; SANTOS, R.C.; CARNEIRO, A.C.O.; CASTRO, R.V.O. Utilização de Resíduos de coco (Cocos nucifera) carbonizado para a produção de briquetes. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 1. 2015.

QUIRINO, Wladir Ferreira. **Utilização energética de resíduos vegetais**. Brasília, Brasil: IBAMA, Laboratório de Produtos Florestais, 2002.

RAIJ, Bernardo Van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba, Potafos, 1991. 343p.

ROCHA, A.M., *et al.* Aproveitamento de fibra de coco para fins energéticos: Revisão e Perspectivas. **Congresso sobre geração distribuída e energia no meio rural**, São Paulo: Universidade Federal de São Paulo. v. 9. 2015. Disponível em:
<http://www.iee.usp.br/agrener2015/sites/default/files/tematica8/744.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2019.

ROSA, M. F. et al. **Caracterização do pó da casca de coco verde usado como substrato agrícola**. Embrapa Agroindústria Tropical, 2001.

ROUT, Tanmya et al. Exhaustive study of products obtained from coconut shell pyrolysis. **Journal of environmental chemical engineering**, v. 4, n. 3, p. 3696-3705, 2016.

SCHENA, Tiago. **Pirólise da fibra da casca de coco: caracterização do bio-óleo antes e após a aplicação de dois processos de melhoramento**. 2015.

SIENGCHUM, Tritti; ISENBERG, Mathew; CHUANG, Steven SC. Fast pyrolysis of coconut biomass—An FTIR study. **Fuel**, v. 105, p. 559-565, 2013.

SILVA, J. M. **Viabilidade do uso de secadores solares de convecção natural e forçada para a secagem do coco licuri**. Dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica- Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

SILVA, Alessandro Costa. Reaproveitamento da casca de coco verde. **Revista Monografias Ambientais**, v.13, n.5, p. 4077–4086. ISSN 2236-1308. 2014.

SILVEIRA, Mônica Silva. **Aproveitamento das cascas de coco verde para produção de briquetes em Salvador-BA**. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica, Salvador, 2008.

SILVEIRA, Luciano Roberto da; MORAES, Sérgio Oliveira. **Modelagem de um secador solar de produtos agrícolas com sistema de armazenagem de energia térmica**. Tese (Doutorado em Ciências). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

SINDIGAS. **Evolução do preço do GLP**. Brasil, 28 mar. 2022. Disponível em https://www.sindigas.org.br/?page_id=3020. Acesso em 28 mar. 2022.

SOARES, Jimmy *et al.* Fed-batch production of green coconut hydrolysates for high-gravity second-generation bioethanol fermentation with cellulosic yeast. **Bioresource technology**, v. 244, p. 234-242, 2017.

SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA (SNA). **Indústria do coco cresce, mas alto desperdício gera desafio tecnológico**. Rio de Janeiro: Sociedade Nacional de Agricultura. 2014. Disponível em: <http://www.sna.agr.br/industria-do-coco-cresce-mas-alto-desperdicio-geradesafio-tecnologico/> .Acesso 11 jun. 2019.

SOUZA, Marcelo Eduardo Alves Olinda de. **Estudo de um processo de combustão de gás totalflex para calcinação da gipsita em regiões remotas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

SOUZA, Luiz Guilherme Meira de; *et al.* **Obtenção de tomate seco utilizando um sistema de secagem solar construído com materiais alternativos**. 8º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica, Cusco, Peru, 2007.

SOUZA, José Edmundo Accioly de. **Avaliação das diversas fontes e tipos de biomassa do estado de Alagoas**: Estudo de suas características físico-químicas e de seu potencial energético 2011. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2011.

SULAIMAN, Shaharin Anwar *et al.* Effect of blending ratio and catalyst loading on co-gasification of wood chips and coconut waste. **Journal of the Energy Institute**, v. 91, n. 5, p. 779-785, 2018.

VASCONCELLOS, C. B.; LEAL, C., L., D.; FRANÇA, M., P.; CASTRO, P., F. Aproveitamento de cinzas de caldeira na construção civil. **Revista Vértices**, v. 6, n.1, p. 131- 148, 2004.

VIOLA, Matheus. **Estudo do desempenho de um motogerador a partir da combustão de diferentes misturas de gasolina-etanol**. 2017.

ZAGO, Elio Sandro *et al.* O processo de briquetagem como alternativa de sustentabilidade para as indústrias madeireiras do município de Aripuanã-MT. **Revista TechnoEng -ISSN 2178-3586**, v. 2, 2020.