



UNILAB

**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA
LUSOFONIA AFRO-BRASILEIRA
INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIAS**

FRANCISCO SIMAO NETO

**ANÁLISE DO POTENCIAL ENERGÉTICO DAS CASCAS DAS SEMENTES DA
PLANTA NIM (*Azadirachta indica*)**

REDENÇÃO – CE

2021

FRANCISCO SIMAO NETO

**ANÁLISE DO POTENCIAL ENERGÉTICO DAS CASCAS DAS SEMENTES DA
PLANTA NIM (*Azadirachta indica*)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia de Energias da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro de Energias.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Ada Amélia Sanders Lopes.

Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Maria Alexandra de Sousa Rios.

REDENÇÃO – CE

2021

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Sistema de Bibliotecas da UNILAB
Catalogação de Publicação na Fonte.

Simão Neto, Francisco.

S596a

Análise do potencial energético das cascas das sementes da planta Nim *Azadirachta indica* / Francisco Simão Neto. - Redenção, 2021.

43f: il.

Monografia - Curso de Engenharia de Energias, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2021.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Ada Amélia Sanders Lopes.

Coorientador: Prof^a. Dr^a. Maria Alexandra de Sousa Rios.

1. Nim - Análise. 2. Energia - Fonte alternativa. 3. Biomassa vegetal. I. Título

CE/UF/BSP

CDD 633.88

FRANCISCO SIMAO NETO

**ANÁLISE DO POTENCIAL ENERGÉTICO DAS CASCAS DAS SEMENTES DA
PLANTA NIM (*Azadirachta indica*)**

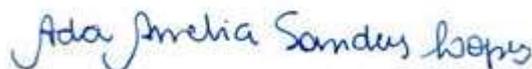
Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia de Energias da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro de Energias.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Ada Amélia Sanders Lopes.

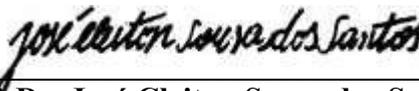
Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Maria Alexandra de Sousa Rios.

Aprovado em: 17/08/2021

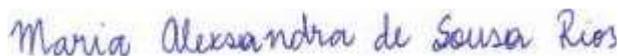
BANCA EXAMINADORA



Prof^ª. Dr^ª. Ada Amélia Sanders Lopes
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira



Prof. Dr. José Cleiton Sousa dos Santos
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira



Prof^ª. Dr^ª. Maria Alexandra de Sousa Rios
Universidade Federal do Ceará

A Deus.

Aos meus pais, Tarcisia e Leonidas.

Aos meus irmãos, Tiago e Emanuel.

Ao WEMP: Wladilson, Marliete e Patrick.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida e por todas as oportunidades a mim oferecidas.

Aos meus pais, Tarcisia e Leonidas, por sempre estarem presentes em minhas conquistas, por todo amor e toda confiança depositados em mim.

Aos meus irmãos, Emanuel e Tiago, por todo carinho, confiança e apoio dedicados a mim, sendo este apoio indispensável para realização deste sonho.

Aos meus amigos Marliete, Patrick e Wladilson, por todo companheirismo e auxílio durante nossa trajetória. Sua ajuda foi fundamental para a conclusão desta etapa tão importante da minha jornada.

À UNILAB e ao IEDS, pelas oportunidades e estruturas necessárias para minha formação. Deixo aqui registrado, meus votos para que esta Universidade se consagre uma das maiores do nosso estado e país. Eu acredito no potencial do Projeto UNILAB.

Aos meus orientadores durante o curso, Prof^a. Ada Sanders e Prof. José Cleiton, por todos os conselhos, orientações e tempo dedicado a mim. Orientações estas que me levam a buscar ser um profissional melhor e que acredita na educação do nosso país.

Ao Grupo de Engenharia Enzimática (GENEZ/UNILAB), por todo suporte e companheirismo dedicados a mim. Em especial aos meus amigos Lourembergue, Thales, Katerine e Rodolpho.

Ao Grupo de Inovações Tecnológicas e Especialidades Químicas (GRINTEQUI/UFC), por todo suporte para a realização das análises que compõem este trabalho. Em especial a Prof^a. Alexandra Rios e a Aline.

Aos meus amigos, Brito, Matheus L, por todo auxílio que recebi. Nayra, Orlandson e Raiury, por toda motivação e exemplo que serviu de inspiração para mim. Paulo, Luan e Geovane, por todo companheirismo e acolhimento no início desta nova etapa de minha vida.

À todos que direta ou indiretamente, contribuíram para esta conquista, o meu muito obrigado!

*“É o grau de comprometimento que determina
o sucesso, não o número de seguidores.”*

- J.K. Rowling (Remo Lupin HP7)

RESUMO

A matriz energética mundial é dependente dos derivados de petróleo e isso representa um problema ambiental. Este problema se dá devido aos índices de poluição gerados por esses derivados. Nesse contexto, fontes de energia alternativas são necessárias, a fim de diversificar a matriz energética e mitigar os impactos ambientais. Assim, a biomassa que pode ser utilizada de diversas formas na geração de energia, se apresenta como uma fonte alternativa. A partir da biomassa é possível obter o biodiesel e o briquete. Assim, o presente trabalho almeja analisar mais um subproduto do Nim (*Azadirachta indica*) para uso como material energético, as cascas das sementes. Estas cascas foram submetidas a análise imediata para determinar suas características a fim de possibilitar o uso de maneira adequada. A análise imediata é a definição dos teores de umidade, sólidos totais, cinzas, materiais voláteis e carbono fixo. Como resultado das análises foram definidos $12,68 \pm 0,16\%$ de umidade, $87,85 \pm 0,16\%$ de sólidos, $3,80 \pm 0,44\%$ de cinzas, $81,76 \pm 1,30\%$ de materiais voláteis e $14,44 \pm 1,74\%$ de carbono fixo. Estes índices definem se as cascas das sementes serão eficientes na queima e geração de energia térmica. Os teores de umidade e cinzas apresentaram valores satisfatórios para a produção energética. Os valores de materiais voláteis e carbono fixo não ficaram dentro dos padrões desejados. A aplicação das cascas das sementes do Nim como material energético é possível e sem prejuízo dos índices determinados. A possibilidade de se misturar biomassas na síntese de briquetes também fortalece seu uso, para que o briquete possa apresentar um aumento na eficiência. Assim as cascas das sementes do Nim são mais um subproduto desta planta que podem ser utilizadas como fonte de energia.

Palavras-chave: Nim - Análise. Energia - Fonte alternativa. Biomassa vegetal.

ABSTRACT

The world's energy matrix is dependent on petroleum derivatives and this represents an environmental problem. This problem is due to the levels of pollution generated by these derivatives. In this context, alternative energy sources are needed to diversify the energy matrix and mitigate environmental impacts. Thus, biomass, which can be used in different ways in energy generation, presents itself as an alternative source. Biodiesel and briquette can be obtained from biomass. Thus, the present work aims to analyze another by-product of Neem (*Azadirachta indica*) for use as energy material, the seed husks. These shells were subjected to immediate analysis to determine their characteristics to enable proper use. The immediate analysis is the definition of moisture content, total solids, ash, volatile materials, and fixed carbon. As a result of the analysis, $12.68 \pm 0.16\%$ of moisture, $87.85 \pm 0.16\%$ of solids, $3.80 \pm 0.44\%$ of ash, $81.76 \pm 1.30\%$ of volatile materials were defined, and $14.44 \pm 1.74\%$ fixed carbon. These indices define whether the seed husks will be efficient in burning and generating thermal energy. Moisture and ash contents showed satisfactory values for energy production. Values for volatile materials and fixed carbon were not within the desired standards. The application of Neem seed husks as energetic material is possible and without prejudice to the determined indexes. The possibility of blending biomass in the synthesis of briquettes also strengthens its use, so that the briquette can present an increased inefficiency. So the Neem seed husks are another by-product of this plant that can be used as an energy source.

Keywords: Neem - Analysis. Energy - Alternative source. Plant biomass.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Matriz energética brasileira.....	17
Figura 02 – Matriz elétrica brasileira.....	18
Figura 03 – O Nim e seus frutos.....	21
Figura 04 – O Nim e suas aplicações.....	23
Figura 05 – Cadinho, mufla e estufa utilizados nos experimentos.....	25
Figura 06 – Aglomerados de frutos para a coleta.....	25
Figura 07 – Etapa de <i>screening</i> dos frutos.....	26
Figura 08 – Etapa de secagem das sementes.....	27
Figura 09 – Cascas (Direita) separadas das sementes (Esquerda).....	27
Figura 10 – Amostras de cascas em duplicata.....	28
Figura 11 – Cadinhos com tampa, contendo as amostras, após a análise de teor de cinzas.....	30
Figura 12 – Cadinhos com tampa, contendo as amostras, após a análise de materiais voláteis.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Evolução dos diferentes usos do bagaço da cana-de-açúcar no Brasil (2010 – 2020)	19
Tabela 02 – Análises imediatas nos subprodutos do Nim.....	33
Tabela 03 – Análises imediatas de outras biomassas	33

LISTA DE SIGLAS

CO ₂	Dióxido de Carbono
BEN	Balanço Energético Nacional
IEA	<i>International Energy Agency</i>
GRINTEQUI	Grupo de Inovações Tecnológicas e Especialidades Químicas
UFC	Universidade Federal do Ceará
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
NBR	Norma Regulamentadora
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NP	Nanopartículas

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1.	ENERGIA	16
2.1.1.	Energia renovável e a Matriz energética brasileira	16
2.2.	BIOMASSA	19
2.3.	PLANTA NIM	20
2.3.1.	Classificação botânica e morfologia	20
2.3.2.	Área de ocorrência e produção	21
2.3.3.	Potencial energético	22
2.3.3.1.	<i>Briquetes</i>	22
2.3.4.	Outras aplicações	23
3.	METODOLOGIA	25
3.1.	MATERIAIS	25
3.2.	MÉTODOS	25
3.2.1.	Coleta e tratamento inicial das amostras	25
3.2.2.	Screening do fruto	26
3.2.3.	Secagem dos frutos	26
3.2.4.	Separação das sementes	27
3.2.5.	Análise imediata das amostras	28
3.2.5.1.	<i>Análise do teor de umidade e sólidos totais</i>	28
3.2.5.2.	<i>Análise do teor de cinzas</i>	29
3.2.5.3.	<i>Análise do teor de materiais voláteis</i>	30
3.2.5.4.	<i>Análise do teor de carbono fixo</i>	31
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1.	TEOR DE UMIDADE E SÓLIDOS TOTAIS	32
4.2.	TEOR DE CINZAS	33
4.3.	TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS	34
4.4.	TEOR DE CARBONO FIXO	34
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
	REFERÊNCIAS	37

1. INTRODUÇÃO

É indiscutível que a sociedade está cada vez mais dependente de energia. Assim, fontes alternativas se fazem necessárias para suprir esta demanda, pois é através da energia que novas tecnologias são desenvolvidas, onde a maioria delas é focada na promoção de qualidade de vida para a sociedade. Uma vez que, a energia está sendo usada para melhorias em meios de transportes, na educação, na saúde, na ciência e entre outros, pode-se inferir que ela é um insumo indispensável na atualidade.

Sabendo da importância de se diversificar as fontes de energia, fazendo com que o petróleo, que é atualmente a principal fonte de energia, não seja a única fonte energética disponível, foram desenvolvidos os biocombustíveis que seriam, na sua maioria, alternativos aos combustíveis de petróleo (EDER *et al.*, 2018). Os biocombustíveis desenvolvidos apresentam uma redução nas emissões de gases que agravam o efeito estufa, possuem uma linha de produção menos poluente, seus resíduos sólidos são biomassas que podem ser reutilizadas, inclusive como um outro biocombustível, além de manterem características quase equivalentes aos combustíveis convencionais (BELTRAMI; FONTINI; GROSSI, 2021).

No que trata de novas matérias-primas para a produção de biocombustíveis, é possível destacar a planta Nim (*Azadirachta indica*), que apresenta inúmeras aplicações na linha de biocombustíveis, desde a utilização de seu tronco como carvão vegetal, suas folhas e cascas do caule como briquete, até o óleo extraído de suas sementes sendo aplicados na produção de biodiesel (MERLIN *et al.*, 2015; RAJASEENIVASAN *et al.*, 2016). O Nim é uma planta nativa da Índia, e regiões adjacentes, que se adaptou muito bem ao clima do nordeste Brasileiro. Logo, sua produção local é viável o que a coloca como candidata a uma fonte de matéria-prima alternativa.

Dentro dos biocombustíveis tem-se o briquete, que tem grande destaque na geração de energia. O briquete é produzido a partir dos resíduos sólidos de biomassas e sua aplicação é na geração de energia térmica em fornos e caldeiras. É um diferencial do briquete, a possibilidade de misturar diferentes biomassas para melhorar suas características a fim de potencializar seu rendimento (FERNANDES, 2018). Essa mistura leva em consideração as propriedades de cada biomassa utilizada e estas propriedades são definidas a partir de análises de teor de umidade, sólidos totais, cinzas totais, materiais voláteis e carbono fixo.

A análise imediata é o conjunto de testes realizados nas amostras a fim de definir índices de teores das composições da biomassa. Fazem parte da análise imediata o estudo dos teores de umidade, sólidos totais, materiais voláteis, cinzas totais e carbono fixo. O conjunto

dos dados obtidos auxiliam na determinação do percentual de uma biomassa no briquete. A possibilidade de misturar biomassas para o briquete, leva ao avanço em pesquisas que testam diferentes novas biomassas para uso.

Assim, o presente trabalho tem o objetivo de apresentar a caracterização das cascas da semente de Nim, com foco na avaliação do potencial energético, a fim de apresentar este subproduto da planta como mais uma biomassa a ser utilizada como fonte de energia alternativa e renovável. Para este estudo foram determinados os teores de umidade, sólidos totais, materiais voláteis, cinzas totais e carbono fixo. Foi realizado também a comparação dos resultados das sementes do Nim com outras biomassas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. ENERGIA

2.1.1. Energia renovável e a Matriz energética brasileira

A energia renovável é toda e qualquer energia proveniente de fontes inesgotáveis na natureza (TSENG *et al.*, 2021). Estas fontes permitem um maior acesso por parte das usinas geradoras e apresentam uma disponibilidade considerável em várias partes do mundo, de acordo com a região, variando apenas a fonte (PAVLOVIĆ; IVEZIĆ; ŽIVKOVIĆ, 2021). Em alguns lugares a energia eólica está mais propícia de ser gerada, enquanto em outros, a melhor fonte pode ser a solar (MELIÁN-MARTEL; DEL RÍO-GAMERO; SCHALLENBERG-RODRÍGUEZ, 2021). A abundância dessas fontes é uma característica positiva e deve ser considerada, além dos índices de poluição das mesmas, serem baixos (COUSSE, 2021). A energia renovável está disponível no planeta e sua utilização se dá devido aos avanços tecnológicos presenciados pela sociedade, permitindo a utilização de uma parcela considerável, porém, ainda longe do ideal, desta energia.

Esta energia é considerada limpa, uma vez que, seus impactos negativos ao meio ambiente são extremamente menores se comparados a outras fontes de energias não renováveis (BENEDEK; SEBESTYÉN; BARTÓK, 2018). Além disso, a energia renovável também libera menos gases de efeito estufa para a atmosfera, o que auxilia no controle das temperaturas do planeta (BELTRAMI; FONTINI; GROSSI, 2021). Estas fontes apresentam ciclos de renovação bem definidos, embora em algumas fontes, existe a influência da época do ano, da região em que a produção está acontecendo, do horário de produção e até mesmo do ciclo hidrológico da região (AZAD *et al.*, 2014). São consideradas fontes de energias renováveis a energia da biomassa, eólica, solar, maremotriz, hídrica, geotérmica, entre outras (VIVIESCAS *et al.*, 2019).

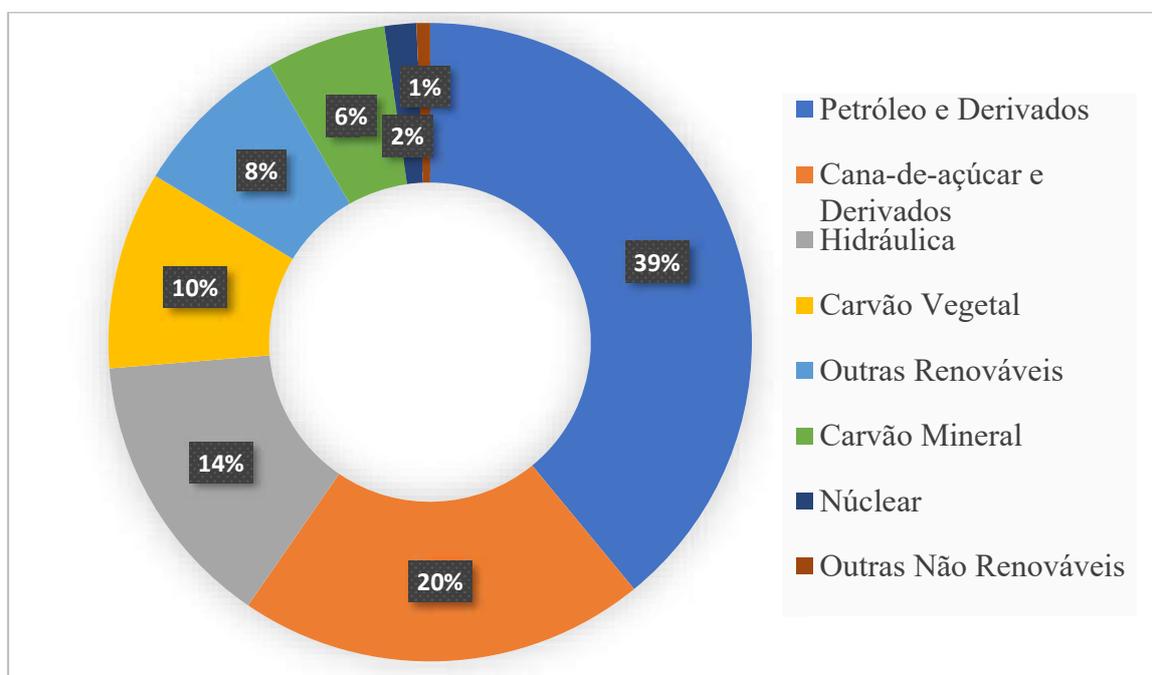
Ainda fazendo um comparativo com energias de fontes não renováveis, pode-se aferir que a energia gerada por uma fonte renovável é mais barata (HELM; MIER, 2021). Além do que, em geradoras de energias não renováveis existe o problema de produção de resíduos, onde esses não têm o devido tratamento antes de serem descartados, apresentando-se como mais uma problemática deste tipo de geração (ZERRAHN; SCHILL; KEMFERT, 2018). Porém, em relação à matriz energética mundial, as fontes predominantes na geração de energia, são não renováveis e a principal fonte de energia não renovável utilizada mundialmente é o petróleo,

que traz consigo seus derivados (EDER *et al.*, 2018). Essas fontes geram o agravamento do efeito estufa, elevando assim as temperaturas no planeta (JOHNSTONE; MCLEISH, 2020).

Partindo para o cenário brasileiro, o consumo de energia de fontes não renováveis ainda é maior que o de fontes renováveis (MONTROYA *et al.*, 2021). Onde a matriz energética é o conjunto de fontes de energia utilizadas para atender à demanda de produção energética do país (LAMAS; GIACAGLIA, 2013). No entanto, o Brasil possui uma maior diversidade em sua matriz energética, principalmente no que diz respeito a fontes renováveis, ainda assim, está entre os países com a matriz mais renovável do mundo (FOSSILE *et al.*, 2020).

Na Figura 01, que é baseado no Balanço Energético Nacional – BEN (2020), ano base 2019, é possível constatar que a matriz energética brasileira possui uma parcela de 52% de energias renováveis, sendo elas das mais variadas fontes. Em um comparativo entre a matriz energética brasileira e a matriz energética mundial, pode-se aferir que o Brasil possui uma parcela de 33,2% de fontes renováveis a mais que a matriz energética mundial, segundo a Agência Internacional de Energia – IEA (2020). Estes índices são frutos de incentivos e pesquisas realizadas em solo brasileiro, a fim de se desvincular gradativamente das fontes não renováveis (FOSSILE *et al.*, 2020).

Figura 01 - Matriz energética brasileira.

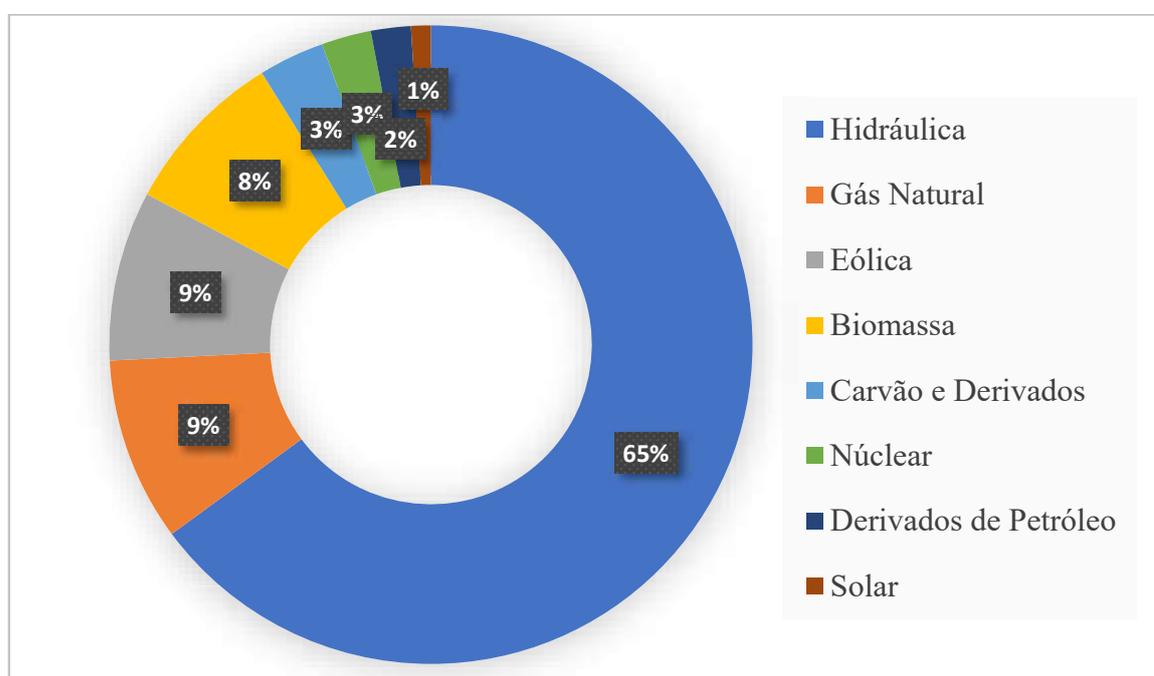


Fonte: Elaborado pelo autor¹ (2021).

¹ Baseado no BEN 2020, ano base 2019.

Em relação a matriz elétrica brasileira, esta apresenta um resultado ainda melhor que a matriz energética, uma vez que, segundo o BEN (2020), a matriz elétrica é composta por aproximadamente 83% de energia de fontes renováveis. Deste percentual, destacam-se as energias hidrelétricas, proveniente da energia potencial presente em corpos d'água, e da energia eólica, proveniente da energia cinética dos ventos, que está em constante crescimento, como é apresentado na Figura 02. Num cenário focado no Nordeste, pode-se destacar ainda a energia solar que vem gradualmente ganhando espaço no mercado e se consolidando como mais uma fonte alternativa de energia elétrica (BURSZTYN, 2020; SILVA, R. A. e *et al.*, 2010).

Figura 02 - Matriz elétrica brasileira.



Fonte: Elaborado pelo autor² (2021).

Fazendo um comparativo entre a matriz elétrica brasileira e a mundial, é possível notar que o Brasil possui 58% mais fontes de energia elétrica renovável que o cenário mundial, segundo a IEA (2020). Este percentual mostra que a matriz elétrica brasileira é alicerçada em fontes renováveis de energia, indo na contramão da matriz elétrica mundial. É importante destacar que esses resultados são muito importantes para a economia do Brasil, uma vez que, estes tipos de geração têm menores custos e as plantas de geração de energia emitem menos gases poluentes (APERGIS, 2019).

² Baseado no BEN 2020, ano base 2019.

2.2. BIOMASSA

A biomassa é definida como todo e qualquer resíduo sólido de origem animal ou vegetal (RAZA *et al.*, 2020). A biomassa é classificada como uma das fontes de energia disponíveis na natureza, além de ser considerada uma fonte de energia renovável (DUBEY *et al.*, 2020). Esta fonte de energia está presente no cotidiano desde aplicações simples como o aquecimento de água para o cozimento de alimentos, até aplicações mais complexas, como o aquecimento de vapor em alta pressão para que este movimente grandes turbinas em usinas de eletricidade (YADAV *et al.*, 2021).

Na utilização da biomassa ocorre a queima do material orgânico e como subproduto dessa queima, é formado o CO₂, porém embora este gás seja um dos causadores do aquecimento global por meio do agravamento do efeito estufa, a biomassa é considerada uma energia limpa (BELTRAMI; FONTINI; GROSSI, 2021). Esta classificação como energia limpa se dá, devido ao cultivo das plantas que geraram a biomassa, uma vez que, essas plantas absorvem o CO₂ da atmosfera, formando um ciclo (NAIR; TAN; FOO, 2021). O que mais uma vez, reforça sua presença nas fontes de energias renováveis, pois possui um ciclo de renovação rápido e eficiente.

Como fonte de energia, a biomassa tem grande relevância na matriz energética brasileira, estando entre as fontes de energias renováveis mais utilizadas. Segundo o BEN (2020), as transformações de biomassa em energia correspondem a 26,8% da matriz energética brasileira, destaca-se o bagaço da cana-de-açúcar que, sozinho, representa 18% de toda a matriz. Em relação ao bagaço da cana, sua aplicação é melhor descrita na Tabela 01, onde pode-se observar que seu uso é muito diverso. Com esses dados, também é possível aferir que com o passar dos anos, o uso energético do bagaço da cana-de-açúcar tem aumentado, ou seja, tem havido uma maior produção de etanol no país, em detrimento da baixa na utilização em outros segmentos.

Tabela 01 - Evolução dos diferentes usos do bagaço da cana-de-açúcar no Brasil (2010 – 2020).

Bagaço da cana-de-açúcar		
Setor	2010 (10^{^3}.t)	2020 (10^{^3}.t)
Transformação em energia elétrica	19.161	29.275
Energético (Produção de Etanol)	59.993	71.086
Industrial	81.179	61.862
Alimentos e Bebidas	80.989	1.715

Em uma escala global, é possível inferir que o Brasil se apresenta como um dos países que mais utilizam a biomassa como fonte de energia, uma vez que, apenas 9,1% da matriz energética mundial é composta por biomassa, tendo como base dados do IEA (2020). Assim, a matriz energética brasileira pode ser vista como um modelo de utilização e tratamento dos resíduos sólidos naturais (DA SILVA, *et al.*, 2018). Economicamente, a utilização dos resíduos como mais um produto comercial, aumenta as margens de lucros em cima de uma matéria prima, que após sua utilização principal, pode ainda render monetização em outras áreas, como a produção de energia (ANTAR *et al.*, 2021).

2.3. PLANTA NIM

2.3.1. Classificação botânica e morfologia

No que diz respeito a sua classificação botânica, o Nim (*Azadirachta indica* A. Juss), é uma espécie que pertence à família Meliaceae, podendo ser popularmente denominado como Neen, Margosa, Nime e Lila índio, nativa da região Indo-Malásia (SINGH, B.; MOHAN; SINGH, 2020). Morfologicamente, ele pode chegar a uma altura que se aproxima de 10 a 20 m, com um caule que se aproxima de um padrão ereto com tonalidade marrom, sendo rígido e com diâmetro que varia entre 30 e 80 cm, o Nim apresenta raízes que podem chegar a 15 m de profundidade (SINGH, B.; SINGH, 2020).

A copa da planta Nim varia entre 8 e 12 m, com folhas em tonalidade verde-clara intensa e a grande maioria se apresenta de forma aglomerada nos diversos ramos (AYINDE; MORAKINYO; SRIDHAR, 2020). As flores exalam aroma e são encontradas nas cores brancas ou creme e em aglomerados de aproximadamente 25 cm (ONYICHE *et al.*, 2021). O fruto do Nim possui forma ovalada na cor verde-clara no período de amadurecimento e passa para a cor amarela quando maduro, o fruto tem polpa macia e amarga após o amadurecimento (QADIR; RAJA; SIDDIQUI, 2016). Por fim, sua semente tem uma casca dura, no entanto, fina, na cor branca com um núcleo marrom.

³ Baseado nos BENs 2010 e 2020, anos base, 2009 e 2019 respectivamente.

Figura 03 – O Nim e seus frutos.



Fonte: Compilação do autor⁴ (2021).

Para uma geração de frutos eficiente, o Nim conta com flores hermafroditas que podem se fecundar mutuamente, mesmo havendo uma única planta da espécie em um determinado local (PATEL *et al.*, 2016). Além disso, o trabalho das abelhas não deixa de ser importante para estas fecundações. Para uma planta de Nim começar a produzir frutos, esta precisa estar entre próxima dos 2 anos de vida, mantendo uma produção de aproximadamente 5 Kg de frutos por ano, constantemente até os 10 anos, a partir daí a produção fica variável (ZHU *et al.*, 2020). Segundo Neves e Carpanezzi (2009), é possível encontrar locais onde a produção de frutos do Nim é de 33,3 toneladas por ano.

2.3.2. Área de ocorrência e produção

Atualmente a planta Nim pode ser encontrada em diversas áreas dos Estados Unidos, América do Sul e Central, Austrália e África, embora seja de origem Asiática (CARVALHO, L. *et al.*, 2020). O Nim se adapta muito bem a climas tropicais e subtropicais, que apresentam precipitações que variam entre 400 e 800 mm. A temperatura ideal para o cultivo do Nim gira em torno de 21 a 32°C, podendo ser submetido a temperaturas de 44°C, desde que, não por muito tempo (PATIL *et al.*, 2021). O Nim suporta passar por estações secas, porém não se adapta muito bem a temperaturas baixas, nesses casos o desenvolvimento da planta é interrompido.

⁴ Montagem a partir de imagens coletadas no site PNG EGG.

Por fim, o solo para o cultivo desta planta, não requer muitos tratamentos adaptativos, pois ela se desenvolve bem em diversos tipos de solos, no entanto, solos encharcados ou salinos não são uma boa opção para seu cultivo (ALI *et al.*, 2020). Em relação às suas formas de disseminação da espécie podem ocorrer por germinação das sementes e mudas de parte de uma planta adulta (SINGH, B.; MOHAN; SINGH, 2020). A germinação das sementes é o melhor meio de cultivo do Nim, apresentando cerca de 95% de eficácia no processo (ONYICHE *et al.*, 2021). Além disso, as sementes levam apenas 2 meses para germinarem de forma adequada, um tempo relativamente rápido.

2.3.3. Potencial energético

O Nim, dentre inúmeras aplicações possíveis, pode ser empregado como uma fonte de energia, devido a possibilidade de uso na forma de biocombustível líquido ou sólido. A madeira do Nim pode ser utilizada como carvão vegetal e as raspas da madeira e as folhas podem ser utilizadas na produção de briquete. Outra aplicação energética seria a utilização do óleo de suas sementes na produção de biodiesel. No presente trabalho, o potencial de uso do Nim como briquete está sendo o principal foco, assim sua aplicação para produção de biodiesel poderá ser avaliada em uma outra etapa.

2.3.3.1. Briquetes

O briquete é um biocombustível sólido e resulta da secagem seguida de prensagem da matéria prima utilizada (biomassa) (WANG *et al.*, 2020). Esta biomassa prensada preserva o meio ambiente, uma vez que evita o desmatamento para produção de carvão, libera menos CO₂ na atmosfera durante sua queima e isso apresenta o briquete como uma fonte de energia sustentável (GUO *et al.*, 2020). É possível utilizar o briquete em fornos de pequeno e grande porte sendo que em nenhum dos casos se faz necessário realizar alguma mudança no tipo de forno ou caldeira (NAGARAJAN; PRAKASH, 2021).

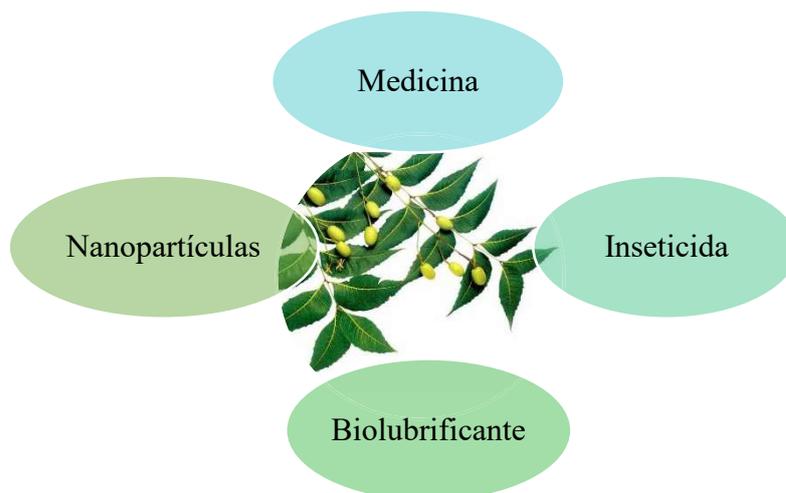
Em relação às suas características físicas, os briquetes são blocos compactos e que apresentam valores de densidades consideráveis (HAN; GAO; QI, 2019). Estes blocos devem seguir padrões de índice de umidade e granulometria, para que mantenham um padrão de qualidade, além de apresentarem diâmetros que variam entre 70 e 100 mm e comprimentos entre 280 e 400 mm (ESPUELAS *et al.*, 2020). Sabe-se que, ao realizar um comparativo entre o briquete e a madeira, é possível encontrar uma relação de proporção em que, 1 tonelada de briquete é equivalente a 6 m³ de madeira (ADELEKE *et al.*, 2021).

Os briquetes utilizando o Nim foram estudados por Rajaseennivasan et. al (2016), onde realizaram a mistura de pó de serragem com Nim utilizando um peletizador hidráulico que pode realizar uma pressão que varia entre 7 e 33 MPa. Nos estudos realizados, a pressão de prensagem teve maior influência nos resultados, se comparado a proporção de cada material. Além disso, foi possível constatar que o Nim eleva a resistência do briquete, porém reduz seu poder calorífico, mas não a ponto de impedir seu uso.

Fernandes (2018), realizou a produção de briquete a partir das podas de Nim que eram realizadas nas ruas de sua cidade e a cola branca como aglutinante. Sua pesquisa mostrou que esta combinação é aceitável, o que não reduz a aplicabilidade do Nim em briquetes e nem a eficiência dos resíduos desta planta a queima.

2.3.4. Outras aplicações

Figura 04 – O Nim e suas aplicações.



Fonte: Autor (2021).

O Nim possui inúmeras aplicações que vão desde a aplicação na medicina até a aplicação em nanopartículas e nanocompósitos. Na medicina pode-se destacar que, a partir das folhas do Nim é possível produzir um extrato rico em agentes anti-inflamatórios, antifúngicos, imunomoduladores, anticânceres e vários antioxidantes, que apresentam benefícios quando aplicados no tratamento do Líquen Plano Oral (KALASKAR *et al.*, 2020).

Outra aplicação seria no tratamento de infecções e doenças de pele que podem ser tratadas com esta árvore. Assim, estudos para o tratamento de câncer a partir de propriedades do Nim estão sendo avaliados e já mostram seu potencial preventivo e terapêutico contra essa doença, mais especificamente o câncer oral (AGRAWAL *et al.*, 2020). Devido a essas

aplicações, o Nim ficou popularmente conhecido como farmácia da aldeia, a árvore do Nim é composta por inúmeras propriedades biológicas.

Seguindo, tem-se outra aplicação para a fruta do Nim (*Azadirachta indica*), agora como inseticida. A fruta apresenta propriedades antiparasitárias e pode ser aplicada como um método alternativo para combater o endo parasitismo em vários animais (GOH; TANG; XIE, 2020). A partir do Nim também é possível produzir um pesticida capaz de controlar o ácaro-rajado, *Tetranychus urticae*, em plantas folhosas de pequeno porte e frequentemente têm resíduos de pesticidas relatados (VENZON *et al.*, 2020).

O Nim, também pode ser utilizado na tentativa de minimizar os impactos ambientais negativos que são causados pelo descarte incorreto do óleo mineral devido a sua alta toxicidade para o meio ambiente. Assim, estudos estão sendo realizados para constatar que o óleo de Nim é um substituto adequado na forma de biolubrificante (BHAN; SINGH; RANGANATHAN, 2020).

Dando continuidade, o extrato do Nim foi utilizado como revestimento na síntese de nanopartículas (NPs) de óxido de ferro e estas NPs foram aplicadas na remoção de íons de cromo presentes em soluções aquosas (NITHYA *et al.*, 2020). Ainda na síntese de nanopartículas, o extrato aquoso das flores do Nim (*Azadirachta indica*) foi utilizado em nanopartículas de cobre em condições otimizadas (GOPALAKRISHNAN; MUNIRAJ, 2020). O extrato da folha do Nim também foi aplicado na síntese de nanobastões de óxido de zinco, nanopartículas de óxido de níquel e nanocompositos de óxido de zinco-óxido de níquel (HESSIEN; DA'NA; TAHA, 2021).

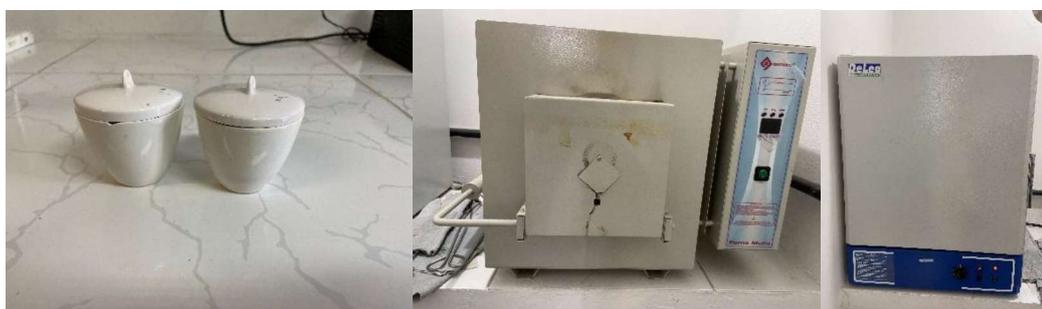
Das sementes pode-se extrair o óleo para diferentes aplicações, se produzido extrato pode-se utilizar no solo para controlar fungos além de também pode ser utilizado como fertilizante e adubo orgânico (ESPUELAS *et al.*, 2020). As folhas também podem ser utilizadas no solo como fungicida, adubo e fertilizantes. Se aplicadas na pele dos animais as folhas servem no combate de carrapatos e mosca-de-chifre e da polpa do fruto obtém-se carboidratos e pode-se utilizá-las na produção de álcool e de gás metano (TOFEL *et al.*, 2017). O caule pode ser utilizado como fonte de madeira para queima.

3. METODOLOGIA

3.1. MATERIAIS

Os frutos utilizados neste trabalho foram coletados em janeiro de 2021, no bairro José de Alencar da cidade de Fortaleza – CE. Os experimentos foram realizados no Laboratório do GRINTEQUI/UFC onde foram utilizados cadinhos cerâmicos e equipamentos como balança, mufla e estufa, como pode-se observar na Figura 05.

Figura 05 - Cadinho, mufla e estufa utilizados nos experimentos.



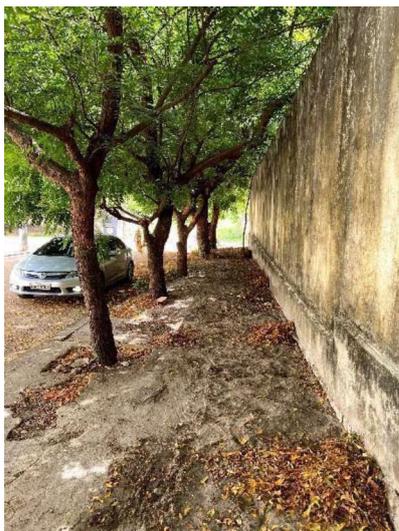
Fonte: Acervo pessoal (2021).

3.2. MÉTODOS

3.2.1. Coleta e tratamento inicial das amostras

Após a definição do local, iniciou-se a coleta desses frutos, podendo ser retirados diretamente da árvore, ou como nesse caso, ser retirados do chão nas áreas ao entorno das árvores. Os frutos foram agrupados em grandes quantidades ainda no solo, como mostra a Figura 06, para facilitar a separação dos frutos e para transportá-los para o local de limpeza desse material.

Figura 06 – Aglomerados de frutos para a coleta.



Fonte: Acervo pessoal (2021).

3.2.2. *Screening* do fruto

A etapa seguinte é definida pelo *screening* do fruto, onde eles foram primeiramente separados de galhos, folhas e qualquer impureza bruta que ainda estivesse no material transportado. Nesta etapa foi utilizado uma peneira para realizar uma separação mais eficaz dos frutos, da areia e de outras sujeiras, esta etapa está representada pela Figura 07.

Figura 07 – Etapa de *Screening* do fruto.



Fonte: Acervo pessoal (2021).

3.2.3. Secagem dos frutos

A próxima etapa foi a secagem, aqui os frutos foram dispostos em sacos plásticos e em seguida foram expostos ao sol, como apresentado pela Figura 08, a fim de realizar a secagem do fruto e, conseqüentemente, o desprendimento das fibras do fruto das sementes, para facilitar

a obtenção das sementes. Após a secagem dos frutos, foi realizada a separação total do fruto seco da semente, com o auxílio de uma peneira de grande porte. Nesta etapa os frutos precisaram ser molhados para facilitar a peneiração das sementes, resultando na separação das sementes e na obtenção de uma espécie de massa com as fibras do fruto. Uma vez que as sementes foram molhadas para a peneiração, foi necessário outra exposição ao sol em uma nova etapa de secagem.

Figura 08 – Etapa de secagem das sementes.



Fonte: Acervo pessoal (2021).

3.2.4. Separação das sementes

Após este último período de secagem, as sementes foram levadas ao laboratório do GRINTEQUI/UFC, onde foi realizada a separação das sementes de suas cascas. As cascas e as sementes foram acondicionadas em recipientes com tampa, a fim de manter essas amostras protegidas e livres de umidade. Com as cascas devidamente secas e separadas das sementes, como é possível visualizar na Figura 09, foi possível iniciar as análises.

Figura 09 – Cascas (Direita) separadas das sementes (Esquerda).



Fonte: Acervo pessoal (2021).

3.2.5. Análise imediata das amostras

3.2.5.1. Análise do teor de umidade e sólidos totais

Para a determinação do teor de umidade e do teor de sólidos totais, a metodologia é a mesma, o que diferencia as duas são as equações utilizadas no cálculo. Esta análise se baseou nas instruções da NBR 16550. No início da análise foi preciso colocar um cadinho de porcelana sem tampa na estufa a 105 ± 3 °C durante 1 hora. Passado o tempo, deve-se retirar o cadinho da estufa e inserir em um dessecador pelo tempo necessário para atingir a temperatura ambiente, que ocorre em cerca de 30 min. Após a temperatura baixar, deve-se pesar o cadinho em balança analítica e anotar a sua massa. Este procedimento deve ser repetido até que a massa se mantenha constante.

Figura 10 – Amostras de cascas em duplicata.



Fonte: Acervo pessoal (2021).

Seguindo, é preciso pesar aproximadamente 1,0 g da amostra no cadinho, em balança analítica, e anotar a massa exata da amostra úmida, os cadinhos com as amostras estão apresentados na Figura 10. Em seguida o cadinho com a amostra é colocado na estufa a 105 ± 3 °C durante 2 horas. Após este período é preciso retirar o cadinho contendo a amostra da estufa e inserir no dessecador pelo tempo necessário até atingir a temperatura ambiente, em cerca de 30 min. O cadinho com a amostra deve ser pesado e sua massa anotada. A massa do cadinho seco deve ser descontada para se obter a massa da amostra seca. Este procedimento deve ser repetido até que a massa se mantenha constante.

Por fim, utiliza-se as Equações 01 e 02 baseadas na NBR 16550, para calcular os teores de umidade e sólidos totais, respectivamente.

$$(1) \quad TU(\%) = \left(\frac{MAu - MAS}{MAu} \right) \times 100$$

$$(2) \quad TS(\%) = \left(\frac{MAS}{MAu} \right) \times 100$$

Onde, TU é o teor de umidade da amostra, expresso em porcentagem massa por massa (% m/m); TS é o teor de sólidos totais da amostra, expresso em porcentagem massa por massa (% m/m); MAu é a massa amostra úmida, utilizada na determinação do teor de umidade, expressa em gramas (g) e MAS é a massa da amostra seca, expressa em gramas (g).

3.2.5.2. Análise do teor de cinzas

A análise do teor de cinzas seguiu a mesma norma das análises anteriores, ABNT NBR 16550. Assim, foi preciso colocar o cadinho com tampa, semiaberto, em mufla, à temperatura de 575 ± 25 °C, pelo período de 4 horas. Em seguida o cadinho foi retirado da mufla cuidadosamente e inserido em um dessecador pelo tempo necessário para atingir a temperatura ambiente, aproximadamente 1 hora. O cadinho depois de resfriado, foi pesado em balança analítica e sua massa foi anotada.

Seguindo, foi pesado 1 g da amostra, em base seca, no cadinho, e sua massa exata foi anotada. O cadinho com a amostra foi levado para a mufla à temperatura de 575 ± 25 °C durante o período de 4 horas. Nesta etapa o cadinho foi deixado com a tampa semiaberta para permitir a entrada de oxigênio. Passado o tempo necessário, o cadinho foi removido da mufla, cuidadosamente, e inserido em um dessecador pelo tempo necessário para atingir a temperatura ambiente, aproximadamente 1 hora. Com o cadinho em temperatura própria para manuseio o experimento continuou, para isso foi preciso tampar o cadinho, pesá-lo em balança analítica e

anotar a massa exata. A Figura 11 apresenta os cadinhos com tampa após a análise. Para os cálculos deve-se descontar a massa do cadinho seco, assim obtendo a massa de cinzas totais e em seguida utilizar a Equação 3, disponibilizada pela NBR 16550, para determinar o teor de cinzas totais.

Figura 11 – Cadinhos com tampa, contendo as amostras, após a análise de teor de cinzas.



Fonte: Acervo pessoal (2021).

$$(3) \quad TCt(\%) = \left(\frac{MCt}{MAS} \right) \times 100 = \left(\frac{MCt \times 100}{MAu \times TS} \right) \times 100$$

Onde TCt é o teor de cinzas totais, expresso em porcentagem massa por massa (% m/m); MCt é a massa de cinzas totais, expressa em gramas (g); MAS é a massa da amostra, em base seca, empregada na determinação de cinzas totais, expressa em gramas (g); MAu é a massa da amostra, em base úmida, empregada na determinação de cinzas totais, expressa em gramas (g); TS é o teor de sólidos totais da amostra, expresso em porcentagem massa por massa (% m/m).

3.2.5.3. *Análise do teor de materiais voláteis*

Para a realização da análise do teor de materiais voláteis foi utilizada a norma ASTM D3175. Primeiramente, 2 cadinhos de porcelana de 50 mL e com tampa, foram pesados e suas massas registradas. Após a pesagem, foi adicionado aos cadinhos, 1 g de amostra seca, e suas massas também foram registradas. Após esse processo, os cadinhos foram levados até o interior da mufla, onde permaneceram por 7 minutos na temperatura de 950°C. Posteriormente, os cadinhos foram resfriados durante 1 hora em um dessecador em temperatura ambiente. As massas finais dos cadinhos foram verificadas e anotadas, após o resfriamento. As amostras após a análise são mostradas na Figura 12. O teor de materiais voláteis foi determinado pela Equação 4, de acordo com a ASTM D3175.

Figura 12 – Cadinhos com tampa, contendo as amostras, após a análise de materiais voláteis.



Fonte: Acervo pessoal (2021).

$$(4) \quad TMV(\%) = \left[\left(\frac{M_i - M_f}{M_i - M_c} \right) \times 100 \right] - TU$$

Onde TMV : teor percentual de materiais voláteis; M_c : massa do cadinho de porcelana com tampa (g); M_f : massa final do cadinho de porcelana com tampa com a amostra (g); M_i : massa inicial do cadinho de porcelana com tampa com a amostra (g) e TU é o teor de umidade (%).

3.2.5.4. *Análise do teor de carbono fixo*

Seguindo a metodologia proposta pela norma ASTM D3172. Segundo a norma, utiliza-se os resultados das análises anteriores para calcular o teor de carbono fixo utilizando a Equação 5, retirada da própria norma.

$$(5) \quad TCf(\%) = 100 - TCt - TMV$$

Onde, TCf é o teor de carbono fixo na amostra (%). TCt é o teor de cinzas totais da amostra (%). TMV é o teor de materiais voláteis da amostra (%).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise imediata nas sementes do Nim, estão dispostos na Tabela 02. Além disso, a Tabela 03 é um conjunto de análises imediatas realizadas em outros produtos do Nim e em outras biomassas, a fim de servirem como valores de referência para efeito de comparação com os valores obtidos neste estudo. Uma melhor explanação de cada análise está apresentada nos tópicos subsequentes.

Tabela 02 – Análises imediatas nos subprodutos do Nim.

Biomassa	Umidade (%)	Cinzas Totais (%)	Materiais Voláteis (%)	Carbono Fixo (%)	Referências
Casca da Semente do Nim	12,68±0,16	3,80±0,44	81,76±1,30	14,44±1,74	
Folha do Nim	10,4	7,41	92,59	24,82	(FERNANDES, 2018)
Madeira do Nim	7,33	0,46	82,29	17,25	(SANTANA et. al, 2020)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

Tabela 03 – Análises imediatas de outras biomassas.

Biomassa	Umidade (%)	Cinzas Totais (%)	Materiais Voláteis (%)	Carbono Fixo (%)	Referências
Cascas de Coco	10,89	0,55	80,73	8,07	(BEZERRA, 2016)
Bagaço de Cana	11,36	2,66	81,36	6,09	(BEZERRA, 2016)
Madeira do Eucalipto	11,34	0,48	30,42	69,01	(INTERAMINENSE, 2019)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2021).

4.1. TEOR DE UMIDADE E SÓLIDOS TOTAIS

As amostras obtiveram um teor de umidade médio de $12,68 \pm 0,16\%$. Em uma explanação em outros trabalhos realizados com o Nim, pode-se destacar que Fernandes (2018) em seu estudo com as folhas do Nim, obteve um teor de umidade igual a 10,4%. Já Santana et. al (2020) obtiveram 7,33% de teor de umidade em amostras da madeira do Nim. Em um comparativo com outras biomassas, é possível destacar que Bezerra (2016) obteve teores de umidade de 10,89% e 11,35% em amostras de cascas de coco e bagaço de cana, respectivamente. Para além disso, Interaminense (2019) obteve um teor de umidade de 11,34% na madeira de eucalipto.

Seguindo, é preciso destacar que o teor de umidade tem relação com o poder calorífico de um combustível, que pode ser definido como a quantidade de energia que este combustível pode gerar (NEIVA; FURTADO; FINZER, 2018). O teor de umidade é inversamente proporcional ao poder calorífico, uma vez que um teor de umidade alto, reduz o poder calorífico e conseqüentemente impede uma queima adequada do biocombustível (CARVALHO, N. *et al.*, 2020). Assim, uma redução no teor de umidade representa um aumento na eficiência energética.

Dado isso, é possível constatar que as cascas das sementes do Nim têm um valor de teor de umidade, embora maior, ainda assim próximo dos valores encontrados para outras biomassas, seguindo o padrão dos resultados propostos. Levando em conta esta análise, pode-se aferir que as cascas das sementes do Nim, têm potencial de uso como material combustível.

Em relação ao teor de sólidos totais, as cascas das sementes do Nim obtiveram um resultado de $87,85 \pm 0,16\%$. Este valor será utilizado nos cálculos do teor de cinzas, que também foi determinado para estas amostras, de acordo com a norma NBR 16550.

4.2. TEOR DE CINZAS

O teor de cinzas determinado a partir das amostras estudadas foi de $3,80 \pm 0,44\%$. Outros autores já citados, também realizaram a determinação dos teores de cinzas para o Nim, no caso, Fernandes (2018) encontrou para as folhas do Nim um teor de cinzas de 7,41% e Santana *et. al.* (2020) encontraram para a madeira do Nim o valor de 0,46%. Em outras biomassas também foram determinados os teores de cinzas e os valores foram de 0,55%, 2,66% (BEZERRA, 2016) e 0,48% (INTERAMINENSE, 2019) para a casca do coco, o bagaço da cana e o eucalipto, respectivamente.

Assim como o teor de umidade, o teor de cinzas também se relaciona com o poder calorífico de uma biomassa (SOUZA *et al.*, 2020). Com um valor de teor de cinzas elevado, a biomassa terá problemas na realização da combustão, uma vez que, esse teor representa os materiais inorgânicos das amostras estudadas (DE PAULA PROTÁSIO *et al.*, 2019). Assim, a eficiência também é afetada pelo teor de cinzas, pois se a combustão não ocorre de forma adequada, ela acaba por necessitar que mais oxigênio seja consumido para que a queima do material seja realizada por completo.

Dentre os estudos com subprodutos do Nim, as cascas das sementes apresentaram o valor médio de teor de cinzas, uma vez que as folhas do Nim possuem o maior teor. Em relação a outras biomassas, as cascas tiveram o maior teor de cinzas, seguida do bagaço de cana,

mesmo que possuam apenas 1,14% de diferença entre elas. Com esses dados, e se baseando apenas nesta análise, é possível dizer que as cascas das sementes são mais adequadas para uso energético se comparadas a madeira do Nim, tendo esta um teor quase duas vezes maior.

4.3. TEOR DE MATERIAIS VOLÁTEIS

Para o teor de materiais voláteis, as cascas das sementes do Nim obtiveram um resultado de $81,76 \pm 1,30\%$. Para esta análise, Fernandes (2018) determinou o valor de 92,59% para as folhas do Nim. Já, Araújo et. al (2000) e Santana et. al (2020), chegaram aos seguintes valores de teor de materiais voláteis para a madeira do Nim, 81,82% e 82,29 %, respectivamente. Seguindo com a comparação a outras biomassas, Bezerra (2016) determinou os valores de 80,73% e 81,36% para os materiais voláteis das cascas de coco e do bagaço da cana. Por fim, Interaminense (2019) encontrou para o eucalipto o teor de voláteis de 30,42%.

O teor de materiais voláteis tem relação direta com a energia utilizada na ignição de uma biomassa, onde ao apresentar um alto teor de voláteis a energia para ignição é reduzida facilitando esse processo (BRAZ, 2014). Por outro lado, uma ignição muito rápida poderá resultar em uma queima precoce de todo o material.

Em comparação com outras partes da planta Nim, as cascas das sementes se mantêm dentro dos padrões apresentados. O mesmo se repete para a comparação entre outras biomassas, diferenciando-se apenas da madeira do eucalipto. Para Ferreira (2013), um bom material para queima e geração de energia térmica, deve possuir um teor de materiais voláteis que esteja abaixo dos 40%.

Assim, tendo como base esta análise, as cascas de Nim embora elas necessitassem de uma menor energia de ativação, podem não ser candidatas adequadas para o uso energético, pois sua queima ocorreria consideravelmente rápido e com isso, sua geração de energia fosse reduzida. Dentre as biomassas citadas, apenas a madeira de eucalipto tem uma boa característica de uso, segundo o teor de materiais voláteis.

4.4. TEOR DE CARBONO FIXO

Para as cascas das sementes de Nim o teor de carbono fixo obtido foi de $14,44 \pm 1,74\%$. Fernandes (2018) trabalhando com as folhas do Nim obteve um teor de carbono fixo de aproximadamente 24,82%. Esta análise também foi realizada na madeira do Nim por Araújo et. al (2000) e Santana et. al (2020) onde os seguintes valores foram obtidos, 15,72% e 17,25%, respectivamente. Para outras biomassas também foi definido como 8,08% e 6,09% (BEZERRA,

2016) para as cascas do coco e o bagaço da cana, respectivamente, e 69,01% (INTERAMINENSE, 2019) para a madeira de eucalipto.

Fazendo uma associação entre o teor de carbono fixo e a produção de energia, é possível determinar que existe uma relação proporcional entre os dois, uma vez que, um teor de carbono fixo elevado, eleva o poder calorífico e conseqüentemente a produção de energia (MOTGHARE *et al.*, 2016). É importante ressaltar que, os materiais combustíveis mais adequados para a geração de energia são os que apresentam um teor de carbono fixo elevado (NONES *et al.*, 2014).

A partir disso, é possível constatar que o teor de carbono das cascas do Nim está dentro da faixa observada em outras biomassas, inclusive outros derivados do Nim. No entanto, dentre as biomassas utilizadas nesse trabalho como comparativo às cascas da semente de Nim, apenas a madeira do eucalipto apresenta um teor de carbono elevado e ideal para o uso energético, o que não impede o uso das outras biomassas para este fim. Assim, a partir desta análise isolada, a casca do Nim, apesar de não apresentar valores ideais, ainda tem potencial para uso como material combustível.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O teor de umidade das cascas das sementes de Nim apresentaram valores dentro das faixas estabelecidas para biomassas com potencial energético e isto classifica as amostras deste trabalho como uma opção na utilização energética das mesmas. Este valor também indica que esta biomassa poderá apresentar bons índices de poder calorífico e, conseqüentemente, terá uma eficiência satisfatória na geração de energia.

Seguindo para o teor de cinzas, este mostrou que o material inorgânico presente no material, representa uma pequena parcela, indicando que a eficiência desta será elevada. A combinação de um teor de umidade dentro dos padrões e de um teor de cinzas relativamente baixo, reforçam que as cascas das sementes do Nim, podem ter resultados positivos se aplicados como material energético.

Já, em relação ao teor de materiais voláteis, o valor encontrado para esta biomassa fica acima dos valores adequados para aplicação energética. No entanto, este teor sozinho, não compromete a utilização das cascas do Nim para este fim. Logo, considerando todas as características das amostras, seguimos classificando esta biomassa como uma boa candidata para uso como material energético.

Por fim, o de teor de carbono fixo das cascas do Nim, estão abaixo de valores desejáveis para uso energético, porém de modo geral, essa característica não se distancia de outras biomassas já estudadas, como o bagaço da cana que tem valores próximos das amostradas estudadas e ainda assim é utilizada em cerca de 413 usinas termelétricas segundo a ANP (2021). Embora, quanto maior este índice, maior será sua geração de energia, as cascas do Nim continuam sendo uma biomassa com potencial de uso como material energético.

Assim, é possível determinar que as Cascas das sementes do Nim são uma biomassa que poderá ser aplicada na geração de energia devido às suas características energéticas estudadas. É válido ressaltar que na produção de briquetes, por exemplo, é possível realizar a mistura de diferentes biomassas, logo as análises em que as cascas do Nim não obtiveram os melhores resultados podem ser compensadas pelas características das outras biomassas a serem utilizadas.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 16550: Bagaço de cana-de-açúcar - caracterização química**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ADELEKE, A.A. *et al.* **Tumbling strength and reactivity characteristics of hybrid fuel briquette of coal and biomass wastes blends**. Alexandria Engineering Journal, v. 60, n. 5, p. 4619–4625, 2021.

AGRAWAL, Shikha *et al.* **A review of the anticancer activity of *Azadirachta indica* (Neem) in oral cancer**. Journal of Oral Biology and Craniofacial Research, v. 10, n. 2, p. 206–209, 2020.

ALI, Moazam *et al.* **Efficacy of *Azadirachta indica* (Neem) leaf extract and hypertonic saline solution as intratesticular chemical sterilizing agents in dogs**. Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science, v. 57, n. 4, p. e171582, 2020.

ANTAR, Mohammed *et al.* **Biomass for a sustainable bioeconomy: An overview of world biomass production and utilization**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 139, p. 110691, 2021.

APERGIS, Nicholas. **Oil prices and corporate high-yield spreads: Evidence from panels of nonenergy and energy European firms**. The Quarterly Review of Economics and Finance, v. 72, p. 34–40, 2019.

ARAUJO, L V C de; RODRIGUES, Luiz Carlos Estraviz; PAES, J B. **Características físico-químicas e energéticas da madeira de nim indiano**. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, n. ju 2000, p. 153-159, 2000.

ASTM - **D3175-18: Standard for Volatile Matter in the Analise Sample of Coal and Coke**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018.

ASTM **D 3172 – 89. Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke**. In: Annual Book of ASTM Standards, West Conshohocken, PA, 2013.

AYINDE, A.A.; MORAKINYO, O.M.; SRIDHAR, M.K.C. **Repellency and larvicidal activities of *Azadirachta indica* seed oil on *Anopheles gambiae* in Nigeria**. Heliyon, v. 6, n.

5, p. e03920, 2020.

AZAD, A. K. *et al.* **Energy Scenario: Production, Consumption and Prospect of Renewable Energy in Australia.** Journal of Power and Energy Engineering, v. 02, n. 04, p. 19–25, 2014.

BELTRAMI, Filippo; FONTINI, Fulvio; GROSSI, Luigi. **The value of carbon emission reduction induced by Renewable Energy Sources in the Italian power market.** Ecological Economics, v. 189, p. 107149, 2021.

BENEDEK, József; SEBESTYÉN, Tihamér-Tibor; BARTÓK, Blanka. **Evaluation of renewable energy sources in peripheral areas and renewable energy-based rural development.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 90, p. 516–535, 2018.

BEZERRA, João Marcos Martins. **Estudo do potencial energético de briquetes produzidos a partir de resíduos da casca de coco verde e bagaço de cana.** 2016. 41 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

BHAN, Uday; SINGH, Deepak; RANGANATHAN, Arunkumar. **Effect of different loads on the friction and wear characteristics of material lubricated with neem oil.** Materials Today: Proceedings, n. 2, 2020.

BRAZ, Carlos Eduardo Mendes. **Caracterização de biomassa lignocelulósica para uso em processos térmicos de geração de energia.** 2014. 115 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Química, 2014.

BURSZTYN, MARCEL. **Energia solar e desenvolvimento sustentável no Semiárido: o desafio da integração de políticas públicas¹.** Estudos Avançados, v. 34, n. 98, p. 167–186, 2020.

CARVALHO, Leonard *et al.* **Study of the potential of Neem oil (*Azadirachta Indica A. Juss*) as raw material for the production of methyl esters.** Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 6, p. 37411–37420, 2020.

CARVALHO, Natália *et al.* **Caracterização física e química da biomassa usada como combustível sólido em uma caldeira.** Química Nova, 2020.

COUSSE, Julia. **Still in love with solar energy? Installation size, affect, and the social acceptance of renewable energy technologies.** Renewable and Sustainable Energy Reviews,

v. 145, p. 111107, 2021.

DA SILVA, Carlos Miguel Simões *et al.* **Biomass torrefaction for energy purposes – Definitions and an overview of challenges and opportunities in Brazil.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 82, p. 2426–2432, 2018.

DE PAULA PROTÁSIO, Thiago *et al.* **Assessing Proximate Composition, Extractive Concentration, and Lignin Quality to Determine Appropriate Parameters for Selection of Superior Eucalyptus Firewood.** *BioEnergy Research*, v. 12, n. 3, p. 626–641, 2019.

DUBEY, Prashant *et al.* **Recent advances in biomass derived activated carbon electrodes for hybrid electrochemical capacitor applications: Challenges and opportunities.** *Carbon*, v. 170, p. 1–29, 2020.

EDER, L.V. *et al.* **World energy market in the conditions of low oil prices, the role of renewable energy sources.** *Energy Procedia*, v. 153, p. 112–117, 2018.

ESPUELAS, S. *et al.* **Low energy spent coffee grounds briquetting with organic binders for biomass fuel manufacturing.** *Fuel*, v. 278, p. 118310, 2020.

FERNANDES, Luiz Antonio Alves. **Reaproveitamento de resíduo da poda de *Azadirachta Indica* para produção de briquetes.** 2018. 37f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) - Centro de Formação de Professores, Universidade Federal de Campina Grande, Cajazeiras, Paraíba, Brasil, 2018.

FERREIRA, Ana Catarina Oliveira. **Caracterização de vários tipos de biomassa para valorização energética.** 2013. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro, Aveiro, 2013.

FOSSILE, Dayla Karolina *et al.* **Selecting the most viable renewable energy source for Brazilian ports using the FITradeoff method.** *Journal of Cleaner Production*, v. 260, p. 121107, 2020.

GOH, Gabrina Shuang Li; TANG, Zhi Ying; XIE, Shangzhe. **Effectiveness of neem oil versus Praziquantel/Oxfendazole for treatment of endoparasites in Eared Doves (*Zenaida auriculata*): A randomized controlled trial.** *Journal of Exotic Pet Medicine*, v. 35, p. 87–91, 2020.

GOPALAKRISHNAN, V.; MUNIRAJ, S. **Neem flower extract assisted green synthesis of copper nanoparticles – Optimisation, characterisation and anti-bacterial study.** Materials Today: Proceedings, n. 1, 2020.

GUO, Zhenkun *et al.* **Characteristics of biomass charcoal briquettes and pollutant emission reduction for sulfur and nitrogen during combustion.** Fuel, v. 272, p. 117632, 2020.

HAN, Kuihua; GAO, Jie; QI, Jianhui. **The study of sulphur retention characteristics of biomass briquettes during combustion.** Energy, v. 186, p. 115788, 2019.

HELM, Carsten; MIER, Mathias. **Steering the energy transition in a world of intermittent electricity supply: Optimal subsidies and taxes for renewables and storage.** Journal of Environmental Economics and Management, v. 109, p. 102497, 2021.

HESSIEN, Manal; DA'NA, Enshirah; TAHA, Amel. **Phytoextract assisted hydrothermal synthesis of ZnO–NiO nanocomposites using neem leaves extract.** Ceramics International, v. 47, n. 1, p. 811–816, 2021.

INTERAMINENSE, Pedro Paulo Barros. **Influência da taxa de aquecimento na produção do carvão da madeira de *eucalyptus spp.*** 2019. 44 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2019.

JOHNSTONE, Phil; MCLEISH, Caitriona. **World wars and the age of oil: Exploring directionality in deep energy transitions.** Energy Research & Social Science, v. 69, p. 101732, 2020.

KALASKAR, Ashita R. *et al.* **Novel Neem leaves extract mouthwash therapy for Oral Lichen Planus.** Journal of Herbal Medicine, p. 100408, 2020.

LAMAS, Wendell de Queiroz; GIACAGLIA, Giorgio Eugenio Oscare. **The Brazilian energy matrix: Evolution analysis and its impact on farming.** Energy Policy, v. 63, p. 321–327, 2013.

MELIÁN-MARTEL, N.; DEL RÍO-GAMERO, B.; SCHALLENBERG-RODRÍGUEZ, Julieta. **Water cycle driven only by wind energy surplus: Towards 100% renewable energy islands.** Desalination, v. 515, p. 115216, 2021.

MERLIN, Ayissi Zacharie *et al.* **Development and experimental investigation of a biodiesel**

from a nonedible woody plant: The Neem. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 52, p. 201–208, 2015.

MONTOYA, Marco Antonio *et al.* **Renewable and Non-renewable in the energy-emissions-climate nexus: Brazilian contributions to climate change via international trade.** Journal of Cleaner Production, v. 312, p. 127700, 2021.

MOTGHARE, Kalyani A. *et al.* **Comparative study of different waste biomass for energy application.** Waste Management, v. 47, p. 40–45, 2016.

NAGARAJAN, J.; PRAKASH, L. **Preparation and characterization of biomass briquettes using sugarcane bagasse, corncob and rice husk.** Materials Today: Proceedings, 2021.

NAIR, Purusothmn Nair S. Bhasker; TAN, Raymond R.; FOO, Dominic C.Y. **A generic algebraic targeting approach for integration of renewable energy sources, CO2 capture and storage and negative emission technologies in carbon-constrained energy planning.** Energy, v. 235, p. 121280, 2021.

NEIVA, P S; FURTADO, D B; FINZER, J R D. **Capacidade Térmica E Poder Calorífico De Biomassa Eucalipto.** 2018.

NEVES, Edinelson José Macial; CARPANEZZI, Antonio Aparecido. **Prospecção do cultivo do Nim no Brasil.** 2009.

NITHYA, K. *et al.* **Rapid sorption of chromium ions using neem extract capped green synthesized magnetic nanoparticles.** Materials Today: Proceedings, 2020.

NONES, Daniela Letícia *et al.* **DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES ENERGÉTICAS DA MADEIRA E DO CARVÃO VEGETAL PRODUZIDO A PARTIR DE *Eucalyptus benthamii*.** FLORESTA, v. 45, n. 1, p. 57, 2014.

ONYICHE, ThankGod E. *et al.* ***Azadirachta indica* aqueous leaf extracts ameliorates coccidiosis in broiler Chickens experimentally infected with *Eimeria* oocysts.** Scientific African, p. e00851, 2021.

PATEL, Shradha M. *et al.* **Potential of neem (*Azadirachta indica* L.) for prevention and treatment of oncologic diseases.** Seminars in Cancer Biology, v. 40–41, p. 100–115, 2016.

PATIL, Shashank M *et al.* ***Azadirachta indica* A. Juss (neem) as a contraceptive: An evidence-based review on its pharmacological efficiency.** *Phytomedicine*, v. 88, p. 153596, 2021.

PAVLOVIĆ, Boban; IVEZIĆ, Dejan; ŽIVKOVIĆ, Marija. **A multi-criteria approach for assessing the potential of renewable energy sources for electricity generation: Case Serbia.** *Energy Reports*, 2021.

QADIR, Sami Ullah; RAJA, Vaseem; SIDDIQUI, Weqar A. **Morphological and biochemical changes in *Azadirachta indica* from coal combustion fly ash dumping site from a thermal power plant in Delhi, India.** *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 129, p. 320–328, 2016.

RAJASEENIVASAN, T. *et al.* **An investigation on the performance of sawdust briquette blending with neem powder.** *Alexandria Engineering Journal*, v. 55, n. 3, p. 2833–2838, 2016.

RAZA, Saleem *et al.* **Recent trends in the development of biomass-based polymers from renewable resources and their environmental applications.** *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, v. 115, p. 293–303, 2020.

SANTANA, Rayane Nepomuceno *et al.* **Caracterização energética do carvão de *Azadirachta indica juss* (nim), sul do tocantins.** In: 5º CIBIO - CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOMASSA - ONLINE - Online, 2020. Disponível em: <<https://www.doity.com.br/anais/cibio2020/trabalho/172335>>. Acesso em: 21/07/2021.

SILVA, Roberta A. e *et al.* **Estudo da variabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 5, p. 501–509, 2010.

SINGH, Baljit; MOHAN, Man; SINGH, Baldev. **Synthesis and characterization of the *azadirachta indica* gum–polyacrylamide interpenetrating network for biomedical applications.** *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, v. 1, n. August, p. 100017, 2020.

SINGH, Baljit; SINGH, Baldev. **Graft copolymerization of polyvinylpyrrolidone onto *Azadirachta indica* gum polysaccharide in the presence of crosslinker to develop hydrogels for drug delivery applications.** *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 159, p. 264–275, 2020.

SOUZA, Lyssa Martins de *et al.* **Comparação da qualidade dos tecidos do pecíolo de buriti (*Mauritia flexuosa L. f.*) para combustão e carbonização.** *Ciência Florestal*, v. 30, n. 2, p. 516, 2020.

TOFEL, Katamssadan H. *et al.* **Insecticidal products from *Azadirachta indica* and *Plectranthus glandulosus* growing in Cameroon for the protection of stored cowpea and maize against their major insect pests.** *Industrial Crops and Products*, v. 110, n. March, p. 58–64, 2017.

TSENG, Ming-Lang *et al.* **Multicriteria assessment of renewable energy sources under uncertainty: Barriers to adoption.** *Technological Forecasting and Social Change*, v. 171, p. 120937, 2021.

VENZON, Madelaine *et al.* **Control of two-spotted spider mites with neem-based products on a leafy vegetable.** *Crop Protection*, v. 128, p. 105006, 2020.

VIVIESCAS, Cindy *et al.* **Contribution of Variable Renewable Energy to increase energy security in Latin America: Complementarity and climate change impacts on wind and solar resources.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 113, p. 109232, 2019.

WANG, Dongji *et al.* **Design and key heating power parameters of a newly-developed household biomass briquette heating boiler.** *Renewable Energy*, v. 147, p. 1371–1379, 2020.

YADAV, Manavi *et al.* **A review on biomass-derived materials and their applications as corrosion inhibitors, catalysts, food and drug delivery agents.** *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, p. 100153, 2021.

ZERRAHN, Alexander; SCHILL, Wolf-Peter; KEMFERT, Claudia. **On the economics of electrical storage for variable renewable energy sources.** *European Economic Review*, v. 108, p. 259–279, 2018.

ZHU, Wan-fang *et al.* **Limonoids and tricyclic diterpenoids from *Azadirachta indica* and their antitumor activities.** *Bioorganic Chemistry*, v. 100, p. 103889, 2020.