



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
PROGRAMA REGIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE**

SARAH INGLID DOS SANTOS SILVA

**APROVEITAMENTO DA BIOMASSA DE COCO VERDE PARA PRODUÇÃO DE
BIOCOMBUSTÍVEIS SUSTENTÁVEIS**

João Pessoa
2019

SARAH INGLID DOS SANTOS SILVA

**APROVEITAMENTO DA BIOMASSA DE COCO VERDE PARA PRODUÇÃO DE
BIOCOMBUSTÍVEIS SUSTENTÁVEIS**

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, da Universidade Federal da Paraíba, para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Nataly Albuquerque dos Santos
Co-Orientadora: Prof^a. Dr^a. Amanda Duarte Gondim

João Pessoa
2019

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S586a Silva, Sarah Ingrid Dos Santos.

Aproveitamento da biomassa de coco verde para produção de biocombustíveis sustentáveis / Sarah Ingrid Dos Santos Silva. - João Pessoa, 2019.

73 f. : il.

Orientação: Nataly Albuquerque dos Santos Santos.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCEN.

1. Resíduos sólidos, Biomassa, coco verde, Pirólise. I. Santos, Nataly Albuquerque dos Santos. II. Título.

UFPB/BC

SARAH INGLID DOS SANTOS SILVA

**APROVEITAMENTO DA BIOMASSA DE COCO VERDE PARA PRODUÇÃO DE
BIOCOMBUSTÍVEIS SUSTENTÁVEIS**

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, da Universidade Federal da Paraíba, para obtenção do título de Mestre.
Aprovado em: 26 de Fevereiro de 2019.

BANCA EXAMINADORA



Prof^a. Dr^a. Nataly Albuquerque dos Santos– UFPB (Orientadora)



Prof^a. Dr^a. Amanda Duarte Gondim – UFRN (Co-orientadora)



Prof. Dr. Williane Farias Ribeiro



Prof^a. Dr^a. Elisângela Maria Rodrigues Rocha

Dedico este trabalho a Deus e à minha família, meus pais Valdomiro e Maria Adelma, minha irmã Samara e a minha avó Maria Salete.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois dele provém todas as graças que me trouxeram até aqui e me fortaleceram nas adversidades.

A Lívia Natássia e demais colaboradores a serviço Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana (EMLUR) que foram sempre prestativos nas necessidades e informações utilizadas nesse trabalho.

A Prof^a. Dr^a. Orientadora e amiga Nataly Albuquerque dos Santos por abrir horizontes e caminhos, por cobrar e acreditar sempre no meu potencial, estando ao meu lado com confiança e mostrar-se sempre disponível me ajudando fortemente em todas as etapas dessa fase.

A Prof^a. Dr^a. Co-orientadora Amanda Gondim pelas valiosas contribuições nesse trabalho e ao auxílio nas análises realizadas na UFRN.

A Aruzza Mabel e João Junior que me ajudaram integralmente dedicados com os trabalhos realizados na UFRN, por persistirem e não desistirem junto comigo.

A Prof^a. Dr^a. Elisângela que mesmo não me conhecendo, me instruiu de forma humana, compreensível e acolhedora para que obtivesse sucesso na pesquisa e contribuiu de maneira singular para o resultado da pesquisa.

A Professora Denise Dias Cruz, por colaborar no desenvolvimento dessa pesquisa com informações e auxílios fundamentais para elaboração dos questionários.

Aos meus pais Valdomiro e Maria Adelma, a minha irmã Samara por todo apoio, incentivo e confiança e a minha avó Maria Salete por sonhar comigo.

A Isabele, por ser além de prima uma companheira de vida, amiga em todas as horas e dificuldades e que também me auxiliou na pesquisa por inúmeras vezes.

A Diego por ter me sustentado no momento mais difícil desse processo, por me apoiar e fortalecer com muita dedicação esse sonho.

Aos meus amigos de caminhada que por vezes estiveram sempre ao meu lado, contribuindo de maneira individual e construtiva, em especial a Isis Tamara, Daniel Leite, Pedro Nóbrega, Ryan Cartaxo, Alessandra Costa e Vital Madruga pelo laço formado durante o curso e aos demais que estiveram sempre ao meu lado.

RESUMO

Os resíduos sólidos são uma problemática mundial, muitos países como a Índia, Alemanha, Finlândia entre outros, já utilizam de tecnologias sustentáveis para diminuir os impactos ocasionados pelos RSU no meio ambiente. No Brasil, a alternativa utilizada para minimização desse impacto são os aterros sanitários. Contudo, os volumes de resíduo de coco verde têm chamado atenção em todo país. De acordo com o IBGE, no ano de 2017 foram produzidos aproximadamente 1,8 milhão de frutos, sendo a região Nordeste responsável por 75% do total produzido. Diante desse cenário esse trabalho realizou um levantamento de dados sobre a geração de resíduo de coco verde na cidade de João Pessoa usando dados de 2007 e 2018 elaborados pela EMLUR- Autarquia Especial de Limpeza Urbana e identificou que todo esse resíduo é destinado ao aterro sanitário comprometendo a vida útil do mesmo e impactando ambientalmente através de vetores e geração de gases no aterro. Os dados compilados apontaram que em 2007 foram gerados cerca 1 milhão de unidades de coco na cidade de João Pessoa e o levantamento realizado em 2018 apontou novos pontos de venda de coco. A pesquisa também realizou a caracterização da biomassa de coco verde identificando o comportamento térmico do mesocarpo e do endocarpo. O Poder Calorífico Superior da biomassa de coco verde apresentou valores semelhantes a outras culturas florestais. A Pirólise rápida realizada nas temperaturas de 500 °C, 550°C e 600 °C do resíduo de coco apresentou compostos oxigenados com potencial matéria-prima para biocombustíveis.

Palavras chaves: Resíduos sólidos, Biomassa, coco verde, Pirólise

ABSTRACT

Solid waste is a global problem, many countries such as India, Germany, Finland, among others, already use sustainable technologies to reduce the impacts caused by MSW on the environment. In Brazil, the alternative used to minimize this impact is landfills. However, the volumes of green coconut residue have attracted attention across the country. According to IBGE, in 2017 approximately 1.8 million fruits were produced, with the Northeast region responsible for 75% of the total produced. In view of this scenario, this work carried out a survey of data on the generation of green coconut waste in the city of João Pessoa using data from 2007 and 2018 prepared by EMLUR- Special Municipal Cleaning Agency and identified that all this waste is destined to the landfill, compromising its useful life and impacting the environment through vectors and gas generation at the landfill. The compiled data showed that in 2007 around 1 million units of coconut were generated in the city of João Pessoa and the survey carried out in 2018 showed new points of sale of coconut. The research also carried out the characterization of green coconut biomass by identifying the thermal behavior of the mesocarp and endocarp. The Higher Calorific Power of green coconut biomass showed values similar to other forest crops. The rapid pyrolysis performed at temperatures of 500 ° C, 550 ° C and 600 ° C of the coconut residue presented oxygenated compounds with potential raw material for biofuels.

Key words: Solid waste, Biomass, green coconut, Pyrolysis.

Sumário

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GERAL	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3 REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1 RESÍDUOS ORGÂNICOS	16
3.2 RESÍDUOS DO COCO VERDE	22
3.3 POTENCIAL ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS	26
3.4 BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS	28
3.5 PROCESSOS TERMOQUÍMICOS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS	30
3.5.1 Gaseificação	31
3.5.2 Pirólise	32
3.5.3 Pirólise Lenta	33
3.5.4 Pirólise Intermediária	33
3.5.5 Hidropirólise	33
3.5.6 Pirólise Rápida	34
3.6 BIO-ÓLEO	35
4 METODOLOGIA	37
4.1 DIAGNÓSTICO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE COCO VERDE EM JOÃO PESSOA	37
4.1.1 Caracterização da área	37
4.1.2 Coleta de Dados	38
4.1.3 Aplicação de questionário para pesquisa	38
4.2 ANÁLISES DA BIOMASSA	39
4.2.1 Pré-tratamento da biomassa do resíduo de coco verde	39
4.2.2 Secagem	40
4.3 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA	42
4.4 ANÁLISE CALORIMÉTRICA	43
4.5 PIRÓLISE CROMATOGRÁFICA	44

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
5.1 LEVANTAMENTO DO QUANTITATIVO DE COCO VERDE - ANO DE 2007	46
5.2 DADOS DISPONIBILIZADOS PELA EMLUR - ANO DE 2018	49
5.4 DADOS DOS QUESTIONÁRIOS DA PESQUISA	51
5.4.1 Origem do coco verde comercializado em João Pessoa	51
5.4.2 Análise do valor de comercialização de coco verde	52
5.5 ANÁLISE DA BIOMASSA	53
5.5.1 Termogravimetria	53
5.5.2 Poder calorífico superior	55
5.5.3 Pirólise	55
REFERÊNCIAS	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Variação na composição do RSU por níveis de renda do país.	17
Figura 2 - Composição gravimétrica dos resíduos domiciliares de João Pessoa,2014.	21
Figura 3 - Celulose, Hemicelulose e Lignina.....	29
Figura 4 - Bio-óleo.	36
Figura 5 - Coqueiros na orla de João Pessoa.	37
Figura 6 – separação de amostras.	39
Figura 7 - Amostras após etapa de secagem.	40
Figura 8 - Moinho TE.	41
Figura 9- Amostras trituradas e peneiradas.	42
Figura 10- Analisador térmico TA Instruments.	43
Figura 11 - Bomba calorimétrica.	44
Figura 12- Percentual dos cocos vendidos em João Pessoa por bairro no ano de 2007.	48
Figura 13- Mapa de origem do coco verde comercializado na cidade de João Pessoa.....	51
Figura 14- Gráfico da variação de preços do coco verde.	52
Figura 15- Termogravimetria das amostras de mesocarpo e endocarpo e coco inteiro.	53
Figura 16- Cromatografia da pirólise a 500 °C.	56
Figura 17- Cromatografia da pirólise a 550 °C.	57
Figura 18- Cromatografia da pirólise a 600 °C.	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Quantitativo de RSU por regiões.	18
Tabela 2 - Quantitativo de produção de coco verde por estados.	23
Tabela 3 - Países que mais produzem coco verde no mundo.	24
Tabela 4 - Principais características dos processos químicos para tratamento térmico de resíduos sólidos.	30
Tabela 5- Parâmetros utilizados na análise.	41
Tabela 6 - Condições de realização da Pirólise Cromatográfica.	45
Tabela 7 - Quantitativo de cocos vendidos por bairro em 2007.	47
Tabela 8 - Quantitativo de cocos vendidos por bairro em 2018.	49
Tabela 9- Resultados da TG.	54
Tabela 10 - Poder calorífico do endocarpo e mesocarpo.	55
Tabela 11 - Principais Produtos da pirólise de coco a 500 °C.	56
Tabela 12 - Principais Produtos da pirólise de coco a 550 °C.	58
Tabela 13- Principais produtos obtidos pela pirólise a 600 °C.	59

LISTA DE ABREVIATURAS

ABREVIATURAS

ABRELPE = Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.

EDC = Endocarpo.

EMBRAPA = Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

MEC = Mesocarpo.

EME = Amostra inteira composta pelo Endocarpo, Mesocarpo e Epicarpo.

EMLUR = Empresa Municipal de Limpeza Urbana.

EPC = Epicarpo.

IBGE = Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IPEA = Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.

MEC = Mesocarpo.

ONU = Organização das Nações Unidas.

PMGIRS = Plano Municipal de Gestão integrada de Resíduos Sólidos

PMJP = Prefeitura Municipal de João Pessoa.

PNRS = Política Nacional de Resíduos Sólidos.

RSU = Resíduos Sólidos Urbanos.

UNEP = Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente.

WTE = Energy To Waste.

1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores problemas na maioria dos países em desenvolvimento é o gerenciamento de resíduos sólidos, principalmente os resíduos que contém altas frações orgânicas e que tem potencial para atuar na geração de energia (PSOMOPOULOS et al., 2009). O reaproveitamento dos resíduos orgânicos para geração de energia e biocombustíveis é uma forte tendência para amenizar os impactos causados pelo uso desenfreado dos combustíveis fósseis (PREMAKUMARA et al., 2018).

A utilização de resíduos orgânicos, como biomassa para geração de energia e biocombustíveis, fez com que o Brasil se destacasse na geração de produtos renováveis. Uma das biomassas lignocelulósicas em grande abundância no Brasil é o resíduo de coco verde, que é gerado pelas grandes indústrias no beneficiamento do coco e pelo consumo “*in natura*” em todo território brasileiro (ANEEL, 2005).

O Brasil é o quarto maior produtor de coco, com a participação de 4,7%, correspondendo a uma produção de 2,6 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2018). A região Nordeste do Brasil concentra 75% do total produzido. A Paraíba está entre os 10 estados que mais geram resíduo de coco verde no Brasil (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2017).

De acordo com a Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana – EMLUR/PB todo o resíduo de coco verde gerado no município, tanto na orla como em demais pontos distribuídos pela cidade, são destinados ao aterro sanitário. Esse resíduo apresenta um perfil de difícil decomposição, levando até 10 anos para se decompor além do grande volume ocupado na disposição final (FRANCISCO NETO, 2010). O impacto e comprometimento da vida útil dos aterros pelas dimensões ocupadas com matéria orgânica residual de coco verde, tornou-se uma preocupação crescente aos gestores de aterros sanitários.

Esse resíduo apesar de estar causando um impacto direto ao meio ambiente, possui características de biomassa para produção de energia renovável devido sua estrutura composta por 35% de celulose, 35% de hemicelulose e 25% de lignina (MACÊDO, 2012). A biomassa residual de coco verde apresenta composição lignocelulósica que pode ser utilizada na produção de bio-óleo com característica de combustíveis renováveis de alto valor agregado (EVANS; KAN; STREAZOV, 2016).

O bio-óleo pode ser obtido através do processo de Pirólise pela degradação da matéria orgânica em atmosfera inerte (ausência total de oxigênio) e com a operação de controle das variáveis durante o processo. (LETTIERI, 2011; MOYA, 2017)

Nesse contexto, essa pesquisa aborda a hipótese de gerenciamento do resíduo de coco verde consumido em João Pessoa e seus impactos na destinação final sem beneficiamento. Além de desenvolver uma alternativa sustentável para os grandes níveis de geração deste resíduo que tem impactado diretamente na vida útil dos aterros, através de técnicas termoquímicas que reduzem a biomassa do resíduo do coco a um produto líquido que pode ser refinado para produção de biocombustíveis sustentáveis.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar o levantamento dos resíduos de coco verde gerados em João Pessoa e avaliar as possibilidades de utilização da biomassa em processos termoquímicos para produção de biocombustíveis.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar os pontos de venda de coco verde na cidade de João Pessoa;
- Caracterizar a biomassa do coco verde através de métodos físico-químicos e termoquímicos;
- Obter bio-óleo a partir do resíduo do coco verde.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

O levantamento bibliográfico dessa pesquisa recolheu dados governamentais de órgãos responsáveis e discutiu trabalhos a respeito da problemática na geração de resíduos sólidos sendo descartada em aterros e o reaproveitamento energético das mesmas através da técnica de pirólise.

3.1 RESÍDUOS ORGÂNICOS

O crescimento na geração de resíduos sólidos é decorrente do desenvolvimento econômico e pode ser observado principalmente pelo aumento do padrão de vida da população. Os atuais sistemas para gestão de resíduos sólidos encontram-se sobrecarregados e com esse aumento tornam-se suscetíveis a conflitos sociais, principalmente quando não são geridos de forma adequada, além de angariar maiores custos nos orçamentos públicos (BUNDHOO, 2018).

Os impactos causados devido ao volume de resíduos sólidos gerados na sociedade e ao meio ambiente estão preocupando os países em desenvolvimento. O descarte inadequado e a falta de controle na disposição final dos resíduos podem ocasionar problemas de poluição, contudo, as altas frações de resíduos orgânicos nos resíduos sólidos podem levar à recuperação de energia através da aplicação de opções de processamento apropriadas (DHAR, 2017).

A população mundial encontra-se atualmente com aproximadamente 7,1 bilhões de pessoas que geram em torno de 1,3 bilhões de toneladas/ano de resíduos. A Índia, um dos países mais populosos do mundo, tem aumentado a sua produção de resíduos principalmente devido à rápida industrialização, cerca de 40 a 60% dos resíduos gerados são de materiais orgânicos (GHOSH et al., 2018).

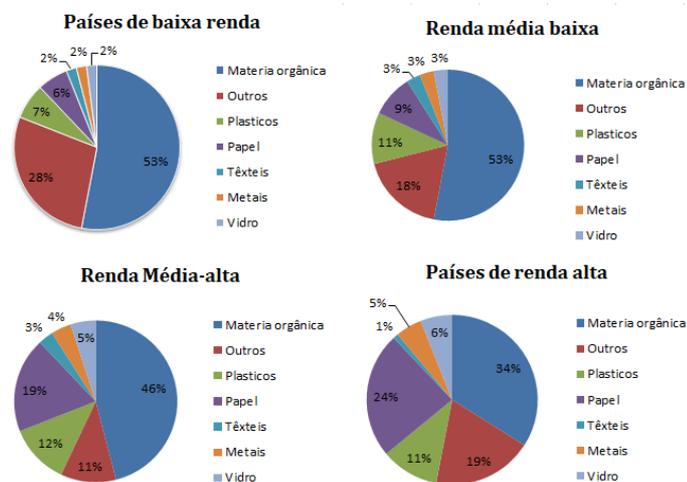
As tecnologias e os processos aplicados no tratamento dos resíduos sólidos possuem o objetivo de minimizar o volume de resíduos destinados aos aterros, recuperando o máximo de recurso possível. As frações de resíduos orgânicos que englobam papel, plásticos, têxteis, alimentos, resíduos verdes e madeira podem ser queimados ou compostados (ARAFAT et al., 2015).

Entre as tecnologias utilizadas no mundo para gestão adequada dos resíduos orgânicos estão: a compostagem, digestão anaeróbia e alimentação animal. Para a recuperação de energia e combustíveis os processos aplicados são: combustão para recuperação de energia em forma de eletricidade ou calor, combustão em aplicação industrial, gaseificação, pirólise e aproveitamento de gases de aterro (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2015).

Países da União Européia estabeleceram um projeto (Directiva 200898CE) para gerenciamento de resíduos com ênfase na diminuição, reutilização e reciclagem. Neste projeto, os resíduos são processados para produzir energia pelo processo Energy To Waste (WTE) e por fim, são descartados nos aterros. A tecnologia WTE é o processo de recuperação de energia em forma de calor, eletricidade ou combustível a partir de uma fonte de resíduos. O avanço dessa tecnologia aperfeiçoou o processo de conversão química no desempenho da degradação de substâncias orgânicas (CUCCHIELLA et al., 2017).

De acordo com o relatório da (United Nations Environment Programme (UNEP), 2015 (Global Waste Management Outlook), os países de baixa renda produzem mais resíduos orgânicos estando em torno de 50 a 70% do total de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Já os países desenvolvidos produzem cerca de 20 a 40% de resíduos orgânicos dos RSU. A Figura 1 apresenta a composição de RSU agrupada por níveis de renda do país. A determinação desses percentuais implica diretamente na gestão, coleta e na escolha de tecnologias a serem aplicadas (ONU, 2015).

Figura 1 - Variação na composição do RSU por níveis de renda do país.



Fonte: UNEP, 2015.

O Brasil se enquadra nos países de renda média alta, no entanto o déficit na gestão de resíduos sólidos é comparado aos países de baixa renda. A falta de assistência e infraestrutura econômica por meio da coleta e descarte irregular é o principal pilar da gestão inadequada dos resíduos sólidos no Brasil (CETRULO, 2018). De acordo com o Panorama da ABRELPE em 2017, 3.352 municípios no Brasil ainda não possuem local adequado para o descarte de resíduos sólidos, com o total de 78,4 milhões de toneladas de RSU gerados em 2017, apenas 59,1% do coletado é destinado a aterros sanitários. A Tabela 1 a seguir demonstra os quantitativos de RSU gerados por região (ABRELPE, 2017).

Tabela 1- Quantitativo de RSU por regiões.

REGIÃO	RSU Total (t/dia)
Norte	12.705
Nordeste	43.871
Centro-oeste	14.406
Sul	103.741
Sudeste	21.327
Brasil	196.050

Fonte: Adaptado de ABRELPE, 2017.

*Abordagem Metodológica descrita no panorama da ABRELPE, a equação aplicada realiza uma perspectiva da quantidade de RSU coletada por habitante/dia. A média obtida está sujeita a margem de erro.

Diante deste cenário crítico, em 2010, o Poder Legislativo brasileiro publicou a Lei nº 12305, de 2 de agosto de 2010, que trouxe a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), falando sobre a gestão e responsabilidade dos resíduos sólidos no Brasil, com o intuito de eliminar os lixões e aterros controlados e estabelecer os aterros sanitários como destino final aos resíduos sólidos do Brasil. Além da coleta adequada, a aplicação de tecnologias para reaproveitamento de energia proveniente dos resíduos também faz parte da PNRS para os aterros (BRASIL, 2010; JABBOUR, 2014).

Um dos compromissos da PNRS é a diminuição do percentual de resíduos úmidos nos aterros sanitários através da recuperação da fração orgânica dos RSU, pelos processos biológicos de compostagem, biodigestão e anaeróbico, visando à diminuição da emissão dos gases de efeito estufa no aterro e comprometimento da vida do mesmo através da ocupação da área destinada aos resíduos orgânicos (SEEG, 2018).

No Brasil, cerca de 50% dos resíduos urbanos coletados são resíduos orgânicos, que por possuírem características nutritivas são ideais para compostagem e outras aplicações de recuperação de massa orgânica, sendo economicamente desperdiçada quando é destinada a aterros sanitários (BRASIL MMA, 2017).

A reutilização da fração orgânica composta nos resíduos sólidos urbanos pode ser utilizada como uma biomassa de alto valor agregado quando se empregam tecnologias que podem diminuir os impactos ambientais, reaproveitar a matéria para geração de energia e ainda liberar área do aterro sanitário (SALOMON, 2009).

No aterro a decomposição anaeróbia da matéria orgânica produz subprodutos como biogás, lixiviado e um composto altamente nutritivo. Os quais são ricos em metano (CH_4 , 35-45 vol%), dióxido de carbono (CO_2 , 15-40 vol%), água, nitrogênio e compostos aromáticos, como sulfeto de hidrogênio na faixa de 5 ppm (BARROS et al., 2018). Contudo, é de interesse do processo, a determinação química, biológica e fatores como umidade e temperatura para escolha da tecnologia empregada na recuperação dos resíduos orgânicos dos RSU.

Entre as tecnologias desenvolvidas, as técnicas biológicas mais aplicadas são divididas em dois processos de acordo com as condições em que ocorrem, sendo elas: a compostagem ou processo aeróbio quando ocorre na presença de oxigênio e o processo anaeróbico que se dá na ausência de oxigênio. O processo anaeróbio requer menos energia e produz um gás combustível composto por metano e dióxido de carbono, esse biogás é utilizado como fonte de calor, combustível ou energia elétrica (MOYA, 2017).

Os tratamentos termoquímicos são bem desenvolvidos no mundo todo devido à eficiência na recuperação de energia dos resíduos, tendo como característica um potencial maior na degradação de diversos materiais. A Gaseificação é um dos principais processos de conversão térmica de resíduos que se dá pela oxidação parcial na presença de uma fonte baixa de oxidante produzindo gases de síntese ou

combustível. Esse processo compreende ainda outras vertentes tecnológicas de reatores como (forno alternativo, leito fixo, fluidizado, de arraste, eixo plasma e vertical e forno de grelha móvel). Os resíduos orgânicos são convertidos principalmente em monóxido de carbono, hidrogênio e pequenas quantidades de metano. O biogás (syngas) é o principal produto gerado na gaseificação, rico em energia e com ótimas condições para aplicação em turbinas de motor a gás (ARENA, 2012).

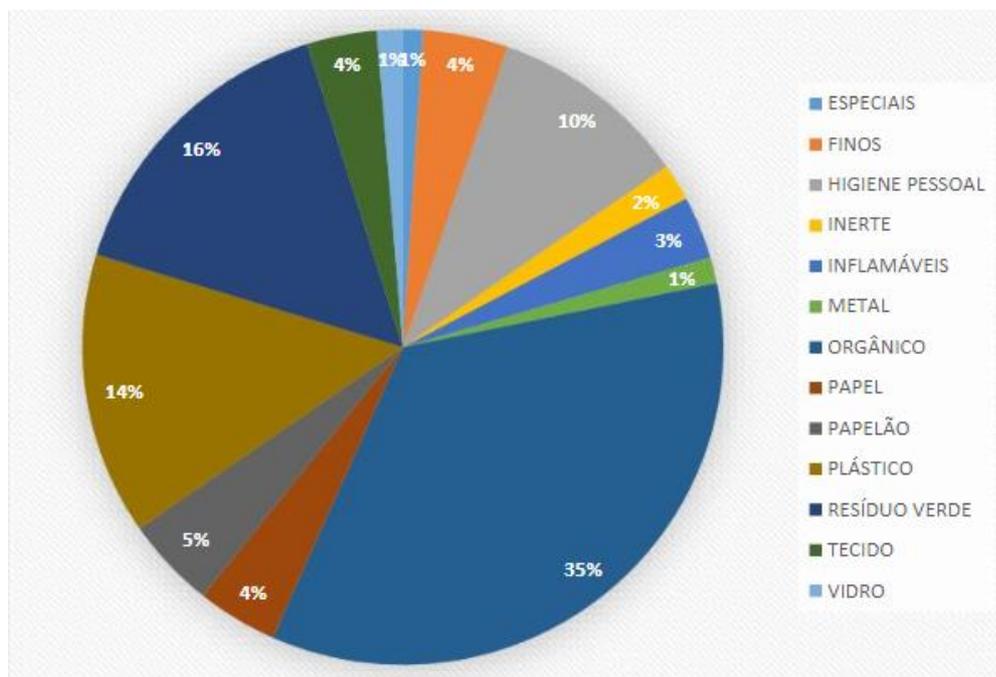
Outro processo termoquímico utilizado na gestão de resíduos orgânicos é a incineração, atualmente a tecnologia mais utilizada na Malásia. Nesse método os resíduos são queimados diretamente na câmara de combustão em altas faixas de temperaturas (900 e 950°C) com o auxílio de fontes externas de calor como ar pré-aquecido e gás de combustão. Este processo é capaz de reduzir o volume dos resíduos e permite a recuperação de energia em forma de eletricidade e calor (TAN et al., 2014 apud MOYA, 2017). Essa tecnologia avançou rapidamente passando de 7,7% no ano de 2006 para 32,3% em 2015 no mundo (WANG, 2018). A Alemanha lidera os países que utilizam essa tecnologia no continente Europeu com (38,9 milhões de toneladas), dessa forma a incineração já é uma tecnologia consolidada, mas de altos custos devido ao monitoramento contínuo da emissão de gases (SANTOS et al., 2018).

Outra tecnologia termoquímica utilizada na gestão dos resíduos sólidos é a Pirólise, que ocorre através da degradação térmica da matéria orgânica em atmosfera inerte na ausência total de oxigênio e com a utilização de uma fonte externa de calor para controlar as etapas de permanência térmica. Essa tecnologia demanda um pré-tratamento para segregação de metais, vidros e materiais inertes da amostra e também outra técnica termogravimétrica para determinar os parâmetros para conversão da biomassa orgânica. A pirólise é capaz de recuperar energia e produzir produtos químicos e combustíveis após refino das frações sólidas, líquidas e gasosas do processo (LETTIERI, 2011; MOYA, 2017).

Em 2014, foi elaborado o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) do município de João Pessoa, o diagnóstico desse documento aponta que no ano de 2013 foram gerados 415.958,59t de RSU, dos quais 263.520,13 correspondem aos resíduos domiciliares e de limpeza urbana, sendo a maior fração referente aos resíduos orgânicos. A Figura 2 apresenta um gráfico com a análise gravimétrica dos resíduos domiciliares da cidade de João Pessoa, no qual

os resíduos verdes e a matéria orgânica representam mais da metade do total gerado, em torno de 51% dos RSU.

Figura 2 - Composição gravimétrica dos resíduos domiciliares de João Pessoa, 2014.



Fonte: PMJP, 2014.

O diagnóstico também ressalta os volumes gerados pela indústria agrossilvopastoril, através das atividades agropecuárias e silviculturais incluindo os resíduos dos processamentos envolvidos na produção. É relevante ressaltar diante do cenário mundial que demanda urgentemente novas fontes de energias renováveis, que a maioria dos resíduos oriundos desse setor são resíduos orgânicos, com alto potencial para geração de energia (PMJP, 2014).

O setor agrícola na cidade de João Pessoa apesar de representar menos de 1% do PIB do estado têm gerado no município grandes volumes de resíduos através dos altos níveis de produção e comércio. Um total de aproximadamente 375t de resíduos orgânicos foram gerados na cidade de João Pessoa sem nenhuma alternativa de reaproveitamento de acordo com dados do IBGE (2011), IPEA (2012), EMBRAPA(2006). Entre as culturas de milho, feijão, cana-de-açúcar, coco da baía, manga, maracujá, castanha-de-cajú, abacaxi e batata-doce, a que mais gera resíduo sólido orgânico é a cultura de coco da baía (coco verde).

3.2 RESÍDUOS DO COCO VERDE

Os principais produtores mundiais de coco, segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação, são os países: Indonésia, Filipinas e Índia. Em 2016, representaram 75,9% da produção mundial (FAO, 2018).

O Brasil é o quarto maior produtor de coco, com a participação de 4,7%, pela produção de 2,6 milhões de toneladas (FAO, 2018). As maiores plantações de coco estão concentradas na região litorânea, com predomínio na região nordeste (IBGE, 2017). A ótima produção nessa região está associada às características de clima tropical.

O Brasil tem se destacado expressivamente na produção de coco devido às suas características geográficas na extensão territorial e edafoclimáticas favoráveis. Contudo, a tecnologia tem somado muito aos avanços no manejo desta cultura, como na adubação, intensificação de cultivo, melhoramento genético entre outros fatores incrementados tecnologicamente que somados refletem o aumento na produtividade e cultivo de coqueiros (JESUS JUNIOR; MARTINS, 2011).

Dados do levantamento Sistemático de Produção Agrícola de 2017 demonstram os valores dos frutos produzidos no ano. O coco verde gerou um total de 1 791 988 (mil frutos) produzidos até o mês de novembro, dos quais 1 334 338 (mil frutos), que representa 75% do total produzido é referente a produção na região Nordeste (IBGE, 2017).

Com base nos dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a Tabela 2, esboça os 10 estados mais produtores de coco verde no Brasil, sendo a Bahia e Sergipe os maiores produtores do Nordeste.

A Paraíba também se encontra entre os principais produtores de coco do Brasil, no entanto por estar situado no semiárido sofre com as variações pluviométricas devido à escassez de chuvas, alta evapotranspiração e secas prolongadas impactando diretamente atividades agropecuárias como as plantações das culturas de milho, feijão, coco, frutíferas entre outras. (FARIAS, 2015)

Tabela 2 - Quantitativo de produção de coco verde por estados.

Estados produtores de coco	Produção de coco (mil frutos)
Bahia	542.448
Sergipe	237.308
Pará	197.387
Ceará	186.733
Pernambuco	144.452
Espírito Santo	120.656
Alagoas	99.454
Rio Grande do Norte	69.076
Rio de Janeiro	44.515
Paraíba	37.642

Fonte: IBGE, 2017.

João Pessoa, capital do estado da Paraíba, cidade litorânea de clima tropical, possui em todos os bairros um volume relevante de vendas de água de coco. Considerando o quantitativo do ano de 2014 citado por Santos et al., (2014), são gerados em torno de 4.000 unidades de resíduos, cerca de seis toneladas de resíduos de cocos por dia na cidade. O bairro do Bessa apresentou 412.620, Mangabeira 135.096, Bancários 89.440 e Centro 112.736 unidades de coco verde vendido.

O coqueiro apesar de ser uma cultura que se adaptou muito bem em todo território brasileiro, pressupõe-se que sua origem seja asiática, entre os oceanos Índico e Pacífico e tenha chegado as Américas vindo da África e trazido pelos portugueses por volta de 1553, espalhando-se por toda região tropical (EMBRAPA, 2006). De acordo com a FAO (2016). O coqueiro é uma palmeira de excelente adaptação, por isso, está presente em praticamente todo o mundo e principalmente em países de clima tropical.

Atualmente a indústria de coco é consolidada em todo país, estando entre os maiores produtores do mundo, como é mostrado na Tabela 3, produz cerca de dois milhões de toneladas. No entanto, ao que difere dos países que ocupam os primeiros lugares, o Brasil ainda possui um sistema de reaproveitamento do resíduo

gerado a partir do coco verde bastante precário, quando não são levados de maneira irregular para lixões são descartados em aterros sanitários como alternativa para finalidade dos resíduos sólidos, impactando ambientalmente através da degradação da matéria orgânica e diminuindo a vida útil do aterro sanitário (NETO, 2010).

Tabela 3 - Países que mais produzem coco verde no mundo.

Países	Produção de coco (Toneladas)
Indonésia	17.722.429
Filipinas	13.825.080
Índia	11.127.898
Brasil	2.649.246
Sri Lanka	2.520.095
Vietnã	1.469.960
Papua Nova Guiné	1.191.438
México	1.157.481
Tailândia	815.406
República Unida da Tanzânia	555.836
Myanmar	531.730
Malásia	504.773
Gana	380.380
República Dominicana	374.474
Ilhas Salomão	341.876
Vanuatu	336.988
China (continente)	296.986
Nigéria	283.744
Jamaica	255.411
Moçambique	248.394

Fonte: FAOSTAT, 2018.

A Índia, um dos maiores produtores de coco verde do mundo tem avançado bastante no reaproveitamento de resíduos para recuperação de energia, tendo em

vista a demanda por inclusão de fontes renováveis, o país tem investido em plantas de biogás e outros métodos tecnológicos como a pirólise. O RSU tem um poder calorífico em torno de 7,3 MJ/kg e a princípio objetivava-se recuperar em torno de 1500 MW dos resíduos sólidos orgânicos no país através de plantas pilotos para geração de energia. Tendo sua base agrícola, o país dispõe de culturas como cereais, oleaginosas, leguminosas, cana-de-açúcar, horticultura, coco e outros como principais culturas da Índia e entre as tecnologias de recuperação de energia, a Índia tem optado pelas rotas termoquímicas com controle de calor devido seu melhor aproveitamento da biomassa e resíduos orgânicos visando as características dos resíduos no país (DHAR et al., 2017).

Já as Filipinas, outro grande produtor mundial de coco enfrenta problemas relacionados às grandes populações e altos níveis de geração de resíduos despejados de maneira inadequada em lixões a céu aberto e como alternativa convencional são utilizados aterros sanitários para gerenciamentos dos RSU do país (PREMAKUMA et al., 2018). Para amenizar a utilização dos aterros sanitários, a alternativa utilizada nas Filipinas para o gerenciamento dos resíduos orgânicos, nos quais estão os resíduos provenientes do coco, é aplicada a técnica de compostagem (DENR, 2015).

A Indonésia, o maior produtor de coco do mundo gerando resíduo por todo o país, adotou uma alternativa renovável energética para aproveitamento do resíduo do coco e produção de um biocombustível sustentável produzido mundialmente através de diversas culturas como: mamona, semente de uva, milho, camelina, palma, coco, oliveira, soja, caroço de algodão entre outras. Considerando o grande volume gerado e a oportunidade de recuperação de energia através de um resíduo orgânico, o resíduo de coco se tornou a principal biomassa para produção de biodiesel na Indonésia (PUTRASARI et al., 2016).

No Brasil, apesar de ser um país com amplo desenvolvimento de tecnologias ambientais, a alternativa para gerenciamento dos resíduos sólidos empregada através da PNRS, são os aterros sanitários que operam como alternativa final para os resíduos no país. No entanto, o déficit na coleta nas zonas rurais e urbanas ainda ocasiona o descarte inadequado a céu aberto e em lixões. De acordo com Monteiro (2012), 70% dos resíduos gerados nas cidades do litoral brasileiro é referente ao resíduo do coco que além do volume gerado, cada unidade chega a pesar em torno de 1,5 kg, e leva em torno de 8 anos para se decompor, comprometendo

diretamente a vida útil dos aterros, além dos impactos biológicos ao solo e a proliferação de vetores, tornando os aterros uma alternativa inadequada para esse resíduo orgânico.

3.3 POTENCIAL ENERGÉTICO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS

As políticas ambientais estão cada vez mais exigentes em relação à geração de resíduos orgânicos, exigindo que esses resíduos sejam desviados dos aterros e sejam elaboradas alternativas para geração de energia através do manejo adequado para os resíduos orgânicos. Buscando amenizar as emissões dos gases de efeito estufa a utilização dos resíduos orgânicos como biomassa tem sido estudada em diversos países (PACE et al., 2018).

A energia potencial dos resíduos orgânicos é avaliada de acordo com a tecnologia utilizada para recuperação energética, as técnicas utilizadas nesse processo sofrem interferência dos parâmetros químicos, físicos, biológicos e da natureza dos resíduos orgânicos (DI MARIA et al., 2018).

Na Coreia, a gestão dos resíduos sólidos se tornou uma questão emergencial para o meio ambiente devido às problemáticas na geração dos gases do efeito estufa e pela disponibilidade limitada de área juntamente a alta densidade populacional (519 pessoas por km² em 2017) no país, uma das chaves para enfrentar esses desafios é a mudança do paradigma sobre resíduos, que estão sendo avaliados pelo seu potencial como recursos energéticos através de Tecnologias de conversão do Waste to Energy (WTE) pelo método de incineração que pode gerar uma quantidade de vapor de 242.044 Gcal/ano utilizando resíduos sólidos. Essa energia produzida pode ser utilizada ou comercializada para instalações vizinhas (YI et al., 2018).

Na Itália, universidades se empenharam para elaborar um estudo sobre “Recuperação de materiais e energia em Sistemas Integrados de Gerenciamento de Resíduos (IWMS)”. As pesquisas descrevem a avaliação de balanços de massa e energia e mostram que não apenas a quantidade de material disponível para recuperação de energia é significativa, mas a composição elementar das frações recicladas interfere mostrando que os resíduos selecionados para recuperação energética apresentam potencial superior ao lixo bruto (CONSSONI e VIGANO, 2011).

A China, o maior país em desenvolvimento do mundo, produz uma quantidade considerável de resíduos sólidos, o país tem adotado políticas para o gerenciamento dos resíduos almejando, assim, como nos demais trabalhos citados amenizar os impactos ambientais causados pela disposição inadequada dos RSU. Atualmente a tecnologia utilizada para recuperação de energia através de resíduos orgânicos na China é a incineração dos gases emitidos pela digestão anaeróbica dos resíduos orgânicos nos aterros. Simultaneamente, Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) em RSU são apresentados, assim como políticas e regulamentações na gestão dos resíduos para recuperação de energia. Devido à demanda por desenvolvimento sustentável, a geração de energia de incineração de RSU é capaz de crescer significativamente e tem um enorme potencial de mercado para os investidores nas décadas futuras, com o apoio do governo chinês (ZHENG et al., 2014).

O biodiesel é um combustível renovável com relevante potencial energético difundido no mundo inteiro. Esse biocombustível, no entanto, demanda uma fonte renovável em abundância, a qual é o componente que interfere diretamente no preço do combustível. O Brasil, conhecido pela sua gama de variedades em produção de biomassa, se tornou em 2010 o segundo maior produtor de biodiesel com uma produção de 2,4 milhões de m³, ficando atrás apenas da Alemanha. O Brasil já possui em seu histórico relevante representatividade quando se trata de gestão de resíduos para produção de biocombustíveis, tendo em vista a longa tradição sobre as fontes de energia renováveis que são de vital importância para matriz energética, além da soja, diversas outras culturas agrícolas e resíduos estão sendo utilizados no Brasil para produção de biodiesel (BERGMANN et al., 2013).

Ainda de acordo com Bergmann e colaboradores, almejando baratear os custos do biodiesel e buscando alternativas para matérias-primas disponíveis em grandes quantidades, o Brasil está explorando suas características agrícolas e considerando outras culturas como óleo de palma, coco, babaçu, girassol, colza, mamona, amendoim, algodão entre outras culturas produtoras de resíduos orgânicos. Entre essas culturas, o óleo do coco é extraído do endosperma que é descartado como resíduo orgânico no meio ambiente, assim como as sementes e endocarpos das demais culturas.

No Brasil, a produção de biocombustíveis é bem difundida através da produção de etanol de segunda geração a partir da cultura da cana-de-açúcar, com

experiência de mais de quatro décadas no desenvolvimento deste combustível. Contudo, a oportunidade de reaproveitamento do resíduo agrícola gerado após o processamento da cana-de-açúcar almeja aumentar a produtividade do etanol por área plantada, desenvolvendo uma tecnologia para produção de etanol de segunda geração através do material lignocelulósico da cana-de-açúcar (bagaço e palha). Dessa forma toda biomassa pode ser reaproveitada (MORAES et al., 2015).

O uso crescente de biomassa residual no setor energético ocorre em função do desenvolvimento de tecnologias eficientes de conversão que têm favorecido o reconhecimento das vantagens socioambientais do uso da biomassa na geração de energia e biocombustíveis (ANEEL, 2005). Nesse sentido, destaca-se o processo de pirólise que consiste da degradação da biomassa na ausência de oxigênio.

3.4 BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS

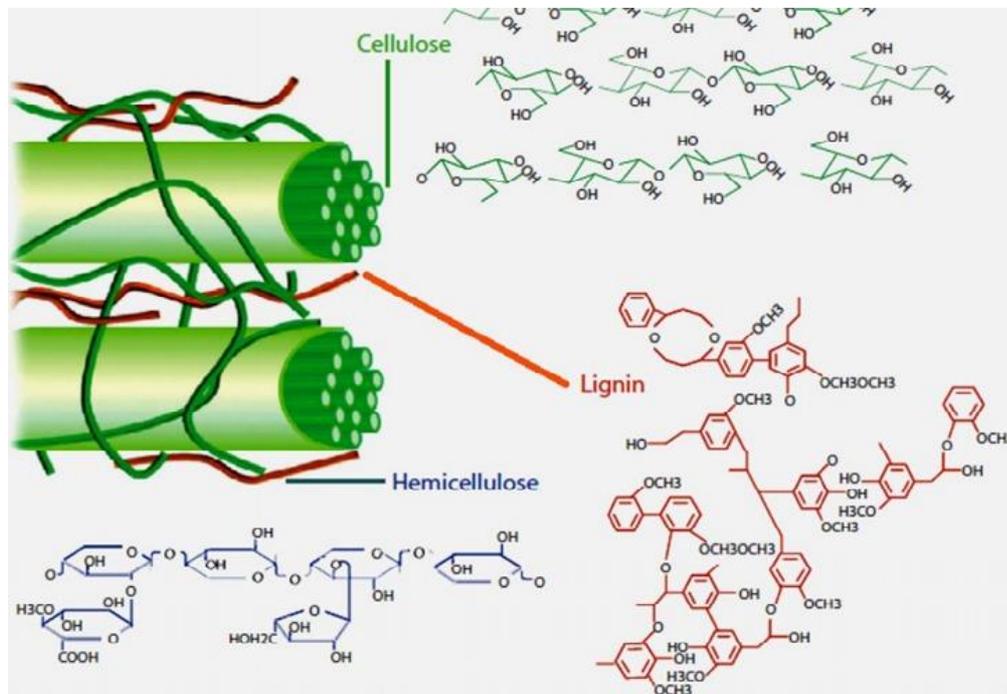
A biomassa lignocelulósica pode ter diversas origens, incluindo a matéria orgânica presente nos RSU e agroflorestais, trata-se de uma fonte em abundância e barata de recursos renováveis para recuperação de energia. A biomassa lignocelulósica pode produzir de 30 a 240 barris de óleo equivalente por hectare/ano a depender da cultura. A recuperação de energia através da biomassa lignocelulósica pode ser extraída através da combustão direta para produzir calor, que deve ser explorado imediatamente para aquecimento ou fonte de energia tendo em vista a baixa eficiência desse método. Outro método é a conversão da biomassa em biocombustíveis e hidrocarbonetos de alto valor agregado, usando as rotas termoquímicas ou bioquímicas produzindo combustíveis líquidos ou gases que também podem ser queimados para geração de energia (BASKHAR e DHYANI, 2018).

A biomassa lignocelulósica é composta basicamente por três compostos, a celulose, hemicelulose e a lignina. A celulose é o polímero orgânico mais abundante na biomassa, como pode ser visto na Figura 3, é um polímero natural de repetição de unidades de D-glicose, um anel de seis carbonos, também conhecido como piranose. Os três grupos hidroxila em cada anel de piranose podem interagir com um outro formando pontes de hidrogênio intra e intermoleculares que caracterizam à

celulose uma estrutura cristalina. A celulose possui propriedade de resistência mecânica e estabilidade química (HARMSEN et al., 2010).

A hemicelulose é a estrutura química responsável pela interligação entre a celulose e lignina (Figura 3), trata-se de um grupo de polissacarídeos heterogêneo ramificados, que se encontra em seus monômeros alguns compostos como a glicose, galactose, manose, xilose, arabinose e ácido glucurônico. Enquanto a celulose possui uma estrutura cristalina resistente à hidrólise, a hemicelulose é amorfa, com pouca força física facilmente hidrolisado por ácidos ou bases diluídos. (TAN et al., 2014).

Figura 3 - Celulose, Hemicelulose e Lignina.



Fonte: Fonte: ALONSO, DM; DUMESIC J a; WETTSTEIN, SG, 2012.

A lignina está presente principalmente na camada externa das fibras, trata-se de um aromático tridimensional que possui polímeros fenólicos de diferentes ligações (Figura 3). A lignina é responsável pela rigidez estrutural, mantendo as fibras de polissacarídeos juntos, desempenhando um papel de ligação entre hemicelulose e celulose dentro da parede celular. A estrutura específica da lignina pode variar de acordo com a biomassa de origem (LEE et al., 2014).

Além destes três compostos, a biomassa também compreende outros extrativos orgânicos e inorgânicos, podendo ser extraídos da biomassa usando

solventes polares e apolares. Demais compostos funcionam como metabolismo, como reservas de energia, e como defesas de plantas contra e ataque de insetos (MOHAN et al., 2006).

As culturas lignocelulósicas são bastante relevantes, principalmente os resíduos orgânicos provenientes das culturas agrícolas, devido uma boa parte não ser produtos alimentícios e geralmente são descartados no meio ambiente (ZANZI et al., 1996).

3.5 PROCESSOS TERMOQUÍMICOS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS

A gaseificação e pirólise demonstrados na Tabela 4 são os métodos de conversão termoquímica para biomassa de resíduos orgânicos mais aplicados atualmente. A gaseificação produz um gás que pode ser queimado para geração de calor, já a pirólise produz combustíveis em três fases (sólida, líquida e gasosa) onde a fração líquida pode substituir óleos combustíveis (DHYANI e BHASKAR, 2018).

Tabela 4 - Principais características dos processos químicos para tratamento térmico de resíduos sólidos.

Parâmetros	Gaseificação	Pirólise
Objetivo do processo	Maximizar a conversão de resíduos a gases combustíveis de alto valor de aquecimento, principalmente CO, H ₂ e CH ₄ .	Maximizar a decomposição térmica de resíduos sólidos em gases e fases condensadas.
Condições de funcionamento	Redução (quantidade oxidante menor do que o exigido por combustão estequiométrica).	Ausência total de qualquer oxidante
Gás reagente	Ar, oxigênio puro, oxigênio, ar enriquecido, vapor.	Nenhum
Temperatura	Entre 550 e 900°C (no ar gaseificação) e 1000–1600°C.	Entre 500°C e 800 °C.
Pressão	Geralmente atmosférica.	Sobre rápida pressão.

Gases produzidos no processo	CO, H ₂ , CO ₂ , H ₂ O, CH ₄ .	CO, H ₂ , CH ₄ e outros hidrocarbonetos.
Poluentes	H ₂ S, HCL, COS, NH ₃ , HCN, Alcatrão alcalino e material particulado.	H ₂ S, HCL, NH ₃ , HCN, Alcatrão e material particulado.
Refino do gás	É possível refinar o syngas para atender aos padrões de processos de produção de produtos químicos ou aos dispositivos de conversão para alta eficiência energética.	É possível refinar o syngas para atender aos padrões de processos de produção de produtos químicos ou aos dispositivos de conversão para alta eficiência energética.

Fonte: Adaptado de ARENA, 2012.

3.5.1 Gaseificação

A gaseificação tem se mostrado uma técnica promissora por reduzir significativamente os volumes de resíduos nos aterros sanitários. A gaseificação é um método termoquímico onde ocorre a conversão de resíduos sólidos em gases combustíveis ou de síntese. Trata-se da oxidação parcial dos resíduos na presença de uma fonte oxidante onde parte do combustível é queimado para oferecer calor para o processo gaseificar o resto do material. O produto é um gás combustível (syngas) que contém grandes quantidades de produtos não oxidados com poder calorífico. A fração orgânica é convertida principalmente em monóxido de carbono, hidrogênio e poucas quantidades de metano. (ARENA, 2012)

A gaseificação possui diversos benefícios potenciais em relação aos resíduos orgânicos, com a possibilidade de adaptação nas condições do processo (temperatura e razão de equivalência principalmente) e as características do reator de leito fluidizado, leito de arraste, eixo vertical, forno rotativo, reator de plasma etc. As adaptações são feitas de acordo com o syngas adequado para diferentes aplicações, podendo ser utilizado como gás combustível que pode ser queimado em forno convencional, conectado a caldeira e turbina a vapor, ou em dispositivos de

conversão de energia mais eficiente, como motores de pistão a gás ou turbinas a gás. Os principais compostos de monóxido de carbono e hidrogênio são produtos valiosos e podem ser aproveitados como produtos químicos e combustíveis. (ARENA, 2012; E4TECH, 2009; HEERMANN, et al., 2001; STANTEC, 2010; YOUNG, 2010)

3.5.2 Pirólise

A pirólise é um dos principais procedimentos de conversão termoquímica da biomassa, pois é o primeiro passo de todos os processos. Pirólise é um processo de conversão térmica que ocorre na ausência de oxigênio, aquecido sobre a alimentação de uma fonte externa de calor a temperaturas superiores a 400°C e geralmente inferiores a 800°C. Esse processo produz três subprodutos com características combustíveis, o carvão sólido, gás e o bio-óleo (líquido). (LOMBARDI et al., 2015)

Os parâmetros considerados relevantes para a pirólise são: temperatura, taxa de aquecimento, pressão, atmosfera, catalisador, e a caracterização da natureza da biomassa para o processo. (MONDAL e VARMA, 2017)

As condições de operação da reação podem ser ajustadas para obtenção do produto desejado. A alta temperatura e tempo de residência mais curtos favorecem a formação de produtos condensáveis, enquanto as altas temperaturas e tempos mais longos de residência geram produtos gasosos não condensáveis, devido a ocorrência de reações secundárias. A formação do carvão vegetal se dá a temperaturas menores. Essa técnica tem sido aplicada a milhares de anos para produção de carvão vegetal, no entanto, nas últimas décadas o método que opera a temperaturas moderadas e tempos de reações mais rápidos de até 2 segundos se tornou de interesse, devido aos altos rendimentos do produto líquido do processo, o qual pode ser utilizado diretamente como combustível. (BRIDGWATER, 2012)

O tipo de reator, a sua configuração de como a carga é alimentada e o modo de aquecimento interferem na transferência de calor durante o processo de pirólise. A conversão térmica da biomassa é originada pelo rompimento das ligações químicas, por meio do incremento da temperatura, produzindo gases, vapores d'água, líquidos orgânicos e resíduos carbonosos.

Conforme o tipo de biomassa, na fração gasosa pode predominar CO, CO₂ e CH₄. A fase líquida da pirólise é composta por duas frações distintas, uma aquosa (majoritariamente de compostos oxigenados) e outra oleosa (bio-óleo). O bio-óleo trata-se de uma complexa mistura de compostos orgânicos que, embora seja oriunda de natureza química diferente do petróleo, apresenta uma combinação de moléculas semelhante aos combustíveis com maiores valores agregados. O resíduo carbonoso, além de um alto teor de carvão apresenta um baixo teor de minerais. (EVANS; KAN; STREAZOV, 2016)

3.5.3 Pirólise Lenta

A pirólise lenta é a carbonização da biomassa sem condensar os produtos da pirólise. É a técnica mais antiga de tratamento de biomassa para a produção de carvão vegetal, produto desejado nesse processo. Essa técnica é realizada a baixas temperaturas e baixas taxas de aquecimentos, por longos períodos de permanência. Os vapores são geralmente condensados, mas podem ser usados para fornecer calor para o processo, por aquecimento direto ou indireto. Embora a literatura sobre pirólise lenta seja baseada na utilização para produção de combustíveis sólidos, combustíveis líquidos também podem ser produzidos nesse processo. (STAMATOV et al., 2006)

3.5.4 Pirólise Intermediária

A técnica de pirólise intermediária é realizada a condições de temperatura entre 300 e 500°C. Nesse processo, as frações líquidas obtidas a partir da pirólise intermediária apresentam baixo teor de alcatrão e viscosidade. Reações químicas mais controladas e assim. (DHYANI, 2018)

3.5.5 Hidropirólise

A pirólise em atmosfera de hidrogênio redutivo também tem sido desenvolvida por vários pesquisadores, como a reação ocorre sob pressões do hidrogênio, a

formação da reação de radicais livres é impedida. A quantidade de hidrocarbonetos insaturados reduz, aumentando assim a qualidade do bio-óleo produzido. Em atmosfera de nitrogênio ocorre o craqueamento térmico da molécula da biomassa de maneira aleatória, havendo uma grande variação nos produtos formados. Contudo, na presença de hidrogênio, poderia ocorrer uma clivagem na iniciação com hidrogenação, ou seja, a quebra de ligação aumentando a estabilidade do processo e formando componentes macromoleculares e produtos com maior seletividade (SINGH, 2016).

3.5.6 Pirólise Rápida

Esse método tem o propósito de evitar a quebra adicional dos produtos de pirólise em compostos não condensáveis. Na pirólise rápida, os parâmetros são cuidadosamente controlados para fornecer altos rendimentos líquidos, realizada em curtos tempos de aquecimento das partículas, segundo GÓMEZ, ROCHA e PÉREZ (2008, p. 389). A pirólise rápida é uma tecnologia avançada que visa maximizar o rendimento de bio-óleo, o qual vem ganhando ênfase devido ao interesse na produção de um combustível líquido que tem como característica o fácil armazenamento e transporte (DHYANI, 2018).

O coração de um processo de pirólise rápida é o reator, onde está a complexidade da operação e o contato entre as partículas e o reator, que podem ocorrer por um sistema de batelada ou contínuo. Alguns reatores já foram desenvolvidos para otimização da pirólise rápida.

No sistema batelada também conhecido como sistema descontínuo devido às características nas quais as condições variam, a alimentação é realizada em uma determinada quantidade (geralmente pequenas), a pirólise é efetuada e os produtos removidos. Já no sistema contínuo, a biomassa e os reagentes descolam-se juntos no sistema, as condições podem variar e o regime é permanente, a biomassa flui e os produtos saem continuamente (ARAUJO 2012 *apud* DINIZ 2005). Ambos os sistemas podem apresentar leito fixo ou fluidizado.

Os reatores de leito fluidizado são os mais pesquisados e um dos mais bem sucedidos para pirólise. Possui um design simples, de fácil escalonamento e eficiente no controle de tempo de residência. No entanto tem como desvantagens o

grande tamanho e alto custo de construção e operação deste reator (AGBLEVOR, 2014). Os FBR são subdivididos em outros três processos de acordo com Dhyani (2018):

- Borbulador: nesse reator de leito fluidizado, a velocidade do gás é geralmente na faixa de 1,5 a 2 o mínimo da velocidade de fluidização.
- Arrastado: reator de leito fluidizado (EFBR) que opera em co-corrente do fluxo, onde as partículas da biomassa caem livremente sob a gravidade ou são arrastadas sob a fluência da força de arraste do gás.
- Circulação: inovações no leito fluidizado de circulação já trouxeram alguns prêmios como desenvolvimento de um processo de pirólise de loop para resíduos orgânicos sólidos. A velocidade do gás é consideravelmente maior que os outros reatores.

3.6 BIO-ÓLEO

O bio-óleo (Figura 4), principal produto obtido da pirólise rápida, é um líquido escuro com características da composição elementar da biomassa. Composto por uma mistura complexa de hidrocarbonetos oxigenados em uma proporção adequada de águas de ambos os produtos. Esse produto pode ser considerado uma microemulsão na qual a fase contínua é uma solução aquosa da decomposição dos produtos da holocelulose, que estabilizam a fase descontínua de macromoléculas de lignina por meio de ligações de hidrogênio. O líquido da pirólise rápida possui um potencial de aquecimento de 17 MJ/ Kg, onde 25% são de água que não se separam facilmente (BRIGWATER, 2012).

Figura 4 - Bio-óleo.

Fonte: Autor, 2018.

Os parâmetros interferem diretamente no rendimento e composição do bio-óleo devido às várias reações químicas que estão ligadas a cada condição. Os principais parâmetros de interferência no bio-óleo são o tamanho da partícula, taxa de aquecimento, temperatura de pirólise, vazão de gás, taxa de aquecimento e tempo de espera (GUEDES, 2018).

O bio-óleo é produto composto de orgânicos com cadeias de alcanos, aromáticos, derivados fenólicos e baixas frações de cetonas, esterres, éteres, açúcares etc. Esse produto pode ser usado diretamente como combustíveis em caldeiras ou para produzir combustíveis e produtos químicos a granel (ISARAK, 2012).

4 METODOLOGIA

Os métodos analíticos utilizados nesta pesquisa foram desenvolvidos em dois momentos: o primeiro compreende análises qualitativas de dados gerados e fornecidos pela EMLUR e quantitativas geradas a partir de entrevistas com os comerciantes locais. O segundo momento insere-se em análises térmicas da biomassa do resíduo de coco verde.

4.1 DIAGNÓSTICO DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE COCO VERDE EM JOÃO PESSOA

4.1.1 Caracterização da área

A cidade de João Pessoa foi escolhida para o desenvolvimento dessa pesquisa por contemplar as características turísticas e edafoclimáticas do litoral brasileiro, que configura consumo, solo e clima favoráveis ao desenvolvimento da cultura do coqueiro (JESUS JUNIOR; MARTINS, 2011). Rodeada por áreas de preservação ambiental entre parques, jardins, reservas de mata atlântica e um extenso litoral de belas praias protegidas por coqueiros (Figura 5) João Pessoa está entre as 10 cidades que mais produzem o coco verde no País (IBGE, 2017).

Figura 5 - Coqueiros na orla de João Pessoa.



Fonte: Autor, 2019.

Alguns pontos delimitados na orla do Cabo Branco, na Avenida Beira Rio e na região do Aeroblube foram selecionados devido a concentração de comerciantes de coco e vários bares. De acordo com os comerciantes da orla durante as entrevistas, os moradores da região do Cabo Branco possuem o hábito de praticar exercícios e se hidratar ao término com água de coco, o que contribui diretamente com a geração de resíduos na área.

4.1.2 Coleta de Dados

A realização da coleta de dados realizada no dia 07 de junho de 2018, para fundamentação da problemática levantada por essa pesquisa — a geração de resíduos de coco verde na cidade de João Pessoa — se deu por meio de visita a Autarquia Especial Municipal de Limpeza Urbana (EMLUR), órgão responsável pelo serviço de coleta e limpeza do município. Na oportunidade a engenheira do setor de resíduos sólidos dialogou sobre o tema, apresentou a problemática preocupante a mais de uma década na destinação do resíduo de coco verde na cidade e disponibilizou dados elaborados pelo órgão em 2007 e 2018, os quais foram compilados nos resultados dessa pesquisa (Apêndice B), assim como o questionário (Anexo I), utilizado pelo órgão para realização do levantamento de dados desses resíduos.

4.1.3 Aplicação de questionário para pesquisa

Essa pesquisa aplicou o questionário elaborado para quantificar os resíduos gerados na extensão da orla do Cabo Branco abordando os comerciantes de coco verde, onde foram entrevistados um total de 20 comerciantes.

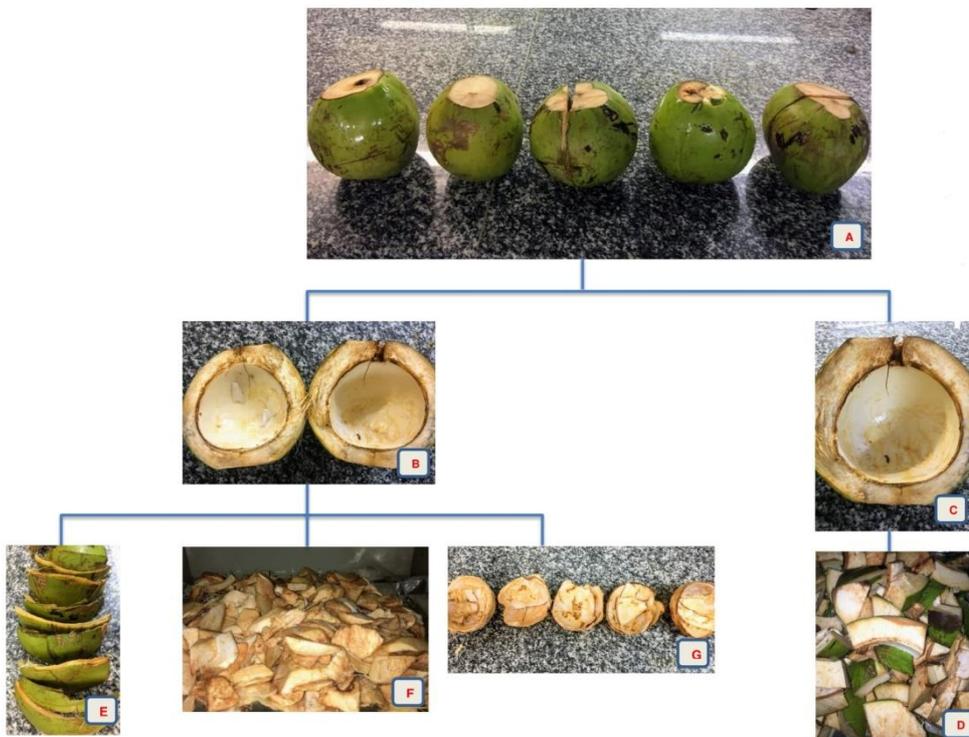
O questionário Apêndice A, compreende 10 questões subjetivas, descritas de forma que proporcionou uma fácil leitura do público (comerciantes de coco). Sendo este questionário submetido à Plataforma Brasil para análise do Comitê de Ética da Universidade Federal da Paraíba com parecer aprovado (Anexo II), juntamente com um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)

4.2 ANÁLISES DA BIOMASSA

4.2.1 Pré-tratamento da biomassa do resíduo de coco verde

As amostras de resíduos de coco verde foram disponibilizadas por um comerciante da orla de João Pessoa, o qual disponibilizou cinco cocos sem a água para realização das análises térmicas Figura 6.

Figura 6 – separação de amostras.



Fonte: Autor, 2018.

Foram utilizadas cinco unidades de coco verde (A), divididas em dois grupos Figuras (B) e (C) para coleta de amostragem, essa divisão se deu pela repartição dos cocos em duas partes, resultando assim 10 partes de coco verde. A partir destas 10 partes, cinco foram cortadas completas (com epicarpo, mesocarpo e endocarpo) sendo essa amostra denominada EME (D).

As outras cinco partes foram subdivididas em três grupos. Primeiramente extraiu-se o epicarpo (EPC) a parte externa do coco (casca verde) representada

pela Figura (E), a segunda amostra trata-se do mesocarpo (MEC), parte fibrosa que envolve o coco e fica entre o epicarpo e o endocarpo mostrado na Figura (F). A última amostra é a do endocarpo (EDC), parte mais resistente e interna do coco, popularmente conhecido como “quenga do coco” que é ilustrado pela Figura (G).

4.2.2 Secagem

Após o processo de separação das frações de amostras, todas foram submetidas a etapa de secagem devido a característica úmida da biomassa de coco verde. Nessa etapa foi utilizado o protocolo de Braga et al., (2014), onde as amostras são secas (Figura 7), em estufa de circulação de ar forçado, em um período de 24 horas e a temperatura de 105°C.

Figura 7 - Amostras após etapa de secagem.



Fonte: Autor, 2018.

4.2.2.1 Preparo pós secagem da amostra

Foi utilizado na partículação das amostras um Moinho TE. 631 (TECNAL) Figura 8, nos parâmetros da Tabela 5, dando origem as amostras da Figura 8.

Figura 8 - Moinho TE.



Fonte: Autor, 2018

Os períodos de trituração das amostras foram avaliados durante a realização da metodologia assim como em PEREIRA et al., (2010), as amostras foram trituradas para obtenção de granulometria menores. A amostra Inteira e Epicarpo, pode-se observar que após 9 min a amostra não apresentava mais resultados relevantes. Já as amostras de mesocarpo e endocarpo por possuírem uma resistência maior, demandaram um maior tempo de retenção no triturador, com isso foi observado rendimento da amostra aos 20 min como é apresentado pela Tabela 5.

Tabela 5- Parâmetros utilizados na análise.

AMOSTRAS	VELOCIDADE DE ROTAÇÃO	TEMPO
EME	4.000 RPM	9 min
EPC	4.000 RPM	9 min
MEC	4.000 RPM	20 min
EDC	14.000 RPM	20min

Fonte: Autor, 2018.

Após a trituração das amostras (Figura 9), foram peneiradas individualmente em peneira de 60 mesh, para homogeneização das partículas tendo em vista a necessidade de uma pequena superfície de contato para melhor análise da área analisada para realização das análises térmicas.

Figura 9- Amostras trituradas e peneiradas.



Fonte: Autor, 2018.

4.3 ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA

As curvas Termogravimétricas/Análise térmica diferencial (TG/DTA) foram obtidas em condições não isotérmicas (dinâmica) em um Analisador Térmico da TA Instruments SDT 2960 (Figura 10), que permite observar o comportamento dos materiais lignocelulósicos em determinadas variações térmicas. As amostras desse trabalho foram analisadas em atmosfera inerte (nitrogênio), razão de aquecimento de $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$, intervalo de temperaturas entre 25-900 $^{\circ}\text{C}$ e com amostragem de 8mg de massa em cadinho de alumina. A termogravimetria foi realizada em todas as amostras para elaboração de um padrão de degradação térmica do resíduo de coco, que auxilia diretamente na determinação do padrão de análise da pirólise.

Figura 10- Analisador térmico TA Instruments.



Fonte: Autor, 2018.

4.4 ANÁLISE CALORIMÉTRICA

A análise de Poder Calorífico Superior (PCS) foi realizada no Laboratório de Materiais e Química Ambiental do Centro de Energias Alternativas e Renováveis (LABMAQ-CEAR) da UFPB. A análise foi realizada nas três amostras EME, MEC E EDC em duplicata, buscando avaliar o perfil do poder calorífico expresso na biomassa do resíduo de coco verde para fins de eficiência energética e compará-lo a culturas consolidadas como combustíveis para fornos de combustão direta semelhante estudo (BRAGA, 2012). O Poder Calorífico Superior foi determinado conforme a Norma NBR 11956/90, utilizando uma bomba calorimétrica C 200 no modo dinâmico Figura 11. As amostras foram analisadas em parâmetros de energia de ignição foi de 17 cal e o equipamento calibrado com padrão de ácido benzoico.

Figura 11 - Bomba calorimétrica.



Fonte: Autor, 2018.

4.5 PIRÓLISE CROMATOGRÁFICA

A Pirólise foi realizada apenas na amostra EME em pirolisador modelo PY-2020iS Control da Frontier LAB, acoplado a um Cromatógrafo Gasoso Acoplado ao Espectrometro de Massa, modelo QP 2010 (Shimadzu) foi utilizado na pirólise térmica do coco inteiro de acordo com as condições da Tabela 6. A amostra do coco inteiro foi submetida a três temperaturas (500, 550 e 600 °C), com tempo de permanência de 30 segundos. Foi utilizado um cadinho com o volume de 50 µL de material de aço inoxidável (marca Ecocup SF).

Tabela 6 - Condições de realização da Pirólise Cromatográfica

PARÂMETROS DA PIRÓLISE CROMATOGRÁFICA	
Razão de Split	200.0
Gás	He; (vazão de 3,0 mL/min)
Temperatura da interface	250 °C
MÉTODO DA COLUNA	
Coluna	PONA (100 m de comprimento, 0,25 mm de diâmetro, 0,5 µm de espessura da fase estacionária)
Pressão	49,5 Kpa
Fluxo	1,00 mL/min
Velocidade linear	36,1 cm/s
CONDICIONAMENTO DO FORNO	
Temperatura Inicial e tempo de retenção	40 °C por 1 min
Rampa 1	280 °C na razão de 7 °C.min ⁻¹
Rampa 2	5 °C.min ⁻¹ até 300 °C por 3 min.
Tempo de análise	59,5 min.
CONDIÇÕES DO DETECTOR MS	
Temperatura da interface	230 °C
Intervalo de intensidade	20 m/z a 500 m/z
Intervalo de velocidade de varredura	1 a 500 sec.

Fonte: Autor, 2019.

Para a identificação dos picos dos compostos foi utilizado o banco de dados da biblioteca NIST (National Institute of Standards of Technology).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 LEVANTAMENTO DO QUANTITATIVO DE COCO VERDE - ANO DE 2007

Durante as entrevistas da EMLUR, foram fornecidos os dados sobre a venda de coco verde na cidade de João Pessoa em 2007 e relatado pela Autarquia que, esse levantamento foi realizado em 2007 devido as preocupações com a ocupação de no aterro sanitário municipal de João Pessoa para onde vai todo resíduo coletado na cidade, além de outros impactos ambientais.

A Tabela 7 ilustra os dados semestrais obtidos pelo levantamento da EMLUR no ano de 2007. Observa-se que o bairro do Bessa é expressivamente o maior gerador de resíduos e nos meses de Janeiro, Fevereiro, Novembro e Dezembro representam 46% dos resíduos gerados durante todo o ano pelo bairro. Os maiores volumes de venda ocorrem nos meses de Dezembro e Janeiro (com 27% em relação aos outros meses). Em razão de ser uma região litorânea, onde há uma grande concentração de turistas possui muitos bares e restaurantes na orla. A elevada venda de cocos no bairro do Bessa, também pode ocorrer por possuir alguns dos mais populares bares de praia da cidade de João Pessoa. O bairro de Intermares/Cabedelo trata-se de uma região litorânea, de praias de veraneio. Dados disponíveis em (apêndice B).

Esses resultados constata os dados obtidos por Santos et. al (2014), em que o bairro do Bessa apresentou a maior quantidade de venda de coco verde por semana e sugeriram que isso se deve a grande concentração de quiosques e vendedores ambulantes de coco verde no calçadão da orla de João Pessoa, assim como a necessidade de hidratação por meio dos transeuntes e banhistas que circulam por essa área devido ao intenso calor.

Os bairros da orla, o bairro do Varadouro, no centro da cidade expressa números onde a geração de resíduo é superior nos dias úteis e muito inferior nos finais de semana e feriados. Justificado pela concentração de pessoas na região que centraliza o polo comercial, escolas, clínicas médicas, shoppings e demais empreendimentos.

Os bairros Tambaú, Mangabeira e Torre foram os bairros da cidade que também geram um quantitativo relevante de coco verde nos SDF.

Tabela 7 - Quantitativo de cocos vendidos por bairro em 2007.

Bairros	1º Semestre	2º Semestre	Total (unidades)
Bancários	5286	5286	10.572
Bessa	161167	200574	361.741
Bairro dos Ipês	2391	2369	4.760
Castelo Branco	36718	38203	74.921
Centro	10617	12103	22.720
Cordão Encantado	770	725	1.495
Ernesto Geisel	1614	717	2.331
Bairro dos Estados	11975	13855	25.830
Expedicionários	276	276	552
Jardim Oceania	25600	29600	55.200
Manaíra	23520	24150	47.670
Mangabeira	64109	68400	132.509
Miramar	1920	1920	3.840
Penha	1826	1692	3.518
Roger	4510	5140	9.650
Seixas	2756	3286	6.042
Tambaú	43653	42786	86.439
Tambiá	4096	3899	7.995
Torre	36113	38305	74.418
Trincheiras	570	540	1.110
Varadouro	11638	12822	24.460
Total	451125	506648	957.773

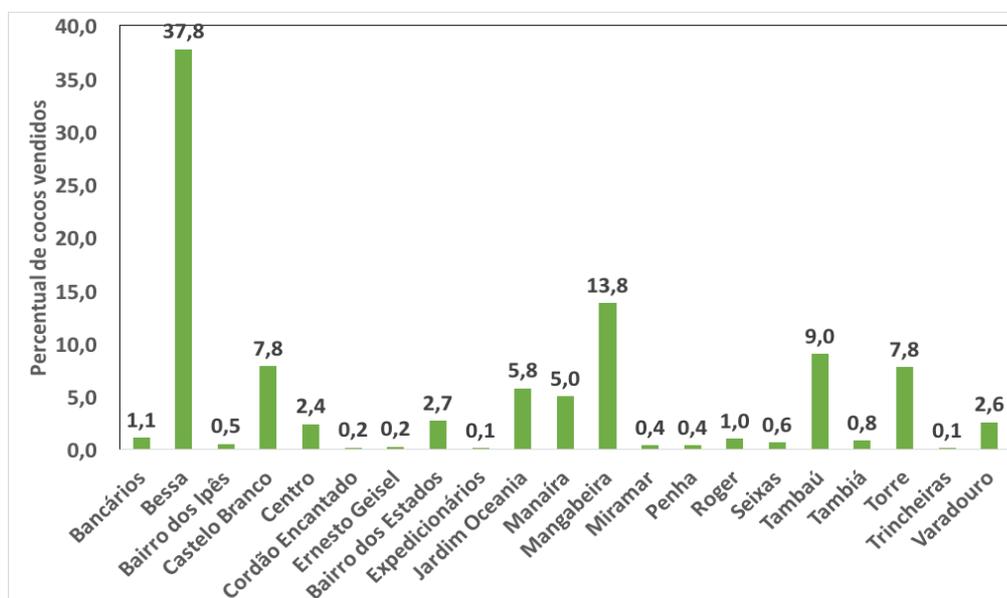
Fonte: EMLUR, 2007.

Tambaú e Cabo Branco são os principais bairros da orla de João Pessoa, nestes bairros está localizado o setor hoteleiro. Mesmo assim, o quantitativo de venda de cocos verdes pelo bairro de Tambaú é menos da metade que o comercializado no bairro do Bessa. Os dados do bairro Cabo Branco não foram reportados pela EMLUR no ano de 2007.

Considerando o quantitativo do ano de 2014 citado por Santos et al., (2014), o bairro do Bessa apresentou 412.620, Mangabeira 135.096, Bancários 89.440 e Centro 112.736 unidades de cocos verdes vendidos e comparando estes dados com os de 2007, observa-se que apenas o bairro de mangabeira continuou com a mesma média anual e os demais bairros tiveram aumentos significativos.

A Figura 12 ilustra o percentual de cocos verdes vendidos por bairro. Destaca-se Bessa em relação aos outros bairros entrevistados, com quase 38% de toda venda de coco no ano de 2007, apresentando um percentual de 15% a mais que mangabeira, segundo bairro com maior quantidade de cocos vendidos em João Pessoa com 14%. No entanto mangabeira não está próximo às praias, contudo trata-se de um polo comercial.

Figura 12- Percentual dos cocos vendidos em João Pessoa por bairro no ano de 2007.



Fonte: Autor, 2018.

Tendo em vista que em 2007 foram produzidos um total de 957.773 unidades e de acordo com Silveira (2008), o peso médio do coco verde inteiro ou partido após o consumo da água é em média 1,5 kg, estima-se que foram gerados cerca de 1400

toneladas de resíduo de coco verde apenas no ano de 2007. Considerando que 300 unidades de coco correspondem a 1 m³, seriam necessários 3,2 mil m³ para comportar o volume produzido no ano de 2007.

5.2 DADOS DISPONIBILIZADOS PELA EMLUR - ANO DE 2018

Os dados referentes ao levantamento de 2018 (Tabela 8) apresentam que a geração de resíduo de coco verde na cidade continua expressiva. Entretanto, são dados parciais disponibilizados pela EMLUR, foram compilados até o mês de setembro e com um número menor de pontos de coletas ao que se refere a 2007.

No levantamento realizado em 2018, em uma amostragem de apenas nove bairros, pode-se observar o surgimento de pontos não existentes ou não contabilizados em 2007. Os bairros do Cabo Branco, Cruz das Armas, Oitizeiro, Tambiá e Portal do sol não foram entrevistados em 2007, mas o que se pode interpretar pela visão de cidadão é que a exemplo do bairro Portal do Sol, trata-se de um bairro que cresceu e se desenvolveu muito na última década, tanto por infraestrutura como com a chegada de empreendimentos como o shopping Mangabeira e o campus do Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional, assim como o setor de construção civil e demais empreendimentos no bairro.

Tabela 8 - Quantitativo de cocos vendidos por bairro em 2018.

Bairros	1º Semestre	2º Semestre (até setembro)	Parcial do Ano 2018 (Unidades)
Bancários	7845	7606	15.505
Bessa	3635	1425	5.060
Cabo Branco	904	996	1900
Centro	960	216	1.176
Cruz das armas	2821	819	3.640
Mangabeira	56570	62749	119.310
Oitizeiro	2550	745	3.295

Portal do Sol	2779	2840	5.619
Tambiá	184	31	215
Total	78248	77.427	155.675

Fonte: EMLUR, 2018.

De acordo com os dados cedidos até o presente momento pela EMLUR, os bairros dos Bancários, Bessa, Centro e Mangabeira são os únicos que foram entrevistados nos anos de 2007 e 2018.

Analisando os dados nas Tabelas 6 e 7 pode-se verificar que os Bancários e Mangabeira, apresentam informações semelhantes ou bem próximas aos dados obtidos em 2007. Nesses bairros, quantidade de pontos da coleta de dados é semelhante aos obtidos em 2007. No bairro dos Bancários foram entrevistados oito pontos de venda de coco e em 2018 manteve-se a quantidade, já Mangabeira, apesar de ter valores próximos ainda apresenta inferioridade devido à amostragem na qual em 2007 foram entrevistados 13 pontos e em 2018 apenas 60% foram entrevistados, o que representa uma amostra de oito pontos.

Os Bairros do Bessa e do Centro, quais obtiveram a maior queda e ao examinar os resultados pôde-se notar que essa diminuição é referente a uma quantidade menor de pontos entrevistados. No bairro do Centro, em 2007 foram entrevistados 23 pontos, apenas sete foram avaliados em 2018. O Bessa, um bairro de notável desenvolvimento nos últimos 10 anos com o aumento de bares na orla e o fluxo de turistas no verão foi o que mais surpreendeu pelo valor irrisório em referência a 2007 — ao analisar os dados pôde-se constatar que em 2018 apenas 10% dos pontos coletados em 2007 foram entrevistados, o que justifica a grande diferença nos valores obtidos, onde em 2007 foram coletados dados de 30 pontos, em 2018 apenas três foram entrevistados.

A redução nos números resultantes da pesquisa realizada em 2018, está diretamente ligada a diminuição no número de questionários aplicados até o momento, a EMLUR ainda não dispõe de todos os dados levantados para o ano 2018 na geração de resíduo de coco verde na cidade de João Pessoa.

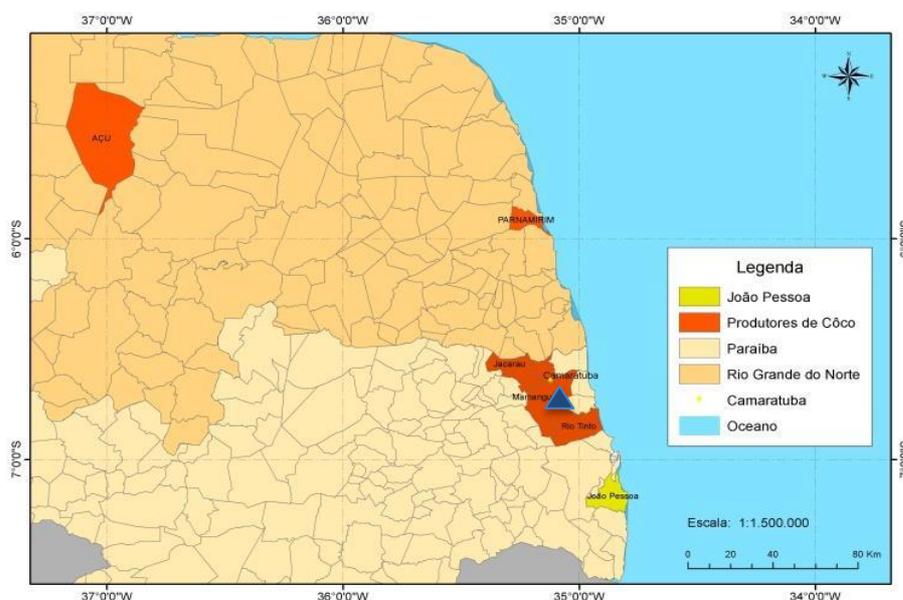
5.4 DADOS DOS QUESTIONÁRIOS DA PESQUISA

O questionário de autoria (apêndice A) da pesquisa foi aplicado em alguns pontos de incidência na geração de volume de coco verde na cidade.

5.4.1 Origem do coco verde comercializado em João Pessoa

De acordo com as informações coletadas pelos questionários pôde-se mapear a origem do coco verde vendido na cidade de João Pessoa e elaborar um mapa Figura 13 referente a esses dados.

Figura 13- Mapa de origem do coco verde comercializado na cidade de João Pessoa.



Fonte: Autor, 2018.

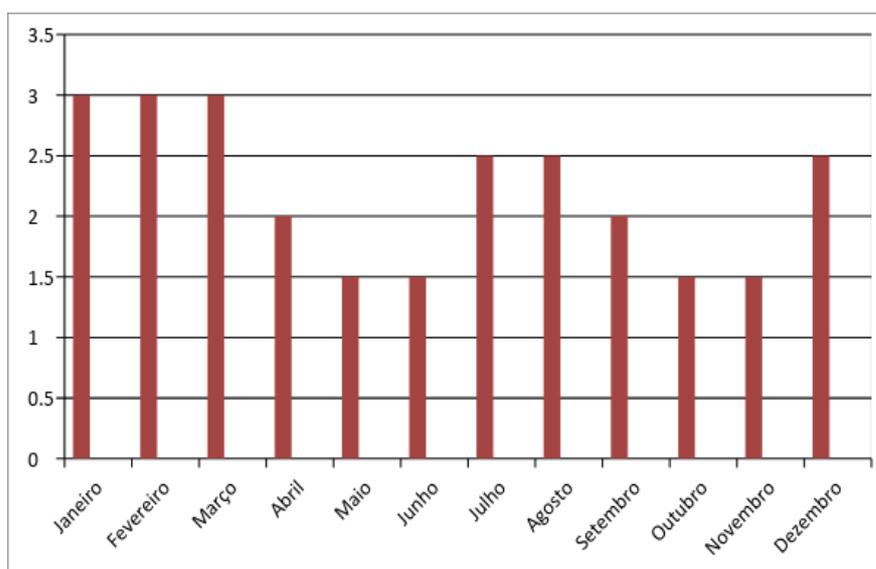
Os dados indicam a concentração de produção de coco na região norte do litoral da Paraíba nos municípios de Rio Tinto, Mamanguape, Camaratuba e Jacaraú e que há a importação de coco verde do estado do Rio Grande do Norte oriundos dos municípios de Parnamirim e Açú. Essa informação fundamenta a discussão da divergência nos dados do IBGE em 2017 (Tabela 2) que afirma que na Paraíba foram produzidos 37.643 mil frutos no ano. Já os dados parciais da EMLUR afirmam que apenas na cidade de João Pessoa até setembro de 2018 foram comercializados 157.261 mil frutos. Tendo em vista uma margem de mais de 100 mil frutos

comercializados em 2018 pode-se notar através dos dados coletados através do questionário que a Paraíba tem a necessidade de importação de coco para atender a demanda da cidade de João Pessoa.

5.4.2 Análise do valor de comercialização de coco verde

O questionário constatou a sazonalidade no comércio de coco verde na cidade de João Pessoa, no verão entre os meses de Dezembro a Fevereiro há um aumento nas vendas do fruto em todos os pontos entrevistados Figura 14, que avalia a variação nos preços em reais que aumentam de acordo com a demanda do produto por mês.

Figura 14- Gráfico da variação de preços do coco verde.



Fonte: Autor, 2018.

Os preços do coco variam sazonalmente devido aos períodos de férias e principalmente ao verão, o que justifica o aumento nos preços entre os meses de Dezembro a Fevereiro tendo em vista a alta temporada no Nordeste onde as temperaturas estão mais altas e o número de turistas cresce na cidade, havendo assim uma maior demanda para o consumo de água de coco.

Os aumentos nos preços e na quantidade de cocos verdes vendidos no verão realçam o setor e impactam diretamente na vida dos comerciantes aumentando na alta temporada, a renda familiar e a qualidade socioeconômica de centenas de

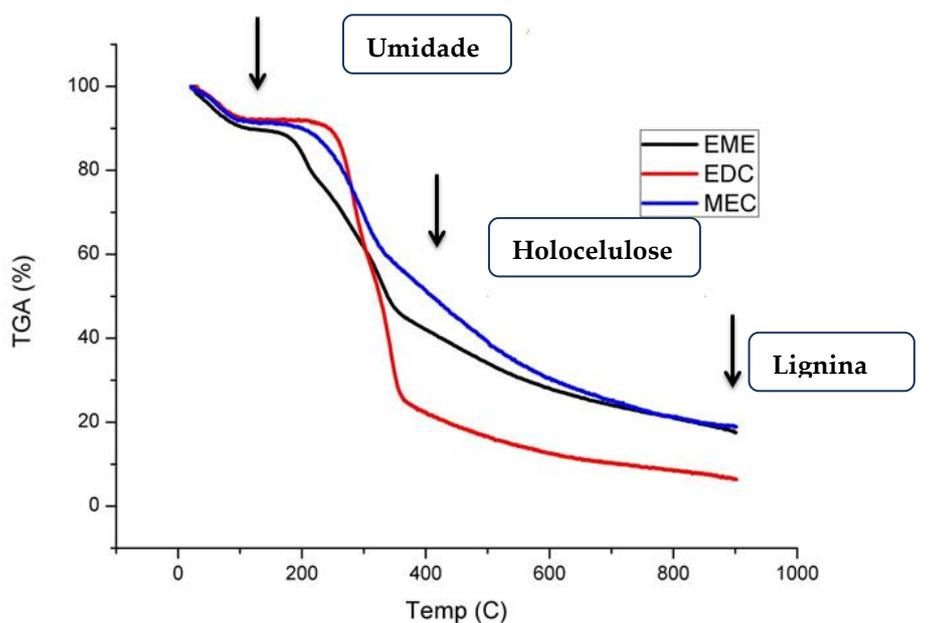
famílias que trabalham nesse comércio, o que pode refletir diretamente no fluxo de capital na cidade e no comércio interestadual.

5.5 ANÁLISE DA BIOMASSA

5.5.1 Termogravimetria

As curvas TG das amostras (Figura 15) refere-se ao comportamento da biomassa de resíduo de coco verde, o resultado possibilita acompanhar a perda de massa das amostras sob aquecimento.

Figura 15- Termogravimetria das amostras de mesocarpo e endocarpo e coco inteiro.



Fonte: Autor, 2018.

As etapas de decomposição das 3 amostras diferentes, amostra de completa do coco com Endocarpo, Mesocarpo e Epicarpo (EME), apenas o Endocarpo (EDC) e o Mesocarpo (MEC) são apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9- Resultados da TG.

Amostras	T. INICIAL	T. FINAL	PERCENTUAL DE PERDAS
EME	56,00 °C	131,38 °C	9,54%
	131,38 °C	397,41 °C	47,27%
	397,41 °C	901,39 °C	24,65 %
EDC	31,30 °C	115,60 °C	7,70%
	115,60 °C	355,20 °C	64,00 %
	355,20 °C	869,88 °C	20,83 %
MEC	21,72 °C	131,29 °C	8,60 %
	131,29 °C	352,08 °C	42,34 %
	352,08 °C	899,07 °C	30,12 %

Fonte: Autor.

As curvas resultantes da TG Figura 15 demonstram as etapas da degradação da amostra que ocorre em três momentos distintos, a primeira etapa é onde ocorre a perda de umidade presente na amostra, um percentual de que varia de 7% a 9%, mesmo as amostras tendo passado por uma etapa de secagem, ainda indicam uma grande concentração na retenção de água, a biomassa de coco verde apresenta a característica fácil retenção de umidade (VALERO, 2009).

A segunda perda de massa entre o intervalo de temperatura de 115 a 397 °C é caracterizada pela degradação da matéria orgânica presente na amostra, que discutido com biomassas similares como o resíduo de cana energia (SEGUNDO, 2016) é referente a degradação da celulose e da hemicelulose. A amostra de endocarpo (EDC) degradou 64% de sua amostra nessa etapa, apontando a concentração dos composto holocelulósicos na casca de coco verde.

A terceira etapa que ocorre em temperaturas superiores a 350 °C corresponde a degradação da lignina, composto que apresenta uma resistência térmica devido sua característica poliaromática concentrada nos espaços entre microfibras e regiões amorfas entre os cristais de celulose, formando um sistema cruzado de polímeros (BRAGA et al., 2014).

As amostras apresentam um comportamento semelhante, observando-se as curvas na FIGURA 15, as amostras EME e MEC apresentaram maior formação de carvão vegetal, com resíduos de 18% e 30%.

5.5.2 Poder calorífico superior

As amostras de coco verde apresentaram alto poder calorífico (Tabela 10), comprovando o valor agregado dessa biomassa como combustível potencialmente competitivo para utilização em processos de combustão.

Estudos realizados por (SEGUNDO, 2016) sobre o poder calorífico superior estabelecem uma média de valores para demonstrar o potencial energético de algumas culturas lignocelulósicas, as amostras de bagaço de cana-de-açúcar que já são utilizadas na indústria como combustível e a cana energia que trata-se de uma variedade desenvolvida para utilização em fornos para combustão, apresentam valores semelhantes aos obtidos para as amostras do resíduo de coco verde, apontando assim um potencial para esse resíduo como combustível.

Tabela 10 - Poder calorífico do endocarpo e mesocarpo.

AMOSTRA	PCS Cal/g
MDC	4.413,0
EDC	4.311,2
EME	4.533,4
Bagaço de cana-de-açúcar (VIANA,2011)	4.008,8
Cana Energia (SEGUNDO,2016)	4.075,7

Fonte: Autor, 2018.

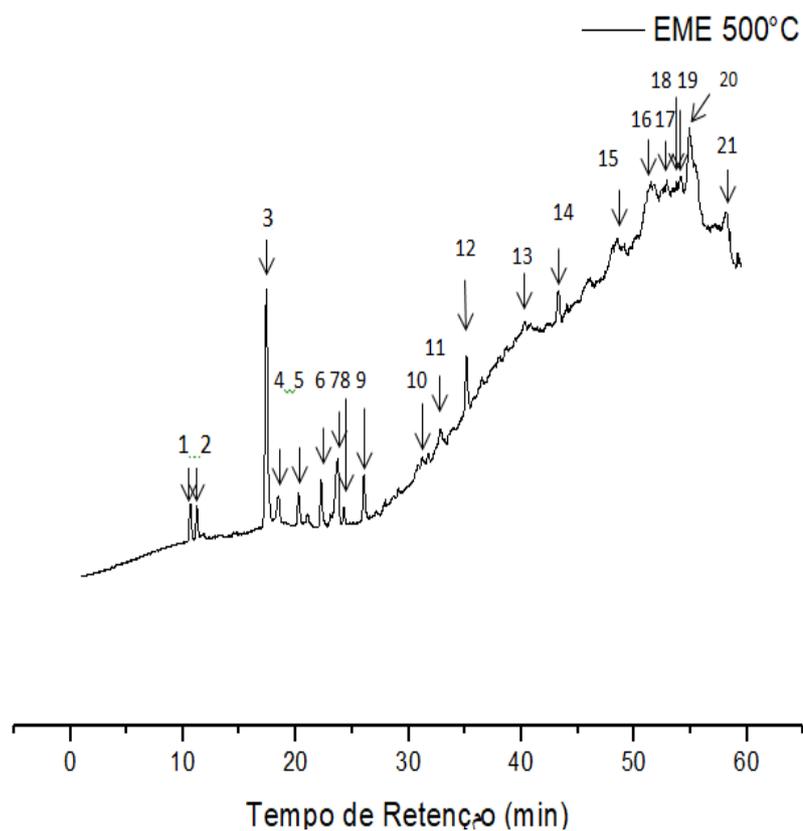
5.5.3 Pirólise

As amostras foram submetidas à pirólise rápida, no entanto as amostras de epicarpo, mesocarpo e endocarpo saturaram no detector do GC-MS, devido a grande concentração de voláteis nas amostras individuais e não permitiu a leitura dos compostos pela cromatografia.

A amostra de coco inteira apresentou 16 compostos químicos nas diferentes temperaturas. Na temperatura de 500 °C o pirograma (Figura 16) identificou 73% de área nos picos de compostos oxigenados, 13% de compostos hidrocarbonetos e 14% de demais compostos. Entre os compostos oxigenados na temperatura de 500

°C o pico com maior intensidade e tempo de retenção é o que se refere ao dióxido de carbono.

Figura 16- Cromatografia da pirólise a 500 °C.



Fonte: Autor, 2018

Tabela 11 - Principais Produtos da pirólise de coco a 500 °C.

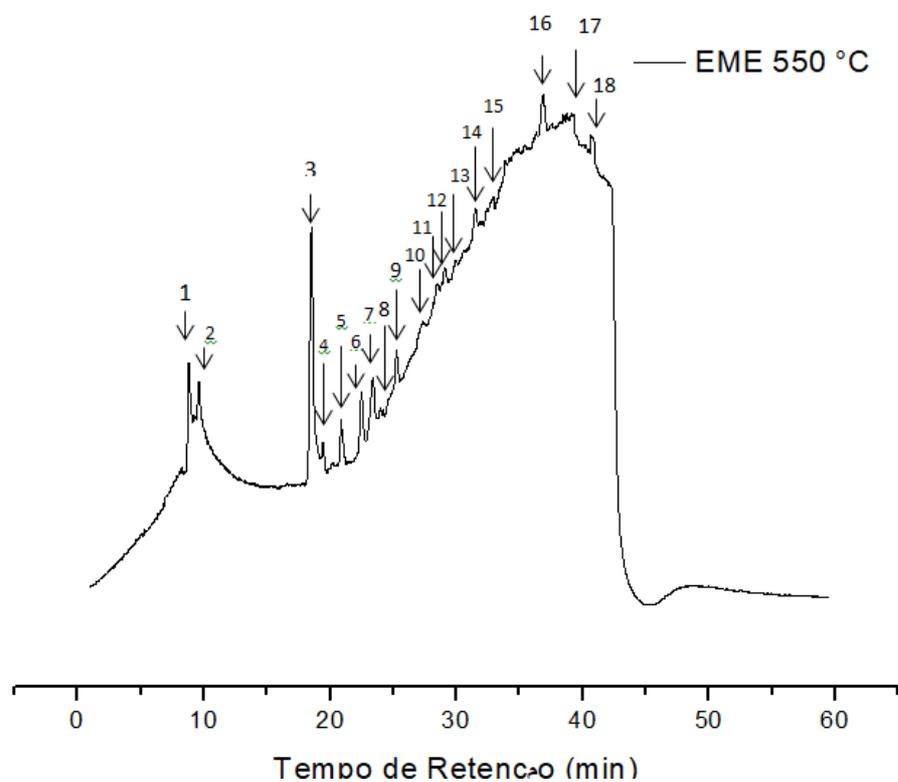
Pico	Temp. de retenção	Produto
1	10.649	Nitrogênio
2	11.240	Monóxido de Carbono
3	17.379	Dióxido de carbono
4	18.469	Gliceraldeído dimer
5	20.225	2-Butanona
6	22.248	Hidroxi-Acetaldeído
7	23.704	Ácido acético
8	24.281	3-Metil-Furano
9	26.054	1-Hidroxi-2-Propanona
10	31.183	Propanal
11	32.804	1-3-Cicloentadien-1-etil-Pirrolidina

12	35.145	3-Furaldeído
13	40.278	1,2-Ciclopentanodiona
14	43.282	Fenol
15	48.098	3-Metil-fenol
16	51.502	Benzociclododeceno, tetradeca-hidro
17	53.435	13-Decosen-1-ol
18	54.129	2-Furancarboxaldeído,5-Hidroximetil
19	54.928	Tetracontano-1,40-diol
20	55.415	1-Eicoseno
21	58.186	Éster (Z) -, 2,3-di-hidroxipropílico éster, 9-octadecenóico

Fonte: Autor, 2018.

Na temperatura de 550 °C há um aumento no percentual de áreas de retenção de pico como mostra o pirograma na Figura 17 dos compostos, o grupo de compostos oxigenados chegou a uma faixa de 84%, os Hidrocarbonetos passaram para 5% e demais compostos em torno de 11%.

Figura 17- Cromatografia da pirólise a 550 °C.



Fonte: Autor, 2018

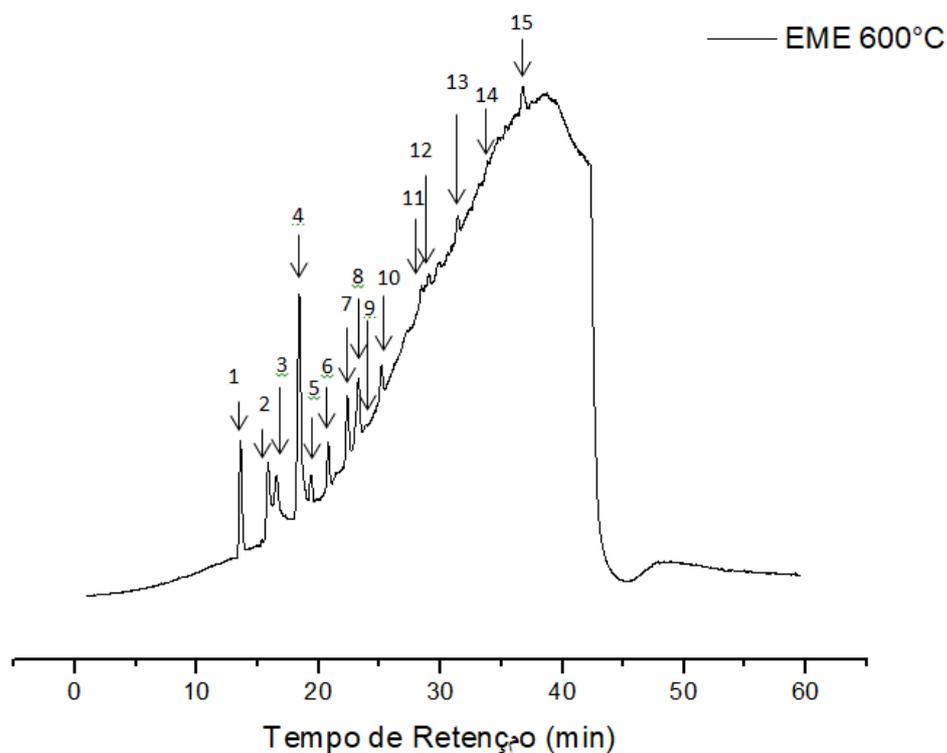
Tabela 12 - Principais Produtos da pirólise de coco a 550 °C.

Pico	Temp. de retenção	Produto
1	8,806	Nitrogênio
2	9,606	Monóxido de Carbono
3	18,502	Dióxido de Carbono
4	19,406	1-Etoxi-2,2,2-Trifluor-Etanol
5	20,467	Ácido Propanóico
6	22,467	Hidroxacetaldéido
7	23,379	Ácido acético
8	23,933	2-Metil-furano
9	25,242	1-Hidroxi-2-Propanona
10	27,150	Hexanal
11	28,515	1-3-Ciclooctadien-1-etil-Pirrolidina
12	29,055	4-oxo-Ácido Pentanóico
13	29,918	Fenilmetil ester Ácido eicosanoico
14	31,503	Furfural
15	32,350	2-Furametanol
16	33,856	N-hexil acrilato
17	36,861	Fenol
18	38,449	1(22),7(16)-diepoxi- Triciclo[20.8.0.0(7,16)]triacontano

Fonte: Autor, 2018.

A última temperatura analisada foi a de 600 °C, onde os picos tiveram mais incidência no início da análise e baixa retenção a partir dos 30 min (Figura 18). Os grupos de compostos seguem o padrão de dominância dos oxigenados com 87%, os hidrocarbonetos com 6% e demais compostos com 7%.

Figura 18- Cromatografia da pirólise a 600 °C.



Fonte: Autor, 2018

Tabela 13- Principais produtos obtidos pela pirólise a 600  C.

Pico	Temp. de reten�o	Produto
1	13,585	Nitrogênio
2	15,849	Monóxido de Carbono
3	16,523	Etano
4	18,394	Dióxido de Carbono
5	19,366	Glicolalde�do dimer
6	20,778	2-Butanona
7	22,356	Hidróxido Alcetade�do
8	23,270	�cido acético
9	23,833	2-Metil-Furano
10	25,163	Monoacetato 1,2-Etanodiol
11	28,418	3-Metil, 4-Pentan-2-ona
12	29,088	1-Hidroxy-2-Propanona
13	31,426	Furfural
14	33,870	�cido oleico
15	36,764	Fenol

Fonte: Autor, 2018.

O rendimento de bio-óleo relatado por Siegshum (2013) a partir da pirólise de coco destaca que a proporção de CO e CO₂ gerados independente das taxas de aquecimento são produzidas a partir da quebra da lignina com a saturação de anéis aromáticos assim identificando similaridade com as amostras analisadas nessa pesquisa, nas quais as altas taxas de produção de CO e CO₂ são as mais expressivas, e também a produção de anéis aromáticos nos rendimentos.

Os resultados dessa amostra como já relatado, apresentam majoritariamente a presença de compostos oxigenados, entre os quais estão fenóis, alguns derivados e alguns hidrocarbonetos, produtos esses de alto valor agregado para a indústria química e farmacêutica, assim como também pode ser realizado o refino do bio-óleo almejando reações que formem maiores quantidades de hidrocarbonetos (ALMEIDA, 2010).

Devido a elevada quantidade de compostos oxigenados indesejáveis no bio-óleo é necessário que o produto da pirólise passe por um processo de refino como ocorre com o petróleo, nesse caso um dos processos indicados para retirada do oxigênio e aumento de hidrocarbonetos, é a desoxigenação (SOUZA,2009).

Outro método para diminuir a quantidade de oxigenados no bio-óleo é o craqueamento com zeólitas que oferece ao produto uma melhor estabilidade térmica, e tem como produtos da reação: hidrocarbonetos aromáticos e alifáticos, compostos orgânicos solúveis em água e em óleo, entre outros (ALMEIDA, 2008).

Apesar do bio-óleo demandar alguns processos de refino para aplicações, o produto da pirólise rápida pode ser aplicado de diversas formas como substituto do combustível diesel, para caldeiras, motores e turbinas que geram energia (BRIDGWATER, 2006).

6 CONCLUSÃO

A pesquisa realizada concluiu através do diagnóstico que a geração de resíduos sólidos na cidade de João Pessoa é uma problemática devido aos grandes volumes da biomassa de coco verde sem reaproveitamento.

No ano de 2007 foram produzidos mais 900 mil unidades de resíduos de coco verde, sendo os bairros do Bessa e Mangabeira os maiores produtores de resíduo em 2007 e no ano de 2018 foi realizado um novo levantamento apontando mais de 100 mil unidades de coco na cidade de João Pessoa.

Todo o resíduo de coco do município de João Pessoa é destinado ao aterro sanitário devido a cidade não apresentar nenhuma alternativa de beneficiamento, o que está impactado diretamente a vida útil do mesmo além, de desencadear diversos problemas ambientais.

O diagnóstico da pesquisa através do questionário aplicado pode realizar uma análise da temporada de altas vendas de coco na cidade, na qual se identificou um aumento de venda no período de dezembro a fevereiro, o que impacta diretamente na comunidade que vive do comércio de coco na cidade.

Os resultados da Termogravimetria e Calorimetria demonstraram que biomassa apresenta propriedades energéticas para utilização como combustível em diversos meios de reaproveitamento, a exemplo dos fornos de combustão direta.

A Pirólise da biomassa realizada nas amostras que o resíduo é considerado “inteiro”, ou seja, sem nenhuma etapa de separação o que barateia o processo, apresentou comportamentos melhores a altas temperaturas com melhores tempos de retenção para os produtos obtidos. Os produtos oxigenados devem passar por uma etapa de upgrading para a utilização e aplicação do bio-óleo como combustível.

REFERÊNCIAS

ABRRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2017**. Disponível em: <https://belasites.com.br/clientes/abrelpe/site/wp-content/uploads/2018/09/SITE_grappa_panoramaAbrelpe_ago_v4.pdf> Acesso em: 06 out. 2018.

AGBLEVOR, F. A.; BESLER, S.; WISELOGEL, A.E. *Production of oxygenated fuels from biomass: impact of feedstock storage*, **Fuel Science and Technology International**. Volume 14, p. 589-612. 1996.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf>. Acesso em: 04 out. 2018.

AGRAWAL, H. SAWANT, A. A. JANSEN, K. MILLER, J.W. COCKER III, D. R. *Characterization of chemical and particulate emissions from aircraft engines*. **Atmospheric Environment**. Volume 42, p. 4380-4392, 2008.

ALMEIDA, M. B. B. **Bio-óleo da pirólise rápida, térmica ou catalítica, da palha da cana-deaçúcar e seu co-processamento com gás-óleo em craqueamento catalítico**. 167 f. Teses (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - UFRJ, 2008.

ALMEIDA, S. R. **Pirólise rápida de casca de arroz: estudo de parâmetros e caracterização de produtos**. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais).— Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

ALONSO, DM; WETTSTEIN, SG; DUMESIC J a. **Bimetallic catalysts for upgrading of biomass to fuels and chemicals**. *Chem Soc Rev* 2012;41:8075. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1039/c2cs35188a>>. Acesso em: 10 nov. 2018

ARAFAT, H. A. JIJAKLI, K. AHSAN, A. *Environmental performance and energy recovery potential of five processes for municipal solid waste treatment*. **Journal of Cleaner Production**. Volume 105, p. 233-240, 2015.

ARAGÃO, W. M.; RIBEIRO, MELO, M. F. V. **Cultivares de coqueiro para a produção de coco seco: coqueiro Gigante vs híbridos**. In: CINTRA, F. L. D.; FONTES, H. R.; PASSOS, E. E. M.; FERREIRA, J. M. S. (Ed.). *Fundamentos tecnológicos para a revitalização das áreas cultivadas com coqueiro gigante no nordeste do Brasil*. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros. Volume 232 p. p. 3760. 2009.

ARAUJO, A. M. M. **Conversão térmica e termocatalítica à baixa temperatura do óleo de girassol para obtenção de bio-óleo**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Petróleo)—Centro de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-graduação em ciência e engenharia de petróleo. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2012.

ARENA, U. *Process and technological aspects of municipal solid waste gasification. A review.* **Waste Management**. Volume 32, p. 625-639, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/>>. Acesso em: 10 nov. 2018

BALÉDON, M. S. KOSOY, N. *Problematizing carbon emissions from international aviation and the role of alternative jet fuels in meeting ICAO's mid-century aspirational goals.* **Journal of Air Transport Management**. Canadá. Volume 71, p. 130-137, 2018.

BARROS, R. M. FILHO, G. L. T. SANTOS, A. H. M. FERREIRA, C. H. PIERONI, M. F. MOURA, J. S. ABE, H. S. S. BRITO, L. M. SANTOS, I. F. S. RIBEIRO, E. R. FREITAS, J. V. R. *A potential of the biogas generating and energy recovering from municipal solid waste.* **Renewable Energy Focus**. Itajubá-MG. Volume 25. Junho, 2018.

BERGMANN, J. C.; TUPINAMBÁ, D. D.; COSTA, O. Y. A.; ALMEIDA, J. R.; BARRETO, C. C.; QUIRINO, B. F. *Biodiesel production in Brazil and alternative biomass feedstocks.* **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Volume 21, p. 411-420. 2013.

BOING, EMBRAER, FAPESP, UNICAMP. **Plano de voo para biocombustíveis de aviação no Brasil**: plano de ação. Disponível em: <<http://www.fapesp.br/publicacoes/plano-de-voo-biocombustiveis-brasil-pt.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2018.

BRAGA, R. M. **Pírolise rápida catalítica do capim elefante utilizando materiais mesoporosos e óxidos metálicos para deoxigenação em bio-óleo**. (Dissertação. Mestrado em química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal. 2012.

BRAGA, R. M., TIAGO, R. C., JULIO. C.O.F., JOANA M.F.B., DULCE, M.A.M., MARCUS, A.F.M., *Pyrolysis kinetics of elephant grass pretreated biomasses.* **Springer. J Therm**. Volume 117, p.1341–1348. Budapest, 2014.

BRAINE, S. **A adaptação do nordeste ao cenário de modernização da cocoicultura brasileira**. Caderno Setorial ETENE. BNDES. Ano 2, nº 18. Outubro, 2017.

BRASIL, **Lei Nº 12.305/2010**: Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>. Acesso em: 5 nov. 2018.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio; Secretaria de Comércio Exterior. **Aliceweb**. Disponível em: < <http://alicesweb.mdic.gov.br/>>. Acesso em: 24 mar. 2014.

BRIDGWATER, T. *Review biomass for energy. Journal of the science of food and agriculture*, v. 86, p. 1755-1768, 2006.

BRIDGWATER, A. V. *Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. Biomass and Bioenergy*. Volume 38, p. 68-94. 2012.

BUNDHOO, Z. M. A. *Solid waste management in least developed countries: current status and challenges faced. Journal of Material Cycles and Waste Management*. Japão. Volume 20, p. 1867–1877, 2018.

CETRULO, T. B. MARQUES, R. C. CETRULO, M. N. PINTO, F. S. MOREIRA, R. M. CORTÉZ, A. D. M. MALHEIROS, T. F. *Effectiveness of solid waste policies in developing countries: A case study in Brazil. Journal of Cleaner Production*. Volume 205, p. 179-187, 2018.

CONSSONI, I. ; VIGANO, F. *Material and energy recovery in integrated waste management systems: The potential for energy recovery. Waste Management*. V. 31, P. 2074-2084, 2011.

C.S. PSOMOPOULOS, A. BOURKA, N.J. THEMELIS. *Waste-to-energy: A review of the status and benefits in USA. Waste Management*. V. 29, p. 1718–1724, 2009.

CUCCHIELLA, F. D´ADAMO, I. GASTALDI, M. *Sustainable waste management: Waste to energy plant as an alternative to landfill. Energy Conversion and Management*. Volume 131, p. 18-31, 2017.

DIAS, J. M. C. de S.; SANTOS, D. T. dos; BRAGA, M.; ONOYAMA, M. M.; MIRANDA, C. H. B.; BARBOSA, P. F. D.; ROCHA, J. D. *Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais. EMBRAPA AGROENERGIA*. 1 ed. Brasília-DF, 2012.

DI MARIA, F.; SISANI, F.; CONTINI, S.; *Are EU waste-to-energy technologies effective for exploiting the energy in bio-waste?. Applied Energy*. Volume 230, p. 1557-1572. 2018.

DINIZ, J. **Conversão térmica da casca de arroz a baixa temperatura: produção de bioóleo e resíduo sílico-carbonoso adsorvente**. Tese (Doutorado em química)—Departamento de química, Programa de Pós-graduação em química. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria 2005.

DHAR, H. KUMAR,S. KUMAR, R. *A review on organic waste to energy systems in India. Bioresource Technology*. Índia. Volume 245, p. 1229-1237, 2017.

DHYANI, V.; BASKHAR, T. *A comprehensive review on the pyrolysis of lignocellulosic biomass. Renewable Energy*. Volume 129, p. 695-716. 2018.

E4TECH 2009. **Review of Technologies for Gasification of Biomass and Wastes. NNFCC project 98/008**. Disponível em: <www.nnfcc.co.uk>. Acesso em: 10 out. 2018.

FARIAS, L. A. S. **Estudo da viabilidade de agroindustrialização do coco (cocos nucifera L.) Em são gonçalo, sousa-pb.** Dissertação (Pós-Graduação em Sistemas Agroindustriais) — Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal. 2015.

FAOSTAT. **Food and Agriculture Organization of the United Nations. World Production.** Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 31 out. 2018.

FRANCISCO NETO, C.; STEFANUTTI, R.; ARAÚJO, F. J. F.; CRUZ, L. M. O. Possíveis formas de aproveitamento dos resíduos oriundos do coco (Cocos nucifera L.). In. 2º CONGRESSO INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE, 1. **Anais...** Bento Gonçalves – RS, 2010.

GETELLMAN, A. CHEN, C. *The climate impact of aviation aerosols.* **Aviation climate impacts.** Volume 40, p. 2785-2789, 2013.

GHOSH, P. SHAH, G. CHALANDRA, R. SAHOTA, S. KUMAR, H. VIJAY, V. K. THAKUR, S. I. *Assessment of methane emissions and energy recovery potential from the municipal solid waste landfills of Delhi, India.* **Bioresource Technology.** Volume 272, 2018.

GIUGLIANO, M.; CERNUSCHI, S.; GROSSO, M.; RIGAMONTI, L. *Material and energy recovery in integrated waste management systems. An evaluation based on life cycle assessment.* **Waste Manag.** Volume 31, p. 9-10. 2011.

GÓMEZ, E. O.; ROCHA, J. D.; PÉREZ, J. M. M.; PÉREZ, L. E. B. Pirólise rápida de materiais lignocelulósicos para obtenção de bioóleo. In: CORTEZ, L.(Org.). **Biomassa para Energia.** Campinas, Ed. Unicamp, p. 353-416. 2008.

GUEDES, R. A.; LUNA, A. S.; TORRES, A. R. *Operating parameters for bio-oil production in biomass pyrolysis: A review.* **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis.** Volume 129, p. 134-149. 2018.

HARMSSEN, P. F. H.; HUIJGEN, W.; BERMUDEZ, L.; BAKKER, R. **Literature review of physical and chemical pretreatment processes for lignocellulosic biomass.** Wageningen UR-Food & Biobased Research, Disponível em: <<https://www.ecn.nl/docs/library/report/2010/e10013.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2018.

HARI, T. K. YAKOUB, Z. BINITHA, N. N. *Aviation biofuel from renewable resources: Routes, opportunities and challenges.* **Renewable and Sustainable Energy Reviews.** Volume 42, p. 1234-1244, 2015.

HERDON, S. C. ONASH, T. B. FRANK, B. P. MARR, L. C. JAYNE, J. T. CANAGARATNA, M. R. GRYGAS, J. LANNI, T. ANDERSON, B. E. WORSNOP, D. RICHAR, C. LYE, M. *Particulate Emissions from in-use Commercial Aircraft.* **Science and Technology.** Volume 39, p. 799-809, 2005.

HEERMANN, C.; SCHWAGER F.J.; WHITING K.J. **Pyrolysis & Gasification of Waste. A Worldwide Technology & Business Review**. 2ª Edição. Bangalore: Juniper Consultancy Services Ltd, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Rio de Janeiro. Volume 30, 2017.
INSTITUTO BRASILEIRO DE PESQUISA APLICADA. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos: diagnóstico dos resíduos urbanos, agrosilvopastoris e a questão dos catadores**. Disponível em <http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=13917>. Acesso em: 02 out. 2018.

JABBOUR, A. B. L. S. JABBOUR, C. J. C. SARKIS, J. GOVIDAN, K. *Brazil's new national policy on solid waste: challenges and opportunities*. **Clean Techn Environ Policy**. Alemanha. Volume 16, p. 7–9, 2014.

JOARD, M. U. H. ISLAM, M. **Pyrolysis of coconut shell for bio-oil**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/252629852_Pyrolysis_of_coconut_shell_for_bio-oil> . Acesso em: 22 out. 2018.

KAN, T. STREZOV, V. EVANS, T. J. *Lignocellulosic biomass pyrolysis: A review of product properties and effects of pyrolysis parameters*. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Volume 57, p. 1126-1140, 2016.

KOUSOULIDOU, M. LONZA, L. *Biofuels in aviation: Fuel demand and CO₂ emissions evolution in Europe toward 2030*. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**. Volume 46, p. 166-181, 2016.

LEE, H. V.; HAMID, S. B. A.; ZAIN, S. K. *Conversion of lignocellulosic biomass to nanocellulose: structure and chemical process*. **The Scientific World Journal**. P. 1 - 20, 2014.

LETTIERI, P. SULTAN, M. AL-SALEM. **Thermochemical treatment of plastic solid waste**. Londres: Elsevier, 2011.

LI, Yan. **Studies on cellulose hydrolysis and hemicellulose monosaccharide degradation in concentrated hydrochloric acid**. Université d'Ottawa/University of Ottawa, 2014.

MACÊDO, L. A. **Influência da composição da biomassa no rendimento em condensáveis do processo de torrefação**. 2012. Mestrado (Dissertação em ciências florestais). UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, Brasília-DF.

MARTINS, C. R.; JESUS JUNIOR, L. A. **Evolução da produção de coco no Brasil e o comércio internacional: panorama 2010**. Embrapa Tabuleiros Costeiros, p. 28, 2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Compostagem Doméstica, Comunitária e Institucional de Resíduos Orgânicos**. Disponível em:

<<http://www.mma.gov.br/informma/item/14186-noticia-acom-2017-06-2404.html>>. Acesso em: 2 out. 2018.

MOHAN, D.; PITTMAN, JR, C. U.; STEELE, P. H. *Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review*. **Energy & Fuels**. Volume 20, p. 848-889. 2006.

MONTEIRO, C. T. **Aproveitamento do coco verde no distrito federal: potencial e uma avaliação preliminar**. Trabalho de Conclusão de Curso. (Curso de Graduação em Engenharia Ambiental) — UNIVERSIDADE CATÓLICA DE BRASÍLIA, Brasília, 2012.

MORAES, B. S.; ZAIAT, M.; BONOMIA, A. *Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane ethanol production in Brazil: Challenges and perspectives*. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Volume 44, p. 888-903. 2015.

MOYA, D.; ALDÁS, C.; LOPÉS, G.; KAPARAJU, P. *Municipal solid waste as a valuable renewable energy resource: a worldwide opportunity of energy recovery by using Waste-To-Energy Technologies*. **Energy Procedia**. Volume 134, p. 286-295, 2017.

DENR - Department of Environment and Natural Resources. **National Solid Waste Management Status Report (2008 – 2014)**. Environmental Management Bureau, National Solid Waste Management Commission. Republic of the Philippines. 2015. Disponível em: <<https://nswmc.emb.gov.ph/wp-content/uploads/2016/06/Solid-Wastefinaldraft-12.29.15.pdf>> Acesso em 14 out, 2018.

NEULING, U. KALTSCHMITT, M. *Techno-economic and environmental analysis of aviation biofuels*. **Fuel Processing Technology**. Volume 171, p. 54-69, 2018.

ONASH, T. B. JAYNE, J. T. HERNDON, S. WORSNOP, D. R. MIAKE-LYE, R. C. MORTIMER, P. ANDERSON. B. E. *Chemical Properties of Aircraft Engine Particulate Exhaust Emissions*". **Journal of Propulsion and Power**. Volume 25, p. 1121-1137, 2009.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Global Waste Management Outlook**. Disponível em: < <http://www.greenreport.it/wp-content/uploads/2015/09/Global-Waste-Management-Outlook-2015.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2018.

PACE, S. A.; YASDANI, R.; KENDALL, A.; SIMMONS, C. W.; VANDERGHEYNST, J. S. *Impact of organic waste composition on life cycle energy production, global warming and Water use for treatment by anaerobic digestion followed by composting*. **Resources, Conservation & Recycling**. Volume 137, p. 126-135. 2018.

PEREIRA, L. G. HEATHER, L. SAVILLE, B. A. *Financial analyses of potential biojet fuel production technologies*. **Biofuels, bioproducts, biorefining homepage**. Volume 11, p. 665-681, 2017.

PEREIRA, L. L. S.; SANTOS, C. D.; PEREIRA, C. A.; MARQUES, T. R.; SÁTIRO, L. C. *PRECIPITAÇÃO DO INIBIDOR DE α -AMILASE DE FEIJÃO BRANCO: AVALIAÇÃO DOS MÉTODOS*. **Alim. Nutr.** Volume 1, p. 15-20. 2010. Disponível em: < <http://serv->

bib.fcfar.unesp.br/seer/index.php/alimentos/article/view/1383/905> Acesso em: 18 jan. 2010.

PUTRASARI, Y.; PRAPTIJANTO, A.; OCKTAECKL, B. *Resources, policy, and research activities of biofuel in Indonesia: A review*. **Energy Reports**. Volume 2, p. 237-245. 2016.

PREFEITURA MUNICIPAL DE JOÃO PESSOA. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <<http://www.joaopessoa.pb.gov.br/secretarias/emlur/plano-municipal-de-residuos-solidos/>> Acesso em: 02 out. 2018.

PREMAKUMARA. D. G. J.; MENIKPURA. S.N.M.; KUMARSINGH. R.; HENGESBAUGH. M.; . MAGALANG. A. A.; ILDEFONSO. E. T.; VALDEZ. M. D. C. M., SILVA. L. C. **Reduction of greenhouse gases (GHGs) and short-lived climate pollutants (SLCPs) from municipal solid waste management (MSWM) in the Philippines: Rapid review and assessment**. [Waste Management](#). v.80, p. 397-405. 2018.

SALOMON, K. R. LORA, E. E. S. *Estimate of the electric energy generating potential for different sources of biogas in Brazil*. **Biomass and Bioenergy**. Itajubá- MG. Volume 33, p. 1101-1107, 2009.

SANTOS, S. F. M.; ALBUQUERQUE, J. G.; FEITOSA, N. T.; BARROS, J. H. F. **LEVANTAMENTO DE DADOS DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE COCO VERDE NA CIDADE DE JOÃO PESSOA**. Disponível em: <http://www.editorarealize.com.br/revistas/conapesc/trabalhos/TRABALHO_EV058_MD4_SA79_ID201_05052016210102.pdf> Acesso em: outubro de 2018.

SANTOS, R. E.; SANTOS, I R. F.; BARROS, P. M.; BERNAL, A. P.; FILHO, G. L. T. FILHO, SILVA, F. G. B. *Generating electrical energy through urban solid waste in Brazil: An economic and energy comparative analysis* . **Journal of Environmental Management**. Volume 231, p. 198-206. 2019.

SCHELEINGER, R. *Implicit CO₂ prices of fossil fuel use in Switzerland*. **Energy Policy**. Volume 96, p. 411- 420, 2016.

SEGUNDO, V. B. S. **Avaliação do Potencial energético da cana energia e análise do ciclo de vida da produção de eletricidade via combustão da biomassa**.2016, 61p.(Dissertação de Mestrado), Universidade Federal da Paraíba, PROGRAMA REGIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE. João Pessoa-PB.

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

SINGH, R.; BHAVYA, B. K.; MISHRA, G.; KUMAR, J.; BHASKAR, T. *Strategies for selection of thermo-chemical processes for the valorisation of biomass*. **Renewable Energy**. Volume 98, p. 226-237. 2016.

SISTEMA DE ESTIMATIVAS DE EMISSÕES E REMOÇÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA. **Emissões dos setores de energia, processos industriais e uso de produtos**. Disponível em: < <http://seeg.eco.br/>>. Acesso em: 3 nov. 2018.

SOUZA, A. G. F. **Hidrodesoxigenação (HDO) do anexou em catalisadores de Ni-Mo suportados**. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - UFRJ, 2009.

STAMATOV, V.; HONNERY, D.; SORIA, J. *Combustion properties of slow pyrolysis bio-oil produced from indigenous Australian species*. **Renewable Energy**. Volume 31, p. 2108-2121. 2006.

STANTEC. A technical review of municipal solid waste thermal treatment practices. **Waste to Energy**. P. 1231-10166. Disponível em: <www.env.gov.bc.ca/epd/mun-waste/reports/pdf/bcmoe-wte-emmissions-rev-mar2011.pdf>. Acesso em: 6 nov. 2018.

TAN, S.; HASHIM, H.; LEE, C. TAIB, M. R. YAN, J. *Economical and environmental impact of waste-to-energy (WTE) alternatives for waste incineration, landfill and anaerobic digestion*. **Energy procedia**. Volume 61, p. 704-708, 2014.

UNIÃO BRASILEIRA DO BIODIESEL E BIOQUEROSENE. **Bioquerosene no Brasil**. Disponível em: <<https://ubrabio.com.br/>>. Acesso em: 5 nov. 2018.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **The Global Waste Management Outlook**. Disponível em: < <https://www.unenvironment.org/>>. Acesso em: 3 nov. 2018.

VALERO, R. M. M.; MATSURA, E. E.; SOUZA, A. L. *Caracterização física de dois substratos orgânicos para plantas e a estimativa da umidade por meio da reflectometria no domínio do tempo*. **Ciência Rural**. Volume 39, n.2, mar-abr, 2009.

VIANA, L. F. **Potencial energético do bagaço e palhiço de cana-de-açúcar, CV.SP80-1842, em área de alambique artesanal**. (Tese de Doutorado em Agronomia). Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2011.

VIEIRA, A. C. **Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas**. (Dissertação Mestrado) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, PR, 2012.

WANG, G.; DENG, J.; MA, Z.; HAO, J.; JIANG. J. *Characteristics of filterable and condensable particulate matter emitted from two waste incineration power plants in China*. **Science of The Total Environment**. Volume 639, p. 695-704, 2018.

YI, S.; JANG, Y-C.; AN, A. K. *Potential for energy recovery and greenhouse gas reduction through waste-to-energy Technologies. **Journal of Cleaner Production.*** Volume 176, p. 503-511. 2018.

YOUNG, G. *Municipal solid waste to energy conversion processes: economic. **Technical and renewable comparisons.*** Nova Jersey: J. Wiley & Sons, Inc., 2010.

ZANZI, R.; SJOSTROM, K.; BJORNBOOM, E. *Rapid high-temperature pyrolysis of biomass in a free-fall reactor. **Fuel**.* Volume. 75, No. 5, p. 545-550, 1996.

ZHENG, L.; SONG, J. LI, C.; GAO, Y.; GENG, P. ; QU ,B., LIN, L. *Preferential policies promote municipal solid waste (MSW) to energy in China: Current status and prospects. **Renew. Sustain. Energy Rev.*** Volume 36, p. 135–148, 2014.



APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

Título do Projeto: Aproveitamento da biomassa de coco verde gerada na região metropolitana de João Pessoa para produção de bio-óleo a partir da pirólise

Aluna: Sarah Ingrid dos Santos Silva

Orientador(a): Nataly Albuquerque dos Santos

Questionário direcionado aos comerciantes de coco verde na região metropolitana de João Pessoa

Nome do entrevistado:

Local:

Data:

COMERCIANTES

1. A quanto tempo trabalha com a venda de coco?
2. Onde obtêm o cocô comercializado?
3. Quanto paga por cada unidade?
4. Quantos cocos são vendidos por dia?
5. Existe sazonalidade nas vendas?
6. Por quanto é vendido o coco?
7. Possui coletor de coco?
8. Aonde descarta a casca de coco gerada após consumo da água?
9. Existem catadores que reciclam este resíduo?
10. Quem é responsável pela coleta do resíduo?

APÊNDICE B – DADOS EMLUR

Quantitativo de cocos vendidos por bairro primeiro semestre de 2007 em dias úteis e em finais de semanas e feriados.

Bairros	Meses												Total
	Janeiro		Fevereiro		Março		Abril		Maio		Junho		
	DU	SDF											
Bancários	580	301	580	301	580	301	580	301	580	301	580	301	5286
Bessa	32830	7430	27125	7065	16970	4920	16420	5337	16610	5386	15310	5764	161167
Bairro dos Ipês	445	110	525	60	324	28	239	32	277	30	284	37	2391
Castelo Branco	4466	1820	3923	1820	4466	1820	4070	2010	4460	1990	4070	1803	36718
Centro	1608	195	2001	435	1586	185	1350	148	1699	260	1000	150	10617
Cordão Encantado	100	30	120	25	90	30	100	25	100	30	90	30	770
Ernesto Geisel	270	90	270	115	195	80	200	65	185	57	65	22	1614
Bairro dos Estados	1980	260	1820	230	2320	255	1630	200	1520	270	1250	240	11975
Expedicionários	30	16	30	16	30	16	30	16	30	16	30	16	276
Jardim Oceania	3000	600	3000	1000	3000	1000	3000	1000	3000	1000	3000	3000	25600
Manaíra	3120	1085	3230	1080	2820	940	2750	935	2740	940	2880	1000	23520
Mangabeira	6649	4550	6087	4629	6381	4480	5898	4575	5929	4177	6035	4719	64109
Miramar	180	140	180	140	180	140	180	140	180	140	180	140	1920
Penha	147	220	80	230	79	200	75	185	75	190	100	245	1826
Roger	810	160	860	120	630	130	490	80	550	100	510	70	4510
Seixas	310	270	205	220	220	220	195	238	165	240	180	293	2756
Tambaú	7150	3290	6430	3425	4125	2590	3740	2103	3365	1815	3355	2265	43653
Tambiá	668	30	674	30	700	30	611	20	670	30	603	30	4096
Torre	5608	1150	5608	1170	5166	1048	4980	1019	4458	899	4158	849	36113
Trincheiras	100	0	90	0	90	0	90	0	100	0	100	0	570
Varadouro	1708	283	1658	263	1708	266	1718	273	1558	258	1676	269	11638
Total	71759	22030	64496	22374	51660	18679	48346	18702	48251	18129	45456	21243	451125

Fonte: Dados obtidos pela EMLUR

Legenda: DU - Dias úteis, SDF - Sábado, Domingo e Feriado.

Quantitativo de cocos vendidos por bairro segundo semestre de 2007 em dias úteis e em finais de semanas e feriados.

Bairros	Meses												Total
	Julho		Agosto		Setembro		Outubro		Novembro		Dezembro		
	DU	SDF	DU	SDF	DU	SDF	DU	SDF	DU	SDF	DU	SDF	
Bancários	580	301	580	301	580	301	580	301	580	301	580	301	5286
Bessa	21490	7165	19685	6654	19814	6950	18956	7461	25582	9304	41830	15683	200574
Bairro dos Ipês	284	37	285	38	285	38	385	35	387	40	495	60	2369
Castelo Branco	4466	1830	4756	1710	4185	2082	4554	1940	4130	2110	4130	2310	38203
Centro	937	125	1155	152	1963	442	1848	382	1971	355	2268	505	12103
Cordão Encantado	100	20	100	30	90	20	100	30	90	20	100	25	725
Ernesto Geisel	65	22	85	35	85	35	85	35	85	35	100	50	717
Bairro dos Estados	1200	150	1480	240	1870	300	2280	380	2630	315	2620	390	13855
Expedicionários	30	16	30	16	30	16	30	16	30	16	30	16	276
Jardim Oceania	1000	4000	2000	3000	900	3000	1000	3500	1200	3600	1400	5000	29600
Manaira	2920	1010	2690	910	2990	1035	3090	1045	3150	1060	3180	1070	24150
Mangabeira	6319	4202	6586	4050	6103	5233	6819	4892	6365	5150	6793	5888	68400
Miramar	180	140	180	140	180	140	180	140	180	140	180	140	1920
Penha	57	120	85	195	90	210	75	185	90	230	105	250	1692
Roger	540	90	500	90	660	120	790	160	840	170	1000	180	5140
Seixa	215	290	145	310	210	365	178	350	183	400	210	430	3286
Tambaú	2500	3290	2013	4320	2728	4295	2720	4815	2860	6825	3920	2500	42786
Tambiá	572	20	607	30	631	30	624	20	672	30	643	20	3899
Torre	4046	889	4190	940	5461	1174	5750	1325	5880	1317	5995	1338	38305
Trincheiras	90	0	80	0	90	0	100	0	80	0	100	0	540
Varadouro	1743	281	1719	297	1791	328	1815	361	1842	373	1871	401	12822
Total	49334	23998	48951	23458	50736	26114	51959	27373	58827	31791	77550	36557	506648

Fonte: Dados obtidos pela EMLUR

Legenda: DU - Dias úteis, SDF - Sábado, Domingo e Feriado