



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENERGIA DA BIOMASSA



**VIABILIDADE TÉCNICA DA PIRÓLISE DA BIOMASSA DO COCO:
PRODUÇÃO DE BIOÓLEO, BIOCARVÃO E BIOGÁS**

ALBERTO JORGE DA MOTA SILVEIRA

Rio Largo - AL
2018

ALBERTO JORGE DA MOTA SILVEIRA

**VIABILIDADE TÉCNICA DE PIRÓLISE DA BIOMASSA DO COCO:
PRODUÇÃO DE BIOÓLEO, BIOCARVÃO E BIOGÁS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia da Biomassa, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, como exigência para obtenção do título de Mestre em Energia da Biomassa.

**Rio Largo - AL
2018**

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias
Bibliotecário: Erisson Rodrigues de Santana

S587v Silveira, Alberto Jorge da Mota

Viabilidade técnica da pirólise da biomassa do coco: produção de bioóleo, biocarvão e biogás. Rio Largo - AL – 2018.
62 f.; il; 33 cm

Dissertação (Mestrado em energia da biomassa) - Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2018.

Orientador(a): Prof^a. Dr^a. Karina Ribeiro Salomon.

Co-Orientador(a): Prof^a. Dr^a. Karla Miranda Barcelos.

1. Sustentabilidade. 2. Resíduo sólido urbano. 3. Cocoicultura.
I. Título.

CDU: 634.61

TERMO DE APROVAÇÃO

VIABILIDADE TÉCNICA DE PIRÓLISE DA BIOMASSA DE COCO: PRODUÇÃO DE BIOÓLEO, BIOCARVÃO E BIOGÁS.

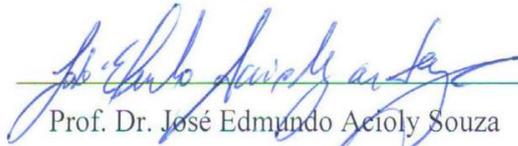
Esta dissertação foi submetida a julgamento como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre Profissional em Energia da Biomassa, outorgado pela Universidade Federal de Alagoas.

A citação de qualquer trecho desta dissertação é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.

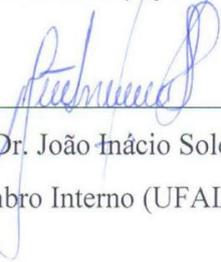
Aprovado em 21/09/2018



Prof.^a. Dr.^a. Karina Ribeiro Salomon
Orientadora (CTEC/UFAL)



Prof. Dr. José Edmundo Acioly Souza
Membro Externo (IQB/UFAL)



Prof. Dr. João Inácio Soletti
Membro Interno (UFAL)



Prof. Dr.^a Karla Miranda Barcelos
Membro Interno

Rio Largo/AL

2018

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho a **Deus**, causa primária de todas as coisas.*

AGRADECIMENTO

A **Deus**, por inspirar-me nesta caminhada de vida eterna, pela busca de conhecimento e sabedoria para sermos útil a vida, a família, a Pátria e a Humanidade.

Aos nossos familiares representados por pais, irmãos, esposa, filhas, netos, genros e demais afiliados, presentes em todos os nossos desafios pela vida.

A nossa orientadora Prof. Dra. Karina Ribeiro Salomon, pela orientação, confiança, amizade e paciência no decorrer dessa jornada e a Prof. Dra. Karla Barcelos.

Ao Prof. João Soletti que permitiu utilização do LASSOP para realização dos testes de pirólise.

Ao Prof. Edmundo Acioly, que permitiu a realização das análises de poder calorífico no LABEN.

Aos colegas Verônica Menezes, Pedro Henrique e Raíssa Andrade, Wislânia Pereira, Ivomberg Magalhães e demais componentes da Qualitex que direta e indiretamente se envolveram nesta pesquisa.

A Universidade Federal de Alagoas (UFAL), por meio do Centro de Ciências Agrárias, por me oportunizar um aperfeiçoamento gratuito e de excelência.

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Energia da Biomassa, do Centro de Ciências Agrárias (CECA), pelos ensinamentos.

Ao corpo técnico do Programa de Pós-Graduação pelas informações repassadas durante o curso.

Aos funcionários da secretaria de Pós-Graduação.

Aos colegas de disciplinas do Mestrado que estiveram presentes nesta caminhada.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

*“Consagre ao Senhor tudo que
você faz, e os seus planos serão bem-
sucedidos”. Provérbios 16: 3*

VIABILIDADE TÉCNICA DE PIRÓLISE DA BIOMASSA DO COCO: PRODUÇÃO DE BIOÓLEO, BIOCÁRVÃO E BIOGÁS. Rio Largo, 2018. 51 f. Trabalho de conclusão de curso (Mestrado Profissional em Energia da Biomassa) - Centro De Ciências Agrárias da Universidade Federal De Alagoas.

Autor: Alberto Jorge Da Mota Silveira

Orientador: Prof. Karina Ribeiro Salomon, *D.Sc.*

RESUMO

É notória a preocupação da população e principalmente do meio científico em relação aos impactos ambientais provocados pelo uso irracional dos combustíveis fósseis, já que este é um recurso finito. Com isso, objetivou-se com este estudo analisar a viabilidade do aproveitamento da biomassa residual da cocoicultura, utilizando a tecnologia termoquímica de pirólise para a produção de bioóleo, biogás e biocárvão. O experimento foi realizado no laboratório de análises da Qualitex Engenharia e no LASSOP - Laboratório de Sistemas de Separação e Otimização de Processos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Alagoas - UFAL. Foram avaliadas as características da biomassa dos resíduos da cocoicultura, por ensaios físico-químicos, os parâmetros: pH, sólidos, cinzas, umidade, densidade aparente, poder calorífico superior, carbono, nitrogênio, hidrogênio, enxofre, cálcio, manganês, zinco. No bioóleo, produto da pirólise foram analisados os parâmetros umidade, densidade, oxigênio, carbono, hidrogênio, pH, PCS, sólidos e viscosidade. Foi realizada a caracterização por análise físico-química das propriedades do resíduo da biomassa da cocoicultura, conversão termoquímica da biomassa através de reator pirólise tubular e análise das características dos produtos da conversão, como o bioóleo, biocárvão e biogás. Com a pirólise realizada com a casca do coco foi possível aproveitar 100% da biomassa, com a conversão em bioóleo, biocárvão e biogás, alcançando resultados significativos, além de contribuir para a redução na emissão de poluentes atmosféricos. Os resultados apresentaram ganho energético em relação a matéria prima de até 1,4 MJ kg⁻¹ na fração mesocarpo a 400 °C e de até 4,8 MJ kg⁻¹ na fração endocarpo a 600 °C. O valor médio de 2,39 MJ kg⁻¹ equivalente a 13% de ganho energético em relação a biomassa do coco in natura.

Palavras-Chave: Sustentabilidade, Resíduo Sólido Urbano, Cocoicultura.

TECHNICAL FEASIBILITY OF PYROLYSIS FROM COCONUT RESIDUAL BIOMASS: FOR BIOOLEUM, BIOCHAR AND BIOGAS PRODUCTION. Rio Largo, 2018. 51 f. Trabalho de conclusão de curso (Mestrado Profissional em Energia da Biomassa) - Centro De Ciências Agrárias da Universidade Federal De Alagoas.

Author: Alberto Jorge Da Mota Silveira

Advisor: Prof. Karina Ribeiro Salomon, *D.Sc.*

ABSTRACT

The concern of the population and especially of the scientific community with respect to the eminent lack of fossil fuels and their environmental impacts are notorious. The objective of this study was to enable the utilization of residual biomass from coculture using pyrolysis thermochemical technology for the production of bio-oil. The experiment was carried out in the analysis laboratory of Qualitex Engenharia and the LASSOP - Laboratory of Separation and Process Optimization Systems, Graduate Program in Chemical Engineering, Federal University of Alagoas - UFAL. The parameters of pH, solids, ash, moisture, apparent density, higher calorific value, carbon, nitrogen, hydrogen, sulfur, calcium, manganese and zinc were evaluated by physical-chemical tests. In the bio-oil, the pyrolysis product was analyzed parameters moisture, density, oxygen, carbon, hydrogen, pH, PCS, solids and viscosity. The physicochemical analysis of the biomass residues of the coconut biomass, the thermochemical conversion of the coculture biomass through the tubular pyrolysis reactor and the analysis of the characteristics of the conversion products, such as bio-oil, biochar and biogas, were carried out. With the pyrolysis carried out with the coconut shell, it was possible to take advantage of 100% of the biomass, with the conversion into bio-oil, bio-bio and biogas, achieving excellent results, besides contributing to the reduction in the emission of atmospheric pollutants. The results presented energetic gain in relation to the raw material of up to 1.40 MJ kg⁻¹ in the mesocarp fraction at 400 °C and up to 4.84 MJ kg⁻¹ in the endocarp fraction at 600 °C. The average value of 2.39 MJ kg⁻¹ equivalent to 13% of energetic gain in relation to coconut biomass in natura.

Keywords: Sustainability, Urban Solid Waste, Cocoiculture.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estrutura do coco.	17
Figura 2. Diversidades de produtos a partir do coco.	18
Figura 3. Fontes, processos e produtos de conversão da energia da biomassa	20
Figura 4. Formas de transformações da biomassa em energia	20
Figura 5. Uso da biomassa para geração de energia no Brasil	21
Figura 6. Geração de bioenergia.....	22
Figura 7. Matriz energética brasileira.....	23
Figura 8. Oferta interna de energia elétrica por fonte.....	23
Figura 9. Pirólise de biomassa vegetal e os produtos gerados.....	27
Figura 10. Coleta de amostras do coco.....	34
Figura 11. Amostras do coco.....	34
Figura 12. Amostras do coco fragmentada.....	34
Figura 13. Amostras do coco fracionada.....	34
Figura 14. Conjunto de Equipamento.....	35
Figura 15. Desenho Esquemático	36
Figura 16. Mesocarpo - Temperatura versus Poder Calorífico Superior.....	47
Figura 17. Endocarpo - Temperatura versus Poder Calorífico Superior	47
Figura 18. Mesocarpo – Temperatura versus Rendimento.....	48
Figura 19. Endocarpo - Temperatura versus Rendimento.....	48
Figura 20. Mesocarpo -Temperatura versus Composição Biogás.....	49
Figura 21. Endocarpo -Temperatura versus Composição Biogás	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Rendimento da Pirólise em função das condições operacionais.....	27
Tabela 2. Tecnologia de reatores para pirólise	28
Tabela 3. Características técnicas dos equipamentos	35
Tabela 4. Propriedades da Matéria Prima para o mesocarpo e endocarpo.	39
Tabela 5. Condições de Processo da pirólise e rendimento na produção de Biocarvão, Bioóleo e Biogás.	41
Tabela 6. Características do processo de pirólise	41
Tabela 7. Propriedades do Bioóleo.....	43
Tabela 8. Propriedades do Biocarvão.	44
Tabela 9. Propriedades do Biogás.....	46
Tabela 10. Avaliação preliminar técnico-econômica	50
Tabela 11. Investimento.....	51
Tabela 12. Fluxo de Caixa.....	52

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	16
2.1 Geral.....	16
2.2 Específicos	16
3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS E REVISÃO DE LITERATURA.....	17
3.1. Coccoicultura e geração de resíduos.....	17
3.2. Biomassa	18
3.3. Produção de bioenergia.....	21
3.4. Bioóleo.....	24
3.5. Biocarvão	24
3.6. Biogás	25
3.7. Pirólise	26
4. MATERIAL E MÉTODOS	29
4.1 Local do experimento	29
4.2. Análises e variáveis analisadas	29
4.2.1. pH.....	29
4.2.2. Sólidos e Cinzas	29
4.2.3. Umidade	30
4.2.4. Lignina Insolúvel	30
4.2.5. Metais	31
4.2.6. Densidade 20/4 °C.....	31
4.2.7. Poder calorífico	31
4.2.8. Carbono, Hidrogênio, Nitrogênio e Enxofre	32
4.2.9. Cálcio, Manganês, Zinco.....	32
4.3 Teste de Pirólise	33
4.4 Viabilidade Econômica.....	37
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
5.1. Caracterização da biomassa	39
5.2. Condições do processo.....	40
5.3. Caracterização dos subprodutos do processo.....	43
5.3.1 Bioóleo	43
5.3.2 Biocarvão.....	43

5.3.3 Biogás	45
5.4 Comparativo Energético da Matéria Prima e Produtos da Pirólise.....	46
5.5 Análise Econômica	49
6. CONCLUSÕES.....	53
7. SUGESTÃO PARA TRABALHO FUTURO.....	55
8. REFERÊNCIAS	56

1. INTRODUÇÃO

O aumento das concentrações de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera, sua relação com o aquecimento global, e conseqüentemente, com as mudanças climáticas, tem se tornado uma preocupação mundial (CARVALHO et al., 2009; PAUSTIAN et al., 2016). As mudanças climáticas devem-se a grande concentração de GEE na atmosfera devido às ações antrópicas. Estima-se que a queima de combustíveis fósseis e a mudança de uso da terra, seja pelo desmatamento, queima de florestas, degradação dos solos ou pelas práticas de manejos inadequadas, são as maiores fontes de emissões globais de GEE (LAL, 2018). No Brasil, devido a grande fronteira agrícola existente no país, as emissões de GEE provenientes da mudança de uso da terra, representam cerca de 80% dos GEE emitido, o restante ocorre pela queima de combustíveis fósseis (LAPOLA et al., 2014).

A produção energética por meio de fontes não renováveis, como por exemplo, o petróleo, além de emitir grandes quantidades de GEE e contribuir com as mudanças climáticas, compromete a segurança energética global (SILVA e GERÔNIMO, 2012). Dessa forma, surge à necessidade eminente da produção de energia e combustíveis oriundos de fontes renováveis (CABRAL, 2015). Nesse sentido, tem aumentado o interesse pela produção energética através da biomassa vegetal (CORTEZ et al., 2009; ROCHA et al., 2015; ANDRADE et al., 2017; PAZ et al., 2017). A produção energética através da biomassa vegetal é ambientalmente e economicamente viável devido à abundância de material, baixo custo e facilidade de aquisição, além de ser totalmente renovável (FIGUEIREDO, 2011). Portanto, a biomassa tem potencial para ser uma das principais fontes na matriz energética de países em desenvolvimento, como o Brasil.

O Brasil é um dos maiores produtores e consumidores mundiais de bioenergia (PELÁEZ-SAMANIEGO et al., 2008), devido as condições climáticas que favorecem a produção vegetal e abundância de recursos agroflorestais existentes no país (CAMPOS, 2008), sendo o etanol e o carvão as principais fontes brasileiras de bioenergia. No entanto, o interesse por fontes de energias alternativas cresce de forma contínua no mundo todo, onde, diversos programas começaram a serem desenvolvidos com o objetivo de aproveitar o potencial energético dos resíduos agrícolas, os quais, comumente são descartados (FIGUEIREDO, 2011). Esses resíduos se tornaram um problema ambiental, devido seu acúmulo, gerando inúmeros problemas para o meio ambiente.

Dentre os resíduos agrícolas descartados no Brasil, encontram-se os resíduos da cocoicultura. Em geral, as cascas do coco, folhas e cachos do coqueiro são descartadas em

lixões ou queimados (SILVA e JERÔNIMO, 2012), devido ao expressivo consumo de água de coco (*Cocos nucifera* L.). A água de coco (albúmen líquido) representa apenas 20-25% do peso total do fruto, o restante é formado pelo albúmen sólido ou amêndoa (endocarpo) e casca. A casca consiste em 57% do fruto, a qual é composta pelo mesocarpo e epicarpo (CABRAL, 2015), onde os principais problemas são o acúmulo desses resíduos, descarte inadequado e tempo para decomposição (8-12 anos) dos mesmos. Estima-se que aproximadamente 7 milhões de toneladas de casca ano⁻¹ são geradas nas cidades litorâneas, representando grave problema ambiental nessas cidades (PAZ et al., 2017). No entanto, esses resíduos possuem potencial energético.

O Brasil possui cerca de 280 mil hectares cultivados com coqueiro, com produção equivalente a mais de 2 bilhões de frutos (IBGE, 2017). Apesar do cultivo do coqueiro está presente em todas as regiões do país, as maiores plantações e produções estão concentradas na faixa litorânea, especialmente no Nordeste brasileiro, onde essa região possui aproximadamente 70% da produção brasileira. No estado de Alagoas, a produção de coco é de aproximadamente 75 milhões de frutos ano⁻¹, representando 4,3% da produção nacional (IBGE, 2017).

O coqueiro é uma planta de grande importância socioeconômica, além de produzir a água de coco e o albúmen para indústria de alimentos e cosméticos, existem outras alternativas para utilização desse fruto, como o uso da fibra para proteção de mantas e telas para proteção do solo, produção de papel, confecção de estofamento para automóveis, produção de briquetes, complemento alimentar animal e na construção civil (MOTA, 2015).

O teor de lignina da fibra do coco representa cerca de 35-45% e o de celulose 23-43%, assim, o uso desses resíduos para a produção energética representa uma alternativa em potencial, devido o alto teor de lignina contido em suas fibras (PAZ et al., 2017). Durante a degradação térmica da biomassa vegetal, a lignina representa o maior rendimento em carvão (40-47%) (RAVEENDRAN et al., 1996), dessa forma, os resíduos gerados durante a produção e consumo do coco, além de possibilitar a geração de energia, é uma alternativa para solucionar o grave problema ambiental do descarte inadequado dos resíduos da cocoicultura.

Assim, através da pirólise da biomassa do coco será quantificado o rendimento das frações de bioóleo, biocarvão e biogás, bem como, o PCS destas frações, comparando os resultados com os valores de PCS existente na biomassa in natura do coco.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar o potencial energético da biomassa residual da cocoicultura para obtenção de bioóleo, biocarvão e biogás gerado através do processo termoquímico de pirólise.

2.2 Específicos

- Caracterizar a biomassa residual da cocoicultura.
- Identificar as condições do processo que permita obter as frações de bioóleo, biocarvão e biogás.
- Caracterizar o bioóleo.
- Caracterizar o biocarvão.
- Caracterizar o biogás.
- Simular e avaliar as características técnicas das frações líquidas para uso como combustível, frações sólidas para uso na agricultura e frações gasosas para utilização como combustível no reator de pirólise.

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS E REVISÃO DE LITERATURA

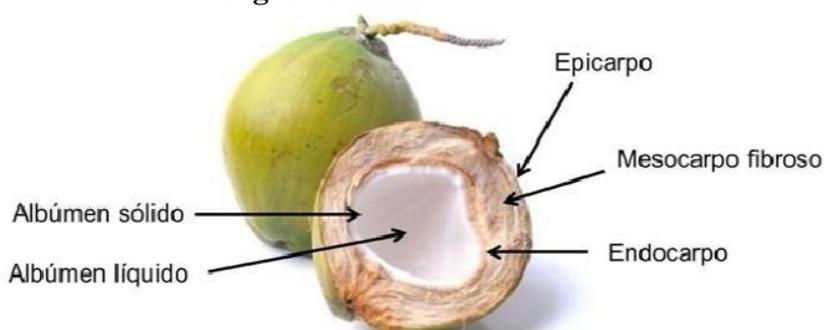
3.1. Cocoicultura e geração de resíduos

O coqueiro (*Cocos nucifera* L.) é uma das frutíferas mais disseminadas no mundo, sendo encontradas em praticamente todos os continentes. Estima-se que a área ocupada por essa cultura é de aproximadamente 14 milhões de hectares, em mais de 90 países (SILVA e JERÔNIMO, 2012; CABRAL, 2015). O coqueiro é uma planta monocotiledônea, pertencente à família *Palmae*, originária do Sudeste Asiático (ANDRADE et al., 2004).

No Brasil, a introdução do coqueiro ocorreu por volta de 1553, pelos portugueses, em meados do século XVI, inicialmente pelo estado da Bahia, na sequência para o litoral nordestino e para o restante do país (FIGUEIREDO, 2011; SANTOS, 2016). Essa palmeira é considerada uma das espécies perenes com grande importância econômica e social no mundo, devido à geração de empregos diretos e indiretos com o cultivo dessa cultura (CAMBUI et al., 2007). A produção brasileira de coco é de aproximadamente 2 bilhões de frutos ano⁻¹, em área de 280 mil hectares. Já a produção alagoana, é em torno de 75 milhões de coco ano⁻¹ (IBGE, 2017).

O coqueiro é conhecido como árvore da vida, devido os inúmeros produtos que podem ser gerados dessa planta. Globalmente, é explorada a produção de copra (albúmen sólido desidratada a 6% de umidade) (Figura 1), óleo vegetal, água de coco, ácido láurico, leite de coco, farinha de coco, fibra e ração animal (PIRES et al., 2004).

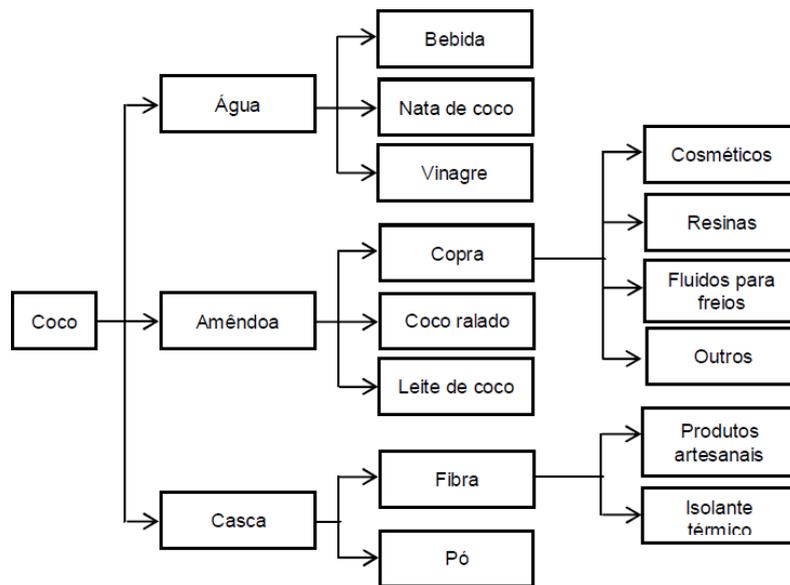
Figura 1. Estrutura do coco.



Fonte: Cabral (2015).

No entanto, essa cultura possibilita um sistema autossustentável de exploração, não apenas os produtos mencionados anteriormente, mas, por exemplo, as folhas são usadas em telhados, fibras para cordas, tapetes e redes, as cascas podem ser usadas como utensílios e ornamentação, com a seiva da inflorescência pode ser feito açúcar e álcool (Figura 2), essa planta também possibilita a geração de energia através da sua biomassa (JERÔNIMO, 2012).

Figura 2. Diversidades de produtos a partir do coco.



Fonte: Cabral (2015).

No Brasil, devido à enorme área plantada com coqueiro, a quantidade de resíduos gerados é muito alta, estima-se que anualmente são produzidos cerca de 3,8 milhões de toneladas de resíduos, sendo 1,5 e 1,7 milhões de cascas e folhas de coco, respectivamente (ROCHA et al., 2015). Portanto, o processamento do coco gera grande quantidade de resíduos sólidos, devido à retirada do albúmen líquido e sólido, restando às partes fibrosas. As cascas de coco descartadas no meio ambiente passam por lento processo de decomposição, através dos microrganismos, produzindo metano (CH₄), um dos GEE (ROCHA et al., 2010).

A casca do coco verde não possibilita a queima direta, devido o alto teor de umidade desse material. Contudo, diferentes formas do uso dessa biomassa têm sido pesquisadas, como por exemplo, a produção de briquetes, biocarvão, bioóleo, etc. (ROCHA et al., 2015). Nesse sentido, Silveira (2008) pesquisaram a viabilidade da produção de briquetes tendo as cascas do coco como matéria prima, e demonstraram que é possível substituir a madeira por essa biomassa. Similarmente, Cortez et al. (2009), avaliando a fibra e cascas do coco como fonte energética por meio da pirólise, onde, concluíram que é viável a produção de carvão por essa biomassa. Já Schena (2015) sugere a produção de bioóleo a partir das fibras e cascas do coco, usando o método da pirólise.

3.2. Biomassa

Os países são dependentes da energia gerada pelo petróleo, logo, é imprescindível a adoção de políticas para o desenvolvimento de fontes alternativas de produção energética a

curto e médio prazo, sobretudo, fontes renováveis, limpas e sustentáveis (SOARES et al., 2006). É nesse contexto que surge a biomassa vegetal.

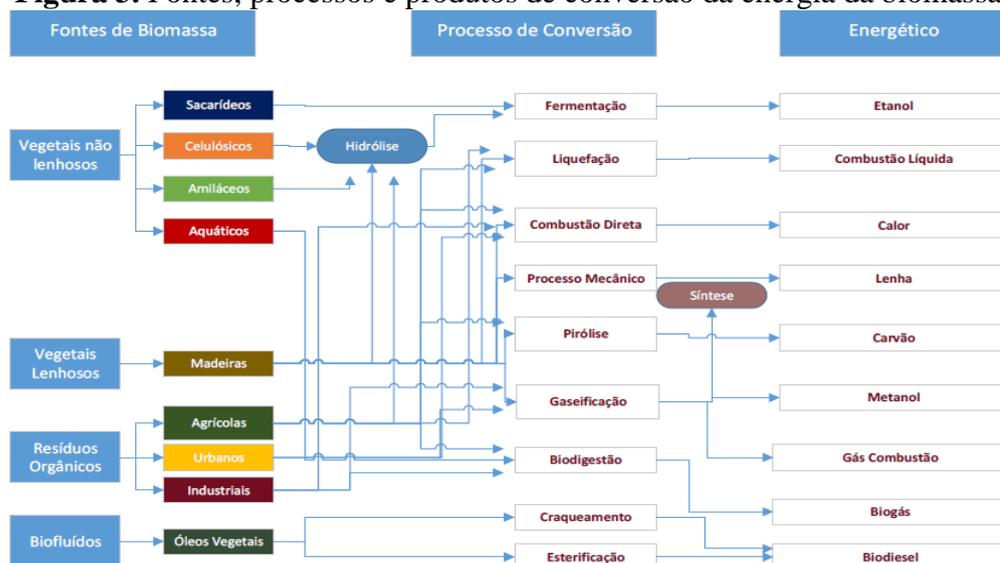
A biomassa vegetal possibilita a produção de energia, por meio da queima de madeira, carvão, aproveitamento de resíduos, etc. (GOLDEMBERG, 2017). A biomassa é o conjunto complexo de materiais orgânicos gerados pelos organismos autótrofos e heterótrofos. Os organismos fotossintéticos transformam a energia solar em energia química, através do processo de fotossíntese (SILVEIRA, 2008). Essa energia é acumulada nas plantas e liberada durante os processos de oxidação, redução e hidrólise, os quais geram os polímeros naturais, denominados como celulose, hemicelulose e lignina (ANDRADE et al., 2004). Cada componente apresenta características específicas quando submetido a tratamento termoquímico, como por exemplo, a pirólise.

Em termos energéticos, é considerada biomassa, todo material orgânico tanto de origem vegetal quanto animal, com potencial para produção de energia (TAVARES e SANTOS, 2013). Na história da civilização, a biomassa sempre esteve atrelada a geração de energia, inicialmente a lenha e o carvão eram as principais fontes de energia a partir da biomassa, entretanto, em meados do século XX outras formas de geração de energia da biomassa ganharam destaques (SOARES et al., 2006).

As vantagens do uso da biomassa é o seu aproveitamento direto através da combustão em fornos e caldeiras, dessa forma, reduz os impactos socioambientais. Já a desvantagem está relacionada à baixa eficiência. Entretanto, diversas pesquisas estão sendo desenvolvidas para aperfeiçoar as técnicas de conversão em energia, dentre essas tecnologias, desponta o método da pirólise (GOLDEMBERG, 2017). Devido a grande dependência dos países pelos combustíveis fósseis, a geração de energia através de fontes limpas e renováveis passou a ter um interesse maior, logo, o uso da biomassa no mercado de energia ganha destaque progressivamente, por ser considerada uma alternativa em potencial para a diversificação da matriz energética global, e conseqüentemente reduzir a dependência das energias geradas pelos combustíveis fósseis (SOARES, 2006).

A classificação da biomassa para fins energéticos ocorre através de três categorias: florestal, agrícola e rejeitos urbanos (Figura 3).

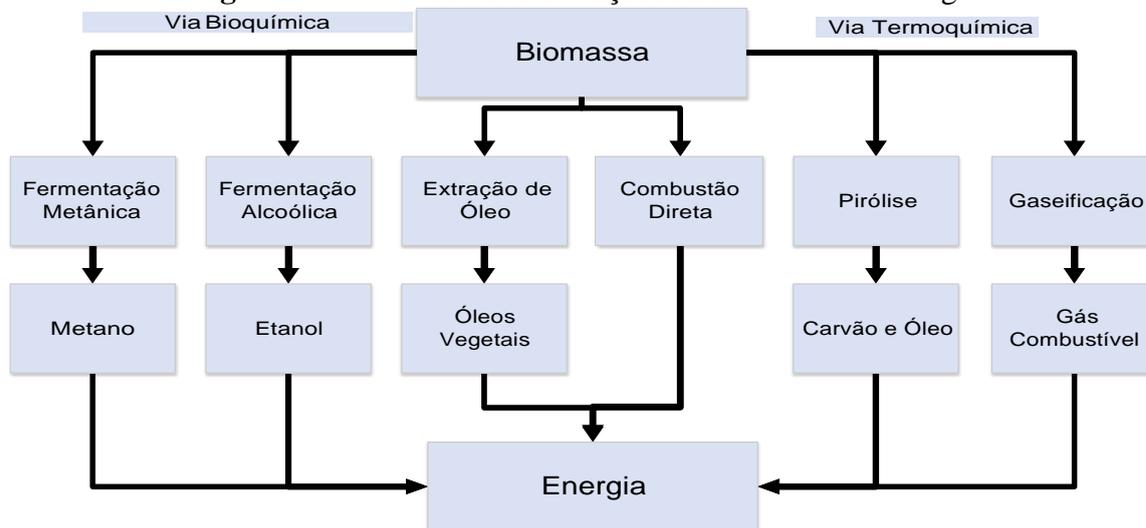
Figura 3. Fontes, processos e produtos de conversão da energia da biomassa.



Fonte: MME (2017).

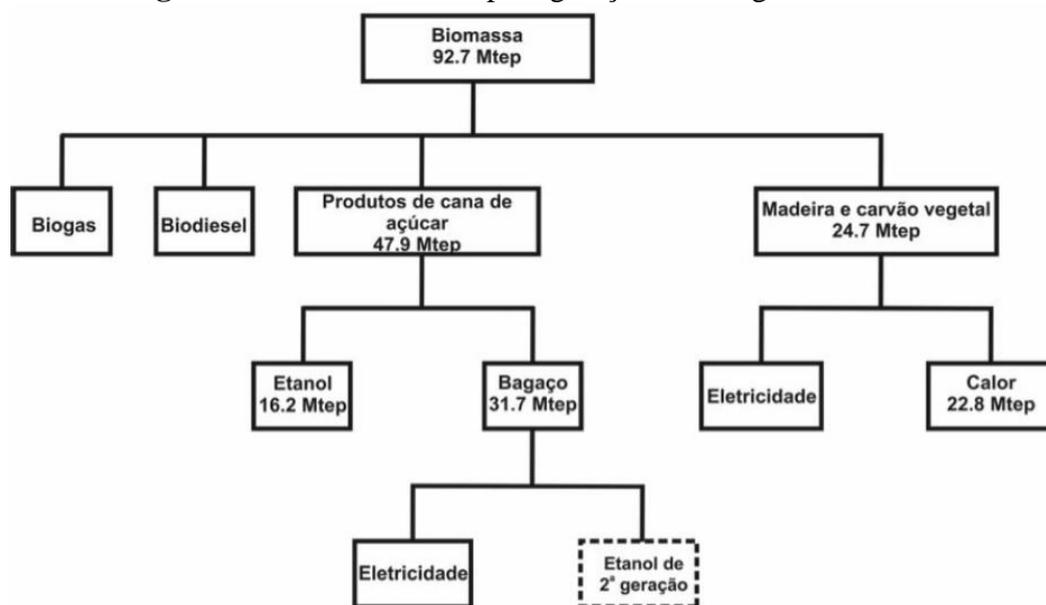
Os potenciais energéticos desses grupos estão relacionados tanto com o tipo de matéria prima quanto à técnica usada durante o processamento para produzir energia (Figura 4). Onde, para transformá-los em combustíveis é necessário identificar a melhor cinética química, ou seja, a velocidade das reações e os fatores que a influenciam (Figura 5).

Figura 4. Formas de transformações da biomassa em energia.



Fonte: Rodrigues et al. (2011).

Figura 5. Uso da biomassa para geração de energia no Brasil.



Fonte: Goldemberg (2017).

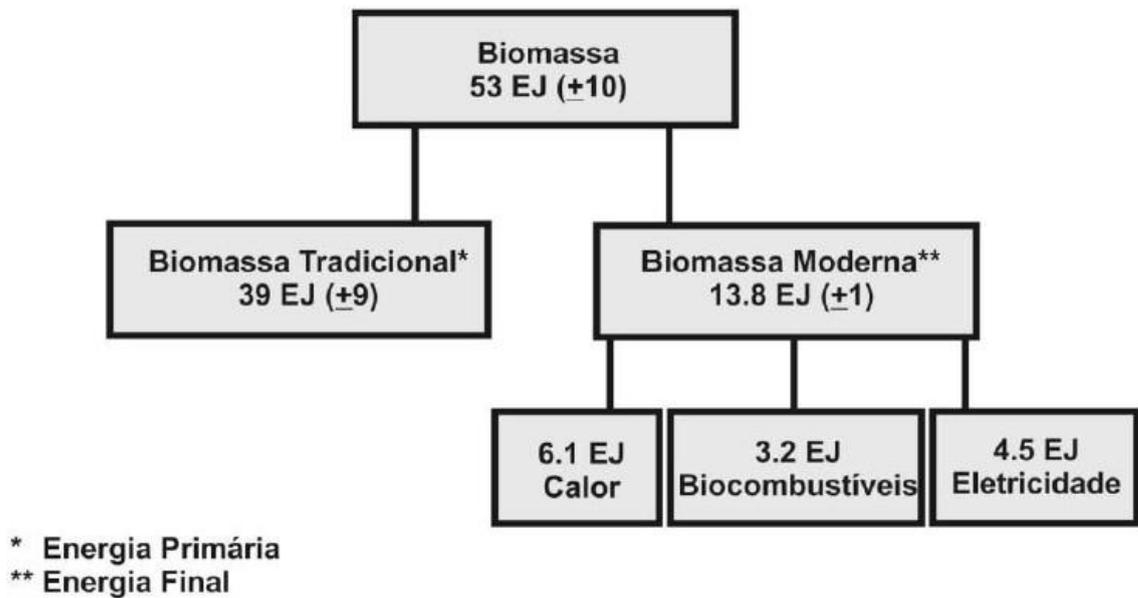
A biomassa pode ser aproveitada por diferentes métodos, como pela combustão direta, processos termoquímicos como gaseificação, pirólise, liquefação e transesterificação, e por processos biológicos, como por exemplo, a digestão anaeróbica e fermentação (ROCHA et al., 2015).

3.3. Produção de bioenergia

A busca por fontes alternativas de energia tem estimulado a busca por técnicas de transformação térmica que possibilite melhor aproveitamento energético dos resíduos agroindustriais. Devido o crescimento da população mundial, tem aumentado o consumo e a demanda energética, gerando excedentes residuais agrícola, urbano e industrial. Dessa forma, o uso desses resíduos para a produção de energia surge como forma viável tanto para reduzir a dependência por combustíveis fósseis quanto para solucionar o problema ambiental gerado pelo descarte inadequado desses resíduos (ANDRADE et al., 2017).

A geração de bioenergia gera diferentes formas de energias (Figura 6), como por exemplo, os biocombustíveis (biodiesel, biogás e etanol), calor e eletricidade, pela queima de madeira e resíduos orgânicos (TAVARES e SANTOS, 2013).

Figura 6. Geração de bioenergia.

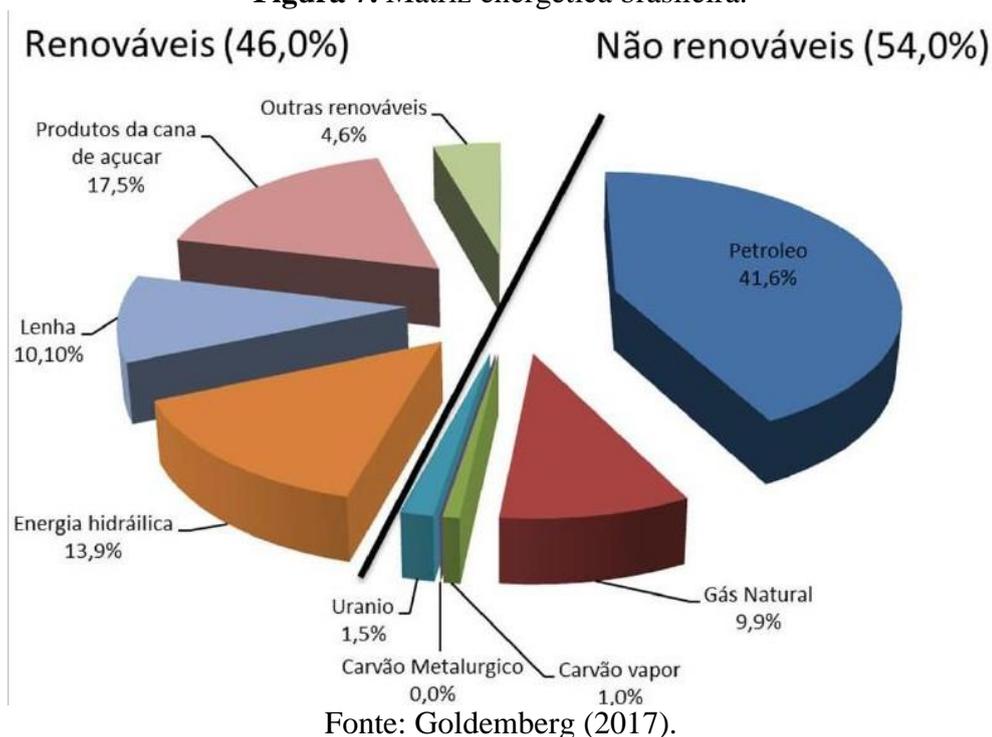


Fonte: Goldemberg (2017).

Globalmente, a bioenergia corresponde cerca de 14% do consumo energético. Estima-se que a curto prazo, de toda energia consumida pela população, aproximadamente 30% será bioenergia, por ser uma energia sustentável (SOARES et al., 2006). Existem diferentes fontes de bioenergia, sendo as principais, a energia solar, eólicas e hidroelétricas. Além destas, existem também as fontes alternativas como, lenha, carvão vegetal, babaçu, biomassa, biogás, cana-de-açúcar e o sisal (CORTEZ et al., 2009), todos com potencial para contribuir com a matriz energética do país.

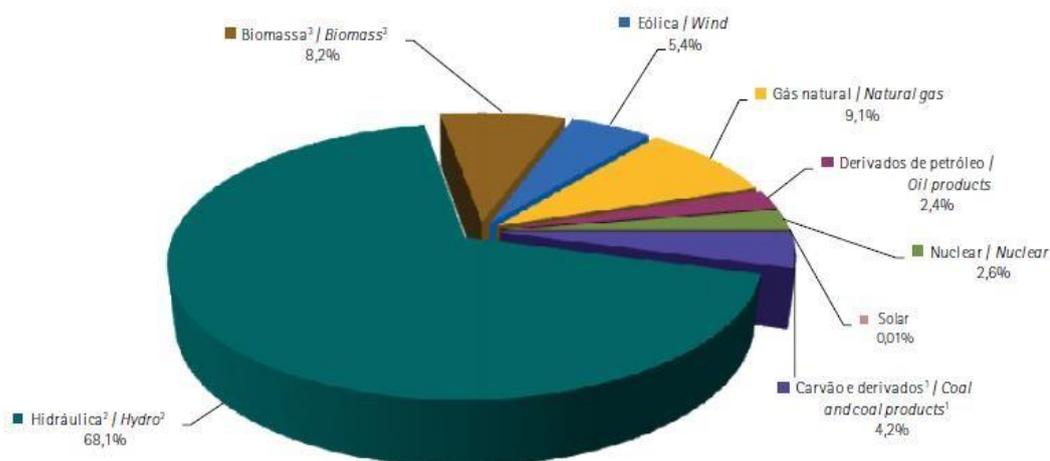
No Brasil, devido sua localização geográfica e condições climáticas privilegiadas, produção de bioenergias é favorecida, dessa forma, pode contribuir para a autonomia energética do país a médio ou longo prazo (SOARES, 2006). Nesse contexto, devido às condições climáticas das regiões tropicais, como por exemplo, o Brasil, a biomassa é a fonte energética com grande potencial para substituir os combustíveis fósseis (CABRAL, 2015). Na matriz energética brasileira (Figura 7), a biomassa tem grande importância, sobretudo, devido os usos da cana-de-açúcar para a produção de etanol e eletricidade (18%), madeira e carvão vegetal (10%) usados na produção de eletricidade e nas siderúrgicas (GOLDEMBERG, 2017).

Figura 7. Matriz energética brasileira.



Quanto à geração de energia elétrica no Brasil (Figura 8), observa-se a predominância da fonte hidráulica sobre a matriz energética do país, sendo que a biomassa contribui com apenas 8,2%.

Figura 8. Oferta interna de energia elétrica por fonte.



Fonte: MME (2017).

3.4. Bioóleo

O bioóleo é uma mistura homogênea de compostos orgânicos e água (RODRIGUES, 2013), obtido a partir da biomassa, por meio de conversão térmica, por ser um material líquido altamente oxigenado, com facilidade de ser transportado, armazenado e transformado em materiais de maior valor, tem ganhado grande destaque comercial (TORRI, 2013). O bioóleo possui densidade média (15 °C) de 1.220 kg m⁻³, com composição elementar de 48,5% de carbono, 6,4% de hidrogênio, 42,5% de oxigênio, 20,5% de água e com poder calorífico de 17,5 MJ kg⁻¹ (RODRIGUES et al., 2011).

A composição química do bioóleo consiste principalmente de hidroxialdeídos, hidroxicetonas, açúcares, ácidos carboxílicos e compostos fenólicos, sendo a água a substância mais abundante (DINIZ, 2015). Ou seja, é uma mistura de compostos orgânicos complexos, quando produzidos por pirólise lenta, apresenta peso molecular maior, já quando a produção é por meio da pirólise rápida, seu peso molecular é menor (ANDRADE et al., 2017). Os bioóleos de maior peso apresentam maior viscosidade, o que dificulta seu uso como combustível, no entanto, quando são leves tem maior aplicação como combustível de segunda geração (ROCHA et al., 2015). A principal vantagem dos bioóleos é a disponibilidade de matéria prima usada como fonte para produção dos mesmos. Dentre elas, encontra-se a biomassa do coco, onde, a pirólise surge como uma alternativa bastante promissora para o reaproveitamento dessa biomassa para a produção de bioóleo. Durante este processo, os resíduos orgânicos se decompõem, gerando gases, líquidos e resíduos sólidos. Em seguida, ocorre o resfriamento e condensação dos gases, resultando no bioóleo, líquido castanho escuro (SCHENA, 2015).

Conforme Figueiredo (2011), o bioóleo produzido pelo processo da pirólise pode ser usado em diferentes aplicações, como mistura aromática para a gasolina, aditivo para a indústria alimentícia, produtos químicos refinados de alto valor agregado e uso em substituição de óleo combustível em caldeiras, máquinas, fornos e turbinas.

3.5. Biocarvão

O biocarvão ou *biochar* consiste em material de carbono poroso originado de diferentes fontes de biomassa. Pode ser usado de diferentes maneiras, como por exemplo, no solo, onde aumenta a fertilidade e qualidade do mesmo, devido elevar o pH, aumentar a umidade e capacidade de troca catiônica (ANDRADE et al., 2017).

Os indígenas iniciaram o uso do biocarvão ao solo, o qual, essa atividade tem potencial para em um futuro próximo se tornar uma prática agrônômica de grande importância no mundo (GUARNIERI, 2016). A produção de biocarvão consiste no uso de resíduos de biomassa renovável, destacando-se resíduos agrícolas e florestais, descartados tanto na alimentação humana quanto animal (ANDRADE et al., 2016).

O uso do biocarvão em solos tropicais representa importante técnica de preservação ambiental, pois, os resíduos agrícolas descartados, os quais poluem o meio ambiente, são usados na produção de material recalcitrante, dessa forma, aumenta o tempo de manutenção do carbono no solo, melhorando as características físicas, químicas e biológicas do solo (PAZ et al., 2017).

A produção de biocarvão reutiliza totalmente o carbono presente na biomassa, essa técnica é de fundamental importância para mitigar as emissões de GEE. Isto porque com a biomassa, é possível produzir três subprodutos (bioóleo, biocarvão e biogás), todos esses produtos usados na geração de energia (ANDRADE et al., 2017). A conversão de biomassa em biocarvão é uma técnica sustentável bastante promissora, pois possibilita o manejo sustentável dos resíduos gerados nos setores agrícolas e industriais (GUARNIERI, 2016). Dentre as biomassas descartadas na agricultura, os resíduos da cocoicultura tem grande potencial para produção de biocarvão, devido a grande quantidade de resíduos gerados por essa cultura (ANDRADE et al., 2017).

Nesse contexto, Cortez et al. (2009) pesquisaram a produção de biocarvão a partir das cascas e fibras do coco, e concluíram que o biocarvão produzido pelas cascas apresenta fragmentos menores, e mais quebradiços; já o biocarvão da fibra do coco, possui fragmentos maiores. Andrade et al. (2004) produziu pelo processo de pirólise da biomassa do coco biocarvão, bioóleo e gases não condensados. De forma similar, Andrade et al. (2017) avaliaram a produção de biocarvão a partir da pirólise da biomassa do coco, onde, constataram redução gradativa no rendimento do biocarvão com o aumento da temperatura, enquanto o rendimento do bioóleo aumentou, sendo justificados pela liberação de grandes quantidades de compostos voláteis.

3.6. Biogás

A busca por tecnologias que utilizem fontes renováveis para geração de energia é necessária para o desenvolvimento sustentável, visto que, as energias produzidas pelos combustíveis fósseis geram resíduos e emite grandes quantidades de GEE (PAZ et al., 2017).

Portanto, as tecnologias que utilizam fontes renováveis têm grande potencial, não apenas pelos benefícios ambientais, mas também pelos sociais e econômicos (ALMEIDA e BRUNO, 2016). Nesse sentido, o aproveitamento dos resíduos agrícolas, dentre eles, os resíduos da cocoicultura, surge como alternativa promissora para produção energética. Esse tipo de resíduos tem sido avaliado como matéria prima para produção de biogás (SOARES et al., 2006).

A composição do biogás é basicamente de metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), hidrogênio (H_2), nitrogênio (N_2), oxigênio (O_2) e gás sulfídrico (H_2S). Devido o biogás apresentar 70% de CH_4 , portanto, fornece maior potencial de queima, conseqüentemente maior concentração de calor, produzindo maior quantidade de energia (ALMEIDA e BRUNO, 2016).

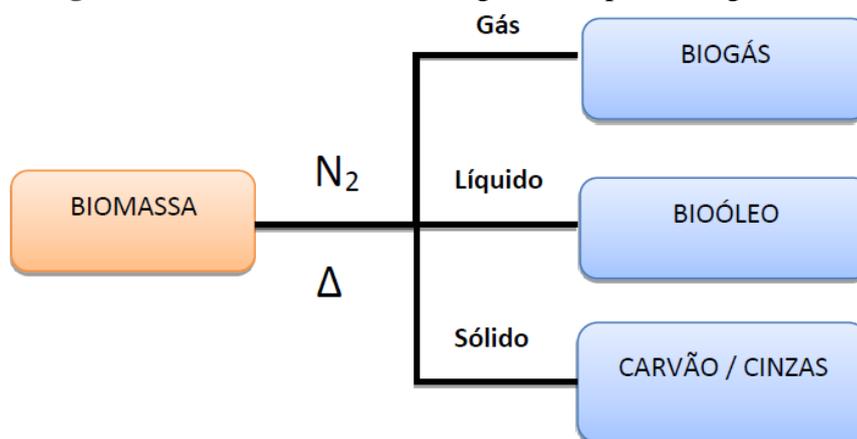
O biogás consiste de uma mistura gasosa combustível, produzida pela digestão anaeróbia, o qual é resultado do processo fermentativo que visa remover a matéria orgânica, produção de biogás e biofertilizantes, usados na adubação de plantas agrícolas (ANDRADE et al., 2004). O biogás pode ser usado como combustível, pois, além do alto poder calorífico, não emite GEE durante a queima, portanto, surge como uma promissora alternativa para aproveitamento dos resíduos descartados (CORTEZ et al., 2009).

Cada fonte de matéria prima possui seu potencial para geração de biogás. Por exemplo, biomassa fibrosa, como a biomassa do coco, por possuírem baixa digestibilidade, apresentam baixo potencial para produção de biogás. Já fontes ricas em amidos, proteínas, celulose e carboidratos, possuem alto potencial para produção de biogás (GUARNIERI, 2016).

3.7. Pirólise

A pirólise é uma tecnologia de termoconversão da biomassa vegetal, ou seja, consiste na degradação dos materiais orgânicos na ausência parcial ou total de um agente oxidante, através de uma programação de tempo, com temperatura e atmosfera controlada, em ambiente com pouco ou nenhum oxigênio, alterando a composição do produto pela ação do calor (PAZ et al., 2017). A pirólise ocorre em altas temperaturas ($400\text{ }^\circ\text{C}$), até o início do sistema de gaseificação (GOMES, 2010). No processo da pirólise são produzidos três produtos principais (Figura 9), biocarvão (sólido), bioóleo (líquido) e biogás (gasoso) (ANDRADE et al., 2017).

Figura 9. Pirólise de biomassa vegetal e os produtos gerados.



Fonte: Paz et al. (2017).

O rendimento e propriedades dos produtos formados pelo processo de pirólise são afetados pelos tipos de reatores de pirólise, os parâmetros de reação (temperatura, tempo de residência) características da biomassa utilizada (tamanho de partícula, forma e estrutura) (CORTEZ et al., 2009). Contudo, a temperatura é a variável que mais influencia na conversão de biomassa, pois determina a distribuição dos produtos através da decomposição dos resíduos agrícolas, urbanos e industrial, transformando resíduos sólidos em combustíveis.

A pirólise é uma alternativa em potencial para agregar valor aos resíduos orgânicos que atualmente são descartados através da produção de energia. Sendo que as características químicas e físicas da biomassa utilizada afetam a qualidade e o rendimento dos produtos da pirólise (CUNHA et al., 2017). A temperatura e o tempo de residência dos vapores determinam as concentrações de cada fase dos produtos da pirólise, onde, direcionam o processo de acordo com o produto que se deseja produzir (BRIDGWATER, 2004). Baixas temperaturas e longo tempo de residência dos vapores favorecem a produção de combustíveis sólidos, já altas temperaturas e curto tempo de residência dos gases promovem a produção de combustíveis líquidos (bioóleo), como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1. Rendimento da Pirólise em função das condições operacionais.

Tempo de resistência dos vapores	Temperatura Ciclo	°C	Granulometria Mm	Tempo S	Líquidos %	Sólidos %	Gases %
Curto	Alto	450-550	Baixa	<2	75	12	13
Longo	Muito alto	900		Longo	5	10	85
Muito longo	Baixo	400-450	Grande	Médio	30	35	35

Fonte: Bridgwater (2004)

Durante o processo da pirólise ocorre à quebra de ligações carbono-carbono, passando a ocorrer à formação de ligações carbono-oxigênio. Ou seja, nesse processo ocorrem as fases de oxidação e redução, sendo que parte do material orgânico é reduzida a carbono e a outra é oxidada e hidrolisada, formando compostos fenólicos, carboidratos, álcoois, aldeídos, cetonas e ácidos carboxílicos (FIGUEIREDO, 2011).

Existem três processos de pirólise, sendo eles, pirólise lenta, rápida e ultrarrápida. A pirólise lenta potencializa a produção de produtos sólidos (biocarvão), enquanto a pirólise rápida visa à produção de produtos gasosos e líquidos (biogás e bioóleo). Já a pirólise ultrarrápida, é considerada um processo independente dos citados anteriormente, mesmo sendo uma conversão térmica, no entanto, ocorre em temperaturas muito altas (850-900 °C). Esse processo tem como características longos tempos de residência, elevadas taxas de aquecimento e resíduos orgânicos com baixa granulometria (PAZ et al., 2017).

O reator é o principal equipamento de uma usina de pirólise, onde, os dois principais tipos de reatores são o de leitos fixo e fluidizado. As principais tecnologias de reatores para pirólise rápida são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Tecnologia de reatores para pirólise.

Reatores	Característica
Leito Fluidizado Borbulhante	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnologia mais utilizada. • O bioóleo é coletado por meio de resfriamento rápido. • Os gases da pirólise são queimados e o calor liberado para secagem da matéria prima.
Leito Fluidizado Circulante	<ul style="list-style-type: none"> • As partículas sólidas entram na coluna principal, onde encontram um fluxo ascendente que as transporta em direção ao ciclone. • Partículas são separadas da coluna de gás, ficam circulando até atingir um diâmetro inferior ao diâmetro de corte.
Pirólise Ablativa	<ul style="list-style-type: none"> • A biomassa é prensada na superfície aquecida do reator por meio de um prato rotativo.
Cone Rotativo	<ul style="list-style-type: none"> • Este tipo de reator utiliza dois tipos de leitos fluidos. • O 1º leito fica no interior do leito cônico. • O 2º leito fluido encontra-se ao redor do cone rotativo.
Reatores Vórtice	<ul style="list-style-type: none"> • Pequenas partículas são forçadas, por meio de uma corrente de vapor a elevada velocidade.
Reator a Vácuo	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliza sal fundido como meio de aquecimento para rápida remoção de voláteis.

Fonte: Cortez et al. (2009).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local do experimento

O experimento foi realizado no laboratório de análises da Qualitex Engenharia e no LASSOP - Laboratório de Sistemas de Separação e Otimização de Processos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Alagoas - UFAL.

Foram avaliadas as características da biomassa dos resíduos da cocoicultura, por ensaios físico-químicos os parâmetros: pH, sólidos, cinzas, umidade, densidade aparente, poder calorífico superior, carbono, nitrogênio, hidrogênio, enxofre, cálcio, manganês, zinco.

No bioóleo, produto da pirólise foram analisados os parâmetros umidade, densidade, oxigênio, carbono, hidrogênio, pH, PCS, sólidos e viscosidade.

As análises foram norteadas por requisitos gerais para competência, imparcialidade e operação consistente de laboratórios de ensaio e calibração, conforme ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017, bem como, com os requisitos ISO-9001:2015, ISO-14001:2015.

As unidades adotadas seguiram o quadro Geral de Unidades de Medida do Brasil, normatizado pelo INMETRO, através da Portaria nº 590, de 02 de dezembro de 2013.

4.2. Análises e variáveis analisadas

O pH, umidade e cinzas foram analisados pelo método, Standard Methods for Examination of Water and WasterWater, F 23TH edition, Washington, DC: APHA, 2^a estufa a 103012. Os Metais foram analisados pela metodologia, USEPA – United States Environmental Protection Agency – USEPA 6010 C rev. 03:2007.

4.2.1. pH

O pH foi medido eletronicamente através do eletrodo combinado de vidro/calomelano, a medição consiste em uma escala de 0-14 demonstrando assim o poder de acidez ou alcalinidade de uma amostra, (APHA, 2017).

4.2.2. Sólidos e Cinzas

Para essas análises foi usado o método gravimétrico, baseado na quantificação por diferença de pesagens. Uma alíquota da amostra foi transferida para uma cápsula de porcelana e levada ao “banho-maria” até evaporação total da água. O resíduo final foi seco por 1 h a 105 °C, depois de resfriado foi pesado, fornecendo o valor de Sólidos Totais (ST). O resíduo seco

foi calcinado a 550 +/- 50 °C por 1h. A perda de peso fornece os Sólidos Voláteis (SV) e Sólidos Fixos (SF) que é dado pelo resíduo que permanece na cápsula (APHA, 2017).

4.2.3. Umidade

É a quantidade de água contida na biomassa. Define a escolha da tecnologia de tratamento e os equipamentos de coleta. Altera o poder calorífico, densidade, viscosidade e velocidade de decomposição térmica. Essa análise foi realizada por diferença de pesos de amostra submetida temperatura à 100 °C por tempo necessário até completa evaporação. Esse valor corresponde à perda de água e voláteis NBR 6457, Amostras de solo-preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização.

A Norma ABNT NBR 8293/1983, normatiza este procedimento de análise.

4.2.4. Lignina Insolúvel

Para a análise de lignina insolúvel foram utilizadas amostras de 2 g de matéria-prima, pesadas com precisão de 0,1 mg foram transferidas para béqueres de 100 mL e tratadas com 10 mL de H₂SO₄ 72% v/v, sob vigorosa agitação, em um banho termostatizado a 45 °C por 7 min. As amostras foram transferidas quantitativamente para frascos erlenmeyers de 500 mL, adicionando-se o volume de 275 mL de água destilada. Os erlenmeyers foram fechados com papel alumínio e auto clavados por 30 min a 121°C. Após a descompressão da autoclave, os frascos foram retirados e resfriados à temperatura ambiente, sendo a fração sólida separada da fração líquida por filtração em papel de filtro qualitativo. A fração líquida foi transferida para balão volumétrico de 500 mL, o qual teve o seu volume posteriormente completado com água destilada.

A lignina insolúvel foi determinada de acordo com o método Klason modificado por Gouveia et al. (2009). O material retido no papel de filtro foi lavado com 1.500 mL de água destilada, transferido para pesa-filtros para secagem em estufa a 100 °C até massa constante. A percentagem de lignina insolúvel foi calculada em relação à massa de amostra seca conforme:

$$\%L_{Ki} = \frac{M_K - M_C}{M_A} * 100$$

Onde: LKi - Lignina Klason insolúvel; Mk - massa de lignina insolúvel seca; MC - massa de cinzas; MA - massa da amostra seca.

4.2.5. Metais

Os metais foram determinados pelo método da espectrofotometria de absorção atômica. Por esta técnica, o elemento a determinar é levado à condição de dispersão atômica gasosa através da qual se faz passar o feixe de radiação de uma fonte apropriada. O processo consiste em introduzir a solução da amostra, na forma de um aerossol, em uma chama apropriada. A chama cumpre a função da célula de absorciometria convencional (técnica de análise físico-química de elementos através da absorção da luz pelas moléculas de íons).

A Norma USEPA 6010 C normatiza o procedimento de análise.

4.2.6. Densidade 20/4 °C

A densidade é uma importante propriedade pois está diretamente ligada ao teor energético total contido em uma determinada massa ou volume do combustível. Também, é utilizada como fator de transformação de volume em massa ou vice-versa para cálculos de quantidades para estocagem e suprimento.

A determinação da densidade do óleo ocorreu em um densitômetro digital, onde foi injetado com o auxílio de uma seringa 0,7 mL da amostra em aparelho calibrado e ajustado para 20 ° C.

A Norma ASTM D-4052 normatiza o procedimento de análises.

4.2.7. Poder calorífico

A análise de poder calorífico foi realizada com o calorímetro IKA C-200, que permite determinar a quantidade de calor liberada pela combustão da biomassa com oxigênio.

Este equipamento consiste em um sistema de ignição com oxigênio 99,95% e pressão de 30 bar.

Nessas análises foram aplicados os princípios da calorimetria e das propriedades envolvidas nas trocas de calor.

Define-se a análise como a quantidade de energia na forma de calor liberada pela combustão de uma unidade de massa do material ou ainda como a quantidade de energia por unidade de massa ou de volume liberada na oxidação de um determinado combustível.

Os princípios da calorimetria e das propriedades envolvidas nas trocas de calor, são: transformações inversas, equilíbrio térmico, igualdade das trocas de calor e conservação de energia.

No Sistema Internacional o poder calorífico é expresso em Joules por grama ou quilo Joules por quilograma, sendo ainda, expresso em calorias por grama ou quilocalorias por quilograma, segundo BRIANE & DOAT (1985).

O poder calorífico influencia o dimensionamento das instalações de todos os processos térmicos de incineração, gaseificação, combustão e pirólise.

O poder calorífico divide-se em poder calorífico superior e poder calorífico inferior.

O poder calorífico superior (PCS) é aquele em que a combustão se efetua a volume constante e no qual a água formada durante a combustão é condensada e o calor que é derivado desta condensação é recuperado, sendo obtido pela soma da energia liberada na forma de calor e a energia gasta na vaporização da água se forma numa reação de oxidação.

Enquanto, o poder calorífico inferior (PCI) é a energia efetivamente disponível por unidade de massa de combustível após deduzir as perdas com a evaporação da água (JARA, 1989), sendo obtido apenas energia liberada na forma de calor,

A Norma ABNT NBR 8633/84, normatiza o procedimento de análise.

4.2.8. Carbono, Hidrogênio, Nitrogênio e Enxofre

Essas análises ocorreram por meio da análise elementar, com o auxílio dos equipamentos Leco Truspec CHN, que detecta carbono e hidrogênio na forma de CO₂ e H₂O, respectivamente, enquanto o equipamento SC-432, detecta enxofre através de células de Infravermelho e nitrogênio sob a forma de N₂ por células de condutividade térmica.

A Norma ASTM, D 5373-93, Standard Test Methods for Instrumental determination of carbon, hydrogen and nitrogen in Laboratory Samples of coal and coke.

A Norma ASTM, D 4239-97, Standard Test Methods for Sulfur in the Analysis Sample of coal and coke using high temperature tube furnace combustion Methods, (1997).

4.2.9. Cálcio, Manganês, Zinco

Este método descreve determinações multielementares por ICP-AES usando sequencial ou sistemas ópticos simultâneos e axial ou visão radial do plasma. O instrumento mede espectros de emissão característicos por espectrometria óptica. As amostras são nebulizadas e o aerossol resultante é transportado para o maçarico de plasma. Espectros de emissão específicos de elementos são produzidos por uma rádio - frequência com plasma indutivamente acoplado. Os espectros são dispersos e as intensidades das linhas de emissão são monitoradas por dispositivos fotossensíveis.

A Norma USEPA 6010 C normatiza o procedimento de análise.

4.2.10. Cloretos

Este método descreve as etapas de preparação amostra necessárias para determinar o cloro total em resíduos sólidos, óleos e combustíveis por oxidação e titulação solução de bombas calorimétricas ou cromatografia iônica.

A amostra é oxidada por combustão em uma bomba contendo oxigênio sob pressão.

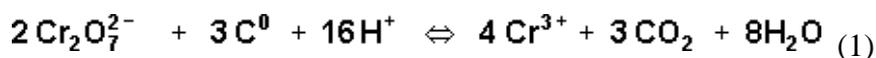
Os compostos de halogênio liberados são absorvidos em uma solução de carbonato/bicarbonato de sódio. Aproximadamente 30 a 40 minutos são necessários para preparar uma amostra por este método.

A solução de combustão da bomba pode então ser analisada utilizando água ajustada para pH 8,3, titulada com solução de nitrato de prata na presença de indicador de cromato de potássio. O ponto final é indicado por persistência da cor laranja-prata do cromato.

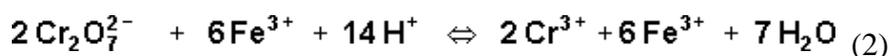
As Normas USEPA 5050, Bomb Preparation Method for Solid Waste e USEPA 9253, Chloride (Titrimetric, Silver Nitrate) normatiza o procedimento desta análise.

4.2.11. COT

Neste método o C do solo é oxidado por uma solução oxidante. Assumindo-se que todo o C do solo esteja em um estado de oxidação zero (C⁰), o que não é verdadeiro. O método de uso mais difundido é o de Walkley - Black, que utiliza o dicromato (Cr₂O₇²⁻) (Cr VI) em meio ácido como oxidante. Assume-se que a reação de oxidação seja:



A dosagem é feita por meio da titulação do dicromato remanescente da oxidação, quando este é colocado em excesso. A titulação do dicromato é feita com uma solução de ferro reduzido (FeSO₄ 7H₂O) em meio ácido, empregando-se como indicador difenilamina ou ferroin, conforme a reação:



Este método pode sofrer influência de elementos que podem ser facilmente oxidados, como o Cl⁻ e o Fe²⁺, causando superestimação ou facilmente reduzidos como MnO₂, que causam subestimação. No entanto, em solos oxidados estas interferências não são apreciáveis. Além disso, carbonato e bicarbonato não interferem.

4.2.12. Ponto de Fulgor

Aparelho de vaso fechado Pinsky-Martens (manual) permite que o vapor acima da amostra de ensaio e a amostra estejam com aproximadamente a mesma temperatura.

A temperatura do ponto de fulgor é uma medida de tendência da amostra para formar uma mistura inflamável com ar, sob condições controladas, em laboratório. Esta é apenas uma de várias propriedades que devem ser consideradas na determinação do risco de inflamabilidade de um material.

A Norma ASTM D-3941, normatiza o procedimento de análise.

4.3 Teste de Pirólise

Para realização do teste de pirólise, foi coletado amostras do resíduo do coco presente no resíduo urbano (Figura 10). O resíduo foi triturado para caracterização da biomassa no laboratório da Qualitex (Figuras 11, 12 e 13).

Figura 10. Coleta de amostras do coco.



Fonte: Autor (2018)

F'onte: Autor (2018).

Figura 11. Amostras do coco.



Fonte: Autor (2018)

F'onte: Autor (2018).

Figura 12. Amostras do coco fragmentada.



F'onte: Autor (2018).

Figura 13. Amostras do coco fracionada.



Fonte: Autor (2018)

Na Tabela 3 encontram-se as características técnicas do conjunto de equipamentos usados durante o processo da pirólise (Figura 14).

Tabela 3. Características técnicas dos equipamentos.

Equipamentos	Descrição
Forno Jung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Forno tubular Jung, modelo 6.2010, temperatura de 1.000 °C, potência 2,5 kW, com acionamento das resistências por relê de estado sólido, distribuição uniforme de calor e controle de temperatura e tempo.
Reator	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Reator tubular em aço carbono com as dimensões: Ø externo 86 mm, Ø interno 77 mm, Ø base 74 mm, # 4 mm, Ht 507 mm, Hb 190 mm e volume de 1.500 mL.
Condensador Allihn	<ul style="list-style-type: none"> ▪ O condensador é uma vidraria de laboratório que condensa os vapores gerados pelo aquecimento de líquidos em processos de destilação simples. No Condensador de Bolas Allihn a água circula externamente e o vapor internamente nas bolas do condensador, escorrendo e sendo recolhido na parte inferior.
Banho Termostático	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Banho termostaticado, modelo TE-184, marca Tecnal, utilizado para otimizar a condensação.
Kitasato	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Frasco Kitasato, é constituído de um vidro espesso e um orifício lateral.
Bomba de vácuo	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bomba de vácuo, compressor/aspirador, marca Fanem, com manômetro indicador de 2,11 kg/cm² e fluxo máximo de 24 L/min e vácuo máximo de 22 pol Hg.

Fonte: Autor (2018).

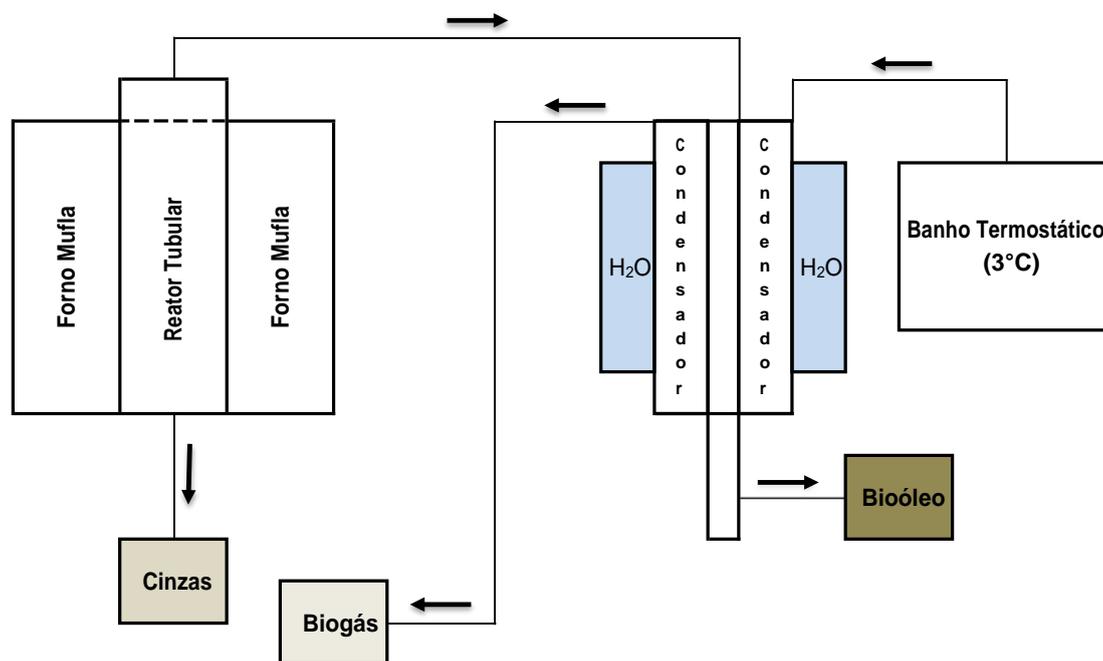
Figura 14. Conjunto de Equipamento.



Fonte: Autor (2018).

A Figura 15 apresenta o fluxo do processo de pirólise LASSOP através de desenho esquemático.

Figura 15. Desenho Esquemático.



Fonte: Autor (2018).

Após caracterização físico-química, da biomassa do coco seco, amostras foram encaminhadas para teste de pirólise no LASSOP - UFAL.

As condições operacionais, como: temperatura do reator de pirólise, temperatura do banho de resfriamento, gradiente de aquecimento, tempo de residência e tamanho das frações da matéria prima foram definidas para melhor determinação da experiência, com base referenciada na Tabela 1, e proposto por Bridgwater.

Sabe-se que todos os processos de transformação temperatura-tempo, ocorre uma velocidade de reação química influenciada por diferentes fatores.

Em geral, a velocidade de uma reação depende da característica da matéria prima, dos reagentes e das condições operacionais.

Toda cinética química segue princípios definidos por Vant´Hoff e Arrhenius, que define que a velocidade de uma reação é proporcional ao número de moléculas ativadas.

Nas etapas elementares de uma reação química são observadas diretamente por técnicas muito rápidas onde uma perturbação calor, fóton de um sistema em equilíbrio provoca uma mudança na concentração das espécies reagentes.

É importante considerarmos que quando criamos base para comparação da ordem experimental e da ordem teórica, mesmo sendo diferentes, esta comparação fornece informações sobre o mecanismo de reação.

Vale salientar que uma reação química se realiza em uma ou mais etapas. A cada etapa algumas ligações se rompem e outras se formam.

Neste mecanismo temos reagentes, energia potencial, estado de transição, energia de ativação produto primário (se a reação ocorre em uma etapa ou intermediários (se a reação ocorre em várias etapas).

Faz-se necessário dispormos de informações sobre a geometria dos produtos da reação, interpretação da influência dos parâmetros como temperatura, tempo, pressão e demais condições que favoreça os cálculos teóricos.

4.4 Viabilidade Econômica

O mercado de energia da biomassa é pavimentado por incertezas que requer, além da viabilidade ambiental e social, respostas para os aspectos da sustentabilidade econômica. Assim, é necessário conhecer por simulações a viabilidade econômica de sua aplicação, tais como:

- A oferta da biomassa residual da cocoicultura é suficiente para a viabilidade comercial da produção de energia?
- A logística de coleta e transporte é economicamente viável?
- A tecnologia viável em escala piloto consegue atender em escala comercial?
- Os custos fixos e variáveis suportam os investimentos?
- Existem linhas de créditos que apóiem o investimento em produção de pequena, média e grande escala?

Para o estudo de viabilidade econômica, foi utilizado os métodos de valor presente líquido (VPL), a taxa interna de retorno, o payback simples e payback descontado, para compreender, calcular, interpretar e avaliar o papel destas técnicas na avaliação do processo de orçamento de capital, conforme (Gitman, 2004).

Foi feita estimativas de investimento para cálculo do valor do dinheiro no tempo, considerações sobre risco e retorno e conceitos de avaliação de investimentos compatíveis com a proposta do empreendimento.

Todas estas técnicas descontam, de uma maneira ou de outra os fluxos de caixa da empresa a uma taxa estimada.

O valor presente líquido (VPL), foi obtido subtraindo-se o investimento inicial do projeto FC_0 do valor presente de suas entradas de caixa FC_t , descontada a uma taxa igual ao custo de capital da empresa (k).

VPL = Valor presente das entradas de caixa – investimento inicial.

$$\begin{aligned} \text{VPL} &= \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+k)^t} - FC_0 \\ &= \sum_{t=1}^n (FC_t \times FVP_{k,t}) - FC_0 \end{aligned}$$

Nesta simulação o cálculo de VPL, apresentou valor maior que R\$ 0,00 (zero) indicando que o projeto deverá ser aceito, pois a empresa obterá retorno superior ao seu custo de capital.

A taxa interna de retorno (TIR), é uma taxa de desconto que iguala o VPL de uma oportunidade de investimento, pois o valor presente das entradas de caixa se iguala ao investimento inicial.

A TIR é o valor de k na equação VPL, fazendo com que o mesmo se iguale a R\$ 0,00 (zero).

Na estimativa desta pesquisa, a TIR foi maior que o custo de capital, e deve-se aceitar o projeto, pois estes critérios garantem retorno do investimento.

Para compreender as diferenças entre as técnicas VPL e na TIR é necessário examinar os perfis de valor presente líquido, a existência de conflitos e discutir a melhor análise.

Abaixo, equação para cálculo da TIR.

$$\begin{aligned} \$ 0 &= \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} - FC_0 \\ \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} &= FC_0 \end{aligned}$$

O payback, trata do tempo necessário para que a empresa recupere o seu investimento inicial no projeto, pelo cálculo das entradas de caixa.

Como o período de payback foi menor que o período máximo aceitável de recuperação, consideramos viável o projeto. Este tempo é subjetivo e determinado pelo empreendimento, sendo um número percebido que tratará ganhos econômicos e financeiros.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Caracterização da biomassa

Para as propriedades da matéria prima do coco, o pH não apresentou muita variação entre mesocarpo (5,9) e endocarpo (5,8) (Tabela 4). Porém, para a umidade, o mesocarpo variou de 3,3% para 7% no endocarpo, estes valores referentes à umidade, são inferiores aos encontrados por Figueiredo (2011), analisando a pirólise termoquímica de pós da fibra de coco seco (9,2%), o referido autor ainda afirma que, a umidade equivale à quantidade de água existente na biomassa, sendo assim, a umidade reduz a quantidade de energia global produzida depois da combustão. Para Almeida (2008) menos de 10% de umidade na biomassa é ideal para a transformação da biomassa em processos termoquímicos como, por exemplo, a pirólise.

Tabela 4. Propriedades da Matéria Prima para o mesocarpo e endocarpo.

Variáveis	Unidade	Resultados	
		Mesocarpo	Endocarpo
pH	-	5,91	5,79
Umidade	%	3,31	7,04
Condutividade	$\mu\text{S cm}^{-1}$	3.350	185
Densidade	g mL^{-1}	0,0591	0,3741
COT	%	35,84	56,87
Cinzas	%	1,10	4,96
Lignina	%	40,18	36,26
PCS	MJ kg^{-1}	17,466	19,401
PCI	MJ kg^{-1}	17,177	19,112

COT- Carbono Orgânico Total; PCS- Poder Calorífico Superior; PCI- Poder Calorífico Inferior.

Fonte: Autor (2018).

Para a densidade foi verificado valores de 0,06 e 0,37 g mL^{-1} para o mesocarpo e endocarpo, respectivamente. Lembrando que a densidade é uma relação entre massa e o volume da amostra, o que explica a diferença na amplitude dos valores. Figueiredo (2011) encontrou uma densidade de 0,22 g mL^{-1} para uma massa 4,44 g e volume de 20 mL com a fibra do coco. O Carbono orgânico total (COT) do mesocarpo apresentou 35,84% enquanto do endocarpo 56,87%. As cinzas é uma variável importante para o processo da pirólise, para esta variável o mesocarpo apresentou 1,10% e o endocarpo 4,96%. Estes resultados estão próximos aos encontrados por Figueiredo (2011) (1,76%) e Tsai et al. (2006) (3,38%) ambos

avaliando a fibra do coco, os autores justificaram seus valores ao fato das cinzas está relacionada com a presença de substâncias minerais como cálcio, potássio, fósforo, ferro e outros encontrados principalmente no mesocarpo. Jenkins (1990) encontrou em seu trabalho valor de 10,25% para teor de cinzas da casca do coco. Schurhaus (2007) avaliando o teor de cinzas para a casca de coco constatou valor de 8,25%. Vale et al. (2004) afirmam que quanto maior o teor de cinzas, pior será a biomassa para a produção biocombustíveis e suas aplicações.

A lignina juntamente com a hemicelulose e a celulose são os três componentes principais da biomassa vegetal (MCKENDRY, 2002), para esta variável o mesocarpo do coco apresentou 40,18% e o endocarpo 36,26%, estes valores são ratificados por Corradini et al. (2009), onde afirmam que a fibra da casca do coco é constituída em média por 40% de lignina. Porém, para Silveira (2008), esta composição química da fibra do coco pode variar de acordo com a região de cultivo. Conforme estudo de Azevedo et al., (2008) o resíduo da casca do coco pode apresentar teor lignina de até 45,84%.

Para os valores do mesocarpo o PCS ($17,46 \text{ MJ kg}^{-1}$) e PCI ($17,17 \text{ MJ kg}^{-1}$) aferidos nesta pesquisa foram bastante semelhantes, mesma tendência para o endocarpo PCS ($19,40 \text{ MJ kg}^{-1}$) e PCI ($19,11 \text{ MJ kg}^{-1}$). Estes valores de PCS corroboram aos encontrados por Sulaiman et al. (2017) ($19,43 \text{ MJ kg}^{-1}$). Estes resultados são superiores aos encontrados por Marcelino (2017), que encontrou PCS para o chip da casca de coco de $15,11 \text{ MJ kg}^{-1}$ e Figueiredo (2011) aferindo $16,24 \text{ MJ kg}^{-1}$, avaliando a fibra do coco. Tsamba et al. (2006) obteve valor um pouco superior de $20,51 \text{ MJ kg}^{-1}$. Quanto ao PCI, o valor encontrado nesta pesquisa foi superior ao encontrado por Marcelino (2017) $13,90 \text{ MJ kg}^{-1}$, e inferior ao valor encontrado por Schurhaus (2007), que observou para a casca do coco um PCI de 19 MJ kg^{-1} . De acordo com Vieira (2012), a diferença entre PCI e PCS está na quantidade de água presente no combustível, ou seja, no calor necessário para vaporizar a água.

5.2. Condições do processo

No presente trabalho a amostra da massa do coco seco do mesocarpo foi de 188,70 g (61% da amostra), enquanto a amostra para o endocarpo foi de 118 g (39% da amostra), conforme Tabela 6. Na Tabela 5, estão apresentadas as condições do processo da pirólise do mesocarpo e endocarpo do coco, para obtenção de biocarvão, bioóleo e biogás a 400 e 600 °C.

Tabela 5. Condições de Processo da pirólise e rendimento na produção de Biocarvão, Bioóleo e Biogás.

Processo	Amostra	Temperatura-°C		TA °C	TR min	Dimensão mm	Rendimento - %					
		Pirólise	BR				Mesocarpo			Endocarpo		
							Bioóleo	Biocarvão	Biogás	Bioóleo	Biocarvão	Biogás
Pirólise	1	400	3	50	120	>30<40	22,82	50,23	26,95	47,49	36,56	15,95
	2						33,52	39,11	27,37	50,64	29,20	20,16
	Média						28,17	44,67	27,16	49,07	32,88	18,06
	Desvio Padrão						7,57	7,86	0,30	2,23	5,20	2,98
	Erro Padrão						5,35	5,56	0,21	1,58	3,68	2,10
	1	600	3	50	120	>30<40	35,20	32,87	31,93	54,76	26,71	18,53
	2						31,53	34,35	34,12	58,00	26,76	15,24
	Média						33,37	33,61	33,03	56,38	26,74	16,89
	Desvio Padrão						2,60	1,05	1,55	2,29	0,04	2,33
	Erro padrão						1,84	0,74	1,10	1,62	0,03	1,65

Símbolos: TA - Taxa de Aquecimento TR - Tempo de Residência BR - Banho de Resfriamento

Fonte: Autor (2018).

Tabela 6. Características do processo de pirólise

Características de Processo	Mesocarpo	Endocarpo
Massa da amostra – g	85	500
Volume útil do Reator - cm ³	1.665	1.665
Densidade - g/cm ³	0,05	0,30
Massa do coco – g	188,70	118,60
Fração - %	61%	39%

Fonte: Autor (2018).

No processo da pirólise, o mesocarpo a 400 °C apresentou valores médios de 44,67, 28,17 e 27,13% para o biocarvão, bioóleo e biogás, respectivamente. Ao elevar a temperatura para 600 °C foi observado uma diminuição de 11,06% para o biocarvão, enquanto o bioóleo e o biogás apresentaram acréscimos de 5,2 e 5,8%, respectivamente. Para o endocarpo, o biocarvão, bioóleo e o biogás apresentaram valores na ordem de 32,88%, 49,07% e 18,06%, em média, respectivamente. Tendências semelhantes ao mesocarpo foram observadas a 600 °C, com exceção para o biogás que apresentou diminuição de 1,2%, o biocarvão diminuiu 6,14% e o bioóleo apresentou acréscimos de 7,3%. Andrade et al. (2004) ratificam que para a maior produtividade e qualidade do carvão vegetal a partir da fibra do coco, deve-se optar pelo o endocarpo do coco maduro e inteiro a temperatura máxima de 450 °C. Paz et al. (2016) comprovaram em seus estudos a viabilidade do uso do carvão obtido por pirólise da fibra de coco, como bioadsorvente de poluentes em solução aquosa e tratamento de efluentes. Mohamed et al. (2015) analisaram e comprovaram excelentes resultados para a produção de carvão ativado por meio de hidróxido de potássio e tratado quimicamente com amônia, a partir de fibras da casca de coco. De acordo com Campos (2008) o rendimento do carvão pode ser influenciado por diversos fatores entre eles, a própria constituição da biomassa, devido a variações entre espécies dentro de uma mesma espécie.

Para Rocha (2008) o bioóleo obtido de forma rápida através da pirólise de biomassa é uma etapa de transformação da biomassa sólida e de baixa densidade em um combustível intermediário no estado líquido. Tsai et al. (2006) realizaram a pirólise rápida utilizando biomassa de casca de coco a 400-800 °C, temperatura de aquecimento de 100-500 °C/min e tempo de residência 1-8 min (na temperatura específica da pirólise).

Marcelino (2017) estudando a biomassa residual do coco para obtenção de energia e intermediários químicos via gaseificação: caracterização, modelagem e simulação, afirma que o biogás é obtido a partir de altas temperaturas. Abaixo dessas condições, a biomassa é completamente convertida em H₂ e CO, incluindo CO₂ e H₂O. O autor ainda afirma que este gás é quimicamente similar ao gás de síntese derivado de fontes fósseis. Pode ser também obtido através do craqueamento térmico ou processo catalítico. De acordo com Amutio et al. (2012) com o aumento da temperatura os constituintes orgânicos da biomassa são degradados, volatizados e originam produtos secundários, sendo que uma fração dos gases é condensada e uma quantia menor é liberada na atmosfera.

5.3. Caracterização dos subprodutos do processo

5.3.1 Bioóleo

Foram aferidas as variáveis pH, PCS e PCI do mesocarpo e endocarpo do coco nas temperaturas de 400 e 600 °C (Tabela 7). O pH aferido nesta pesquisa para o bioóleo na temperatura de 400 °C foi de 4,18 e 3,35 para o mesocarpo e endocarpo, respectivamente, valores semelhantes foram encontrados com a temperatura de 600 °C para o mesocarpo (4,03) e endocarpo (3,10), ambos os valores encontrados nas duas temperaturas foram superiores aos 2,5 encontrado por Bridgwater (2007), como produto líquido da pirólise de biomassa.

Para PCS do bioóleo, os valores encontrados foram de 24,299 e 26,034 MJ kg⁻¹ encontrados no mesocarpo nas temperaturas de 400 e 600 °C, respectivamente. Estes valores são superiores aos aferidos por Bridgwater (2007), que afirma ter encontrado 17 MJ kg⁻¹. O PCS do bioóleo estudado neste trabalho está acima do esperado para ter um bioóleo dentro das especificações (16-19 MJ kg⁻¹ – The Energy Efficiency and Conservation Authority, 2007), porém, estes valores são inferiores ao PCS do óleo diesel (43 MJ kg⁻¹), com isso, o bioóleo da biomassa do coco não pode substituir o óleo diesel, mas pode servir como um aditivo do mesmo.

O bioóleo analisado apresentou ponto de fulgor entre 40°C e 54°C sendo considerado líquido inflamável, conforme classificação da NR-20.

Tabela 7. Propriedades do Bioóleo.

Variáveis	Unidade	Mesocarpo	Endocarpo	Mesocarpo	Endocarpo
		T 400 °C		T 600 °C	
pH	-	4,18	3,35	4,03	3,10
Ponto de Fulgor	° C	40,00	41,00	54,00	49,00
PCS	MJ kg ⁻¹	24,299	27,472	26,034	27,386
PCI	MJ kg ⁻¹	24,010	27,183	25,745	27,097

Fonte: Autor (2018).

5.3.2 Biocarvão

A umidade do biocarvão foi analisada para o mesocarpo e o endocarpo, nas temperaturas de 400 e 600 °C (Tabela 8) e por esta variável, foi possível verificar uma redução superior a 100% de umidade do mesocarpo ao elevar a temperatura de 400 °C (5,8%) para 600 °C (2,7%), e uma redução de 2,65 °C de umidade do endocarpo quando submetido às mesmas condições térmicas. De acordo com Padilla et al. (2018) estudando o potencial

energético da casca de coco para uso na produção de carvão vegetal por meio da pirólise, o carvão oriundo da temperatura de 500 °C, apresentou a maior diferença de temperatura entre o início da perda de massa e a temperatura de seu preparo (94 °C), indicando estabilidade da matéria que compõe o carvão, o autor ainda explica que a diferença entre a temperatura de preparo dos carvões e a temperatura em que há início de perda de massa é um indicativo da sua estabilidade térmica em ambientes com escassez de oxigênio.

Os valores para o pH do mesocarpo (11,51 para 12,30) e endocarpo (11,90 para 12,57) foram alterados com o aumento da temperatura (400 para 600°C). De acordo com Andrade et al. (2016) o elevado pH dos biocarvões de biomassa torna esses materiais passíveis de serem usados como auxiliares na correção da acidez dos solos intemperizados das regiões tropicais.

Tabela 8. Propriedades do Biocarvão.

Variáveis	Unidade	Mesocarpo	Endocarpo	Mesocarpo	Endocarpo
		T 400 °C		T 600 °C	
Umidade	%	5,80	4,20	2,75	1,55
pH	-	11,51	11,90	12,30	12,57
Condutividade	$\mu\text{S cm}^{-1}$	1,21	1,30	1,42	1,48
Cinzas	%	9,70	2,90	9,61	3,38
Densidade	g L^{-1}	320	300	270	255
Cloretos	mg kg^{-1}	2.991,60	44,35	6.091,38	89,53
Fósforo	mg kg^{-1}	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002
PCS	MJ kg^{-1}	26,587	31,062	27,020	32,403
PCI	MJ kg^{-1}	26,298	30,773	26,731	32,114

Fonte: Autor (2018).

A condutividade do biocarvão no mesocarpo foi de 1,21 e 1,42 $\mu\text{S m}\mu^{-1}$ para as temperaturas de 400 e 600 °C, respectivamente. O endocarpo obteve 1,30 e 1,48 $\mu\text{S m}\mu^{-1}$ para 400 e 600 °C, respectivamente. Estes valores são inferiores aos encontrados por Schena (2015) estudando a fibra do coco, que foi de 1,8 $\mu\text{S m}\mu^{-1}$.

As cinzas produzidas com os biocarvões nesta pesquisa apresentaram valores satisfatórios para esta variável. O mesocarpo apresentou 9,70 e 9,61% para 400 e 600 °C, respectivamente. Enquanto o endocarpo apresentou 2,90 e 3,38% para 400 e 600 °C, respectivamente. Observa-se que no mesocarpo houve um decréscimo de 0,9% com o aumento da temperatura, enquanto no endocarpo ocorreu um acréscimo de 0,48% quando submetido ao aumento da temperatura. Para Bibar (2014) a fração de cinza dos biocarvões contém nutrientes que podem melhorar a fertilidade do solo, portanto, esperava-se que as

amostras que continham as maiores frações responderiam melhor quanto à disponibilidade de nutrientes no solo.

A densidade do biocarvão no mesocarpo apresentou uma redução de 50 g L^{-1} com o aumento da temperatura de 400 para 600 °C, e redução de 45 g L^{-1} para o endocarpo quando submetido as mesmas condições térmicas. Protásio (2014) afirma que a densidade é um importante parâmetro a ser avaliado, pois quanto maior a densidade maior será o estoque energético, ou seja, maior será a quantidade de energia por unidade de volume.

Para a quantidade cloretos as diferentes temperaturas (400 e 600 °C) apresentaram grandes diferenças para o mesocarpo ($3.099,78 \text{ mg kg}^{-1}$) e endocarpo ($45,48 \text{ mg kg}^{-1}$) quando elevadas a 600 °C. Tsai et al. (2006) explica que a temperatura final de pirólise é o parâmetro que mais influência no teor de cloretos.

A análise do fósforo do biocarvão não sofreu alterações tanto para o mesocarpo ($0,0002 \text{ mg kg}^{-1}$) quanto para o endocarpo ($0,0002 \text{ mg kg}^{-1}$) com o aumento da temperatura de pirólise. Para Schena (2015) o fósforo é um dos principais componentes minerais encontrados nos resíduos sólidos pirolisados, representando 0,02% em massa seca. Wu et al. (2011) ratifica que o fósforo do biocarvão pode está em algumas formas de fosfato ou de alguns compostos minerais complexos, sendo difícil de ser liberado após o processo de queima, dependendo do tipo da biomassa. Cao e Harris et al., (2010) verificaram uma redução dos teores de P solúvel em água com o aumento da temperatura de pirólise, devido ao aumento da cristalização do P com Ca e Mg.

Para o PCS os valores foram próximos o mesocarpo a 400 °C ($26,587 \text{ MJ kg}^{-1}$) e 600 °C ($27,020 \text{ MJ kg}^{-1}$), e endocarpo 31,062 para $32,403 \text{ MJ kg}^{-1}$, com o aumento da temperatura avaliada na pesquisa (400 e 600 °C, respectivamente), porém após a pirólise, os carvões produzidos apresentam incremento no PCS. Padilla et al. (2018) em seu estudo encontrou PCS $28,84 \text{ MJ kg}^{-1}$ e $29,59 \text{ MJ kg}^{-1}$ para as temperaturas de 300 e 500 °C, respectivamente, para a casca de coco. O PCI também obteve pequenas diferenças para o mesocarpo quando submetido ao aumento de temperatura de $26,26 \text{ MJ kg}^{-1}$ (400 °C) para $26,73 \text{ MJ kg}^{-1}$ (600 °C), maior diferença foi verificado para o endocarpo $30,77 \text{ MJ kg}^{-1}$ (400 °C) MJ kg^{-1} $32,11 \text{ MJ kg}^{-1}$ (600 °C).

5.3.3 Biogás

Na produção do biogás o PCS do mesocarpo do coco obteve um acréscimo de 95 MJ kg^{-1} com o aumento da temperatura de 400 para 600 °C e acréscimos de 49 MJ kg^{-1} para o

endocarpo nas mesmas condições térmicas (Tabela 9). Tendência semelhante ocorreu para o PCI com acréscimo de 87 MJ kg⁻¹ para o mesocarpo e 41 MJ kg⁻¹ para o endocarpo com o aumento da temperatura. Para Andrade et al. (2004) um maior rendimento em carvão resultará em menor rendimento em gases condensáveis, incondensáveis ou ambos. O mesmo autor ainda reporta que estudo dos rendimentos médios de gases condensáveis se mantiveram dentro dos patamares aceitáveis do ponto de vista técnico-científico. Porém oscilações foram decorrentes principalmente ao aumento gradativo da temperatura máxima de destilação e as oscilações nos rendimentos gravimétricos em carvão do material lignocelulósico. A temperatura máxima de destilação foi o principal parâmetro responsável pelos valores de rendimento e teores médios de matéria volátil dos carvões. Figueiredo (2007), afirma em seu estudo que a conversão energética do biogás pode ser uma solução para o grande volume de resíduos produzidos por atividades agrícolas e pecuárias, destilarias, tratamento de esgotos domésticos e aterros sanitários, já que reduz o potencial tóxico das emissões de metano ao mesmo tempo em que produz energia elétrica, acrescentando, desta forma, ganho ambiental e redução de custos.

É provável que a alta concentração de N₂ na composição do biogás apresentada na tabela 9 tenha sido originada pela sucção da bomba de vácuo.

Tabela 9. Propriedades do Biogás.

Parâmetros	Unidade	Mesocarpo	Endocarpo	Mesocarpo	Endocarpo
		T 400 °C		T 600 °C	
H ₂	%	0,778	0,805	0,720	1,140
CH ₄	%	2,866	3,794	1,455	14,620
CO ₂	%	0,701	<0,01	<0,1	1,529
N ₂	%	95,655	95,401	97,825	82,711
PCS	MJ kg ⁻¹	0,550	0,776	0,645	0,825
PCI	MJ kg ⁻¹	0,481	0,685	0,568	0,726

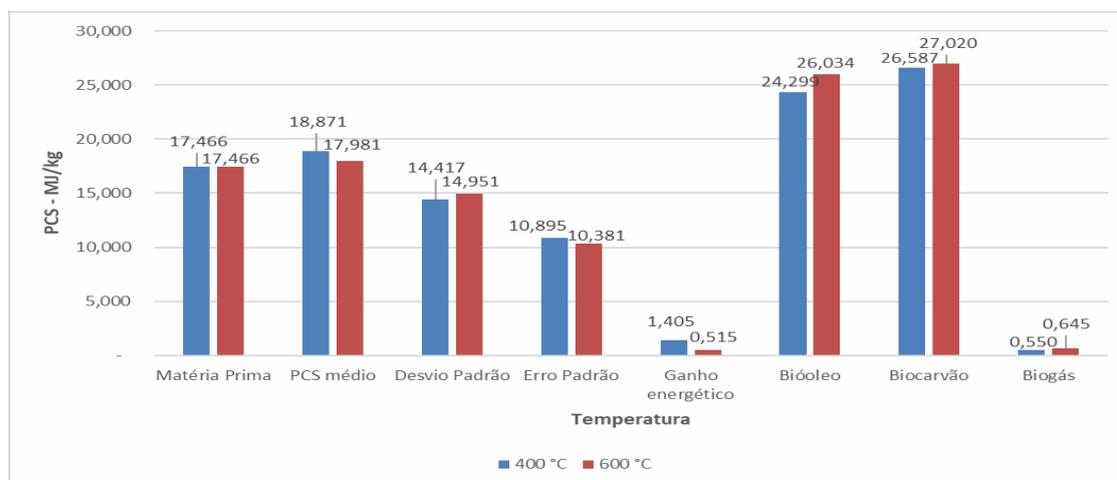
Fonte: Autor (2018).

5.4 Comparativo Energético da Matéria Prima e Produtos da Pirólise

Os resultados apresentados nas Figuras 16, 17, 18, 19, 20 e 21, retratam que o maior ganho energético foi com a pirólise do endocarpo do coco, na temperatura de 600 °C com PCS de 32,403 MJ/kg e média das frações de 24,242 MJ kg⁻¹, representando variação de 24,95% em relação ao PCS médio da matéria prima do endocarpo de 19,401 MJ kg⁻¹.

A figura 16 relaciona a temperatura versus o PCS da fração mesocarpo, sendo que o biocarvão obtido na temperatura de 600 °C, apresentou PCS de 27,020 MJ kg⁻¹.

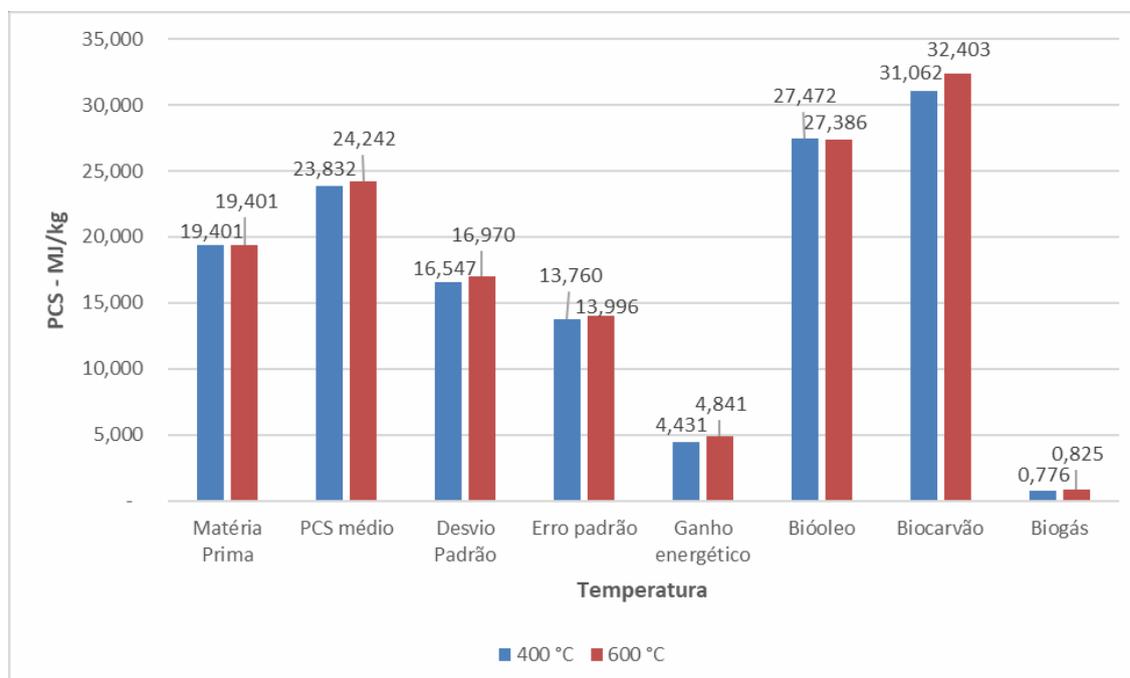
Figura 16. Mesocarpo - Temperatura versus Poder Calorífico Superior.



Fonte: Autor (2018).

A figura 17 relaciona a temperatura versus o PCS da fração endocarpo, sendo que o biocarvão obtido na temperatura de 600 °C, apresentou PCS de 32,403 MJ kg⁻¹.

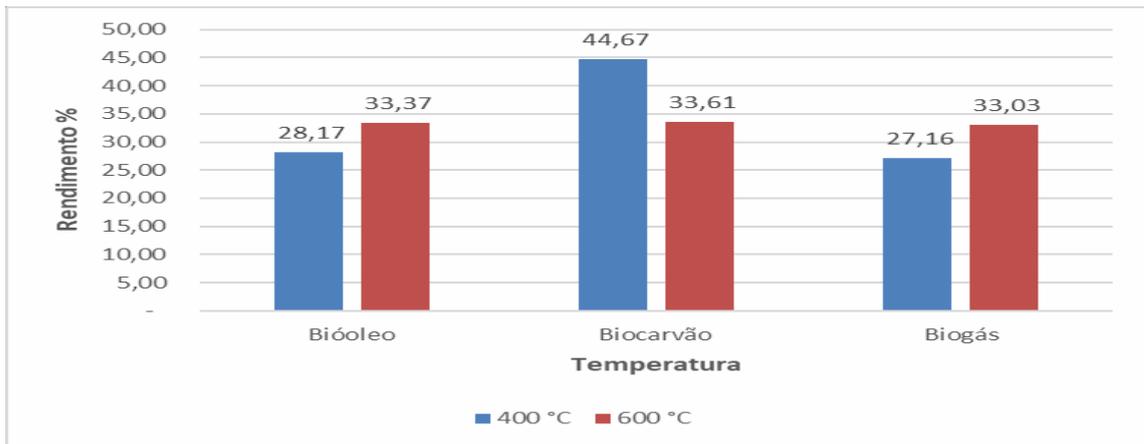
Figura 17. Endocarpo - Temperatura versus Poder Calorífico Superior



Fonte: Autor (2018).

A figura 18 relaciona a temperatura versus o rendimento da fração mesocarpo, sendo que o biocarvão obtido na temperatura de 400 °C, apresentou 44,67 % de rendimento.

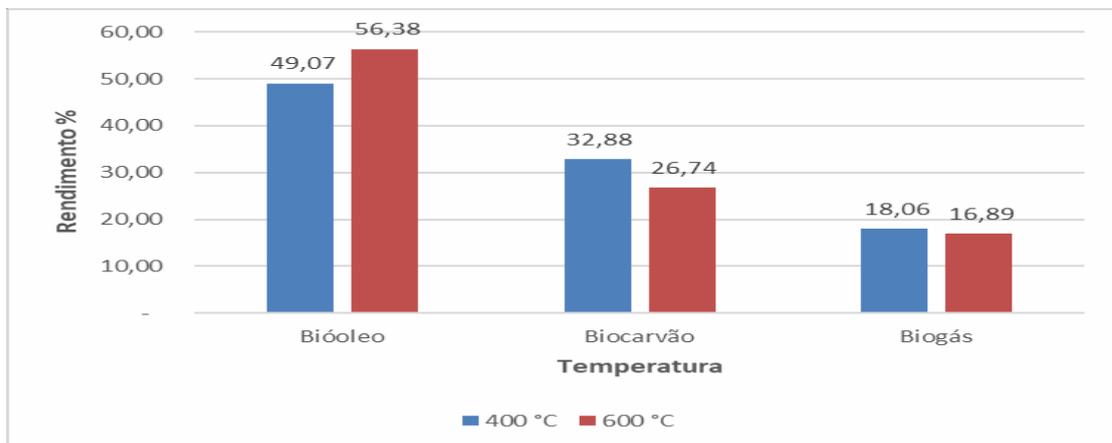
Figura 18. Mesocarpo – Temperatura versus Rendimento.



Fonte: Autor (2018).

A figura 19 relaciona a temperatura versus o rendimento da fração endocarpo, sendo que o bioóleo obtido na temperatura de 600 °C, apresentou 56,38 % de rendimento.

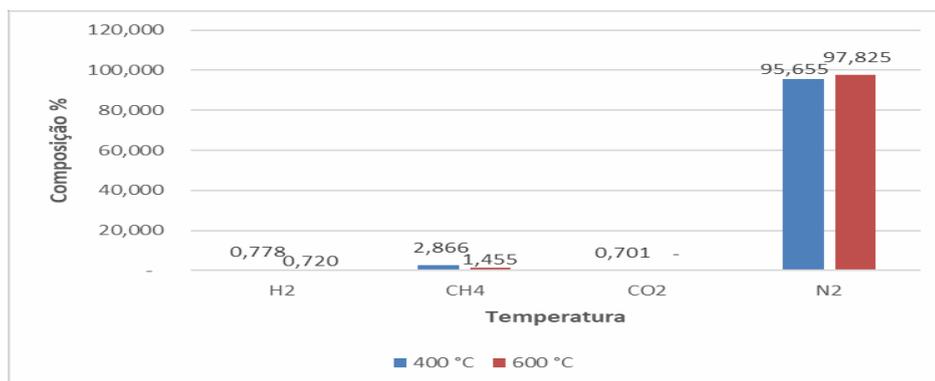
Figura 19. Endocarpo - Temperatura versus Rendimento.



Fonte: Autor (2018).

A figura 20 relaciona a temperatura versus a composição do biogás da fração mesocarpo, sendo que a alta concentração de N₂ nas temperaturas de 400 °C e 600 °C é provável que tenha sido originada pela sucção da bomba de vácuo.

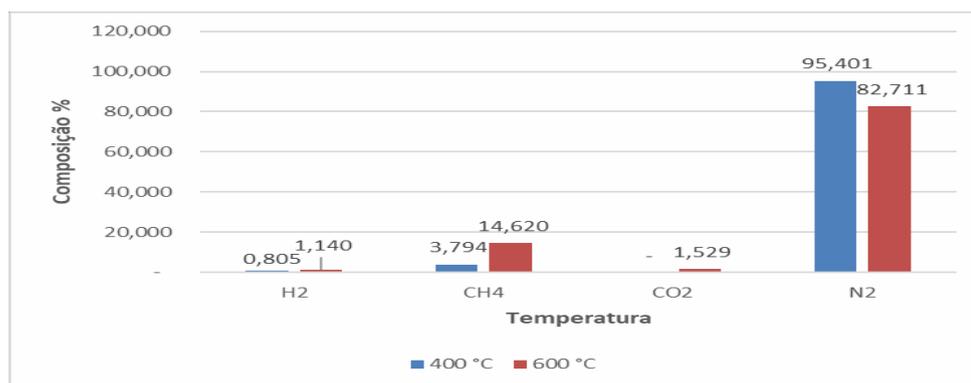
Figura 20. Mesocarpo -Temperatura versus Composição Biogás



Fonte: Autor (2018).

A figura 21 relaciona a temperatura versus a composição do biogás da fração endocarpo, onde observou-se a alta concentração de N₂ como ocorrido na fração Mesocarpo.

Figura 21. Endocarpo -Temperatura versus Composição Biogás



Fonte: Autor (2018).

5.5 Análise Econômica

Para fins de viabilidade econômica, consideramos para esta pesquisa, estimativa de frutos produzidos por ano conforme LSPA - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola, realizado pelo IBGE 2017.

Simulamos para fins de aproveitamento energético a utilização de 10% da biomassa do fruto do coco da baía, produzido no Estado de Alagoas, estimada em 3.391 toneladas ano⁻¹, utilizando o processo termoquímico de pirólise.

Os custos estimados consideraram um processamento de 400 kg h⁻¹ da biomassa do coco. As receitas estimadas foram consideradas em função das frações obtidas pela pirólise e de preços médios aplicados pelo mercado. Os desembolsos fixos e variáveis com amortização, mão de obra, manutenção, material, logística e encargos tributários, também foram estimados.

A análise de viabilidade econômica com as estimativas permitiu avaliar os indicadores econômicos como VPL, TIR, Payback simples e Payback descontado, permitindo rotas para trabalhos futuros.

Os valores positivos de VPL, TIR, Payback simples e Payback descontado, obtidos com valores estimados demonstram caminho de viabilidade para o projeto de transformação termoquímica por pirólise para a biomassa residual do coco.

Na tabela 10 simulamos aproveitamento de 10% da biomassa gerada em função da quantidade de frutos produzidos por ano no Estado de Alagoas. Utilizamos os rendimentos médio das frações de bioóleo, biocarvão e biogás óbitos pelo processo de pirólise. Para a estimativa da receita utilizamos valores em Real praticados pelo mercado. As despesas foram estimadas permitindo-nos visualizar lucro operacional de 6%, capaz de suportar um investimento de uma unidade de pirólise com capacidade de 283 toneladas mês⁻¹.

Tabela 10. Avaliação preliminar técnico-econômica

Seq	Item	Und	diversos			%	Referências
1	Potencial de geração de Biomassa						
1.1	Frutos produzidos	frutos		6.278.833	75.346.000		IBGE-2017
1.2	Estimativa de Biomassa	kg/fruto	0,45	2.825.475	33.905.700		
1.3	Aproveitamento da Biomassa	kg	10%	282.548	3.390.570		
1.4	Aproveitamento energético da biomassa	MJ	17,932	5.067	60.800		
2	Estimativa de produtos da biomassa						
2.1	Bioóleo	kg	41,8%	118.105	1.417.258		Rendimento médio
2.2	Biocarvão	kg	34,4%	97.196	1.166.356		Rendimento médio
2.3	Biogás	kg	23,8%	67.246	806.956		Rendimento médio
3	Estimativa de Receita						
3.1	Bioóleo	R\$/kg	R\$0,60	R\$70.863	R\$850.355	47%	
3.2	Biocarvão	R\$/kg	R\$0,60	R\$58.318	R\$699.814	39%	
3.3	Biogás	R\$/m ³	R\$0,30	R\$20.174	R\$242.087	14%	
3.7	Total de receita	R\$		R\$149.355	R\$1.792.255	100%	
4	Estimativa de Despesas						
4.1	Investimento	R\$.kg/h					
4.1.2	Custo total amortização	R\$		R\$19.533	R\$234.391	14%	
4.2	Mão de Obra	R\$/percapita	nº	R\$3.500	R\$3.000		
4.2.3	Custo total mão de obra	R\$		R\$55.500	R\$666.000	39%	
4.3	Operação						
4.3.3	Custo total manutenção	R\$		R\$8.961	R\$107.535	6%	
4.4	Material						
4.4.4	Custo total material	R\$		R\$4.481	R\$53.768	3%	
4.5	Logística						
4.5.3	Custo total logística	R\$/kg		R\$70.637	R\$847.643	50%	
4.6	Encargos tributários						
4.6.2	Custo encargos tributários	%	25%	R\$37.339	R\$448.064	26%	
5	Custo Total	R\$		R\$140.950	R\$1.691.400	100%	
6	Resultado Operacional	R\$		R\$8.405	R\$100.855		
7	Lucro Bruto Operacional	%		6%	6%		

Fonte: Autor (2018).

A tabela 11 apresenta estimativa de investimento para uma unidade de pirólise com capacidade de processamento de 400 kg h⁻¹. O investimento estimado foi de R\$ 981.750,00 (novecentos e oitenta e um mil setecentos e cinquenta Reais) e compreende desembolsos com unidade de pirólise, galpão industrial, gerador de 140 kVA, tanque de armazenagem com capacidade de 30 m³, licenciamento ambiental e outras despesas.

Tabela 11. Investimento

Item	Tipo	Análise			
		Qt	Und	VU	VT
1	Planta de pirólise	1	Und	R\$450.000	R\$450.000
2	Galpão industrial	1.500	m ²	R\$250	R\$375.000
3	Gerador de 140 KVA	1	Und	R\$50.000	R\$50.000
4	Tanque de 30 m ³	1	m ³	R\$40.000	R\$40.000
5	Licenciamento ambiental	1	Und	R\$20.000	R\$20.000
Total					R\$935.000
Outros				5%	R\$46.750
Total					R\$981.750

Fonte: Autor (2018).

Na tabela 12 simulamos um fluxo de caixa considerando o investimento acima, com taxa de 10% a.a. e amortização em 60 parcelas mensais. O VPL foi de R\$ 268.710,00 (duzentos e sessenta e oito mil setecentos e dez Reais) e TIR 17,1%. O VPL e a TIR positivo consideram o projeto viável e capaz de permitir ganhos pela empresa. O período de payback simples de 4,19 anos e o payback descontado de 5,70 anos apresenta o tempo necessário para que a empresa recupere seu investimento calculado com base no fluxo de caixa.

Tabela 12. Fluxo de Caixa

Ano	Análise			
	Fluxo de Caixa	Saldo	Fluxo descontado	Saldo
0	-R\$981.750	-R\$981.750	-R\$981.750	-R\$981.750
1	R\$234.391	-R\$747.359	R\$213.083	-R\$768.667
2	R\$234.391	-R\$512.968	R\$193.712	-R\$574.955
3	R\$234.391	-R\$278.576	R\$176.102	-R\$398.854
4	R\$234.391	-R\$44.185	R\$160.092	-R\$238.761
5	R\$234.391	R\$190.206	R\$145.538	-R\$93.223
6	R\$234.391	R\$424.597	R\$132.308	R\$39.085
7	R\$234.391	R\$658.988	R\$120.280	R\$159.364
8	R\$234.391	R\$893.379	R\$109.345	R\$268.710
			<i>i</i>	10,0%
			VPL	R\$268.710
			TIR	17,1%
			Payback S	4,19
			Payback D	5,70
Análise de Viabilidade			Financiamento	R\$981.750
			Parcelas	60
			Taxa de Juros a.m.	0,60%
			Amortização a.m.	R\$19.533
			Amortização a.a.	R\$234.391

Fonte: Autor (2018).

6. CONCLUSÕES

Esta pesquisa para conclusão do Mestrado Profissional em Energia da Biomassa, teve como proposta atuar em impactos ambientais locais com a tecnologia termoquímica de pirólise.

Vivemos em uma sociedade de acelerado consumo e elevada taxa de descarte. O consumo energético é crescente e tem base no uso de combustíveis fósseis.

A necessidade de reduzir as emissões dos gases do efeito estufa, somente ocorrerá com o uso de fontes alternativas como energia hidráulica, eólica, fotovoltaica e biomassa.

Os acordos globais sobre o meio ambiente, tem norteado o Brasil, Alagoas e Municípios a boas práticas de preservação e desenvolvimento sustentável.

Programas como PNMC - Programa Nacional sobre Mudança do Clima, PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia e PNRS - Programa Nacional de Resíduos Sólidos nortearam diretrizes para o PERS - Plano Estadual de Resíduos Sólidos e para o PIGIRS – Plano Intermunicipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos.

Elegemos a biomassa do coco pela alta geração de biomassa residual presente no Estado de Alagoas. No ano 2016, segundo dados do IBGE/CEPAGRO-2017, foram geradas 33.906 toneladas de biomassa com potencial energético de aproximadamente 60.800 MJ.

Este tipo de resíduo presente com maior intensidade nas faixas litorâneas do Estado, provocam obstrução de galerias fluviais, redução da vida útil dos aterros sanitários e ambiente favorável a proliferação de vetores.

A queima inadequada contribui para aumento da poluição atmosférica, haja visto, que apenas 25% é convertido em calor e restante em gases indesejáveis ao meio ambiente.

A escolha da rota termoquímica de pirólise e o fracionamento do coco em seus componentes mesocarpo e endocarpo, permitiu identificar melhor rendimento e potencial energético destas frações.

As condições de processo aplicadas, tais como: dimensão morfológica do mesocarpo e do endocarpo, densidade da amostra, temperatura de pirólise, taxa de aquecimento, tempo de residência no reator, temperatura do banho de resfriamento, volume útil do reator são variáveis que alteram a cinética e a velocidade, modificando as transformações e influenciando no rendimento, poder calorífico e demais propriedades físico-químicas dos produtos da pirólise.

As condições de pirólise utilizadas permitiram obter biocarvão, bioóleo e biogás, com propriedades específicas e potenciais energéticos que sugerem o seu uso como fonte de energia e calor.

O PCS do biocarvão de até 32 MJ/kg sugere aplicação como briquetes. Já o bioóleo obteve PCS de até 27 MJ/kg, sugerindo aplicação menos nobre. O biogás apresentou baixo PCS, inviável como fonte energética.

Demais parâmetros analisados apenas norteia para uso energético, necessitando de mais estudos que permita identificar propriedades no biocarvão, que permita sua aplicação como carvão ativado ou como biofertilizante.

Consideramos relevante o ganho energético em PCS de 2,39 MJ/kg equivalente a 13% em relação a biomassa do coco in natura. A mesma pesquisa analítica deve ser dirigida para fração bioóleo, cujas propriedades poderá sugerir aplicação como aditivos para combustíveis.

Os ganhos energéticos obtidos com a pirólise da biomassa do coco foram considerados significativos, haja visto, que a partir da biomassa in natura do mesocarpo com PCS de 17,466 MJ kg⁻¹ obteve-se um biocarvão com PCS de 26,587 MJ kg⁻¹ obtido da pirólise a 400 ° C e um PCS de 27,020 obtido da pirólise a 600 °C.

Enquanto que a partir da biomassa in natura do endocarpo com PCS de 19,401 MJ kg⁻¹ obteve-se um biocarvão com PCS de 31,062 MJ kg⁻¹ obtido da pirólise a 400 ° C e um biocarvão com PCS de 32,403 MJ kg⁻¹ obtido da pirólise 600 °C.

Já o melhor rendimento foi obtido com 56,38 % de bioóleo obtido da pirólise do endocarpo na temperatura de 600 ° C.

Portanto, o melhor rendimento e o maior PCS foi obtido com a temperatura de pirólise a 600 °C. São ganhos energéticos médios de até 4,841 MJ kg⁻¹.

Considerando que as questões ambientais conduziram esta pesquisa com o objetivo de identificar as condições de processo que transformasse a biomassa residual do coco em fonte de energia, necessário se fez estimar valores operacionais que justificaram economicamente a viabilidade desta pesquisa através dos valores positivos de VPL, TIR, Payback simples e Payback descontado. Os resultados da avaliação preliminar com lucro operacional de 6%, VPL de R\$ 268.710,00 e TIR 17,10 % positivos, sugere viabilidade de investimento.

Por fim reforçar a tríade da sustentabilidade: lucro não a qualquer preço; respeito pelo meio ambiente e responsabilidade social.

7. SUGESTÃO PARA TRABALHO FUTURO

Em processo químico as variáveis temperatura e tempo, é capaz de produzir indefinida e múltiplas transformações.

Para continuidade desta pesquisa sugerimos:

1. Realizar moagem do mesocarpo e do endocarpo para permitir novos produtos.
2. Utilizar taxa de aquecimento de 10 °C.
3. Verificar pressão interna do reator estático durante o tempo de residência.
4. Avaliar as concentrações de macro e micronutrientes presentes no biocarvão.
5. Realizar extração alcalina do bioóleo e analisar por Cromatografia Gasosa acoplado ao Detector de Massas os componentes presentes na amostra, tais como: ácidos carboxílicos, nitrogenados, ésteres, fenóis, aldeídos, cetonas, éter, hidrocarboneto totais.
6. Avaliar os índices de sustentabilidade emergética, intensidade carbônica e intensidade energética.
7. Estudo da cinética química, velocidade de reação e mecanismos de reação em função das variáveis temperatura, tempo e pressão.
8. Avaliar qual a energia incorporada (emergia) ou custo energético de fontes tradicionais, que foram gastos para obter produtos os renováveis.

8. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, MBB De. Bio-óleo a partir da pirólise rápida, térmica ou catalítica, da palha da cana-de-açúcar e seu co-processamento com gasóleo em craqueamento catalítico. **Rio de Janeiro: UFRJ**, 2008.

ALMEIDA, V. N. L.; BRUNO, R. L. Biodigestor orgânico: Geração de energia elétrica através de biogás. **Revista Científica da FHO UNIARARAS**, v.4, n.2, p.1-9, 2016.

ANDRADE, A. M.; PASSOS, P. R. A.; MARQUES, L. G. C.; OLIVEIRA, L. B.; VIDAURRE, G. P.; ROCHA, J. D. S. Pirólise de resíduos do coco-da-baía (*Cocos nucifera* Linn) e análise do carvão vegetal. **Revista Árvore**, v.28, n.5, p.707-714, 2004.

ANDRADE, R. G. S. A.; MELO, K. R. B.; SOLETTI, J. I.; CARVALHO, S. H. V.; MEILI, L. Caracterização do biocarvão obtido a partir da pirólise do endocarpo do coco (*Cocos Nucifera* L.). In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2017, São Carlos, SP. **Anais...** Universidade de São Carlos - UFSCar - São Carlos, 2017.

ANDRADE, R. S.; CARVALHO JÚNIOR, J. I. T.; SILVA, M. I.; LIMA, I. S.; NASCIMENTO, A. Produção e Caracterização de biocarvão de diferentes resíduos orgânicos. In: III REUNIÃO NORDESTINA DE CIÊNCIA DO SOLO, 2016, Aracaju, SE. **Anais...** Aracaju, 2016.

AMUTIO, M. et al. Influence of temperature on biomass pyrolysis in a conical spouted bed reactor. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 59, p. 23-31, 2012.

AZEVEDO, B. S. M. A. et al. Utilização da fibra da casca de coco verde como suporte para formação de biofilme visando o tratamento de efluentes. Série Tecnologia Ambiental. Brasília: CETEM/MCT, 2008.

BRIDGWATER, A. V. Biomass Fast Pyrolysis. **Thermal Science**, v.8, n.2, p.21-49 2004.

BRIDGWATER, A.V., 2007, "Biomass Pyrolysis - an overview prepared by Task 34" In: TUSTIN, J., IEA Bioenergy Annual Report 2006.

CABRAL, M. M. S. **Aproveitamento da casca do coco verde para a produção de etanol de segunda geração**. 2015. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió - AL.

CAMBUI, E. V. F.; ARAGÃO, W. M.; LEAL, M. L. S. Variabilidade Genética entre Cultivares de Coqueiro Anão (*Cocos nucifera* L. - Var. Nana). **Revista Brasileira de Biociências**, v.5, supl.1, p.165-167, 2007.

CAMPOS, A. C. M. **Carvão de *Eucalyptus*: Efeito dos parâmetros da pirólise sobre a madeira e seus componentes químicos e predição da qualidade pela espectroscopia NIR**. 2008. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras - MG.

CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; FEIGL, B. J.; PÍCCOLO, M. C.; GODINHO, V. P.; CERRI, C. C. Carbon sequestration in agricultural soils in the Cerrado region of the Brazilian Amazon. **Soil & Tillage Research**, v.103, n.2, p.342-349, 2009.

CORRADINI, E. et al. Composição química, propriedades mecânicas e térmicas da fibra de frutos de cultivares de coco verde. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 31, n. 3, p.837-846, 2009.

CORTEZ, L. A. B.; PEREZ, J. M. M.; ROCHA, J. D.; JORDAN, R. A.; MESA, H. R. M. Processamento de casca e fibra de coco verde por carbonização para agregação de valor. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v.3 n.1, p.21-30, 2009.

CUNHA, L. B.; BOREL, L. D. M. S.; LIRA, T. S.; ATAÍDE, C. H.; BARROZO, M. A. S. Parâmetros cinéticos da pirólise de resíduo de coco. In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2017, São Carlos, SP. **Anais...** Universidade de São Carlos - UFSCar - São Carlos, 2017.

DINIZ, J. **Conversão térmica de casca de arroz à baixa temperatura: Produção de bioóleo e resíduo sílico-carbonoso adsorvente**. 2015. 185 f. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS.

FIGUEIREDO, A. L. **Pirólise termoquímica de pós da fibra do coco seco em um reator de cilindro rotativo para produção de bioóleo**. 2011. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN.

FIGUEIREDO, Natalie J. V. de. Utilização do Biogás de Aterro Sanitário para Geração de Energia Elétrica e Iluminação a Gás – Estudo de Caso. 2007. 90 f. Trabalho de Graduação Interdisciplinar (Engenharia Mecânica) – Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2007.

GOLDEMBERG, J. Atualidade e Perspectivas no Uso de Biomassa para Geração de Energia. **Revista Virtual de Química**, v.9, n.1, p.15-28, 2017.

GUARNIERI, S. F. **Alteração de atributos do solo devido ao emprego de biocarvão de frutos de *Cocos nucifera* L.** 2016. 44f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá – MT.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola - LSPA**. [Acesso em 18 mar. 2018]. Disponível em: ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_%5Bmensal%5D/Fasciculo/2017/lspa_201701.pdf.

JENKINS, B. M. Fuel properties for biomass materials. In: International symposium on application and management of energy in agriculture: the role biomass fuels, 1. 1990, New Delhi.

JERÔNIMO, C. E. M. Tecnologias limpas aplicadas a gestão dos resíduos do coco. **Revista Qualidade Emergente**, v.3 n.1, p.20-29, 2012.

LAL, R., Digging deeper: A holistic perspective of factors affecting soil organic carbon sequestration in agroecosystems. **Global Change Biology**, v.24, p.1-17, 2018.

LAPOLA, D. M.; MARTINELLI, L. A.; PERES, C. A.; OMETTO, J. P. H. B.; FERREIRA, M. E.; NOBRE, C. A.; AGUIAR, A. P. D.; BUSTAMANTE, M. M. C.; CARDOSO, M. F.; COSTA, M. H.; JOLY, C. A.; LEITE, C. C.; MOUTINHO, P.; SAMPAIO, G.; STRASSBURG, B. B. N.; VIEIRA, I. C. G. Pervasive transition of the Brazilian land-use system. **Nature Climate Change**, v.4, p.27-35, 2014.

MARCELINO, M. M. Biomassa residual do coco para obtenção de energia e intermediários químicos via gaseificação: caracterização, modelagem e simulação. 2017.

MCKENDRY, P. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. **Bioresource Technology**, Volume 83, Número 1, maio 2002, p. 37-46, 2002.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME – **Balanco Energético Nacional**. [Acesso em 20 de mar. 2018]. Disponível em:
https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2017.pdf.

MOHAMMED, Jibril et al. Adsorption of benzene and toluene onto KOH activated coconut shell based carbon treated with NH₃. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v. 102, p. 245-255, 2015.

MOTA, F. A. S.; VIEGAS, R. A.; SANTOS, F. F. P.; FURTADO, A. S. A. A Biomassa do coco verde (*Cocos nucifera*). In: CONGRESSO TÉCNICO CIENTÍFICO DA ENGENHARIA E DA AGRONOMIA, 2015, Fortaleza, CE. **Anais...** Centro de Eventos do Ceará, Fortaleza, 2015.

PADILLA, Elias Ricardo Durango et al. Potencial Energético da Casca de Coco (*Cocos nucifera* L.) para Uso na Produção de Carvão Vegetal por Pirólise. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 2, 2018.

PAUSTIAN, K.; LEHMANN, J.; OGLE, S. M.; REAY, D.; ROBERTSON, G. P.; SMITH, P. Climate-smart soils. **Nature Climate Change**, v.532, p.49-57, 2016.

PAZ, E. C. S.; PEDROZA, M. M.; OLIVEIRA, L. R. A.; PAZ, R. R. S. Alternativa de exploração sustentável dos resíduos do coco verde para a produção de energia. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.6, n.2, p.318-345, 2017.

PELÁEZ-SAMANIEGO, M. R.; GARCIA-PEREZ, M.; CORTEZ, L. B.; ROSILLO-CALLE, F.; MESA, J. Improvements of Brazilian carbonization industry as part of the creation of a global biomass economy. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.12, p.1063-1086, 2008.

PIRES, M. M.; COSTA, R. S.; JOSÉ, A. R. S.; MIDLEJ, M. M. B. C ALVES, J. M. A
Cultura do coco: Uma análise econômica. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.26, n.1,
p.173-176, 2004.

PROTÁSIO, Thiago de Paula. **Biomassa residual do coco babaçu: potencial de uso
bioenergético nas regiões norte e nordeste do Brasil**. 2014. Tese de Doutorado. Tese
(Doutorado). Universidade Federal de Lavras-Lavras.

RAVEENDRAN, K.; GANESH, A.; KHILAR, K. C. Pyrolysis characteristics of biomass and
biomass components. **Fuel**, v.75, n.8, p.987-998, 1996.

ROCHA, A. M.; SILVA, M. S.; FERNANDES, F. M.; SOARES, P. M.; KONISH, F.
Aproveitamento de fibra de coco para fins energéticos: revisão e perspectivas. In: 10º
CONGRESSO SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ENERGIA NO MEIO RURAL, 2015,
São Paulo, SP. **Anais...** Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 2015.

ROCHA, F. B. A; CAMPOS M. C.; COLOMBO; C. R.; CELESTINO; J. C. Gestão de
resíduos como ferramenta aplicada ao beneficiamento do coco verde. In: XXX ENCONTRO
NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2010, São Carlos- SP, **Anais...** 2010.

ROCHA, J. D., **Pré-Tratamento da Biomassa**. Pesquisa em Políticas Públicas – Painel 1.
2008.

RODRIGUES, T. O. **Avaliação dos impactos ambientais da produção de bioóleo a partir
de serragem no estado do Pará**. 2013. 184 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) -
Universidade de Brasília, Brasília – DF.

RODRIGUES, T. O.; ROUSSET, P.; VALE, A. T.; BROUST, F. Bioóleo: uma alternativa
para valorização energética da biomassa. **Revista Brasileira de Energia**, v.17, n.2, p.39-56,
2011.

SANTOS, P. H. A. D. Melhoramento genético do coqueiro (*Cocos nucifera* L.): capacidade
combinatória e diversidade genética Via Rad-Sequencing. 2016. 84 f. Tese (Doutorado em
Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy
Ribeiro, Campos dos Goytacazes - RJ.

SCHENA, T. **Pirólise da fibra da casca de coco: caracterização do bio-óleo antes e após a aplicação de dois processos de melhoria**. 2015. 173 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - RS.

SCHURHAUS, P. **Produtos e propriedades energéticas da madeira. Produtos e propriedades energéticas da madeira**. Fundação municipal centro universitário da cidade de união da Vitória, Paraná, 2007.

SILVA, G. O.; JERÔNIMO, C. E. Estudo de alternativas para o aproveitamento de resíduos sólidos da industrialização do coco. **Monografias Ambientais**, v.10, n.10, p.2193-2208, 2012.

SILVEIRA, M. S. **Aproveitamento das cascas de coco verde para produção de briquete em Salvador - BA**. 2008. 163 f. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Universidade Federal da Bahia, Salvador - BA.

SOARES, T. S.; CARNEIRO, A. C. O.; GONÇALVES, E. O.; LELLES, J. G. Uso da biomassa florestal na geração de energia. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v.4, n.8, p.1-9, 2006.

SULAIMAN, Shaharin Anwar et al. Effect of blending ratio and catalyst loading on co-gasification of wood chips and coconut waste. **Journal of the Energy Institute**, 2017.

TSAI, W. T.; LEE, M. K.; CHANG, Y. M. Fast pyrolysis of rice straw, sugarcane bagasse and coconut shell in an induction-heating reactor. *Journal of analytical and applied pyrolysis* **2006**, 76, 230.

TAVARES, S. R. L.; SANTOS, T. E. Uso de diferentes fontes de biomassa vegetal para produção de biocombustíveis sólidos. **HOLOS**, v.5, p.1-9, 2013.

TSAMBA, A. J.; YANG, W.; BLASIAK, W. Pyrolysis characteristics and global kinetics of coconut and cashew nut shells. *Fuel Processing Technology*, [S.l.], v. 87, pp. 523-530, 2006.

TORRI, I. D. V. **Caracterização de bio-óleos obtidos por pirólise da serragem de *Eucalyptus* sp. (hardwood) e *Picea abies* (Softwood) utilizando as técnicas de cromatografia gasosa acoplada a espectrometria de massas**. 2013. 139 f. Dissertação

(Mestrado em Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS.

VALE, A. I.; BARROSO, Rodrigo Almeida; QUIRINO, Waldir Ferreira. Caracterização da biomassa e do carvão vegetal de coco-da-baía (*Cocos nucifera* L.) para uso energético. **Biomassa & energia**, v. 1, n. 4, p. 365-370, 2004.

VIEIRA, A. C. **Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas**. 2012. 56 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR, 2012.

WU, H. et al. Removal and Recycling of Inherent Inorganic Nutrient Species in Mallee Biomass and Derived Biochars by Water Leaching. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 50, n. 21, p. 12143–12151, 2011.