

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
PROGRAMA DE EDUCACAO CONTINUADA – ESCOLA POLITÉCNICA
ENERGIAS RENOVÁVEIS, GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
ESPECIALIZAÇÃO/USP

ARTHUR CORTEZ PIRES DE CAMPOS

Produção e uso do biogás a partir dos resíduos da cultura da Palma
Oleaginosa

São Paulo
2016

ARTHUR CORTEZ PIRES DE CAMPOS

**PRODUÇÃO E USO DO BIOGÁS A PARTIR DOS RESÍDUOS DA CULTURA DA
PALMA OLEAGINOSA**

Monografia apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de Especialista
em Energias Renováveis, Geração
Distribuída e Eficiência Energética.

Área de Concentração: Biomassa e
Cogeração

Orientador: Prof^a. Dr^a. Suani Teixeira
Coelho

**São Paulo
2016**

Catálogo-na-publicação

Campos, Arthur

Produção e uso do biogás a partir dos resíduos da cultura da Palma Oleaginosa / A. Campos -- São Paulo, 2016.
-40 p.

Monografia (Especialização em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas.

1.Biogás 2.Biodigestão 3.Palma 4.Biomassa I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas II.t.

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai Paulo, por ter me ensinado a viver sob os valores éticos e morais sólidos e a plantar apenas coisas boas na vida, para colher frutos produtivos e prósperos no futuro.

À minha mãe Sandra, por me ensinar a aceitar elogios com humildade e críticas com gratidão.

Aos meus irmãos Henrique, Gustavo e Paula, por me apoiarem sempre nas maiores dificuldades da minha vida.

À professora Suani T. Coelho, que me orientou e deu suporte em todos os momentos de necessidade, como também trouxe inspiração para o desenvolvimento dos tópicos abordados neste projeto.

À professora Vanessa P. Garcilasso, que me deu suporte para pesquisas avançadas no assunto abordado.

Ao colega doutorando Arthur Wieczorek, que me forneceu os principais materiais para desenvolvimento da minha pesquisa, como também me deu suporte em dúvidas técnicas.

RESUMO

Atualmente o mundo consome majoritariamente energia proveniente de combustíveis fósseis, tais como: óleo, gás e carvão, no entanto, a crescente preocupação com o meio ambiente direcionou a uma nova tendência de procura por fontes renováveis para geração de energia.

O Brasil possui um enorme potencial para desenvolver diversas fontes renováveis de energia entre elas o biogás, proveniente, por exemplo, do tratamento dos resíduos oriundos da agroindústria, dejetos de animais, aterro sanitário, lodo do tratamento de esgoto, entre outros.

Este trabalho objetivou a viabilidade de geração, captação e múltiplos usos do biogás, produzido a partir do tratamento anaeróbio do resíduo da indústria de óleo de palma no Brasil, conhecido como POME. Foi possível observar que há um significativo ganho econômico e ambiental quando se aplica o tratamento deste resíduo e o uso do biogás gerado. Nos cenários considerados, a queima direta do biogás em caldeira a vapor possui um custo inicial menor, sendo considerado um investimento de menor risco, exigindo uma menor quantidade de equipamentos e adaptações técnicas. Nele, o *payback* alcançado no cálculo do estudo de caso foi de 4,2 anos, sendo possível substituir 12% da biomassa sólida utilizada na queima da caldeira para geração de energia. No cenário de utilização do biogás para geração de energia elétrica com queima direta no gerador, foi possível observar que é um investimento de maior risco, com maior custo inicial e maiores adaptações necessárias nos equipamentos. Dependendo do mercado local em relação ao preço pago pela biomassa deslocada e o valor kWh exportado para rede, é possível alcançar um *payback* mais atrativo.

Palavras-chave: Biogás; Biomassa; Cogeração, Energias Renováveis

ABSTRACT

Currently the world consumes mostly energy from fossil fuels such as oil, gas and coal. But the growing concern for the environment directed to a new trend of demand for renewable sources for power generation.

Brazil has enormous potential to develop various renewable energy sources such as biogas from the treatment of waste from its agribusinesses.

This study investigated the feasibility of generation, capture and multiple uses of the biogas produced from anaerobic palm oil industry waste treatment in Brazil, known as POME. It was observed that there is a significant economic and environmental gain when applying the treatment of this waste and the use of the biogas generated. In the scenarios, the direct combustion of biogas in the boiler steam has a lower initial cost and is considered a lower risk investment, requiring a smaller amount of equipment and technical adjustments. In it, the payback achieved, in the case study, was 4.2 years, and can replace 12% of the solid biomass used in the boiler burning for power generation. In the scenario of use the biogas for power generation with direct combustion in the generator, was possible to observed that it is a higher risk investment with higher initial cost and greater adjustments required in the equipment. Depending on the local market on the price paid by biomass displaced and kWh export value to network, it is possible achieve a more attractive payback.

Keywords: biogas; biomass; Cogeneration, Renewable Energy

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 4.1 - Mudas de palma. Fonte: ABRAPALMA, 2016.....	5
Figura 4.2 - Plantação de palma. Fonte: ABRAPALMA, 2016.	5
Figura 4.3 - Palmeira com frutos. Fonte: livreto Programa de produção sustentável de palma no brasil.	6
Figura 4.4 -Óleos extraídos da palma. Fonte: ABRAPALMA, 2016.	6
Figura 4.5 - Recebimento dos frutos. Fonte: Wieczorek et al (2015).	16
Figura 4.6 - Esterilizador. Fonte: Wieczorek et al (2015).	16
Figura 4.7 – Debulhador. Fonte: Wieczorek et al (2015).....	16
Figura 4.8 – Cachos e frutos vazios. Fonte: Wieczorek et al (2015).	16
Figura 4.9 - Prensagem. Fonte: Wieczorek et al (2015).....	17
Figura 4.10 - Óleo bruto. Fonte: Wieczorek et al (2015).	17
Figura 4.11 - Resíduo Líquido POME. Fonte: Wieczorek et al (2015).....	18
Figura 4.12 - Caldeira. Fonte: Wieczorek et al (2015).....	18
Figura 4.13 - Fluxograma do processo produtivo de óleo da palma. FONTE: PARENTE, 2003.	21
Figura 4.14 - Configuração de uma planta de cogeração típica da indústria do Óleo de Palma. FONTE: WIECZOREK, A. et al, 2015.	25
Figura 4.15 - Cobertura das lagoas anaeróbicas por uma geo-membrana de polietileno. Fonte: NKEA(2011).....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Produção mundial dos principais óleos vegetais. Fonte: ROCHA E CASTRO, 2012.	9
Tabela 4.2- Países produtores de óleo de palma no mundo. Fonte: ANDRADE, 2015.	11
Tabela 4.3 - Principais produtores de óleo de palma no Pará em 2014. Fonte: ANDRADE, 2015.....	11
Tabela 4.4 Dados gerados da produção de óleo de Palma. Fonte: WIECZOREK, A. et al, 2015.....	22
Tabela 4.5 - Performance de diferentes métodos de tratamento do resíduo líquido. Fonte: CHONG, 2009 apud WIECZOREK, A. et al, 2015	27

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1- Evolução da produção brasileira de óleo de palma: 1964 e 2010. Fonte: <i>FAS</i> , 2011apud ALMEIDA, 2012.....	10
Gráfico 4.2 - Evolução da produção de óleo de palma: 1964 e 2010: Indonésia, Malásia e Brasil. Fonte: <i>FAS</i> , 2011apud ALMEIDA, 2012. Valores expressos em múltiplos de 1,000 toneladas.....	10

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO e JUSTIFICATIVA	3
3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	3
4. DESCRIÇÃO BIBLIOGRÁFICA	4
4.1. Histórico da palma no Brasil e sua utilização	4
4.2. Brasil no cenário do óleo de palma	8
4.3. Cadeia produtiva de óleo de palma.....	12
4.3.1. Tratos agrícolas.....	12
4.3.2. Descrição do processo industrial.....	15
4.3.3. Balanço de massa da indústria de óleo de palma	21
4.4. Usos do Óleo de Palma Bruto (CPO) para fins energéticos.....	23
4.5. Tecnologias disponíveis para o aproveitamento dos resíduos.....	24
4.5.1. Biomassa (sistemas a vapor).....	24
4.5.2. Compostagem	25
4.5.3. Biodigestão (produção de biogás – cogeração)	26
4.5.4. Formas de captação do biogás.....	28
4.5.5. Utilização do Biogás para fins energéticos	29
5. ESTUDO DE CASO	30

5.1. Queima do biogás com biomassa sólida na caldeira	31
5.2. Produção de energia elétrica	33
6. CONCLUSÃO	36
REFERÊNCIAS.....	38

1. INTRODUÇÃO

O óleo de Palma é uma das fontes de óleo mais versáteis e consumidas do mundo, devido aos seus múltiplos usos. O óleo gerado é utilizado em diferentes processos industriais, como por exemplo, para consumo direto na indústria alimentícia, na utilização para fabricação de lubrificantes e na indústria de cosméticos.

Conforme ANDRADE (2015), a vantagem da produtividade do óleo vegetal a partir da palma é imensa sendo que a soja produz 0,38 (t/ha/ano); Girassol 0,48(t/ha/ano) e palma 3,74(t/ha/ano).

A lavoura da Palma é uma das que mais cresce mundialmente, hoje em dia representando em torno de 40% do consumo total de óleo no mundo, devido a sua alta produtividade quando comparada em relação a outras fontes de óleo como a soja, canola e girassol. ANDRADE (2015) ressalta que de 1980 a 2011 a produção de óleo de palma mundial cresceu 10,3 vezes atingindo 61,8 milhões de toneladas.

ANDRADE (2015) estima uma duplicação no consumo mundial de óleos comestíveis, nos próximos 40 anos, calculada em 50 milhões de toneladas e para atender essa demanda será necessário o plantio de 10 milhões de hectares. Uma base de 250.000 hectares por ano.

Estes fatores evidenciam a grande importância da cultura da palma no cenário de produção de óleo mundial, logo é de extrema importância a criação e o desenvolvimento de meios para aumentar a sustentabilidade da produção desta cultura, como o aproveitamento e tratamento adequado dos resíduos gerados pelo seu processo industrial, produzindo um maior retorno financeiro e menor impacto socioambiental.

Sua utilização localiza-se principalmente nos países em desenvolvimento próximos aos trópicos, constituindo um importante recurso para suas economias locais, como também para exportação.

O processo industrial de produção do óleo de palma é definido primeiramente pela extração dos frutos frescos do cacho, que são destinados para recepção e pesagem. Logo após, é feita a esterilização dos frutos e gerado o principal efluente da cadeia produtiva de óleo de palma, chamado POME (Palm Oil Mill Effluent), que será o principal resíduo a ser estudado neste trabalho para tratamento e geração de biogás. Os frutos após a esterilização ainda passam por etapas de debulhamento, digestão e prensagem até produzir o óleo de palma, que é separado das fibras que são destinadas para queima na caldeira. O óleo é clarificado e destinado aos seus usos finais.

O tratamento do resíduo POME é principalmente realizado a partir da biodigestão anaeróbia em lagoas cobertas, cujo biogás gerado por este processo é passível de ser capturado e utilizado para diferentes fins, como queima direta na caldeira juntamente com a biomassa, produção de energia elétrica, utilização como combustível para automóveis, entre outros (Wieczorek, A. et al, 2015).

2. OBJETIVO E JUSTIFICATIVA

O objetivo específico deste trabalho é avaliar alternativas de reaproveitamento dos resíduos gerados pelo processo industrial de produção de óleo de palma, com foco na biodigestão do resíduo líquido industrial, chamado POME, para produção de biogás, e avaliar suas principais formas de utilização dentro da cadeia produtiva da cultura da palma.

Este trabalho se justifica pela oportunidade de aproveitamento dos resíduos gerados na produção agrícola da palma e também por fomentar o desenvolvimento socioeconômico na região produtora.

3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

O presente trabalho se inicia com uma descrição bibliográfica geral sobre as principais características da cultura da palma, abordando aspectos relevantes ao seu cenário mundial e nacional, características agrícolas, processos industriais, produtos e subprodutos, reaproveitamento e tratamento dos resíduos, produção e utilização do biogás no processo industrial de óleo de palma.

Para o desenvolvimento do estudo de caso foram utilizados dados fornecidos pela empresa Agropalma e coletados de dois projetos instalados na Malásia que até atualmente são os únicos em escala comercial no mundo que disponibilizam informações para uso de terceiros. Neste estudo, os métodos de utilização do biogás na indústria da palma analisados foram queima direta na caldeira juntamente com a biomassa e produção de energia elétrica por grupo gerador. Apesar de existirem outras formas de uso do biogás gerado, como uso veicular, doméstico, produção de energia elétrica, cogeração, entre outros; não foram consideradas todas estas formas devido à falta de informação e dados disponíveis.

A análise dos dados do estudo de caso foi desenvolvida baseada nos custos e viabilidade de implantação para tratamento do efluente POME e produção do biogás, e o custo-benefício dos dois diferentes métodos considerados de utilização do biogás.

4. DESCRIÇÃO BIBLIOGRÁFICA

Os tópicos a seguir apresentam informações que darão suporte para o entendimento do cenário a qual a palma oleaginosa está inserida no Brasil e no mundo, assim como para a completa compreensão do trabalho aqui apresentado.

4.1. Histórico da palma no Brasil e sua utilização

A *Elaeis guineenses* Jacq. é uma palmácea conhecida no Brasil como “dendê”, palma ou palma de óleo, é originário da costa oeste africana (VIEGAS; MULLER, 2000). Dessa forma, a palma atravessou o Atlântico trazido pelos escravos e devido ao clima semelhante em relação ao Brasil a palmeira logo se adaptou, os registros indicam que as primeiras populações da espécie foram registradas no Rio de Janeiro e na Bahia (ABRAPALMA, 2016).

Atualmente é na Amazônia que a palma de óleo tem sua maior produção, onde é cultivada em larga escala, preferencialmente em áreas já desmatadas ou em alto grau de degradação. A combinação de clima e solo faz da região amazônica uma área preferencial para a produção da palma (ABRAPALMA, 2016).

Sua extraordinária eficiência na produção de biomassa determina que os plantios estejam restritos a alguns países de baixa latitude, na América Latina, África subsaariana e Sudeste asiático. Por ter o mais baixo custo de produção, o óleo de palma (polpa) é também o mais produzido no mundo.

A Figura 4.1 revela a produção de mudas de palma, percebe-se a sistematização que antecede a fase do plantio.



Figura 4.1 - Mudas de palma. Fonte: ABRAPALMA, 2016.

Na Figura 4.2, o plantio já realizado, em fileiras para melhor aproveitamento do espaço, dessa forma otimizando a produção.



Figura 4.2 - Plantação de palma. Fonte: ABRAPALMA, 2016.

A Figura 4.3, revela os frutos da palma de onde será extraído a biomassa e óleos.



Figura 4.3 - Palmeira com frutos. Fonte: livreto Programa de produção sustentável de palma no Brasil.

A Figura 4.4, mostra o produto final após todos os procedimentos e processos da cadeia produtiva. Segundo a ABRAPALMA (2016), atualmente, cerca de 80% dessa produção vai para a indústria alimentícia, para servir de matéria prima para produtos de largo consumo, como margarinas e cremes, sorvetes, biscoitos, chocolates, recheios, substitutos de manteiga de cacau e óleo de cozinha.



Figura 4.4 -Óleos extraídos da palma. Fonte: ABRAPALMA, 2016.

Os usos finais conforme o Programa de Produção Sustentável da Palma de Óleo (PPSPO), o óleo extraído do fruto da palma é, atualmente, o mais comercializado no mundo, tendo em vista a versatilidade de usos que possui.

Como já dito é largamente utilizado na indústria alimentícia (em substituição à gordura *trans*), já na indústria de higiene é utilizado em cosméticos, sabão, sabonetes e detergentes; por fim, na indústria química faz parte da composição de lubrificantes, óleos, glicerina e vários tipos de ácidos. Recentemente passou a ser utilizado na produção de biocombustíveis.

Segundo Aboissa (2016), cada grama de óleo concentrado tem uma densidade de energia equivalente a nove calorias e é fonte alimentícia útil que satisfaz nossas exigências de energias diárias.

O óleo de palma tem uma composição de ácidos graxos que é de aproximadamente 51% insaturada e 49% saturada, enquanto a oleína de palma é mais de 56% insaturada. Esta composição de óleo provê para nossa exigência diária de ácido graxo essencial na forma de 11% de conteúdo de ácido linólico (ABOISSA 2016), considerando que um óleo comestível dietético de origem vegetal está essencialmente livre de colesterol.

Aboissa (2016) afirma que a composição natural de ácido graxo também requer uma mínima modificação química para uso em uma grande variedade de formulação alimentícia. Isto é vantajoso em relação a todos os outros óleos comestíveis líquidos, pois estes requerem hidrogenação, resultando na formação de ácidos graxos *trans*, que pode danificar a saúde humana. Os fatores de risco para doenças coronárias são multifatoriais, sendo que o consumo de óleo e de gorduras podem influenciar no risco desta doença. Um esforço combinado de óleo de palma e oleína em dietas aponta que há um aumento do colesterol HDL-C, dito como “bom”, modulando o de baixa densidade (colesterol ruim) LDL.

Os ácidos graxos do óleo de palma e seus componentes secundários são inigualáveis em propriedades nutricionais. Os mais importantes destes são a

vitamina E que age como um antioxidante biológico, protegendo contra a oxidação e o processo de arteriosclerose.

O óleo de palma bruto é a fonte mais rica em carotenoides com concentrações na ordem de 700-1000 ppm, ou seja, quinze vezes mais do que presente na cenoura. Portanto, o óleo de Palma sempre foi uma fonte segura e nutritiva de óleo comestível por milhares de anos e consumido mundialmente também como margarinas e *shortenings*-gorduras especiais. É excelente fonte de energia dietética, livre de colesterol, de ácidos graxos e de ácidos graxos insaturáveis-trans.

O uso de vários processos tecnológicos, fracionamento, mistura, interesterificação, hidrogenação permitem ao refinador fazer produtos sob encomenda com a finalidade de satisfazer as exigências dos fabricantes de produtos alimentícios para consumo final, tais como, margarinas, biscoitos, gorduras para sorvetes, chocolates, bolos e outros.

O óleo de Palma também é utilizado na fabricação de cosméticos, produtos farmacêuticos, artigos domésticos e industriais. Cabe ressaltar que o óleo de Palma assim como o óleo de Palmiste são muito populares para a elaboração de detergentes que não contaminam o meio ambiente e são biodegradáveis.

4.2. Brasil no cenário do óleo de palma

Mundialmente, a cultura de óleo de palma ocupa aproximadamente 8% das terras alocadas para o cultivo de oleaginosas e fornece quase um terço da produção global de óleos vegetais (ABRAPALMA, 2016). A cultura da palma apresenta a maior produtividade de óleo vegetal conhecida entre as plantas cultivadas (SERRÃO, 2000), com média acima de quatro toneladas por hectare (4 t/ha).

Observou-se que, segundo o Programa de Produção Sustentável de Palma no Brasil (PPSPO), a diversidade de possíveis utilidades com tal óleo, resultou em um crescimento contínuo da demanda, visto que entre os anos 1998 e 2009 o consumo mundial saltou de dezessete para quarenta e cinco milhões de toneladas.

Atualmente é na Amazônia que a palma de óleo tem sua maior produção, sendo desenvolvida em larga escala, sobretudo em áreas já desmatadas ou em alto grau de degradação (ABRAPALMA, 2016). A combinação de clima e do solo faz da região amazônica uma área preferencial para a produção da palma.

A Tabela a seguir mostra a produção mundial de óleos vegetais, sendo possível perceber (em vermelho) que o óleo de palma vem dominando a produção mundial desde 2007.

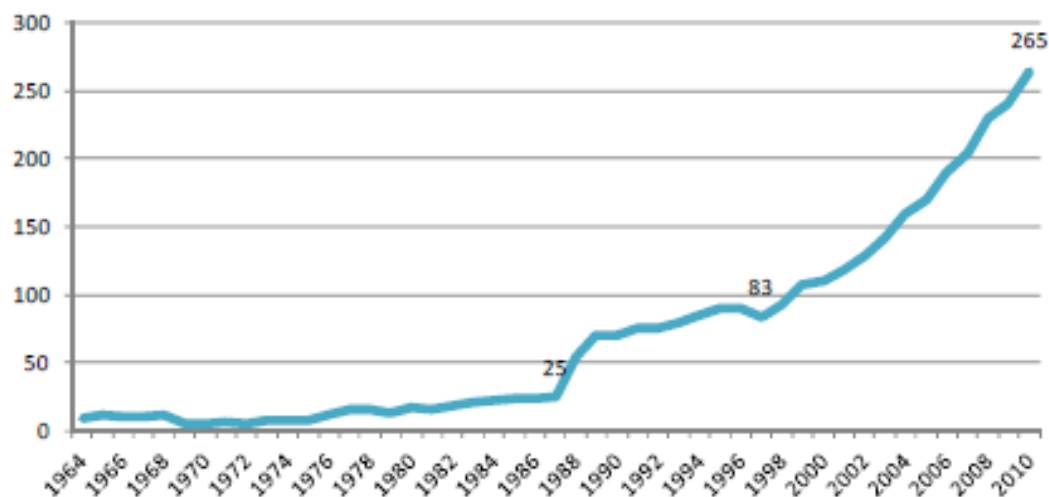
Tabela 4.1 - Produção mundial dos principais óleos vegetais. Fonte: ROCHA E CASTRO, 2012.

	2007-2008	2008-2009	2009-2010
Palma	40,94	43,41	45,88
Soja	37,54	35,88	37,88
Colza	18,34	20,38	22,12
Girassol	9,86	11,71	11,31
Palmiste	4,9	5,2	5,5
Algodão	5,22	4,84	4,66
Amendoim	4,9	4,97	4,56
Coco	3,53	3,63	3,67
Oliva	2,84	2,97	2,99
Total	128,07	132,99	138,57

Conforme a Associação Brasileira de Produtores de Óleos de Palma (Abrapalma) estima-se que produção mundial de óleo de palma tenha atingido cerca de 58 milhões de toneladas em 2014.

No Brasil, a produção de óleo de palma teve um grande aumento a partir de 1986, apontando um crescimento significativo, como ratifica o Gráfico 4.1 a seguir:

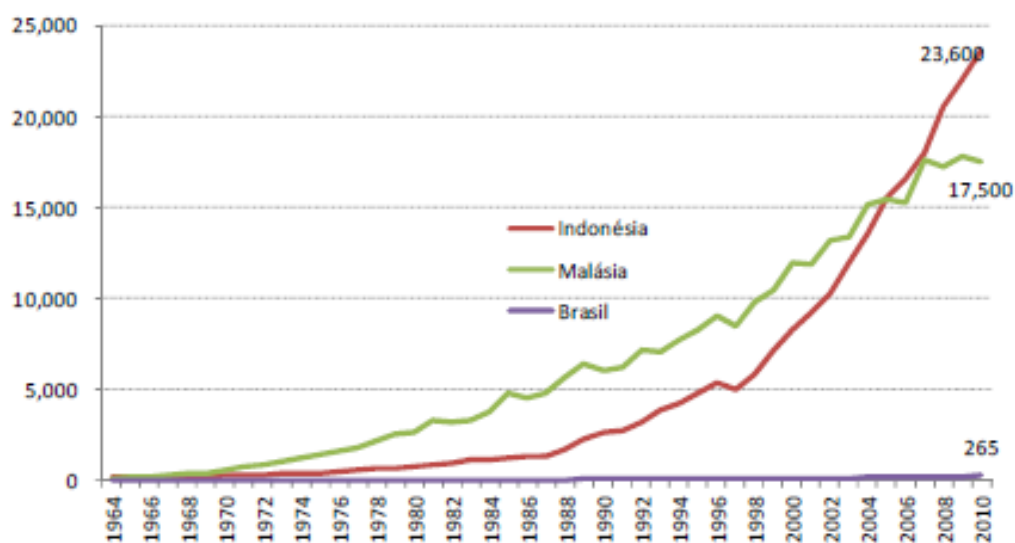
Gráfico 4.1- Evolução da produção brasileira de óleo de palma: 1964 e 2010. Fonte: FAS, 2011apud ALMEIDA, 2012.



Contudo, o crescimento da produção no Brasil, quando comparada aos principais países produtores (Indonésia, Malásia) é insignificante.

O Gráfico 4.2 compila a evolução da produção de óleo de palma entre os anos 1964-2010:

Gráfico 4.2 - Evolução da produção de óleo de palma: 1964 e 2010: Indonésia, Malásia e Brasil. Fonte: FAS, 2011apud ALMEIDA, 2012. Valores expressos em múltiplos de 1,000 toneladas.



A Tabela 4.2, sintetiza os principais países produtores de óleo de palma no mundo em 2014, revelando que países como Indonésia e Malásia detêm mais de 80% da produção mundial.

É importante ressaltar que o Brasil não alcança 1% da produção mundial, devido a baixos investimentos e incentivos por parte do governo e empresas, contudo essa expectativa tende a melhorar com os anos e apoio do governo (ALMEIDA, 2012).

Tabela 4.2- Países produtores de óleo de palma no mundo. Fonte: ANDRADE, 2015.

Países	Produção Óleo		Área Plantada	
	Tonelada	%	Hectares	%
Indonésia	33.000.000	53,33	8.565.957	50,17
Malásia	20.500.000	33,13	5.392.235	31,58
Tailândia	2.250.000	3,64	856.200	5,01
Colômbia	1.108.000	1,79	427.368	2,5
Nigéria	930.000	1,5	337.120	1,97
Papua N. Guiné	630.000	1,01	108.000	0,63
Honduras	440.000	0,71	170.120	0,99
Costa do Marfim	400.000	0,64	191.272	1,12
Guatemala	355.000	0,57	168.443	0,99
Brasil	340.000	0,54	210.000	1,23
Outros	1.918.000	3,09	644.545	3,77
Total	61.871.000	100	17.071.260	100

A Tabela 4.3, apresenta os principais produtores de óleo de palma no Pará.

Tabela 4.3 - Principais produtores de óleo de palma no Pará em 2014. Fonte: ANDRADE, 2015.

Empresa	Área	
	Plantada	Expansão
Agropalma	50.513	60.000
Biopalma	62.062	80.000
Mejers	16.128	30.000
Dentauá	5.997	10.000
Pbio + Galp	27.150	75.000
ADM	7.500	50.000
Denpasa	3.900	10.000
Marborges	7.140	10.000
Palmasa	5.954	10.000
Outros	700	20.000

Total	187.044	355.000
-------	---------	---------

4.3. Cadeia produtiva de óleo de palma

Para compreender integralmente a cadeia produtiva do óleo de palma e de palmiste, será abordado neste item a produção das mudas, plantio, colheita até o produto derivado do processamento industrial dos frutos.

4.3.1. Tratos agrícolas

Os tratos agrícolas são importantes podendo se mal manejado inviabilizar o projeto, os tópicos abordados a seguir baseiam-se no documento “Dendê informações básicas para seu cultivo” elaborado por Barcelos, et al, (1987) a fim de estimular sua produção e comercialização.

Dessa forma, a primeira etapa é providenciar a quantidade de mudas suficientes para a área que se pretende realizar o plantio, segue-se então o passo a passo dos processos:

Para a produção das mudas é necessário providenciar o local onde será o viveiro, devendo estar localizado próximo de fonte de água, de acordo com Barcelos et al. (1987), tendo em vista que o consumo de água é de aproximadamente 80 m³/dia/ha de viveiro, durante a estação seca.

Visando diminuir custos com transporte o plantio deve estar localizada na parte central da área que será plantada. O solo que preencherá os sacos devem ser argilo-arenoso, rico em húmus (primeiros 10cm de superfície do solo) (Barcelos et al ,1987). Pode-se reutilizar a área do viveiro e neste caso deve-se destruir inteiramente a vegetação existente dentro do viveiro, geralmente gramínea, o que pode ser feito por meio da passagem de uma grade de disco duas ou três vezes, no sentido cruzado (Barcelos et al.,1987).

Barcelos et al. (1987) orienta que no plantio das sementes deve-se preencher os sacos plásticos completamente e então iniciar imediatamente o plantio das

sementes, a fim de se evitar a desidratação dessas. Faz-se um pequeno buraco com o dedo, de aproximadamente 2,5 cm, orientando-se pelo tamanho da semente.

Coloca-se a semente no buraco, com o caulículo voltado para cima e a radícula voltada para baixo, de maneira que a semente se posicione a aproximadamente 1,0 cm abaixo da superfície do solo. Cobre-se suavemente a semente, compactando cuidadosamente a mesma.

Barcelos et al. (1987) cita que após as mudas atingirem 50 cm são transferidas para outro viveiro aberto onde é realizada limpeza periódica, adubação e irrigação. As mudas estão aptas para o plantio em campo com aproximadamente 1,5 metro de altura.

Os tratos culturais tem uma importância fundamental, devendo ser realizados desde o plantio da muda até o palmar entrar em produção (aproximadamente em 3 anos), de preferência possuir cronograma e ser aplicado de forma sistêmica.

Segundo Barcelos et al. (1987) inicialmente deve se realizar o coroamento que consiste em eliminar as plantas que circundam o dendezeiro, evitando deste modo a competição direta com a vegetação e com isso criar condições para o bom desenvolvimento das palmas. Normalmente é feito por meio da aplicação de herbicida, porém também pode ser realizado manualmente quando necessário. A prática do coroamento diminui o ataque de roedores.

Conforme Barcelos et al. (1987) a manutenção da vegetação existente nas entrelinhas deve ser periódica, esta prática nos dendezaís visa também facilitar as operações, colheita e transporte dos cachos, adubação, controle fitossanitário etc., que serão desenvolvidas na plantação, permitindo uma boa movimentação. Além de possuir vantagens, como: combate às invasoras indesejáveis, controle de erosão, reduz a compactação do solo, controle de certas pragas e melhora a fertilização nitrogenada.

Segundo Barcelos et al (1987), a adubação para o dendê é feita por meio das análises foliares retiradas anualmente da plantação. Os resultados dessas análises são comparados com os obtidos nos ensaios de adubação e com isso indicadas

com precisão as necessidades nutricionais da plantação. Já Mejia (2006) aponta que a adubação também pode ser realizada mediante análises do solo, níveis de rendimento e idade das plantas.

Para Barcelos et al (1987) a colheita é necessário realizar a despalma ou poda da emissão foliar que durante o ano evolui com a pluviometria, enquanto durante sua vida varia de acordo com a idade. Uma palmeira com 3-4 anos de idade emite 30-35 folhas/ano, enquanto esta emissão declina para aproximadamente 20 folhas/ano, aos 18-20 anos.

Considerando que os frutos ainda não maduros contêm menos óleo que os frutos maduros, e os frutos passados (pós-amadurecidos) proporcionam óleo com conteúdo mais alto de ácidos graxos livres, estabeleceu-se o critério de se colher um cacho somente quando este apresenta de cinco a cinquenta frutos soltos ou destacáveis.

O controle das pragas e doenças faz parte da fitossanidade. Segundo Wieczorek et al (2015), as principais estratégias de controle das pragas do dendezeiro no Brasil são direcionadas para programas de manejo integrado de pragas, destacando-se algumas estratégias para se alcançar o efetivo controle: a) manipulação de cultivares; b) controle biológico por parasitoides, predadores e entomopatógenos; c) controle cultural; d) controle químico com inseticidas, sendo importante enfatizar que não existem produtos registrados oficialmente no Brasil para serem usados em dendezeiros.

Conforme Mejia (2006) deve existir um programa de fertilização e este ser baseado em análises químicas do solo, folhas, níveis de rendimentos e idade dos palmares. A aplicação de fertilizantes é realizada em círculos com raios de 0,50m no ano de transplante e no segundo ano em um raio de 1,50m e de 2,0m no terceiro ano em que a cada ano se aumenta em 0,50m o raio de aplicação dos fertilizantes.

Ainda, Mejia (2006) cita que a maior porcentagem das raízes absorventes encontra-se a 25 cm de profundidade e se estendem da mesma forma que as folhas.

A estimativa da produção além dos fatores ambientais, está relacionada com sua idade. Inicia-se no terceiro ano após plantio, com 6 a 8 t/ha/ano de cachos, eleva-se até chegar ao oitavo ano, quando estabiliza com 24 t/ha/ ano de cachos. Finalmente decresce gradativamente do 12º ano ao 20º ano de 22 para 16 t/ha/ano de cachos (Mejia; 2006).

Os itens a seguir tratarão do beneficiamento do cacho de dendê ao produto final.

4.3.2. Descrição do processo industrial

A Palma é a única oleaginosa da qual se pode extrair dois tipos diferentes de óleos bem distintos: da polpa (mesocarpo) é extraído o Óleo de Palma e da amêndoa, o Óleo de Palmiste.

Sobre a extração do Óleo de Palma, vários processos operacionais são utilizados para obter o produto acabado. No primeiro passo do processamento produz o óleo bruto, extraído do mesocarpo do fruto. Este, na sua segunda fase pode ser refinado ou também fracionado usando um processo de cristalização e separação simples, em que são obtidas frações sólidas (estearina) e líquidas (oleína).

As etapas do beneficiamento se basearam nas informações adquiridas da empresa Aboissa Óleos Vegetais e de Wieczorek et al (2015) e serão descritas a seguir.

Feita a etapa da colheita e coleta dos cachos de frutos frescos (CFF), conhecidos também como *Fresh Fruit Bunch* (FFB), estes são transportados em caminhões, sendo pesados na entrada da fábrica. Após, são transferidos para a rampa ou moega de recebimento onde são levados para os carros “trolleys” por meio de uma via de trilhos direto para o esterilizador.



Figura 4.5 - Recebimento dos frutos. Fonte: Wieczorek et al (2015).



Figura 4.6 - Esterilizador. Fonte: Wieczorek et al (2015).

Na esterilização, os frutos são cozidos a uma temperatura de aproximadamente 135 °C sob pressão de 2 a 3 kg/cm², por cerca de uma hora. Depois desse procedimento, os frutos passam pelo debulhador em que ocorre a separação dos cachos e dos frutos. Os cachos vazios são os primeiro resíduos da extração do óleo de palma e recebem o nome de buchas (Cachos de Frutos Vazios) ou EFB (*Empty Fruit Bunch*).



Figura 4.7 - Debulhador. Fonte: Wieczorek et al (2015).



Figura 4.8 - Cachos e frutos vazios. Fonte: Wieczorek et al (2015).

Após o processo de separação (debulhador), os frutos são prensados mecanicamente por uma prensa contínua para a retirada do óleo do mesocarpo carnoso. O óleo cru obtido na prensagem é transferido para o desarenador, onde

são retirados os resíduos formados pelas partículas pesadas, fibras e nozes, depois clarificado e purificado para a remoção de umidade, sujeira e outras impurezas.



Figura 4.9 - Prensagem. Fonte: Wieczorek et al (2015).



Figura 4.10 - Óleo bruto. Fonte: Wieczorek et al (2015).

As nozes são transferidas para um moinho, o qual separa as amêndoas das cascas. Das amêndoas é extraído o óleo de palmiste sendo as cascas e a torta de palmiste os resíduos desta etapa. As cascas das nozes juntamente com as fibras são utilizadas como combustível em algum processo dentro da refinaria. Já a polpa (torta de palmiste) possui alto valor nutricional e é utilizado como alimento na agropecuária.

Segundo Wieczorek et al (2015), atualmente a fibra e as cascas são utilizadas como combustível no processo de geração de vapor. Turbinas de contrapressão são empregadas para geração de energia elétrica, não havendo exportação para a rede e o vapor que deixa as turbinas é utilizado, principalmente, no processo de aquecimento dos cachos de frutos frescos (CFF) e os cachos vazios e as cinzas da caldeira são utilizados para fertilização.

Conforme a Figura 4.11 o processo gera um efluente líquido conhecido como POME que é tratado em lagoas de tratamento anaeróbias. O lodo das lagoas de tratamento é utilizado na fertilização.



Figura 4.11 - Resíduo Líquido POME. Fonte: Wieczorek et al (2015).

Wieczorek et al (2015) afirma que a indústria de óleo de palma é praticamente autossuficiente em vapor e em energia elétrica, mas nem todo o resíduo gerado é utilizado, havendo possibilidade de aumento de geração de vapor inicial. Para o início da partida das caldeiras utiliza-se óleo diesel.



Figura 4.12 - Caldeira. Fonte: Wieczorek et al (2015).

As fibras e impurezas retidas na peneira voltam para a prensagem e o óleo bruto é transferido para o tanque de decantação por meio de bomba centrífuga, ocorrendo assim a separação do óleo e da borra. O óleo é transferido para o tanque de armazenagem, já a borra é processada na centrífuga e transferida para o decantador secundário, onde após separação do óleo é transferida para lagoas. Todo o óleo separado da borra volta para o tanque de decantação.

A torta resultante deste primeiro processo de prensagem é processada no transportador onde ocorre a secagem da fibra, que quando seca, é utilizada como combustível na caldeira a vapor. As nozes são polidas para retirada do resíduo das fibras e são transferidas para o moinho quebrador. As amêndoas são separadas das cascas, que são destinadas para combustível ou para matéria prima para carvão ativado. As amêndoas são armazenadas para posterior beneficiamento.

As amêndoas do fruto da palma são quebradas, a seguir são laminadas. A pasta produzida na laminação é cozida e prensada. O produto é um óleo bruto que é filtrado no filtro prensa e a seguir transferido para o tanque de armazenagem, extraído mecanicamente ou por solvente. A torta é retirada do filtro prensa e armazenada em sacos.

O processo clássico de refino físico contínuo do óleo de palma compreende três seções (ABOISSA, 2016).

➤ Pré-Tratamento ácido

O óleo bruto é bombeado, com a vazão indicada pelo fluxômetro, passando pelo trocador de calor de placas, onde é aquecido com vapor de baixa pressão. O óleo aquecido recebe ácido fosfórico alimentado por meio da bomba dosadora e a mistura passa por um misturador de disco e um tanque de reação. Após o tempo de contato, a mistura é bombeada para o desaerador, onde o óleo é seco e tem a temperatura controlada adequadamente ao processo de branqueamento.

➤ Branqueamento

O vaso branqueador é abastecido por meio de um extravasor interligado ao desaerador. Um silo de terra de branqueamento, equipado com dosador automático, dosa a terra de branqueamento ao óleo. O vaso branqueador é dimensionado para dar o tempo de residência e a agitação adequada de modo a promover o contato ideal do óleo com a terra de branqueamento.

A mistura é então bombeada para um dos filtros herméticos de folhas filtrantes verticais, onde a terra de branqueamento é removida. Finalmente, o óleo

branqueado passa por um dos filtros de polimento, sendo descarregado em um tanque pulmão. O branqueamento do óleo é produzido em vácuo de 50 torr, gerado por um conjunto de ejetores/condensadores, acionados por vapor.

➤ Destilação

O óleo a ser destilado é bombeado do tanque pulmão por meio de um trocador de calor de placas, onde é aquecido com vapor de baixa pressão. O óleo aquecido é pulverizado em uma câmara de desaeração. Em seguida é bombeado por meio de um trocador regenerativo de calor em que troca calor com o óleo que sai. Em outro trocador, o óleo é aquecido com fluído térmico ou vapor saturado de alta pressão até alcançar a temperatura de destilação/desodorização.

O destilador/desodorizador, submetido a vácuo de 3 torr, possui sistemas de bandejas internas, onde o óleo percorre um labirinto, com injeção direta de vapor. Do destilador/desodorizador, o óleo é bombeado por meio do trocador regenerativo, onde aquece o óleo a ser destilado e, em seguida, em outro trocador é resfriado com água.

O óleo refinado, já frio, recebe uma dosagem de antioxidante por meio de uma bomba dosadora e é homogeneizado no fluxo de óleo por meio de um misturador estático, passando, em seguida, por um dos filtros de polimento final. Eventuais respingos de óleo do destilador/desodorizador são coletados em um tanque, para posterior reprocessamento.

Os ácidos graxos destilados são condensados em um lavador de gases, por meio de um fluxo de óleo ácido que é bombeado em circuito fechado, passando por uma troca de calor.

A Figura 4.13 resume basicamente as etapas do processo produtivo da palma, iniciando pela colheita dos frutos frescos até a produção do óleo e armazenagem.

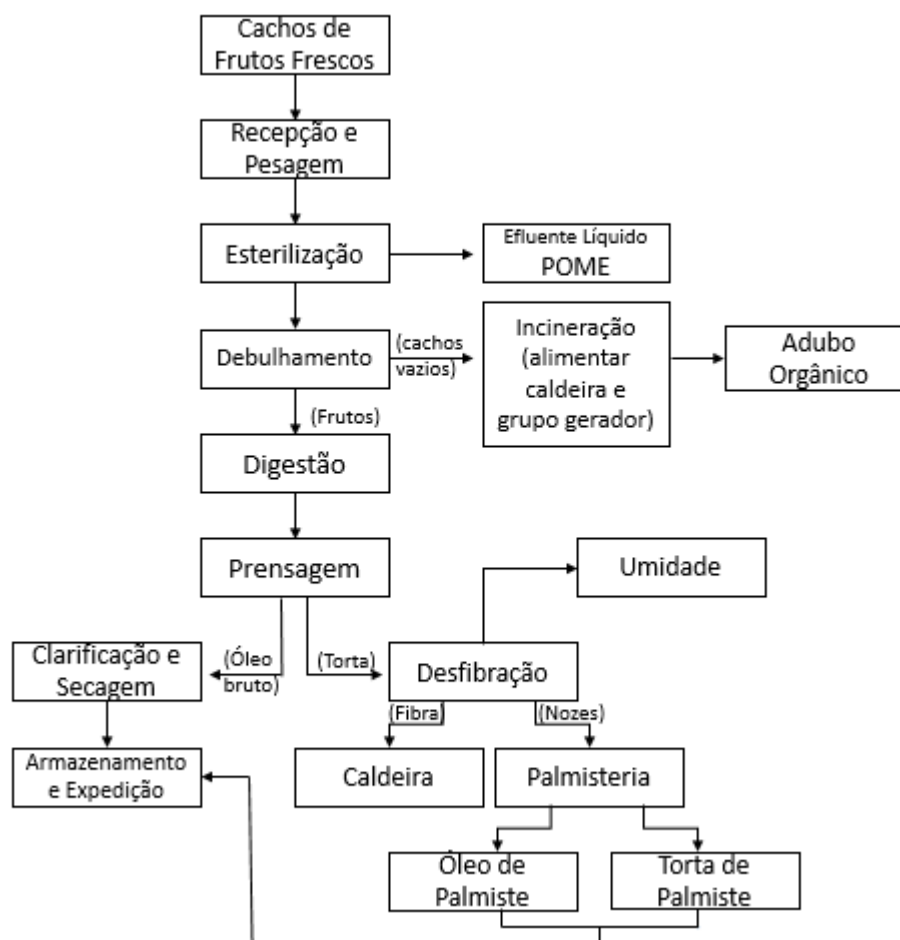


Figura 4.13 - Fluxograma do processo produtivo de óleo de palma. FONTE: PARENTE, 2003.

4.3.3. Balanço de massa da indústria de óleo de palma

Para realizar o balanço de massa da indústria de óleo de palma foram utilizados dados baseados na produtividade agrícola e industrial da empresa Agropalma do ano de 2013.

Considerando que a Agropalma é a maior produtora de óleo de palma do Brasil, que o ciclo produtivo dura aproximadamente vinte e cinco anos e que as palmeiras iniciam a produção dos frutos a partir do terceiro ano, adotou-se como referência os valores apresentados na Tabela 4.4.

As palmeiras começam a produzir CFF a partir do terceiro ano produtivo, alcançando em média 8,5 tCFF/ha, chegando a atingir até 25 tCFF/ha em torno do

seu décimo segundo ano produtivo em que ocorre o ápice de sua produtividade. A produção de CPO/ha acompanha essa curva de crescimento, atingindo 4,4 tCPO/ha.

A Tabela 4.4 sintetiza os principais valores referentes à produção de cacho de fruto fresco (CFF), óleo bruto de palma (CPO), produtividade de óleo de palmiste (PKO), entre outras informações.

Tabela 4.4 Dados gerados da produção de óleo de Palma. Fonte: WIECZOREK, A. et al, 2015.

Parâmetro	Unidade	Valor	%CFF
Produtividade Média	tCFF/ha	20	-
Produtividade 1-25 anos	tCFF/ha	1-25,35	-
Produtividade Agrícola	tCPO/ha	4,55	-
Produtividade Industrial	tCPO/tCFF	0,227	22,75%
Produtividade Industrial	tPKO/tCFF	0,01	1%
Fibras	tFibras/tCFF	0,156	15,60%
Cascas	tCascas/tCFF	0,05	5%
Cachos e Frutos Vazios	tCFV/tCFF	0,293	29,30%
Torta de Palmiste	tTorta/tCFF	0,035	3,50%
POME (Palm Oil Mill Effluent)	tPOME/tCPO	3,6	-
	tPOME/tCFF	0,8172	22,85% + água
Biomassa acumulada nas palmeiras 1-25 anos	tC/ha	15-127	-

Conforme Tabela acima a produtividade média da Agropalma foi de 20 toneladas de CFF/hectare e sua produtividade agrícola foi de 4,55 toneladas de óleo de palma bruto/hectare. Para os resíduos, têm-se as fibras dos frutos frescos representando aproximadamente 15,0% do peso total; as cascas dos frutos representando 5,0%; os cachos e frutos vazios representando 29,3%; e a torta de palmiste apenas 3,5%. Contudo vale notar que o resíduo líquido industrial da palma, o POME, comparado com a quantidade de cacho de frutos frescos produzida, representa aproximadamente 82% do peso total e para cada tonelada de óleo bruto produzida, são gerados 3,6 t de POME, representando assim, o efluente com maior volume gerado pela indústria da palma.

➤ *POME (Palm Oil Mill Effluent)*

O POME é o efluente líquido gerado no processo de produção do óleo de palma. É uma suspensão coloidal contendo 90-95% de água; 0,6 – 0,7% de óleo; 4 – 5% de sólidos totais; sendo 2 - 4% de sólidos suspensos. A Agropalma produz 3,6 tPOME/tCPO. A faixa de DBO do POME varia de 25000 a 35000 mg/l, o DQO é aproximadamente 53630 mg/l, óleo e graxas, 8370 mg/l, sólidos totais e sólidos suspensos, é de 43635 mg/l e 19020 mg/l, respectivamente (ABDULLA; SULAIMAN, 2013).

No caso das principais indústrias de óleo de Palma no Brasil, o POME é tratado em lagoas onde o processo ocorre majoritariamente de forma anaeróbica gerando biogás, este possui entre 50-60% de metano e não é aproveitado para fins energéticos.

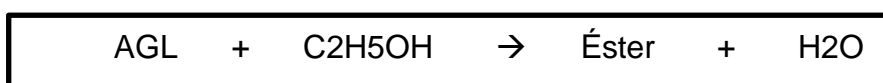
4.4. Usos do Óleo de Palma Bruto (CPO) para fins energéticos

Segundo Wieczorek et al (2015), dentre os diversos usos do Óleo de Palma, cita-se o uso direto como combustível em motores de ciclo Otto, em substituição ao óleo diesel. Este processo é extremamente importante em comunidades isoladas na Amazônia cujo custo do óleo diesel torna-se inacessível devido a grande distância e a complicada logística de transporte para acesso a estes locais isolados.

O CPO atualmente, principalmente em regiões da Malásia, é utilizado para produção de Biodiesel, a partir da reação de transesterificação. No Brasil, processos de produção de Biodiesel via transesterificação utiliza-se o metanol, apesar da produção de biodiesel a partir do Óleo de Palma no país não acontecer devido à baixa competitividade em relação ao preço pago por este combustível. Em dezembro de 2015, o preço pago pelo Biodiesel era de R\$ 2,69/l, sendo que o preço de produção do Óleo Bruto de Palma era de R\$ 2,4/l. Logo, o preço do CPO era aproximadamente o mesmo pago pelo Biodiesel. Quando ainda adiciona-se o custo em relação ao processo de refinaria do Óleo para produção do Biodiesel, este

processo torna-se inviável economicamente no cenário Brasileiro (WIECZOREK, A. et al, 2015).

Também é possível se produzir Biodiesel a partir da esterificação dos ácidos graxos, um resíduo do processo de refinaria do CPO. A única empresa no Brasil que possuía uma unidade de produção de Biodiesel via ácidos graxos era a Agropalma, porém devido aos altos custos de produção e manutenção, esta unidade foi fechada em 2012. Um exemplo deste processo é a transesterificação ácida do resíduo do POME. A reação de esterificação consiste na reação entre ácidos graxos livres (AGL) e um álcool (OLIVEIRA, 2008). A reação é representada pela seguinte equação:



4.5. Tecnologias disponíveis para o aproveitamento dos resíduos

Como a quantidade de resíduos formados pelo processo agrícola e industrial do óleo de palma é representativamente alto, é importante aproveitar tais resíduos para reinserir nos ciclos de produção, seja para geração de energia elétrica por meio da cogeração ou também aproveitar o poder calorífico dos resíduos sólidos para as caldeiras. A compostagem também se mostra uma alternativa muito utilizada no campo visto que reduz a utilização de fertilizantes.

4.5.1. Biomassa (sistemas a vapor)

As cascas, as fibras e os cachos de frutos secos, como já citados anteriormente, representam em torno de 50% da massa dos CFF e geralmente são utilizados como combustível devido ao seu poder calorífico acima de 2600 kcal/kg (JUNIOR, 2006). A biomassa é queimada nas caldeiras para fornecer vapor no processo de extração de óleo dos frutos. Ressalta-se que outro uso destes resíduos seria a fertilização, substituindo a utilização de adubação mineral.

A Figura 4.14 representa a configuração de uma planta de cogeração típica da indústria do Óleo de Palma:

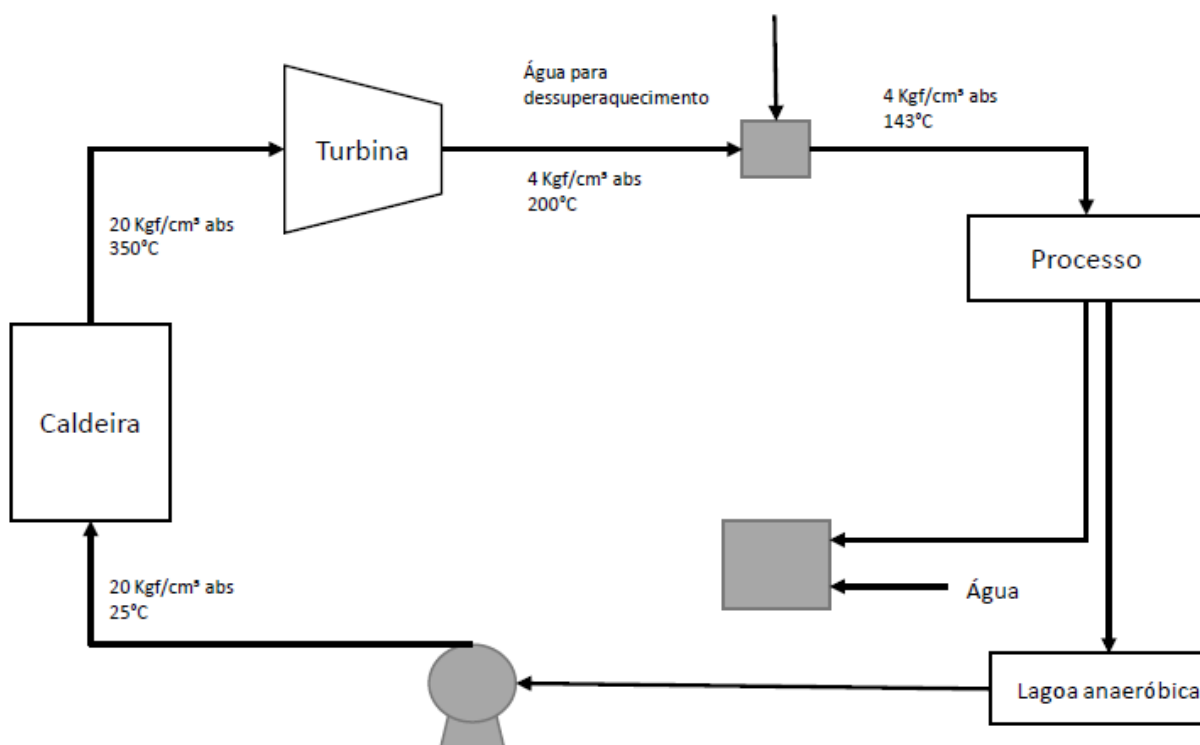


Figura 4.14 - Configuração de uma planta de cogeração típica da indústria do Óleo de Palma. FONTE: WIECZOREK, A. et al, 2015.

4.5.2. Compostagem

A compostagem pode ser realizada com todo material não aproveitado no processo industrial e agrícola, tais como, as folhas, engaços, tortas, cinzas, entre outros podem e devem ser utilizados. As folhas de podas, removidas durante a colheita e durante a manutenção dos palmares, cada palmeira produz de 20-30 folhas/ ano ou próximo de 10t de matéria seca por hectare (JUNIOR, 2006).

Solano (1984) (apud JUNIOR, 2006) estima em pouco mais de 11 toneladas métricas/ha/ano a quantidade de folhas, em peso seco, sendo que este material, se reciclado no campo, aporta aproximadamente 45% do fertilizante que a palmeira necessita.

Baseado em JUNIOR et. al., (2004), os engaços (suporte fibroso que sustenta o fruto) constituem de 20% a 25% do cacho de fruto fresco e são reciclados no campo como “mulch”. Ainda alerta que a viabilidade econômica do uso de engaços como cobertura depende, principalmente do custo do transporte com o retorno do

material para o campo, do preço do fertilizante químico e do custo da mão de obra para distribuição.

Já as cinzas formadas pela queima do engaço no campo são muito ricas em potássio, porém a legislação ambiental deve ser consultada para ações de queimada. O volume é enormemente reduzido, uma vez que a cinza do engaço representa 0,5% do peso do CFF e 2% do peso do próprio engaço. Observa-se que as cinzas formadas nas caldeiras alimentadas pela biomassa das fibras do mesocarpo no processo de geração de vapor para extração de óleo dos frutos são importantes para neutralizar a acidez do solo e como fertilizantes.

4.5.3. Biodigestão (produção de biogás – cogeração)

Entre os benefícios da captura do biogás gerado pela indústria de óleo de palma, pode-se citar a redução das emissões de GEE, como o metano e CO₂, que por sua vez é capaz de gerar receita adicional ao processo através de sua elegibilidade para o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo aplicação (MDL). Este mecanismo pode proporcionar a venda dos créditos de carbono obtidos por meio da redução da emissão dos GEEs, a diminuição do impacto ambiental da produção, incentivar inovação tecnológica e I&D. Consecutivamente, reduz a dependência de combustíveis fósseis e aumenta a segurança e diversificação no fornecimento de energia.

Conforme NKEA (2011), o biogás pode ser usado para todas as aplicações em lugar de gás natural e atualmente existem diversas empresas e tecnologias que focam para aproveitamento do biogás gerado pelas indústrias de óleos de palma, produzidos a partir de diferentes métodos, por exemplo: sistema digestor anaeróbico tipo tanque fechado com reator contínuo agitado (CSTR), sistema de fermentação de metano empregando micro-organismos especiais e sistema anaeróbico de fluxo reversível reator compartimentado, entre outros. A vantagem da utilização de tratamento anaeróbico do POME em relação ao aeróbico é o menor consumo de energia e a produção do Metano, com alto poder calorífero, podendo ser utilizado para geração de energia. Também, o lodo gerado durante este processo tem boas características nutritivas, podendo ser utilizado como fertilizante.

Dentre os principais métodos utilizados no tratamento anaeróbico do POME, temos como citado anteriormente, as lagoas anaeróbicas e os tanques de digestão abertos, como também os tanques fechados (CSTR), utilizados em algumas plantas na Malásia.

A Tabela a seguir mostram as principais características dos métodos de tratamento anaeróbico do POME analisados e suas vantagens e desvantagens:

Tabela 4.5 - Performance de diferentes métodos de tratamento do resíduo líquido. Fonte: CHONG, 2009 apud WIECZOREK, A. et al, 2015 .

	OLR (Kg COD/m ³ dia)	Tempo de retenção (dia)	% Metano no biogás	Demanda química de oxigênio
Lagoa				
Anaeróbica	1,4	40	54,4	97,8
Disgestor				
Anaeróbico	2,16	20	36	80,7
Filtração				
Anaeróbica	4,5	15	63	94
UASB ¹	10,63	4	54,2	98,4
UASFF ²	11,58	3	71,9	97
CSTR ³	3,33	18	62,5	80

De acordo com a Tabela 4.5, é possível observar que o tratamento de efluentes líquidos por lagoa anaeróbica requer um tempo de retenção do resíduo muito maior para ser tratado. Já os tanques de digestão abertos possuem uma menor área de tratamento e são aplicados quando não há espaço disponível para instalação de lagoas. A emissão de biogás nos tanques abertos, segundo Yacob et al (2005), é menor em relação às lagoas, devido a possível entrada de oxigênio durante o processo.

¹ UASB - Reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo.

² UASFF – Reator anaeróbio de fluxo ascendente com filme fixo.

³ CSTR - Reator tanque agitado contínuo.

4.5.4. Formas de captação do biogás

Em relação aos métodos de produção do biogás a partir do POME analisados no item anterior, pode-se concluir que, para captação do biogás, as lagoas anaeróbicas, atualmente mais utilizadas na indústria da palma, possuem uma maior dificuldade para captação devido as suas grandes dimensões.

Em relação à concentração de metano no biogás gerado, o tratamento em reatores, além de possuir um menor volume e exigir um menor tempo de retenção do resíduo, produz biogás com maiores concentrações de metano, apesar de não ser utilizado em escala industrial, apenas em uma planta na Malásia, utilizando o reator CSTR (JI et. al. 2013), devido a seu alto custo de implantação. Este método permite uma maior facilidade na captação do biogás produzido, coletado por meio de uma tubulação específica no reator.

Conforme NKEA (2011), o mais comum é a cobertura das lagoas anaeróbicas por uma geomembrana de polietileno conforme mostra a Figura 4.15.



Figura 4.15 - Cobertura das lagoas anaeróbicas por uma geo-membrana de polietileno. Fonte: NKEA(2011).

4.5.5. Utilização do Biogás para fins energéticos

O biogás possui um alto valor energético devido a grande presença de metano na sua composição. Para demonstração do potencial energético que o biogás a partir do óleo da palma possui, foi utilizado um estudo feito por Yacob et al (2006) e resumido por Wieczorek (2015), a partir da análise de dois projetos instalados na Malásia. Os valores obtidos são os mais realistas possíveis e estão apresentados no estudo de caso deste trabalho.

Como o biogás gerado possui concentrações de metano suficientes para queima e geração de energia, ele pode ser utilizado na cadeia produtiva do óleo de palma como, por exemplo, na substituição do diesel utilizado na produção, principalmente na partida das caldeiras; como substituição do uso da fibra prensada e da casca do fruto utilizadas na geração de vapor para comercializá-las como insumos para produção de biocombustível; produção de energia elétrica a partir da queima em turbinas a gás ou motores; queima do biogás na caldeira em conjunto com a biomassa sólida; simples queima no *flare*.

5. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi realizado de acordo com dados produtivos reais fornecidos pela empresa AGROPALMA, (2013), localizada no Estado do Pará, além de dados coletados dos projetos “Ulu Kanchong” e “Tee Teh Palm Mill”, instalados na Malásia. Atualmente estes são os únicos projetos no mundo que possuem os sistemas de geração e reaproveitamento do biogás do POME em escala comercialmente cujos dados podem ser pesquisados. Houve uma grande dificuldade de obtenção de dados relacionados a este tema, o que limitou o estudo e permitiu apenas discutir tecnologias com fontes de dados acessíveis pelos projetos específicos citados acima.

Foram considerados dois cenários de utilização do biogás produzido a partir da biodigestão do POME por meio do sistema de lagoas anaeróbias cobertas, que é o único método de tratamento anaeróbio do POME encontrado hoje em dia. O primeiro cenário analisa técnica e financeiramente a viabilidade da queima do biogás juntamente na caldeira com a biomassa sólida. O segundo aborda a viabilidade técnica-financeira da utilização do biogás para produção de energia elétrica. Ambos os cenários são discutidos com relação às vantagens e às desvantagens. Em nenhum dos cenários foi considerado o custo de frete dos equipamentos.

Os dados de produtividade utilizados no estudo foram coletados da empresa Agropalma 2015 e estão listados a seguir:

- CFF = 750.000 t/ano
- Produção média de CPO = 160.000t/ano
- POME: 3,6 t POME/tCPO
- Produção anual de POME = $3,6 \times 160.000 = 576.000$ tPOME/ano

✓ Cálculos iniciais:

De acordo com YACOB (2005), a partir da biodigestão anaeróbia do POME é possível produzir metano a uma taxa de 12,36 kg CH₄/tPOME.

Logo, a produção anual de metano (CH₄) seria de = 12,36 (kgCH₄/tPOME) x 576.000 (tPOME/ano) = 7.119.360 kg CH₄/ano.

Enquanto a vazão média anual de metano seria = 7.119.360 (kgCH₄/ano) / 8640 (h/ano) = 824 Kg/h

De acordo com YANEZ (2008), há em média 54,4% de CH₄ no biogás produzido a partir da biodigestão do POME. Logo: Vazão média de biogás = 824 (kg/h) / 0,544 = 1.514,7 Kg/h

5.1. Queima do biogás com biomassa sólida na caldeira

A vantagem da utilização do biogás na caldeira é devido a não necessidade de tratamento adicional. Também com relação ao desempenho da caldeira, a queima do biogás reduz o teor de particulados dos gases de combustão. Porém para a implementação deste sistema, é necessário introduzir queimadores de gás na caldeira e instalar um sistema de *flare* para queima do Biogás quando a caldeira estiver fora de funcionamento (WIECZOREK, et al. 2015). Os dados foram coletados do projeto “Ulu Kanchong”, instalado na Malásia, e seguem listados a seguir:

- Temperatura de vapor = 350°C;
- Vazão do biogás = 1.514,7 kg/h;
- PCI biogás POME = 3.686 Kcal/Kg (YANEZ, 2008).
- Eficiência da caldeira = 70%;
- Delta H = 724,2 kcal/kg

Sendo assim, é possível calcular:

- Energia produzida pelo biogás = $1.514,7 \text{ (kg/h)} \times 3.686 \text{ (PCI)} = 5.580.604 \text{ kcal/h}$.
- Calor Útil (kcal/h) = $5.580.604 \times 0,7 \text{ (70\%)} = 3.906.422,8$;
- Vapor gerado [20 kgf/cm^2 abs e 350°C] (kg/h) = $3.906.422,8 / 724,2 = 5.394,12$;
- Vapor requerido pelo processo = $45.662,21 \text{ kg/h}$ [$2,5 \text{ kg Vapor / kg CPO}$] – (ABDULLAH; SULAIMAN, 2013);

Logo, economia em biomassa queimada será de: vapor gerado/vapor requerido: $5.394,12 / 45.662,21 = 12\%$.

A biomassa queimada é composta por cachos vazios e fibras, e de acordo com a empresa Agropalma, 1 tonelada de cachos de frutos frescos (CFF) contém em média 0,35 toneladas de biomassa. Sendo assim, neste cenário, a quantidade total de biomassa gerada anualmente é de: $0,35 \times 750.000 = 262.500 \text{ t}$, e a biomassa deslocada neste cenário representa: $262.500 \times 0,12 = 31.500 \text{ t}$.

Considerando a utilização do biogás gerado para queima direta na caldeira, seria possível deslocar 31.500 t de biomassa sólida (fibra prensada e casca). De acordo com valores do mercado na Malásia, obtidos por meio do estudo financeiro realizado pela empresa *Biotec International Asia Sdn* no projeto da usina *Ulu Kanchong* em 2011, o valor para cada tonelada de cachos vazios e fibras comercializadas é de U\$ 25,00. Foi considerado este valor no estudo devido a não existência no mercado brasileiro de comércio estabelecido para venda de biomassa sólida residual da indústria de óleo de palma.

Considerando ainda valores reais do sistema de produção e de queima de biogás direto na caldeira do projeto de *Ulu Kanchong*, da empresa *Biotec* na Malásia em 2011, apresenta-se:

✓ Investimento Inicial:

Planta de captação do biogás: U\$ 3.000.000,00

Adaptação na caldeira para queima do biogás: U\$ 200.000,00

O&M: U\$ 118.750,00

Custo Total: U\$ 3.000.000,00 + U\$ 200.000,00 + U\$ 118.750,00 = U\$ 3.318.750,00
 = **R\$ 10.863.264,00** (considerando cotação do dólar a R\$ 3,2733 - fonte: BCB, 03/08, 17:00)

✓ Receita anual a partir da comercialização da biomassa:

U\$ 25,00 x 31.500 (t de biomassa sólida deslocada) = U\$ 775.235,00
 = **R\$ 2.537.576,7**

Payback simples do sistema: R\$ 10.863.264,00 / R\$ 2.537.576,7 = **4,2 anos**

5.2. Produção de energia elétrica

Para a utilização do Biogás em geradores de energia elétrica, é necessário realizar o tratamento do Biogás para remoção do H₂S que possui efeito corrosivo para a carenagem do gerador, o que adiciona gasto extra ao sistema. Também, de acordo com Wieczorek (2015), é necessária para a viabilização deste sistema a instalação de um *flare* para queima do Biogás em caso de manutenção do gerador, instalação do grupo gerador e interligação com a rede de transmissão.

Considerando dados da empresa Agropalma e informações coletadas do projeto “Tee Teh Palm Mill” realizado pela empresa “Biogas Environmental Enginnering Sdn” na Malásia, aponta-se:

- Consumo de energia elétrica da planta: 0,085 KWh / Kg CPO;
- Consumo anual: 0,085 x 160.000.000 (t CPO / ano) = 13.600.000 KWh/ano = 13.600 MWh/ano;
- Consumo médio: 13.600 / 8.760 = 1,55 MWh/h (24 horas de funcionamento);
- Vazão do biogás (Kg/h) = 1.514,7;
- Energia do biogás (Kcal/h) = 1.514 x 3.686 (PCI) = 5.580.604;

- Eficiência do gerador = 28%;
- Energia Útil (Kcal/h) = $5.580.604 \text{ (Kcal/h)} \times 0,28 = 1.562.569,12$;
- Energia produzida = 2,5 MWh/h (1 Kcal = 0,0016 KWh);
- Energia exportada para rede: $2,5 - 1,55 \text{ (MWh/h)} = 0,95 \text{ MWh/h} = 8.322 \text{ MWh/ano}$;
- Venda de energia para rede: R\$ 2.330.160,00 (considerado R\$ 0,28 KWh – fonte: Agropalma, 2015);

✓ Gerador: 2,5 MW trabalhando a 90% de carga

Preço: R\$ 3.000.000,00 (R\$ 1.200,00 / KW – fonte: Generac, 2016)

Instalação: R\$ 500.000,00 (fonte: Generac, 2016)

O&M: R\$ 260.000,00 / ano (R\$ 20,00 para cada MWh – fonte: Generac, 2016)

Custo da planta de geração e captação do CH₄ = U\$ 3.000.000,00 (R\$ 9.819.900,00 para dólar a 3,2733 reais – fonte: BCB, 03/08, 17:00)

Total do investimento: **R\$ 13.579.900,00**

✓ Receita anual:

Venda de energia para a rede = R\$ 2.330.160,00 (R\$ 0,28 KWh)

Comercialização da biomassa sólida deslocada: $U\$ 25,00 \times 262.500 = U\$ 6.562.500,00 = R\$ 23.811.191,00$

Total da receita anual: **R\$ 23.811.191,00**

✓ *Payback* do sistema:

Para o cálculo do *payback* deste sistema não foi considerado o custo do tratamento do Biogás gerado devido à vasta gama de tecnologias e complexidade

desta operação. Logo, o resultado alcançado não representa o real retorno do investimento, porém é possível diagnosticar a dimensão do projeto deste sistema.

$$\text{R\$ } 13.579.900,00 / \text{R\$ } 23.811.191,00 = 0,57 = \mathbf{7 \text{ meses}}$$

6. CONCLUSÃO

É possível chegar a uma conclusão de que apesar do óleo de palma e dos resíduos do processo industrial da agroindústria da Palma, como por exemplo, o POME, não serem destinados usualmente para reaproveitamento energético, eles possuem um potencial importante que deve ser mais bem desenvolvido e estudado, principalmente no Brasil.

Como observado também, a indústria do óleo de Palma é autossuficiente em energia elétrica, a partir da queima da biomassa sólida em caldeira a vapor, razão pela qual o setor ainda é pouco avançado em tecnologias relacionadas ao tratamento dos resíduos industriais e da produção de energia a partir do Biogás gerado pela biodigestão do POME.

A viabilidade econômica de diversas alternativas de aproveitamento do Biogás gerado pela biodigestão do POME depende de diferentes fatores, tais como, custos do investimento em equipamentos, instalação, operação e manutenção; e as receitas geradas por meio de diferentes fontes, tais como, a comercialização direta da biomassa, a venda de energia elétrica gerada para a concessionária, entre outras.

Considerando o cenário de queima do biogás gerado em caldeira juntamente com a biomassa, é possível se gerar até 12% da biomassa para comercialização direta, gerando uma nova fonte de renda para a indústria em questão. O estudo de investimento para este tipo de projeto resultou num *payback* de 4,2 anos, o que se mostra atrativo se considerado investimento de médio prazo.

Em relação à utilização do Biogás para geração de energia elétrica a partir da queima direta no gerador, além de ser possível substituir em totalidade a utilização da biomassa sólida da queima na caldeira, é plausível vender o excedente para a rede. Considerando este cenário, dependendo do custo dos equipamentos e da instalação tanto para geração de energia quanto para tratamento do Biogás, é provável alcançar um investimento com boa atratividade, como mostrado no segundo estudo de caso.

Por fim, é importante salientar também que o tratamento do efluente POME, a geração e a captação do Biogás, produzidos por este processo, proporcionam, além do retorno financeiro, um ganho ambiental muito forte, devido à diminuição da emissão de GEE's antes emitida pela má utilização do resíduo no campo, tanto como a geração de um novo resíduo, pós-tratamento anaeróbio, rico em nutrientes capaz de ser utilizado com adubo de alto valor nutricional.

REFERÊNCIAS

ABDULLAH N., SULAIMAN F. The oil palm wastes in Malaysia. **Biomass Now – Sustainable Growth and Use**. Chapter 3, 75-100 (2013).

ABOISSA. **Óleo de palma, palm & lauric oils**. 2016. Disponível em: <<http://www.aboissa.com.br/produtos/view/609/oleo-de-palma.html>>. Acesso em: 01 mar. 2016.

ABRAPALMA. **Sobre a palma**. Disponível em: <<http://www.abrapalma.org/pt/sobre-o-fruto-de-palma/>>. Acesso em: 01 mar. 2016.

AGROPALMA. **Relatório de sustentabilidade, 2013**. Disponível em: <<http://www.agropalma.com.br/responsabilidade-socioambiental/relatorio-de-sustentabilidade>>. Acesso em: 01 abr. 2016.

ALMEIDA, J. R. **Criação de Valor sustentável de óleo de palma no Brasil. Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Profissional em Administração da FGV/EAESP**. 2012. 119p.

ANDRADE, E. B. **A cadeia produtiva da palma de óleo no estado do Pará: uma avaliação crítica: Audiência Pública sobre o Programa Nacional de Produção Sustentável de Óleo de Palma**. Brasília: [s.n.], 2015. 51 p.

BARCELLOS, E. et Al. **Dendê: informações básicas para o seu cultivo**. 1. ed. Brasília. EMBRAPA - Departamento de Difusão de Tecnologia. 1987. 40p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Programa de produção sustentável de óleo de palma no Brasil**. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras_setoriais/Palma_de_oleo/1_reuniao/Programa.pdf>. Acesso em: 01mar. 2016.

DESER – Departamento de Estudos Socioeconômicos Rurais. **A cadeia produtiva do dendê: estudo exploratório**. Curitiba. 2007. Disponível em: <<http://www.deser.org.br>>. Acesso em: 01 mar. 2016.

JI C.M., EONG P. P., TI T. B., SENG C. E., LING, C. K. **Biogas from palm oil mill effluent (POME): Opportunities and challenges from Malaysia's perspective. Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 26 717-726. 2013

JUNIOR J. F. et al.. **Compostagem de Engaços de Dendê em Processo Natural. Comunicado técnico 126, 2004**. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/8577799/1/com.tec.126.pdf>>. Acesso em: 31 mar. 2016.

JUNIOR, J. F. **Dendê: Manejo e Uso dos Subprodutos e dos Resíduos**. Comunicado técnico 246, 2006. Disponível em:

<<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/391512/1/Doc.246.pdf>>.
Acesso em: 31 mar. 2016.

OLIVEIRA, M. E. C. **Produção de Biodiesel de Óleo de Palma e seus Resíduos Graxos por Transesterificação e Esterificação, 2008.** Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/410145/1/Doc339.pdf>>.
Acesso em: 30 mar. 2016.

MEJÍA, L. E. S. Cultivo de la palma africana guía técnica. **Instituto Interamericano de Cooperación para a Agricultura (IICA).** 1 ed. Manágua, Nicaragua: [s.n.], 2006. 27 p.

MONTEIRO, K. F. G. **Análise de indicadores de sustentabilidade socioambiental em diferentes sistemas produtivos com palma de óleo no Estado do Pará.** 2013. 205p. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias/Agroecossistemas da Amazônia). Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA.

(NKEA) NATIONAL KEY ECONOMIC AREAS. **National biogas implementation (epp5), 2011.** Disponível em: <<http://www.palmoilworld.org/pdfs/nkea-epp5-biogas.pdf>>. Acesso em: 01 abr. 2016.

(NKEA) NATIONAL KEY ECONOMIC AREAS. **Biogas Environmental Engineering Sdn. Bhd. (BEE) High Efficient Methane Fermentation System for Electricity Generation, 2013.** Disponível em: <<http://www.bee-sb.com/res/downloads/BEE%20-%20NKEA%20-%20EPP5%20Jan%202013.pdf>>.
Acesso em: 01 abr. 2016.

ROCHA, M. G. da; CASTRO, A. M. G. de. **Fatores limitantes à expansão dos sistemas produtivos de palma na Amazônia.** Brasília, DF: *Embrapa*, 2012. 185 p.

SERRÃO, E. Apresentação In: Viegas, I., Muller, A. (eds), **A Cultura do Dendzeiro na Amazônia Brasileira**, 1 ed. Belém, Pará, 2000.

PARENTE, M. V. **Projeto potencialidades regionais estudo de viabilidade econômica: DENDÊ.** Manaus: Superintendência da Zona Franca de Manaus - Suframa, 2003. 39 p.

VIEGAS, I.; MULLER, A. **A Cultura do Dendzeiro na Amazônia Brasileira**, 1ª ed., Embrapa Amazônia Oriental. Belém, Pará, 2000.

VILLELA, A. A.. **Expansão da Palma na Amazônia orienta para fins energéticos.** 2014. 388p. Tese (Doutorado apresentada ao Programa de Planejamento Energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2014.

WIECZOREK, A. et al. **Óleo de palma e produção de energia. Trabalho final da disciplina: biomassa como fonte de energia - conversão e utilização - pen 5014:** UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE – IEE: [s.n.], 2015. 31 p.

YACOB, S. et al. **Baseline study of methane emission from anaerobic ponds of palm oil mill effluent treatment.** Science of the Total Environment, Universiti putra Malaysia., p. 187-196, jul./ago. 2005. Disponível em: <<https://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-UK1186564216.66/ReviewInitialComments/SRM0VDO6F8OJ2GD8038A5URMV7Y0AY>>. Acesso em: 03 mar. 2016.

YANEZ, E. E. **Avaliação do impacto energético e ambiental da cogeração no balanço energético e no ciclo de vida do biodiesel de óleo de palma africana.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Itajubá. 2008.