

GERAÇÃO E APROVEITAMENTO DE SUBPRODUTOS PROVENIENTES DAS AGROINDÚSTRIAS DE EXTRAÇÃO DE ÓLEO DE PALMA: UMA REVISÃO

Edivaldo dos Santos Sarmento

Universidade Federal do Pará
engedisarmento@hotmail.com

Júnior Hiroyuki Ishihara

Universidade Federal do Pará
jhi@ufpa.br

Ingrid Luna Baia Viana

Universidade Federal do Pará
ingridluna.eng@gmail.com

RESUMO

As agroindústrias de extração de óleo de palma geram uma quantidade significativa de resíduos sólidos, que se acumulam e, pelas suas características, tornam-se uma ameaça de poluição ambiental. O aproveitamento dos subprodutos oriundos da atividade agrega valor à cadeia produtiva e é essencial para a sustentabilidade ambiental. O objetivo desta pesquisa foi identificar os subprodutos gerados a partir da extração do óleo de palma e verificar as alternativas de aproveitamento dos resíduos sólidos. A pesquisa foi realizada através de revisão bibliográfica de estudos relacionados ao tema e de dados secundários, estes últimos provenientes da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e do United States Department of Agriculture (USDA). Para o levantamento das alternativas de utilização dos resíduos sólidos gerados da atividade, foi feito um recorte da produção científica na base de dados ScienceDirect, no período de 2002 até o dia 05 de novembro de 2023. O processamento de extração do óleo de palma gera como subprodutos sólidos a torta de palmiste, engaços, fibras e cascas. As agroindústrias podem também gerar uma quantidade significativa de cinzas a partir das caldeiras alimentadas à biomassa de dendê. Os subprodutos sólidos gerados podem ser aproveitados como fonte de geração de energia, na produção de alimentação animal, como agregados na indústria da construção civil e outras finalidades. A partir da identificação dos resíduos gerados da extração de óleo de palma, conseguiu-se verificar os estudos que abordam as novas tecnologias de aproveitamento, afim de que não se tornem ameaçada de poluição ambiental devido ao aumento do volume gerado nos últimos anos pelas agroindústrias de extração de óleo vegetal.

Palavras-chave: Dendê. Óleo de Palma. Subprodutos. Aproveitamento.

GENERATION AND USE OF BYPRODUCTS COMING FROM PALM OIL EXTRACTION AGROINDUSTRIES: A REVIEW

ABSTRACT

Palm oil extraction agro-industries generate a significant amount of solid waste, which accumulates and, due to its characteristics, becomes a threat to environmental pollution. The use of by-products from this activity adds value to the production chain and is essential for environmental sustainability. The aim of this research was to identify the by-products generated from palm oil extraction and to look at alternatives for using solid waste. The

research was carried out through a bibliographical review of studies related to the subject and secondary data, the latter from the Brazilian Agricultural Research Corporation (EMBRAPA) and the United States Department of Agriculture (USDA). In order to survey the alternatives for using the solid waste generated by the activity, a selection was made of scientific production in the ScienceDirect database, from 2002 to November 5, 2023. The processing of palm oil generates palm kernel cake, stalks, fibers and shells as solid by-products. Agribusinesses can also generate a significant amount of ash from boilers fed with palm oil biomass. The solid by-products generated can be used as a source of energy generation, in the production of animal feed, as aggregates in the construction industry and for other purposes. By identifying the waste generated from palm oil extraction, we were able to verify the studies that address new technologies for its use, so that it does not become a threat to environmental pollution due to the increase in the volume generated in recent years by the vegetable oil extraction agro-industries.

Key words: Dendê. Palm Oil. By-products. Utilization.

1. INTRODUÇÃO

O dendezeiro é uma planta originária da África que saiu para outras partes do mundo sob vários pretextos, e onde encontrou condições favoráveis adaptou-se e integrou a flora local, tal qual ocorreu no Brasil que atualmente é uma atividade de grande importância socioeconômica, caracterizada por pequenas propriedades com solos arenosos e areno-argilosos onde a cultura se adapta muito bem e oferece oportunidade de trabalho e renda para os agricultores familiares (SILVA, 2015).

A cultura passou por um ciclo de expansão no território brasileiro, onde a área cultivada em 2009 com 103 mil hectares foi ampliada para 236 mil hectares em 2016, sendo o estado do Pará o principal produtor de palma de óleo (BRASIL, 2018).

No Pará, a produção de dendê existe há mais de 50 anos, entretanto, foi na última década que recebeu incentivos originados de políticas públicas para atender à diversificação e ao

fornecimento de matéria-prima para a produção de combustíveis alternativos renováveis, tornando-se assim uma possibilidade como estratégia para a redução de impactos ao meio ambiente, tais como aqueles ocasionados pela queima de combustíveis fósseis, além da diminuição de desigualdades regionais e a inclusão social de agricultores familiares (MOTA, RIBEIRO e SCHMITZ, 2019; FARIAS, 2022).

Com a intensificação no uso do óleo de dendê para produção de combustível renovável, nasce a necessidade da destinação correta dos resíduos gerados durante o processamento do fruto (SILVA, 2015).

O enorme volume produzido de resíduos implica em custos e cuidados com a poluição, onde observa-se que na maioria das usinas eles não são aproveitados, causando, geralmente, problemas tanto de ordem econômica, pelo elevado custo para a retirada do parque de estocagem, quanto ecológico, devido à formação de depósitos a céu aberto, abrigando ninhos de roedores e poluindo lençóis freáticos, rios e igarapés, das quais as águas

são utilizadas por populações rurais (TEIXEIRA *et al.*, 2001; FURLAN JÚNIOR, OLIVEIRA, TEIXEIRA; 2006).

As biomassas geradas de atividades agroindustriais podem ser aproveitadas e, conforme Moraes *et al.* (2017), elas se constituem na fonte mais importante de energia renovável no mundo. Segundo Borges *et al.* (2016), é crescente a busca por fontes alternativas na matriz energética e por combustíveis mais limpos, sendo o emprego da biomassa uma dessas alternativas.

Diante do exposto, este trabalho propõe identificar os subprodutos gerados das agroindústrias de extração de óleo de palma e realizar um levantamento das alternativas de aproveitamento dos resíduos sólidos na base de dados ScienceDirect.

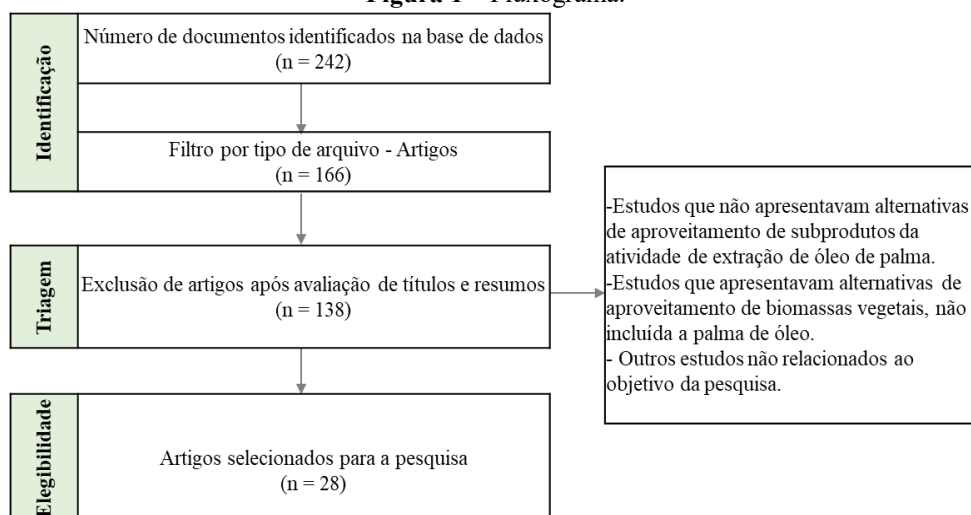
2. METODOLOGIA

Trata-se de um estudo de revisão bibliográfica referente ao tema da pesquisa e coleta de dados secundários provenientes da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e do United States Department of Agriculture (USDA).

Para o levantamento das alternativas de aproveitamento dos resíduos sólidos provenientes da atividade agroindustrial de extração de óleo de palma, foi feita uma análise quantitativa de estudos na base de dados digital (ScienceDirect), no período de 2002 até o dia 05 de novembro de 2023. E, para a busca dos documentos, foram inseridos os seguintes termos em inglês: oil palm, *Elaeis guineensis*, by-products, residues e utilization.

A Figura 1 apresenta o recorte dos artigos com aderência ao assunto da pesquisa. Na base de dados ScienceDirect foram encontradas 242 pesquisas e, deste total, apenas 166 são artigos científicos.

Figura 1 – Fluxograma.



Fonte: Adaptado de Lucas e Azambuja (2020).

Após leitura mais detalhada dos artigos (títulos e resumos), foram selecionados 28 artigos que apresentaram resultados referentes às alternativas de aproveitamento dos subprodutos sólidos das agroindústrias de extração de óleo de

palma, sendo um dos objetivos do estudo. Os outros 138 artigos foram excluídos por não apresentarem aderência ao objetivo da pesquisa.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estrangeira como cultura exótica, a *Elaeis guineensis*, espécie da palma de dendê, agora denominada de palma de óleo ou dendê, é originária da costa oriental da África (Golfo da Guiné) (FARIAS, 2022).

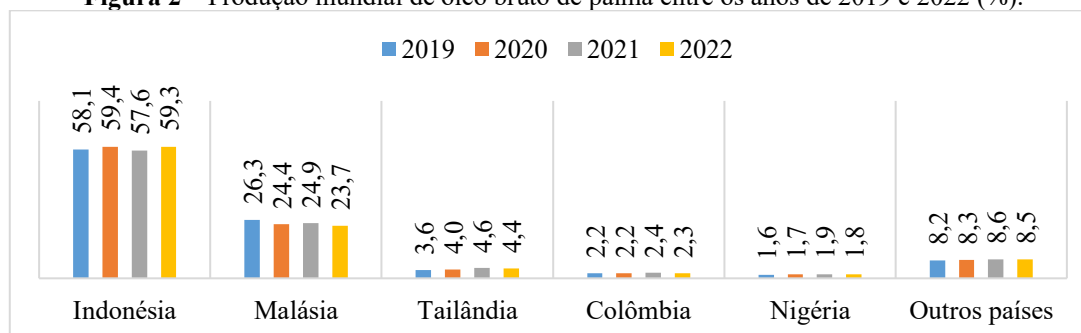
O óleo de palma é extraído da polpa do fruto do dendê, denominada de mesocarpo (MARZULLO, 2007). O óleo de palmiste é outro tipo de óleo extraído a partir do esmagamento das amêndoas dos frutos do dendê, sendo considerado um óleo mais nobre (POKU, 2002).

Na extração de óleos vegetais, o método mais utilizado, em escala industrial, é o método por prensagem, mas também, em alguns casos, é utilizado o método da prensagem seguida da extração por solvente (GEANKOPLIS, 2003).

De acordo com Brandão e Schoneveld (2015), o óleo de palma é o óleo vegetal mais comercializado no mundo devido sua competitividade de preços e seus diversos usos que envolvem alto potencial para a produção de biodiesel e alta capacidade substitutiva na produção de alimentos, produtos químicos industriais, cosméticos e produtos farmacêuticos. Portanto, conforme Lima (2018), a versatilidade do uso do óleo de dendê é altamente atraente para o mercado.

Atualmente, os maiores produtores de óleo de palma são Indonésia e Malásia, onde dominaram 83% do setor no ano de 2022. Tailândia, na Ásia; Colômbia, na América do Sul; e Nigéria, na África, completam o ranking (USDA, 2023). A Figura 2 mostra a produção mundial de óleo de palma entre os anos de 2019 e 2022.

Figura 2 – Produção mundial de óleo bruto de palma entre os anos de 2019 e 2022 (%).



Fonte: United States Department of Agriculture - USDA (2023).

No Brasil, os principais estados que produzem óleo de palma são Pará e Bahia, representando 84% e 16% da produção total, respectivamente (USDA, 2023).

A partir do processamento dos frutos do dendezeiro, tem-se como produtos o óleo bruto de palma e óleo de palmiste, e como subprodutos a torta de palmiste, engaços, fibras, cascas e efluentes líquidos (FURLAN JÚNIOR, 2006). Conforme o

mesmo autor, no processo de geração de vapor para extração de óleo dos frutos, as fibras do mesocarpo do dendê são utilizadas em caldeiras alimentadas à biomassa, o qual tem-se como resíduos sólidos uma quantidade apreciável de cinzas.

De acordo com Poku (2002), em uma fábrica de óleo de palma bem gerida, espera-se que a cada 100 toneladas processadas de Cacho de Fruto Fresco (CFF) sejam produzidas de 20 a 24 toneladas

de óleo de bruto de palma e cerca de 4 toneladas de grãos de palma. Assim, entre 72 a 76% do CFF sai em várias fases do processo como resíduo.

A grande quantidade de resíduos sólidos gerada do processo produtivo de óleo de palma desencadeia discussões ambientais e econômicas sobre formas de reaproveitar esses subprodutos e amortizar os impactos ambientais (FURLAN JÚNIOR, OLIVEIRA, TEIXEIRA; 2006).

3.1 Usos alternativos dos subprodutos sólidos

Devido a quantidade crescente de resíduos gerados na agroindústria há a necessidade de novas alternativas de aproveitamento dos subprodutos (SOUZA *et al.*, 2013). Por esse motivo, nos últimos anos, grandes pesquisas estão sendo voltadas para o aproveitamento total dos resíduos sólidos agroindustriais da extração de óleo de palma, conforme observado na Tabela 1.

Tabela 1 – Finalidades de usos dos subprodutos sólidos das agroindústrias de extração de óleo de palma.
(continua)

FINALIDADE	ARTIGO	AUTORES
Geração de Energia	Palm oil mill derived empty palm fruit bunches as a feed stock for renewable energy applications in Nigeria: A review	Obada <i>et al.</i> , 2023.
	Preparation of charcoal briquette from palm kernel shells: case study in Ghana	Osei Bonsu, Takase e Mantey, 2020.
	Chemical-free fractionation of palm empty fruit bunch and palm fiber by hot-compressed water technique for ethanol production	Pangsang <i>et al.</i> , 2019.
	Oil palm empty fruit bunches as a promising feedstock for bioethanol production in Malaysia	Derman <i>et al.</i> , 2018.
	Biochar potential evaluation of palm oil wastes through slow pyrolysis: Thermochemical characterization and pyrolytic kinetic studies	Lee <i>et al.</i> , 2017.
	Second generation bioethanol potential from selected Malaysia's biodiversity biomasses: A review	Aditiya <i>et al.</i> , 2016.
	Utilization of palm solid residue as a source of renewable and sustainable energy in Malaysia	Hosseini e Wahid, 2014.
	Thermophilic anaerobic co-digestion of oil palm empty fruit bunches with palm oil mill effluent for efficient biogas production	O-Thong, Boe e Angelidaki, 2012.
	Gasification of oil palm empty fruit bunches: A characterization and kinetic study	Mohammed <i>et al.</i> , 2012.
	Comparative exergetic performance analysis of hydrogen production from oil palm wastes and some other biomasses	Kalinci, Hepbasli e Dincer, 2011.
	Hydrogen rich gas from oil palm biomass as a potential source of renewable energy in Malaysia	Mohammed <i>et al.</i> , 2011.
	Biomass energy in Malaysia: Current state and prospects	Mekhilef <i>et al.</i> , 2011.
	Improvement of biogas production from oil palm empty fruit bunches (OPEFB)	Nieves, Karimi e Horváth, 2011.
	Empty fruit bunches from oil palm as a potential raw material for fuel ethanol production	Piarpuzán, Quintero e Cardona, 2011.
	Bioethanol production potential from Brazilian biodiesel co-products	Visser <i>et al.</i> , 2011.
	Oil palm biomass as a sustainable energy source: A Malaysian case study	Shuit <i>et al.</i> , 2009.

(conclusão)

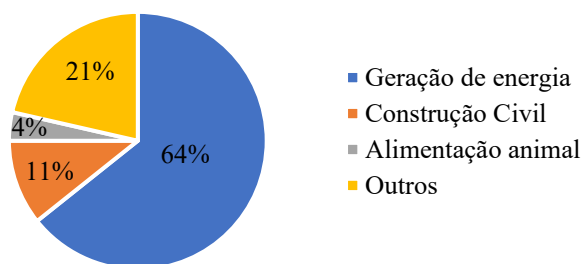
	Potential of hydrogen from oil palm biomass as a source of renewable energy worldwide	Kelly-Yong <i>et al.</i> , 2007.
	Renewable energy from palm oil – innovation on effective utilization of waste	Yusoff, 2006.
FINALIDADE	ARTIGO	AUTORES
Construção Civil	Valorization of biomass ashes in the production of cementitious composites: A comprehensive review of properties and performance	Danish et al., 2023.
	Tensile, physical and morphological properties of oil palm empty fruit bunch/sugarcane bagasse fibre reinforced phenolic hybrid composites	Ramlee <i>et al.</i> , 2019.
	Sustainable concrete containing palm oil fuel ash as a supplementary cementitious material – A review	Thomas, Kumar, e Arel, 2017.
Alimentação animal	Palm kernel cake from the biodiesel industry in diets for goat kids. Part 1: nutrient intake and utilization, growth performance and carcass traits	Ribeiro <i>et al.</i> , 2018.
Outros	Evaluating the technological properties of fired clay bricks incorporated with palm kernel shell	Adazabra, Viruthagiri e Foli, 2023.
	Potentials of palm kernel shell derivatives: a critical review on waste recovery for environmental sustainability	Uchebulam, Momoh e Agan, 2022.
	Formulation of biofertilizers from oil palm empty fruit bunches and plant growth-promoting microbes: A comprehensive and novel approach towards plant health	Mahmud e Chong, 2021.
	Synthesis optimization of oil palm empty fruit bunch and rice husk biochars for removal of imazapic and imazapyr herbicides	Yavari <i>et al.</i> , 2017.
	Oil palm fiber (OPF) and its composites: A review	Shinoj <i>et al.</i> , 2011.
	Utilization of biodiesel waste as a renewable resource for activated carbon: Application to environmental problems	Foo e Hameed, 2009.

Fonte: Autores (2023).

É possível observar na Tabela 1 as principais pesquisas relacionadas com as possibilidades de utilização dos subprodutos sólidos gerados das agroindústrias de extração de óleo de palma. Entre as

finalidades de usos alternativos dos subprodutos sólidos, destaca-se a utilização como fonte para a geração de energia (Figura 3).

Figura 3 – Quantidade de artigos publicados sobre os usos alternativos dos subprodutos sólidos.



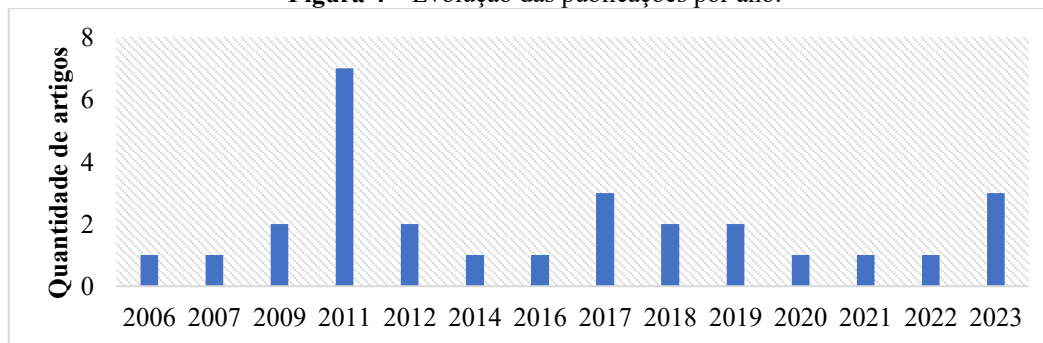
Fonte: Autores (2023).

A utilização de resíduos vegetais como combustível representa uma interessante alternativa em relação aos combustíveis sólidos tradicionais, tais como lenha e carvão (BITENCOURT, PEDROTTI e ALMEIDA, 2014). Portanto, incentivar e fomentar a utilização da biomassa como fonte de energia primária e renovável é uma alternativa para equilibrar o descompasso da utilização de fontes não renováveis (BORGES *et al.*, 2016).

A partir da valorização dos resíduos agroindustriais poderá ser possível o uso total da biomassa, aumentando a eficiência dos processos produtivos e atribuindo maior viabilidade econômica às tecnologias empregadas (SANTOS, CORRÊA e FRANÇA, 2019).

A Figura 04 mostra a evolução das publicações dos artigos durante o período de 2002 até o dia 05 de novembro de 2023. Observa-se que em 2011 houve um acréscimo significativo de pesquisas.

Figura 4 – Evolução das publicações por ano.



Fonte: Autores (2023).

O resultado da pesquisa mostrou que os subprodutos sólidos gerados das atividades agroindústrias de extração de óleo de palma podem ser aproveitados para diversas finalidades e, nos últimos anos, vários estudos estão sendo desenvolvidos para a busca de novos meios de aproveitamento destes resíduos com o intuito de uma cultura de “perda zero” da atividade e,

consequentemente, para a redução ou eliminação de impactos ambientais negativos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o aumento da produção de óleo de palma há um aumento significativo na quantidade de resíduos sólidos gerados durante o processamento do fruto.

O tratamento diferenciado dos subprodutos por parte das agroindústrias de óleo de palma visa a busca de benefícios na ordem econômica e na melhoria ambiental com o seu manejo adequado. Por esse motivo, nos últimos anos, novas pesquisas estão sendo desenvolvidas com o intuito de se fazer o aproveitamento total desses subprodutos.

REFERÊNCIAS

- ADAZABRA, A. N.; VIRUTHAGIRI, G.; FOLI, B. Y. Evaluating the technological properties of fired clay bricks incorporated with palm kernel shell. **Journal of Building Engineering**, volume 72, 106673, ago. 2023.
- ADITIYA, H. B. et al. Second generation bioethanol potential from selected Malaysia's biodiversity biomasses: A review. **Waste Manag**, 47 (Pt A): 46-61, jan. 2016.
- BITENCOURT, D. V.; PEDROTTI, A.; ALMEIDA, R. N. A fibra da casca do coco verde e a fabricação de briquetes: um estudo de suas potencialidades. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, Aquidabã, v. 5, n.1, 2014.
- BORGES, P. C. A. et al. Energias renováveis: uma contextualização da biomassa como fonte de energia. **REDE – Revista Eletrônica do PRODEMA**, Fortaleza, Brasil, v. 10, n. 2, p. 23-36, jul./dez. 2016.
- BRANDÃO, F.; SCHONEVELD, G. C. The state of oil palm development in the Brazilian Amazon: Trends, value chain dynamics, and business models. Working Paper 198. Bogor, Indonesia: CIFOR. Disponível em: <https://www.cifor.org/knowledge/publication/5861/>. Acesso em: 08 nov. 2023.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Diagnóstico da Produção Sustentável da Palma de Óleo no Brasil, Brasília: Mapa/ACE, 2018.
- DANISH, A. et al. Valorization of biomass ashes in the production of cementitious composites: A comprehensive review of properties and performance. **Construction and Building Materials**, volume 405, artigo 133244, nov. 2023.
- DERMAN, E. et al. Oil palm empty fruit bunches as a promising feedstock for bioethanol production in Malaysia. **Renewable Energy**, volume 129, parte A, p. 285-298, dez. 2018.
- FARIAS, A. L. A. O grande projeto da dendeicultura na Amazônia: impactos, conflitos e alternativas [recurso eletrônico] — Dados eletrônicos. — Belém: NUMA/UFPA, 2022. Disponível em: <https://numa.ufpa.br/index.php/livros/item/109-o-grande-projeto-da-dendeicultura-na-amazonia-impactos-conflitos-e-alternativas>. Acesso em: 8 nov. 2023.
- FOO, K.Y.; HAMEED, B.H. Utilization of biodiesel waste as a renewable resource for activated carbon: Application to environmental problems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, volume 13, ed. 9, p. 2495-2504, dez. 2009.
- FURLAN JÚNIOR, J.; OLIVEIRA, R. F.; TEIXEIRA, L. B. Dendê: Manejo e uso dos subprodutos e dos resíduos. Belém-PA: Embrapa Amazônia Oriental, n. 156, 2006.
- FURLAN JÚNIOR, J. Dendê: manejo e uso dos subprodutos e dos resíduos. - Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2006.
- GEANKOPLIS, C. J. Transport processes and separations process principles. 4. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2003.
- HOSSEINI, S. E.; WAHID, M. A. Utilization of palm solid residue as a source of renewable and sustainable energy in Malaysia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, volume 40, p. 621-632, dez. 2014.
- KALINCI, Y.; HEPBASLI, A.; DINCER, I. Comparative exergetic performance analysis of hydrogen production from oil palm wastes and some other biomasses. **International Journal of Hydrogen Energy**, volume 36, ed. 17, p. 11399-11407, ago. 2011.
- KELLY-YONG, T. L. et al. Potential of hydrogen from oil palm biomass as a source of renewable energy worldwide. **Energy Policy**, volume 35, ed. 11, p. 5692-5701, nov. 2007.
- LEE, X. J. et al. Biochar potential evaluation of palm oil wastes through slow pyrolysis:

Thermochemical characterization and pyrolytic kinetic studies. **Bioresour Technol**, volume 236, p. 155-163, jul. 2017.

LIMA, G. A. Os impactos sociais e ambientais da extração de óleo de palma: uma preocupação para os direitos humanos. In: MARTINS, B.S., SANTOS, A.C., and LOPES, S., eds. **As sociedades contemporâneas e os direitos humanos = Contemporary societies and human rights** [online]. Ilhéus: EDITUS, 2018, p. 47-74, 2018.

LUCAS, C. N. M.; AZAMBUJA, M. A. Estudo das propriedades térmicas de concretos leves: Revisão na base SCOPUS e SCIELO (2009-2019). **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, volume 08, número 68, 2020.

MAHMUD, M. D. S.; CHONG, K. P. Formulation of biofertilizers from oil palm empty fruit bunches and plant growth-promoting microbes: A comprehensive and novel approach towards plant health. **Journal of King Saud University - Science**, volume 33, ed. 8, 101647, dez. 2021.

MARZULLO, R. C. M. **Análise de ecoeficiência dos óleos vegetais oriundos da soja e palma, visando a produção de biodiesel**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. doi:10.11606/D.3.2007.tde-09012008-155336. Acesso em: 2023-11-05.

MEKHILEF, S. et al. Biomass energy in Malaysia: Current state and prospects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, volume 15, ed. 7, p. 3360-3370, set. 2011.

MOHAMMED, M. A. A. et al. Gasification of oil palm empty fruit bunches: a characterization and kinetic study. **Bioresour Technol**, volume 110, p. 628-636, abr. 2012.

MOHAMMED, M.A.A. et al. Hydrogen rich gas from oil palm biomass as a potential source of renewable energy in Malaysia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, volume 15, ed. 2, p. 1258-1270, fev. 2011.

MORAES, S. L. et al. Cenário brasileiro da geração e uso de biomassa adensada. **Revista IPT | Tecnologia e Inovação**, volume 1, número 4, abr. 2017.

MOTA, D. M.; RIBEIRO, L.; SCHMITZ, H. A organização do trabalho familiar sob a influência da produção de dendê em Tomé-Açu, Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, Belém, volume 14, número 2, p. 531-551, 2019.

NIEVES, D. C.; KARIMI, K.; HORVÁTH, I. S. Improvement of biogas production from oil palm empty fruit bunches (OPEFB). **Industrial Crops and Products**, volume 34, ed. 1, p. 1097-1101, jul. 2011.

OBADA, D. O. et al. Palm oil mill derived empty palm fruit bunches as a feed stock for renewable energy applications in Nigeria: A review. **Bioresource Technology Reports**, volume 24, 101666, dez. 2023.

OSEI BONSU, B.; TAKASE M.; MANTEY, J. Preparation of charcoal briquette from palm kernel shells: case study in Ghana. **Heliyon**, volume 16, edição 10, e05266, out. 2020.

O-THONG, S.; BOE, K.; ANGELIDAKI, I. Thermophilic anaerobic co-digestion of oil palm empty fruit bunches with palm oil mill effluent for efficient biogas production. **Applied Energy**, volume 93, ed. C, p. 648-654, maio 2012.

PANGSANG, N. et al. Chemical-free fractionation of palm empty fruit bunch and palm fiber by hot-compressed water technique for ethanol production. **Energy Reports**, volume 5, p. 337-348, nov. 2019.

PIARPUZÁN, D.; QUINTERO, J. A.; CARDONA, C. A. Empty fruit bunches from oil palm as a potential raw material for fuel ethanol production. **Biomass and Bioenergy**, volume 35, ed. 3, p. 1130-1137, mar. 2011.

POKU, KWASI. Small-Scale Palm Oil Processing in Africa. FAO Agricultural Services Bulletin n° 148, Roma, 2002. Disponível em: <https://www.fao.org/3/y4355e/y4355e00.htm#Contents>. Acesso em: 05 nov., 2023.

RAMLEE, N. A. et al. Tensile, physical and morphological properties of oil palm empty fruit bunch/sugarcane bagasse fibre reinforced phenolic hybrid composites. **Journal of Materials Research and Technology**, volume 8, ed. 4, p. 3466-3474, jul./ago. 2019.

RIBEIRO, R.D.X. et al. Palm kernel cake from the biodiesel industry in diets for goat kids. Part 1: nutrient intake and utilization, growth performance and carcass traits. **Small Ruminant Research**, volume 165, p. 17-23, ago. 2018.

SANTOS, O. R.; CORRÊA, N. C. F.; FRANÇA, L. F. Processo de transformação termoquímica da torta do mesocarpo do dendê para obtenção de biocombustíveis. **Revista Ciências Agrárias**, volume 62, 2019.

SILVA, C. R. R. Obtenção, caracterização e viabilidade de utilização de um compósito com matriz de resina poliéster e resíduos originados da extração do óleo de dendê. 2015. 99f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

SHINOJ, S. et al. Oil palm fiber (OPF) and its composites: A review. **Industrial Crops and Products**, volume 33, ed. 1, p. 7-22, jan. 2011.

SOUZA, N. F. et al. Obtenção de nanocelulose extraída de resíduos lignocelulósicos da prensagem do mesocarpo do dendê. In: VII Workshop de Nanotecnologia Aplicada ao Agronegócio, Embrapa Instrumentação, São Carlos, 2013.

SHUIT, S. H. et al. Oil palm biomass as a sustainable energy source: A Malaysian case study. **Energy**, volume 34, ed. 9, p. 1225-1235, set. 2009.

TEIXEIRA, L. B. et al. **Pesquisas sobre o uso de engaço de dendê em dendezaes adultos**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001. ISSN 1517-2201.

THOMAS, B. S.; KUMAR, S.; AREL, H. S. Sustainable concrete containing palm oil fuel ash as a supplementary cementitious material – A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, volume 80, p. 550-561, dez. 2017.

United States Department of Agriculture Foreign Agricultural Service (USDA). Relatório 2013. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/oilseeds-world-markets-and-trade>. Acesso em: 22 out. 2023.

UCHEGBULAM, I.; MOMOH, E. O.; AGAN, S. A. Potentials of palm kernel shell derivatives: a critical review on waste recovery for environmental sustainability. **Cleaner Materials**, volume 6, 100154, dez. 2022.

VISSER, E. M. et al. Bioethanol production potential from Brazilian biodiesel co-products. **Biomass and Bioenergy**, volume 35, ed. 1, p. 489-494, jan. 2011.

YAVARI, S. et al. Synthesis optimization of oil palm empty fruit bunch and rice husk biochars for removal of imazapic and imazapyr herbicides. **Journal of Environmental Management**, volume 193, p. 201-210, maio 2017.

YUSOFF, S. Renewable energy from palm oil – innovation on effective utilization of waste. **Journal of Cleaner Production**, volume 14, ed. 1, p. 87-93, 2006.

Edivaldo dos Santos Sarmiento

Engenheiro Sanitarista e Ambiental

Mestrando de Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento Energético (PPGINDE)

Júnior Hiroyuki Ishihara

Doutorado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido pela Universidade Federal do Pará
Professor Adjunto da Universidade Federal do Pará,
Campus de Tucuruí

Ingrid Luna Baia Viana

Engenheira Sanitarista e Ambiental

Mestranda de Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento Energético (PPGINDE)
