



APROVEITAMENTO DA CASCA DE COCO PARA USO ENERGÉTICO

USE OF GREEN COCONUT SHELL FOR ENERGY

Najara Barros Dias^{1*}, Paula Zimmermann Schneider², Gisele de Lorena Diniz Chaves³, & Wanderley Cardoso Celeste⁴

^{1 2 3 4} Centro Universitário Norte do Espírito Santo da Universidade Federal do Espírito Santo, Rodovia BR 101, Norte, Km. 60, Bairro Litorâneo, CEP 29932-540, São Mateus.

^{1*} najaradias15@hotmail.com ² pzschnneider@gmail.com ³ gisele.chaves@ufes.br ⁴ wanderley.celeste@ufes.br

ARTIGO INFO.

Recebido em: 07/03/2019

Aprovado em: 09/05/2019

Disponibilizado em: 05/07/2019

PALAVRAS-CHAVE:

Casca de coco verde; Biomassa; Energia.

KEYWORDS:

Green coconut shell; Biomass; Energy.

*Autor Correspondente: Dias, N.B.

RESUMO

O descarte do resíduo de coco verde causa transtornos, seja ele feito de forma adequada ou inadequada. A disposição adequada deste resíduo representa um custo considerável nos gastos com limpeza pública. O resíduo é encaminhado para os aterros sanitários que, com isso, tem sua vida útil diminuída devido ao volume que este resíduo ocupa, além de contribuir com a emissão de metano, um dos principais gases do efeito estufa. Quando descartado inadequadamente, contribui com a proliferação de vetores causadores de doenças, o que por sua vez representa um custo indireto para o poder público. Neste contexto, pesquisas vem sendo realizadas para o desenvolvimento de técnicas para aproveitamento deste resíduo. A sua utilização para a geração de energia, além de prover uma destinação para os resíduos, também auxilia na diversificação da matriz energética. O objetivo deste trabalho é discutir alternativas para aproveitamento da casca de coco verde para geração de energia. Foram encontrados na

literatura diferentes produtos resultantes do processamento deste resíduo. Os trabalhos analisados objetivam apresentar a viabilidade técnica da utilização do resíduo, mas notou-se a falta de trabalhos que estudam a viabilidade econômica e logística do reaproveitamento.

ABSTRACT

The disposal of green coconut residues causes disorders, whether it is done properly or inadequately. An adequate disposition of this waste represents a considerable cost in public cleaning expenses. The waste is sent to landfills, which has its lifetime reduced due to the volume that its residue occupies, besides that, the contributing with the emission of methane, one of the main gases of the greenhouse effect. When discarded inappropriately, it contributes to the proliferation of vectors, causing diseases, which in turn represents an indirect cost to the public authority. In this context, researches has been carried out to develop techniques for the use of this residue. Its use for the generation of energy is gaining a lot of attention, since besides giving a destination for the waste, it also assists in the diversification of the energy matrix. The objective of this work is to discuss alternatives for the reuse of green coconut shell for energy generation. Different products resulting from the processing of this residue were found in the literature. The studies analyzed aim to present a technical feasibility of the waste utilization, but it was noticed the lack of studies of the economic and logistic feasibility of this waste reuse.



INTRODUÇÃO

O coco verde é uma fruta tropical cujo consumo vem crescendo nos últimos anos. No Brasil, a cultura do coco avançou consideravelmente: em 1990 o país produziu em torno de 477 mil toneladas de coco e esta produção passou para aproximadamente 2,65 milhões de toneladas em 2016 (FAO, 2018). Devido ao baixo custo e a disponibilidade, o coco apresenta facilidade para comercialização (Silva, 2014).

A comercialização do coco verde é sazonal, ou seja, é regulada pela procura em função das estações do ano e clima. O consumo de coco verde no verão é consideravelmente maior que nas outras estações do ano, devido ao aumento do consumo em cidades praianas. Ainda assim, mesmo em baixa temporada, observa-se o crescimento do consumo da água de coco, impulsionado principalmente pela inclusão de hábitos saudáveis no comportamento da população brasileira, competindo inclusive com bebidas isotônicas, devido às suas propriedades funcionais (Martins & Jesus Junior, 2014). Porém com o aumento do consumo ocorre aumento proporcional da produção de resíduo.

A casca do coco verde é um subproduto do consumo e da industrialização da água de coco e corresponde a cerca de 85% do peso bruto do fruto (Rocha, et al., 2015). Porém, apenas cerca de 10% deste resíduo é utilizado pelas indústrias que processam coco verde (SNA, 2014), enquanto a maior parte tem sido descartada sem reaproveitamento (Rocha, et al., 2015; SNA, 2014).

Este resíduo causa diversos transtornos no ambiente urbano, principalmente nas cidades praianas (Silva, 2014). Estima-se que 70% do lixo coletado nas praias brasileiras é composto por cascas de coco. Quando não descartadas corretamente nas ruas e praias, atraem insetos e roedores devido à sua degradação, contribuindo com a proliferação destes vetores (Esteves, Abud & Barcellos, 2015; Silva, 2014).

A casca do coco possui um longo tempo de decomposição, que varia entre 8 e 12 anos e requer maior espaço de armazenamento, em função da sua forma e constituição de difícil compactação. Estes fatores contribuem com a diminuição do tempo de vida útil dos aterros sanitários em que são descartados (Holanda, Alves & Chagas, 2009; Rocha, et al., 2015; Silva, 2014). Além disso, as cascas de coco verde depositadas em aterros sob condições anaeróbicas contribuem com a geração de metano, um dos principais gases do efeito estufa (Mattos, et al., 2012; Passos, 2005; Rocha, et al., 2015).



Citação (APA): Dias, N.B., Schneider, P.Z., Diniz, G.de L. & Celeste, W.C. (2019). Aproveitamento da casca de coco para uso energético. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3), 179-195.

Além do impacto ambiental, também há um impacto financeiro devido ao alto custo de transporte do resíduo (Rocha, et al., 2010), uma vez que, pelo grande volume que ocupa e pela dificuldade de compactação, são necessárias várias cargas para que se consiga transportar um número considerável de cascas de coco. Como exemplo, a Prefeitura Municipal de São Mateus/ES pagou em 2018 R\$ 180,00 por tonelada de coco coletado, o transporte custa R\$ 100,00 por tonelada e destina-se ao aterro sanitário que cobra R\$ 96,50 por tonelada, resultando em um custo de R\$ 376,50 por tonelada de resíduo. Este valor é significativo, visto que no período de baixa temporada são pesadas 18,5 toneladas/mês e nos meses de alta temporada, são coletadas 30 toneladas/mês do resíduo de coco verde.

Desta forma, se faz necessário o desenvolvimento de alternativas de aproveitamento da casca de coco, possibilitando assim a redução dos impactos causados por este resíduo, bem como a agregação de valor à esta importante cadeia produtiva econômica (Mattos, et al., 2012; Rocha, et al., 2015).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é identificar e discutir alternativas para aproveitamento da biomassa de casca de coco verde para geração de energia. Para isso, realizou-se uma busca cabal por intermédio das plataformas científicas Google Acadêmico e Periódicos da CAPES, para identificação de artigos sobre o tema. A busca foi realizada utilizando-se as palavras-chave “biomassa”, “casca de coco” e “energia” e suas formas na língua inglesa. Após a identificação das principais formas de aproveitamento da casca de coco para fins energéticos, foram utilizadas palavras chaves adicionais: “bio-óleo”, “briquetagem”, “etanol de segunda geração”, “carvão”, “combustão direta”, “biogás” associados a palavra “coco” e suas formas na língua inglesa.

Além disso, consultou-se sites de órgãos como FAO (*Food and Agriculture Organization*), EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), EPE (Empresa de Pesquisa Energética) e SNA (Sociedade Nacional de Agricultura) para obtenção de informações e dados em relação à produção de coco no mundo, pesquisas e programas de desenvolvimento da utilização de biomassas, em especial a casca de coco, dados referentes à matriz energética brasileira e oferta de energia.

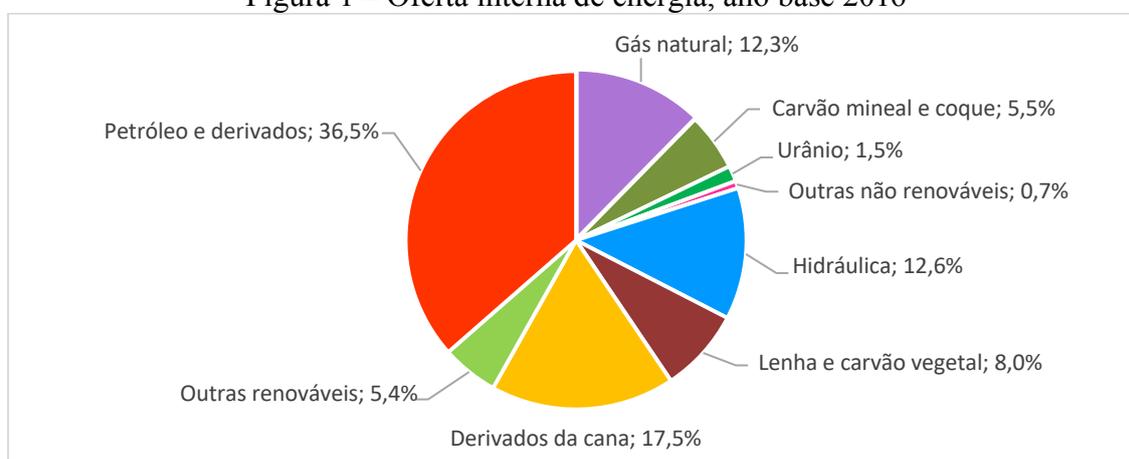


DESENVOLVIMENTO

Biomassa para geração de energia

A matriz energética brasileira é composta majoritariamente pela energia proveniente de combustíveis fósseis. Em 2016, petróleo, gás natural e carvão mineral representaram, juntos, 54,3% da oferta interna de energia (EPE, 2017), como é possível observar na Figura 1. Porém, prevê-se a carestia destes combustíveis no futuro (Bilgili, et al., 2017), o que afeta a segurança energética. Além disso, a queima destes combustíveis fósseis emite gás carbônico (CO₂), grande responsável por problemas ambientais como o aquecimento global e alterações climáticas (Nejat, et al., 2015).

Figura 1 – Oferta interna de energia, ano base 2016



Fonte: EPE, (2017), p. 24.

Quanto à energia elétrica, especificamente, grande parte da oferta interna de energia é proveniente de fontes renováveis, sendo a energia de usinas hidrelétricas a principal, compreendendo 68,1% da oferta em 2016 (EPE, 2017), devido ao grande potencial hídrico do país e por esta ter um custo menor em relação à outras tecnologias renováveis (Pereira, et al., 2013). Porém, apesar de ser uma fonte de energia renovável, é totalmente dependente de condições climáticas e tem sua geração prejudicada em épocas de crises hídricas (Prado Jr., et al., 2016). Assim, se faz necessária a busca por alternativas a fim de se diversificar a matriz energética e de depender cada vez menos de apenas uma fonte de energia, aumentando-se a segurança energética.

A energia obtida a partir da biomassa apresenta vantagens devido a diversidade de fontes de biomassa que podem ser exploradas no mundo, incluindo culturas e resíduos agrícolas, dejetos animais e matéria orgânica contida nos rejeitos industriais e urbanos. O potencial



Citação (APA): Dias, N.B., Schneider, P.Z., Diniz, G.de L., & Celeste, W.C. (2019). Aproveitamento da casca de coco para uso energético. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3), 179-195.

energético obtido varia de acordo com características particulares da biomassa, bem como com a tecnologia aplicada em seu processamento (Esteves, 2014). Existem diferentes métodos de processamento da biomassa, que podem ser realizados a partir da combustão direta (com ou sem processos de secagem, compressão ou corte prévios), processos termoquímicos (gaseificação, pirólise, liquefação e transesterificação) ou biológicos (fermentação e digestão anaeróbia) (Figueiredo, 2011).

Países desenvolvidos buscam, a partir da biomassa, obter energia renovável como meio de reduzir as emissões de CO₂ e garantir a segurança energética (Tilman, et al., 2009); biomassa esta produzida em cultivos dedicados para este objetivo. Em países subdesenvolvidos e em desenvolvimento, esse tipo de cultivo energético dedicado pode deslocar culturas de alimentos e causar um desequilíbrio na segurança alimentar (Battisti & Naylor, 2009; Naylor, et al., 2007; Rajagopal, et al., 2007). Apesar disso, o Brasil é hoje um grande produtor e consumidor de biomassa com fins energéticos. Na Figura 1 é possível verificar que a oferta total de bioenergia em 2016, referente à biomassa produzida para este fim, representou 27,6% da matriz energética brasileira, em que os produtos derivados da cana de açúcar corresponderam a 17,5% da matriz e a lenha e carvão vegetal por 8,0%. Esta situação vem sendo favorecida por fatores como o clima, o crescimento do agronegócio brasileiro e a grande quantidade de recursos agrícolas (Barcelos, 2016).

Porém, o desenvolvimento agrícola necessário para atender à crescente demanda por biomassa para geração de energia e garantir, ao mesmo tempo, o atendimento ao carecimento por alimentos, apresenta desafios para os níveis futuros e para a gestão da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos (Chaplin-Kramer, et al., 2015). O crescimento do agronegócio tem relação direta com o aumento dos índice de desmatamento e com a desestruturação dos sistemas locais de produção de alimentos básicos, como arroz e feijão, por exemplo (Silva, 2011).

Assim, uma possibilidade para países subdesenvolvidos e em desenvolvimento contornarem este problema e produzirem bioenergia é pela utilização da biomassa de resíduos agrícolas (Mendu, et al., 2012). A produção de bioenergia a partir de biomassa de resíduos também está crescendo no Brasil. Em 2016, a energia gerada a partir do processamento de biomassas como lixívia, resíduos de madeira e resíduos da agroindústria representou 4,4% da matriz energética brasileira, enquanto que em 2015 esta parcela era 4,1% (EPE, 2017); uma diferença numérica



Citação (APA): Dias, N.B., Schneider, P.Z., Diniz, G.de L., & Celeste, W.C. (2019). Aproveitamento da casca de coco para uso energético. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3), 179-195.

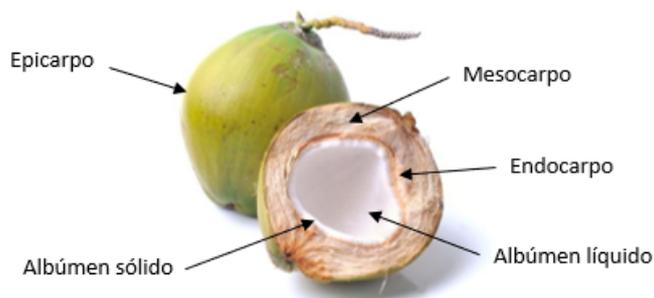
pequena, comparada à participação de outras fontes na matriz, mas que defende a expectativa de maior participação da biomassa de resíduos no suprimento de energia no futuro.

Programas vem sendo desenvolvidos com o objetivo de se caracterizar e aproveitar a capacidade energética de resíduos agrícolas, devido à sua abundância, baixo custo e fácil acesso (EMBRAPA, 2011, 2014, 2017). A biomassa lignocelulósica é o recurso biológico renovável mais abundante da terra (Zhang & Lynd, 2004). Ela é composta por celulose, hemicelulose e lignina, além de pequenas quantidades de outras substâncias (Mckendry, 2002). A variação na sua composição é responsável por garantir diferentes energias internas e estabilidade térmicas que variam, conforme a biomassa (Yang, 2006). Exemplos de biomassa lignocelulósica são: palha e bagaço de cana, madeira, espiga de milho, palhas de trigo e arroz, fibra de coco, entre outros, sendo este último o foco deste trabalho.

Biomassa de coco verde e possibilidades de aproveitamento

O coqueiro (*Cocos nucifera L.*) pertence à família das palmáceas, uma das mais importantes da classe das monocotiledôneas (Barcelos, 2016; Martins & Júnior, 2014). Seu fruto, o coco, possui a constituição representada na Figura 2.

Figura 2 – Constituição do coco verde



Fonte: Produção dos autores.

O mesocarpo representa a camada grossa intermediária entre o epicarpo e o endocarpo, constituída por fibras e pó, tornando-se a parte mais volumosa do fruto que pode ser reaproveitada no que tange ao ponto de vista energético (Lavoyer, 2012). As fibras extraídas do mesocarpo do coco são classificadas como lignocelulósicas, com a lignina e celulose lhe conferindo elevados índices de rigidez (Mathai, 2005).

Quanto ao reaproveitamento das cascas de coco, os resíduos de coco seco são utilizados para diversas funções: substituição à lenha como combustível em caldeiras, substrato agrícola, manufatura de cordoalha e tapetes, isolamento térmico e artesanatos com a fibra do



Citação (APA): Dias, N.B., Schneider, P.Z., Diniz, G.de L., & Celeste, W.C. (2019). Aproveitamento da casca de coco para uso energético. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3), 179-195.

mesocarpo (Barcelos, 2016; Rosa, et al., 2001). Entretanto, o alto teor de umidade presente na casca do coco verde, que é cerca de 85%, dificulta seu aproveitamento direto, necessitando de uma etapa de secagem para a sua utilização posterior (Rosa, et al., 2001).

Neste contexto, pesquisas vem sendo realizadas para se desenvolver técnicas para a utilização do resíduo do coco verde. As aplicações são as mais distintas: como substrato agrícola (Carrijo, Liz & Makishima, 2002; Correia, et al., 2003), para a produção de enzimas (Coelho, et al., 2001), como adsorvente de metais pesados e tóxicos (Sousa, et al., 2010; Sousa Neto, et al., 2012), entre outras. Também há a possibilidade da sua utilização para a geração de bioenergia, que é um campo que vem ganhando bastante atenção, pois além de se dar uma destinação para os resíduos, também auxilia na diversificação da matriz energética.

Aproveitamento energético do coco verde

Rodrigues (2008) indica que uma das opções promissoras para o aproveitamento dos resíduos de coco verde é o seu tratamento térmico. A biomassa apresenta riqueza natural e renovável que lhe é peculiar; é fonte segura de energia, auxilia na diminuição da dependência do petróleo e substancialmente limpa quando associada aos combustíveis fósseis (Gómez, 1996).

Foram encontrados na literatura diversos trabalhos que tratam do aproveitamento energético da biomassa do coco verde. Os produtos resultantes foram: briquetes (Coelho, et al., 2001; Esteves, 2014; Pimenta, et al., 2015; Silveira, 2008), bio-óleo (Agrizzi, 2017; Rout, et al., 2016; Schena, 2015; Siengchum, Isenberg & Chuang, 2013), biogás (Leitão, et al., 2009; Neena; Ambily; Jisha, 2007), etanol de segunda geração (Cabral, et al., 2017; Gonçalves, et al., 2015; Soares, et al., 2017) e carvão (Andrade, et al., 2004; Cortez, et al., 2009; Padilla, et al., 2018). Também foram encontrados trabalhos que tratam da combustão direta do resíduo, após um processo de secagem prévio, devido ao teor de umidade presente na biomassa in natura (Munnings, et al., 2014). Batista (2014), a partir de um estudo de rotas, concluiu que a combustão direta é a rota tecnológica promissora para este resíduo.

Cortez, et al., (2009), em experimentos utilizados aplicando pirólise lenta da fibra e da casca do coco verde, apontaram que o carvão gerado da casca, bem como da fibra de coco, apresenta viabilidade para uso energético, no que tange a termos qualitativos. O fruto do coqueiro é adequado para a produção de um carvão vegetal com uma boa produtividade e qualidade, bem como para a geração de subprodutos da carbonização (Andrade, et al., 2004).



Citação (APA): Dias, N.B., Schneider, P.Z., Diniz, G.de L., & Celeste, W.C. (2019). Aproveitamento da casca de coco para uso energético. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3), 179-195.

Desta forma, o resíduo de coco pode ser uma fonte de matéria-prima alternativa a madeira na produção de carvão vegetal (Padilla, et al., 2018).

Schena (2015) aponta o aproveitamento da fibra da casca do coco para a geração de bio-óleo, através da pirólise. De acordo com Silvia Belém, pesquisadora da Emprapa Agroenergia, a exploração energética do resíduos de coco também pode ser feita por meio do biogás a partir do líquido da prensagem da casca e biocombustíveis (EMBRAPA, 2015).

A combustão direta é uma aplicação da biomassa sólida (Bridgwater, Toft & Brammer, 2002). Esta técnica usada para converter a energia da biomassa em calor, em seguida, a base de energia elétrica no processo termoquímico com a produção de saída de gases quentes a uma temperatura em torno de 800 a 1.000°C (Mckendry, 2002). Teoricamente, a combustão pode ser adequada para qualquer tipo de recursos de biomassa (Shafie, et al., 2012).

Silveira (2008) demonstrou ser viável produzir briquetes utilizando cascas de coco, em detrimento à lenha por este produto. A briquetagem ocorre pela compactação de resíduo de natureza lignocelulósica, destruindo a elasticidade natural das fibras do resíduo de coco. Segundo Esteves (2014), as análises físico-químicas (massa específica, umidade, teor de voláteis, teor de cinzas, carbono fixo e poder calorífico) apontaram que o resíduo de casca de coco verde processado, pré e pós-briquetagem, possui características eficientes à queima como fonte de energia, poder calorífico no valor de 19,47 MJ/kg e densidade energética de 9.735,00 MJ/m³. Os briquetes são fabricados como intuito de atender indústrias e comércio que possuam fornalhas, caldeiras e que utilizam a lenha para geração de energia. A substituição da lenha, reduz custos, contribui para o controle do desmatamento e poluição, visto que grande quantidade do resíduo descartado pode ser reaproveitada (Dias, et al., 2012; Zago, et al., 2010).

A fibra de casca do coco verde representa uma biomassa de grande potencial para aproveitamento com a finalidade de produção de etanol de segunda geração, tornando-se excelente alternativa de amenização de geração de resíduos; para cada tonelada de coco verde, geram-se 39 litros de etanol (Cabral, et al., 2017).

Frente a essas possibilidades, o Quadro 1 sintetiza os artigos encontrados na literatura, apresentando também uma análise sobre o custo e o rendimento das diferentes técnicas. Percebe-se que a maioria dos trabalhos analisados não apresentaram custos para implementação da técnica estudada e limitaram-se ao estudo de viabilidade técnica



laboratorial. Consequentemente, há uma escassez na literatura de trabalhos que objetivem estudar a viabilidade econômica e de logística.

Quadro 1. Síntese dos trabalhos sobre aproveitamento energético da casca de coco

Processos	Trabalhos	Custo	Rendimento	Objetivo do Estudo
Produção de Bio-óleo por pirólise	(Sчена, 2015) (Rout, et al., 2016) (Agrizzi, 2017)	Não apresentaram	34-49,5% de óleo obtido	Viabilidade técnica laboratorial
	(Siengchum, Isenberg & Chuang, 2013)	Não apresentaram	Não abordaram	Viabilidade técnica laboratorial
Produção de Carvão por pirólise	(Andrade, et al., 2004) (Cortez, et al., 2009) (Padilla, et al., 2018)	Não apresentaram	58,07-74,43% de carvão	Viabilidade técnica laboratorial
Briquetes	(Silveira, 2008)	Apresentou levantamento de preço de equipamentos e custo com energia	Não abordou	Viabilidade técnica de implantação
	(Esteves, 2014)	Apresentou levantamento de preço de equipamentos e custo com energia	Poder calorífico 19,5 MJ/kg e densidade energética 9945MJ/m ³	Viabilidade técnica laboratorial e de implantação
	(Ferreira, et al., 2016)	Não apresentaram	Não abordaram	Viabilidade técnica laboratorial
	(Pimenta, et al., 2015)	Não apresentaram	Não abordou	Viabilidade técnica laboratorial e aplicação em empresas
Etanol de 2ª Geração	(Gonçalves, et al., 2015) (Cabral, et al., 2017) (Soares, et al., 2017)	Não apresentaram	43-90,09% de etanol	Viabilidade técnica laboratorial
Combustão Direta	(Carmo, 2013)	Não apresentou custos	Poder calorífico 17,91 MJ/kg e eficiência de 88,2%	Viabilidade técnica por modelagem
	(Batista, 2014)	Não apresentou	Não abordou	Viabilidade técnica por modelagem
Biogás	(Leitão, et al., 2009) (Neena, Ambily & Jisha, 2007)	Não apresentaram	80-82% da DQO* convertida em biogás	Viabilidade técnica laboratorial

*demanda química de oxigênio

Fonte: Produção dos autores.



Citação (APA): Dias, N.B., Schneider, P.Z., Diniz, G.de L., & Celeste, W.C. (2019). Aproveitamento da casca de coco para uso energético. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3), 179-195.

Para que haja consolidação da biomassa como uma fonte economicamente viável, deve ocorrer a dependência de processos modernos e eficientes no âmbito tecnológico para sua produção, distribuição e utilização. Produtores e empresas explicam que a reciclagem tende a ser cara e trabalhosa e que esforços para reaproveitar o coco estão parados em algumas cidades, mas, ao mesmo tempo, crescem as iniciativas e as pesquisas em busca de usos cada vez mais inovadores e ecologicamente corretos do material (SNA, 2014).

Perspectivas para trabalhos futuros

Segundo Batista (2014), faltam análises de viabilidade do aproveitamento energético de resíduos agrícolas sob o aspecto logístico e estudos de abordagem econômica. Esteves (2014), aponta que estudos podem ser realizados para a criação de cooperativas de beneficiamento das cascas de coco verde e suas aplicações, assim como uma avaliação cabal de viabilidade técnica e econômica.

Desta forma, como recomendação para trabalhos futuros, pode-se realizar estudos que analisem o processo de aproveitamento da casca de coco verde no aspecto de custo e aplicações em situações reais, isto é, estudo de viabilidade técnica-financeira em situações macro. Entender os custos envolvidos na aplicação de um processo de aproveitamento, levando em consideração dados como o rendimento, por exemplo, permite reconhecer se ele é realmente cabível e se o produto gerado justifica e compensa os investimentos.

Políticas públicas e incentivos fiscais existem, como o PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas) e isenção de ICMS no estado de São Paulo para bens e equipamentos destinados à produção de energia por meio de fonte renováveis. Porém, essas não são propagadas e isso dificulta a universalização de incentivo às fontes alternativas de energia. Além disso, em países subdesenvolvidos, como o Brasil, predomina a cultura por uso de aterros sanitários e contratos com valores elevados que envolvem todo o processo de coleta, transporte e recepção de resíduos.

A sazonalidade interfere no fornecimento de uma quantidade regular e satisfatória da biomassa do coco-verde ao decorrer do ano. Desta forma, a utilização de outros resíduos agrícolas em junção ao coco-verde, podem atender a demanda crescente por energia nos dias atuais. Estudos que verificassem essa possibilidade considerando características regionais, ou seja, os resíduos produzidos localmente, seu volume e disponibilidade, podem ser uma alternativa com maior potencial de implantação.



CONCLUSÃO

Nos últimos anos, atenção especial vem sendo dada para minimização ou reaproveitamento de resíduos sólidos. No caso do coco verde, a redução de resíduo gerado é praticamente impossível, uma vez que implicaria na redução do consumo, considerando que este vai além do consumo somente da água de coco, pois o coco faz parte da cultura e culinária brasileiras.

Os impactos causados por este resíduo são consideráveis. Por um lado, há um custo elevado para o poder público referente à coleta e deposição nos aterros. Por outro lado, há a questão ambiental pelo descarte deste resíduo. Desta forma, são necessárias medidas para se minimizar os impactos causados por este volume de resíduo gerado e isso se dá pelo seu reaproveitamento.

Verificou-se que a literatura já aponta várias possibilidades de reaproveitamento energético para este resíduo. Entretanto, estes estudos ainda são incipientes, pois não abordam em profundidade a aplicação das diferentes técnicas propostas. A quantidade de trabalhos que objetivam apresentar a viabilidade técnica da utilização do resíduo para obtenção de energia vem aumentando, mas notou-se a falta de trabalhos que analisam a fundo a viabilidade econômica e logística do reaproveitamento. É muito importante identificar os custos para a implantação de determinada técnica, assim como outras barreiras para sua efetivação. Só assim os estudos podem realmente influenciar na alteração da utilização deste resíduo.

Portanto, a contribuição deste artigo foi identificar esta lacuna. Isso poderá motivar outros estudos complementares que realizem análise profunda de custos e viabilidade técnica de implantação para os processos de aproveitamento apresentados.

AGRADECIMENTOS

Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES), Programa de Pós-Graduação em Energia (PPGEN). "O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001."



REFERÊNCIAS

- Agrizzi, T. (2017). *Pirólise da Casca de Coco: Estudo da Cinética de Devolatilização e Identificação dos Produtos*. 2017. 101 f. Engenharia, Tecnologia e Gestão – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo, São Mateus.
- Andrade, A.M.de, et al. (2004). Pirólise de Resíduos do Coco-da-baía (*Cocos nucifera* Linn) e Análise do Carvão Vegetal. *Revista Árvore*, Viçosa, 28(5), 707–714. ISSN 1806-9088.
- Barcelos, K.M. (2016). *Análise do potencial do leito de jorro como reator para pirólise da casca de coco: estudo experimental e simulação via CFD*. 115 f. Engenharia, Tecnologia e Gestão – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo, São Mateus.
- Batista, R.R. (2014). *Rotas De Aproveitamento Tecnológico De Resíduo Orgânico Agrícola: Casca de Coco, Casca De Cacau e Casca de Café*. 108 f. Engenharia, Tecnologia e Gestão – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo, São Mateus.
- Battisti, D.S., & Naylor, R.L. (2009). Historical Warnings of Future Food Insecurity with Unprecedented Seasonal Heat. *Science*, 323, 240–244. ISSN 0036-8075.
- Bilgili, F., et al. (2017). Can biomass energy be an efficient policy tool for sustainable development? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 830–845. ISSN 1364-0321.
- Bridgwater, A.V., Toft, A.J., & Brammer, J.G. (2002). A techno-economic comparison of power production by biomass fast pyrolysis with gasification and combustion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6(3), 181-248. ISSN 1364-0321.
- Cabral, M.M.S., et al. (2017). Composição da fibra da casca de coco verde *in natura* e após pré-tratamentos químicos. *Engvista*, Rio de Janeiro, 19(1), 99–108. ISSN 2317-6717.
- Carmo, V.B.do. (2013). *Avaliação da Eficiência Energética Renovável de Biomassas Alternativas Para Geração de Eletricidade*. 170 f. Engenharia Química. Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Carrijo, O.A., Liz, R.S.de, & Makishima, N. (2002). Fibra da Casca do Coco Verde Como Substrato Agrícola. *Horticultura Brasileira*, Brasília, 20(4), 533–535. ISSN 0102-0536.



Citação (APA): Dias, N.B., Schneider, P.Z., Diniz, G. de L., & Celeste, W.C. (2019). Aproveitamento da casca de coco para uso energético. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3), 179-195.

Chaplin-Kramer, R., et al., (2015). Spatial patterns of agricultural expansion determine impacts on biodiversity and carbon storage. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Corvallis, 112(24), 7402–7407. ISSN 0027-8424.

Coelho, M.A.Z., et al., (2001). Aproveitamento De Resíduos Agroindustriais: Produção De Enzimas a Partir Da Casca De Coco Verde. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, 19(1), 33–42. ISSN 1983-9774.

Correia, D., et al., (2003). Uso do Pó da Casca de Coco na Formulação de Substratos Para Formação de Mudanças Enxertadas de Cajueiro Anão Precoce. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 25(3), 557–558. ISSN 1806-9967.

Cortez, L.A.B., et al., (2009). Processamento de Casca e Fibra de Coco Verde Por Carbonização Para Agregação de Valor. *BioEng*, 3(1), 21–30. ISSN 1098-6596.

Dias, J.M.C.de S., et al. (2012). *Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais*. Brasília: Embrapa Agroenergia. 132p. ISSN 2177-4439.

EMBRAPA (2011). *Caracterização, Aproveitamento e Geração de Novos Produtos de Resíduos Agrícolas, Agroindustriais e Urbanos*. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Acesso 16 jun. 2018.

Disponível <https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/18456/caracterizacao-aproveitamento-e-geracao-de-novos-produtos-de-residuos-agricolas-agroindustriais-e-urbanos>

EMBRAPA (2014). *Estratégias de melhoria de bioprocessos para a produção de celulases*. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Acesso 16 jun. 2018. Disponível <https://www.embrapa.br/busca-de-projetos/-/projeto/202832/estrategias-de-melhoria-de-bioprocessos-para-a-producao-de-celulases>

EMBRAPA (2015). *Propostas para o aproveitamento do potencial energético da casca do coco-verde*. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Acesso 16 jun. 2018. Disponível <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/3301723/propostas-para-o-aproveitamento-do-potencial-energetico-da-casca-do-coco-verde>.

EMBRAPA (2017). *Tecnologias para produção e uso de biogás e fertilizantes a partir do tratamento de dejetos animais no âmbito do plano ABC*. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Acesso 16 jun. 2018. Disponível <https://www.embrapa.br/busca-de>



Citação (APA): Dias, N.B., Schneider, P.Z., Diniz, G. de L., & Celeste, W.C. (2019). Aproveitamento da casca de coco para uso energético. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3), 179-195.

projetos/-/projeto/204675/tecnologias-para-producao-e-uso-de-biogas-e-fertilizantes-a-partir-do-tratamento-de-dejetos-animais-no-ambito-do-plano-abc.

Empresa De Pesquisa Energética (2017). *Balanco Energético Nacional*. Brasília: Ministério de Minas e Energia. Acesso 20 maio 2018. Disponível <http://www.epe.gov.br>.

Esteves, M.R.L. (2014). *Estudo do Potencial Energético e Aproveitamento das Cascas de Coco Para a Produção de Briquete em Maceió-AL*. 79 f. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química - Universidade Federal de Alagoas, Maceió.

Esteves, M.R.L., Abud, A.K.S., & Barcellos, K.M. (2015). Avaliação do potencial energético das cascas de coco verde para aproveitamento na produção de briquetes. *Scientia plena*, 11(3), 1–8. ISSN 1808-2793.

Food And Agriculture Organization. *Crops Statistics*. Roma: Organização das Nações Unidas. Acesso 19 maio. 2018. Disponível <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>

Ferreira, A.F.B., et al., (2016). Caracterização Energética da Fibra da Casca do Coco com Posterior Produção de Briquete. In: Congresso Brasileiro De Engenharia Química, XXI, Fortaleza. Acesso 20 maio 2018. Disponível <https://proceedings.science/cobeq/cobeq-2016/trabalhos/caracterizacao-energetica-da-fibra-da-casca-do-coco-com-posterior-producao-de-briquete?lang=pt-br>

Figueiredo, A.L. (2011). *Pirólise termoquímica de pós da fibra de coco seco em um reator de cilindro rotativo para produção de bio-óleo*. 127 f. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

Gómez, E.O. (1996). *Projeto, Construção e Avaliação Preliminar de Um Reator de Leito Fluidizado Para Gaseificação de Bagaço de Cana-de-açúcar*. 200 f. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

Gonçalves, F. A. *et al.* Bioethanol production from coconuts and cactus pretreated by autohydrolysis. *Industrial Crops and Products*, 77, 1–12, jun. 2015. ISSN 0926-6690.

Holanda, J.S.de, Alves, M.C.S., & Chagas, M.C.M.das. (2009). *Cultivo do Coqueiro no Rio Grande do Norte*. 1.ed. Natal: Empresa de Pesquisa Agropecuária do RN. 47p. ISSN 1983-280-X.



- Citação (APA): Dias, N.B., Schneider, P.Z., Diniz, G. de L., & Celeste, W.C. (2019). Aproveitamento da casca de coco para uso energético. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3), 179-195.
- Lavoyer, F.C.G. (2012). *Estudo da Secagem de Polpa de Coco Verde em Leito de Jorro e Viabilidade de Sua Utilização na Indústria*. 92 f. Programa de Pós-Graduação de Biociências, Letras, e Ciências Exatas - Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto.
- Leitão, R.C., et al., (2009). Anaerobic treatment of coconut husk liquor for biogas production. *Water Science and Technology*, 59(9), 1841–1846. ISSN 0273-1223.
- Martins, C.R., & Jesus Junior, L.A.de. (2014). *Produção e Comercialização de Coco no Brasil Frente ao Comércio Internacional: Panorama 2014*. 1ed. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros. 53 p. ISSN 1678-1953.
- Mathai. P.M. (2005). *Bast and other plant fibers*. The Textile Institute. Cambridge: Woodhead Publishing Limited. p. 275-313.
- Mattos, A.L.A., et al., (2012). *Beneficiamento da casca de coco verde*. Embrapa Agroindústria Tropical. Acesso 20 maio 2018. Disponível http://www.ceinfo.cnpat.embrapa.br/arquivos/artigo_3830.pdf
- Mckendry, P. (2002). Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology*, 83, 37–46. ISSN 0960-8524.
- Mendu, V., et al., (2012). Global bioenergy potential from high-lignin agricultural residue. *Proceedings of the National Academy of Sciences, Berkeley*, 109(10), 4014–4019.
- Naylor, R.L., et al., (2007). The Ripple Effect: Biofuels, Food Security, and the Environment. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, Washington, 49(9), 30–43.
- Neena, C., Ambily, P.S., & Jisha, M.S. (2007). Anaerobic degradation of coconut husk leachate using UASB-reactor. *Journal of Environmental Biology*, 28(3), 611–615.
- Nejat, P., et al., (2015). A global review of energy consumption, CO₂ emissions and policy in the residential sector (with an overview of the top ten CO₂ emitting countries). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 843–862. ISSN 1364-0321.
- Padilla, E.R.D. et al. (2018). Potencial Energético da Casca de Coco (*Cocos nucifera L.*) para Uso na Produção de Carvão Vegetal por Pirólise. *Revista Virtual de Química*, 10(2), 334-345.
- Passos, P.R.de A. (2005). *Destinação sustentável de cascas de coco (Coco nucifera) verde: Obtenção de telhas e chapas de partículas*. 186 f. Ciências em Planejamento Energético - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.



- Citação (APA): Dias, N.B., Schneider, P.Z., Diniz, G. de L., & Celeste, W.C. (2019). Aproveitamento da casca de coco para uso energético. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3), 179-195.
- Pereira, A.O.P., et al., (2013). Perspectives for the expansion of new renewable energy sources in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 49–59.
- Pimenta, A.S., et al., (2015). Utilização de Resíduos de Coco (Cocos Nucifera) Carbonizado Para a Produção de Briquetes. *Ciência Florestal*, 25(1), 137–144. ISSN 0103-9954.
- Prado Jr., F.A., et al., (2016). How much is enough? An integrated examination of energy security, economic growth and climate change related to hydropower expansion in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 1132–1136. ISSN 1364-0321.
- Rajagopal, D., et al., (2007). Challenge of biofuel: Filling the tank without emptying the stomach? *Environmental Research Letters*, 2(4), 044004 (9pp). doi:10.1088/1748-9326/2/4/044004.
- Rocha, A.M., et al., (2015). *Aproveitamento de Fibra de Coco para Fins Energéticos: Revisão e Perspectivas. Congresso Sobre Geração Distribuída E Energia No Meio Rural*, São Paulo: Universidade Federal de São Paulo. Acesso 16 jun. 2018. Disponível <http://www.iee.usp.br/agrener2015/sites/default/files/tematica8/744.pdf>
- Rocha, F.B.de A., et al., (2010). *Gestão de resíduos como ferramenta aplicada ao beneficiamento do coco verde*. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, XXX, São Carlos.
- Rodrigues, R. (2008). *Modelagem e Simulação de Um Gaseificador em Leito Fixo Para o Tratamento Térmico de Resíduos Sólidos da Indústria Calçadista*. 174f. Pesquisa e Desenvolvimento de Processos - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Rosa, M.de F., et al., (2001). *Processo agroindustrial: obtenção de pó de casca de coco verde*. 1ed. Fortaleza: Embrapa.
- Rout, T., et al., (2016). Exhaustive study of products obtained from coconut shell pyrolysis. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4, 3696–3705. ISSN 2213-3437.
- Schena, T. (2015). *Pirólise da fibra da casca de coco: caracterização do bio-óleo antes e após a aplicação de dois processos de melhoramento*. 173f. Programa de Pós-Graduação em Química - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Shafie, S.M., et al., (2012). A review on electricity generation based on biomass residue in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 5879–5889. ISSN 1364-0321.



- Citação (APA): Dias, N.B., Schneider, P.Z., Diniz, G. de L., & Celeste, W.C. (2019). Aproveitamento da casca de coco para uso energético. *Brazilian Journal of Production Engineering*, 5(3), 179-195.
- Siengchum, T., Isenberg, M., & Chuang, S.S.C. (2013). Fast pyrolysis of coconut biomass - An FTIR study. *Fuel*, 105, 559–565. ISSN 0016-2361.
- Silva, J.de R.S. (2011). Produção de Commodities, Desmatamento e Insegurança Alimentar na Amazônia Brasileira. *Revista Geográfica de América Central*, 2, 1–15. ISSN 1011-484X.
- Silva, A.C.da. (2014). Reaproveitamento Da Casca De Coco Verde. *Revista Monografias Ambientais*, 13(5), 4077–4086. ISSN 2236-1308.
- Silveira, M.S. (2008). *Aproveitamento das Cascas de Coco Verde Para Produção de Briquete em Salvador-BA*. 164f. Programa de Pós-Graduação em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo - Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- Sociedade Nacional de Agricultura. (2014). *Indústria do coco cresce, mas alto desperdício gera desafio tecnológico*. Rio de Janeiro: Sociedade Nacional de Agricultura. Acesso 11 jun. 2018. Disponível <http://www.sna.agr.br/industria-do-coco-cresce-mas-alto-desperdicio-gera-desafio-tecnologico/>
- Soares, J., et al., (2017). Fed-batch production of green coconut hydrolysates for high-gravity second-generation bioethanol fermentation with cellulosic yeast. *Bioresource Technology*, 244, 234–242. ISSN 0960-8524.
- Sousa, F.W., et al., (2010). Green coconut shells applied as adsorbent for removal of toxic metal ions using fixed-bed column technology. *Journal of Environmental Management*, 91, 1634–1640. ISSN 0301-4797.
- Sousa Neto, V.de O., et al., (2012). Coconut Bagasse Treated by Thiourea/Ammonia Solution for Cadmium Removal: Kinetics and Adsorption Equilibrium. *BioResources*, Raleigh, 7(2), 1504–1524. ISSN 1930-2126.
- Tilman, D., et al., (2009). Beneficial Biofuels - The Food, Energy, and Environment Trilemma. *Science*, Nova York, 325, 270–271. ISSN 0036-8075.
- Yang, H., et al., (2006). In-depth investigation of biomass pyrolysis based on three major components: hemicellulose, cellulose and lignin. *Energy & Fuels*, 20(1), 388-393.
- Zago, E.S., et al., (2010). O Processo De Briquetagem Como Alternativa De Sustentabilidade Para as Indústrias Madeireiras do Município de Aripuanã-MT. *Tecnoeng*, 1(2), 22–34.
- Zhang, Y-H.P., & Lynd, L.R. (2004). Toward an Aggregated Understanding of Enzymatic Hydrolysis of Cellulose: Noncomplexed Cellulase Systems. *Biotechnology and Bioengineering*, 88(7), 797–824. ISSN 0006-3592.

