

Aproveitamento de cascas de coco para geração de energia térmica: potencialidades e desafios



OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

7 ENERGIA LIMPA
E ACESSÍVEL



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Tabuleiros Costeiros
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento***

DOCUMENTOS 234

Aproveitamento de cascas de coco para geração de energia térmica: potencialidades e desafios

*Anderson Carlos Marafon
Maria Urbana Corrêa Nunes
André Felipe Câmara Amaral
Jonas Paulino dos Santos*

***Embrapa Tabuleiros Costeiros
Aracaju, SE
2019***

Unidade responsável pelo conteúdo e edição:

Embrapa Tabuleiros Costeiros
Av. Beira Mar, 3250, Aracaju, SE
CEP 49025-040
Fone: (79) 4009-1300
www.embrapa.br/
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Tabuleiros Costeiros

Presidente
Ronaldo Souza Resende

Secretário-Executivo
Marcus Aurélio Soares Cruz

Membros
*Amaury da Silva dos Santos, Ana da Silva
Lédo, Anderson Carlos Marafon, Joézio Luiz
dos Anjos, Julio Roberto Araújo de Amorim,
Lizz Kezzy de Moraes, Luciana Marques de
Carvalho, Tânia Valeska Medeiros Dantas,
Viviane Talamini*

Supervisão editorial
Flaviana Barbosa Sales

Normalização bibliográfica
Josete Cunha Melo

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Beatriz Ferreira da Cruz

Foto da capa
Saulo Coelho

1ª edição
Publicação digitalizada (2019)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Tabuleiros Costeiros

Aproveitamento de cascas de coco para geração de energia térmica : potencialidades e
desafios / Anderson Carlos Marafon... [et al.]. – Aracaju : Embrapa Tabuleiros
Costeiros, 2019.
22 p. : il. color. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1678; 234).

1. Coco. 2. Bioenergia. 3. Energia Térmica. 4. Resíduo do coco. 5. Biomassa. I.
Marafon, Anderson Carlos. II. Nunes, Maria Urbana Correia. III. Amaral, André Felipe
Câmara. IV. Santos, Jonas Paulino dos. V. Série.

CDD 634.61 Ed. 21

Autores

Anderson Carlos Marafon

Engenheiro Agrônomo, doutor em Fisiologia Vegetal, pesquisador Embrapa Tabuleiros Costeiros, Unidade de Execução de Pesquisa de Rio Largo (UEP Rio Largo), Rio Largo, AL

Maria Urbana Corrêa Nunes

Engenheira Agrônoma, doutora em Fitotecnia, pesquisadora Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, SE

André Felipe Câmara Amaral

Químico, mestre em Química Orgânica, analista Embrapa Tabuleiros Costeiros, Unidade de Execução de Pesquisa de Rio Largo (UEP Rio Largo), Rio Largo, AL

Jonas Paulino dos Santos

Graduando do Curso de Agronomia, bolsista PibIC/ Embrapa Tabuleiros Costeiros, Unidade de Execução de Pesquisa de Rio Largo (UEP Rio Largo), Rio Largo, AL

Apresentação

A geração de energia, produção de combustíveis, materiais e insumos através da biomassa vegetal e animal é ambientalmente favorável e economicamente viável, tendo em vista a abundância de matérias-primas com baixo custo e relativa facilidade de sua aquisição com baixos custos.

No Brasil mais de 2 milhões de toneladas de frutos de coco são produzidas anualmente e, considerando-se que as cascas desses frutos representam cerca de 80% do seu peso bruto total, o volume gerado desses resíduos é bastante expressivo. Neste sentido, o aproveitamento dos resíduos da cadeia produtiva do coco, além de favorecer a preservação do meio ambiente, pode proporcionar a geração de empregos e renda e contribuir com o desenvolvimento regional.

O aproveitamento das cascas de coco para a geração de energia térmica pode ser realizado através da combustão direta, da produção de briquetes, de carvão vegetal e bioóleo, servindo como combustíveis sólidos para a alimentação de fornos e caldeiras de indústrias ou em outras aplicações de interesse.

Com intuito de contribuir com a viabilização de novos produtos a partir das cascas de coco, este documento apresenta características de qualidade energética e discorre sobre o potencial de utilização de resíduos da casca do coco como fonte de matéria-prima combustível em processos de geração de energia. Dessa forma, ao incorporar as cascas do coco para geração de energia térmica, a Embrapa contribui para alcance do Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 7 da Agenda 2030, estabelecidos pela Organização da Nações Unidas (ONU). Esse objetivo, visa, dentre outras metas, “aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global”.

Marcelo Ferreira Fernandes

Chefe-Geral da Embrapa Tabuleiros Costeiros

Sumário

Introdução.....	6
Geração de resíduos na cultura do coqueiro	7
Constituição dos frutos do coqueiro	9
Caracterização físico-química das cascas de coco.....	10
Aproveitamento energético das cascas de coco	13
Combustão direta in natura	13
Produção de briquetes	16
Produção de carvão vegetal e bioóleo	18
Considerações finais	20
Referências	20

Introdução

O Brasil tem 1,75% da sua área agrícola cultivada com coqueiros, o que corresponde a 215.683 ha, a qual responde por uma produção aproximada anual de 2,34 milhões de toneladas de frutos (FAO, 2019). No país, a produção de coco está embasada em dois segmentos: (1) coco seco, destinado à indústria e (2) coco verde, destinado ao mercado da água de coco. No caso do fruto do coco seco, a amêndoa (albúmen sólido) é a que possui interesse comercial e, sendo assim, as cascas (mesocarpo) são retiradas e descartadas na própria área de cultivo. No caso do coco verde, os frutos são colhidos e transportados para os locais de comercialização ou para as unidades de envasamento para a retirada da água, sendo gerada grande quantidade de cascas (Martins; Jesus Júnior, 2014).

Foto: Adriana Neutzling Bierhals



Figura 1. Cascas de coco seco descartadas em área de cultivo. São Miguel dos Milagres, AL, 2019.

Embora as cascas do coco possam ser aproveitadas para diversas finalidades como na fabricação de vasos, estofamentos e forramento interno de automóveis, mantas para contenção de encostas, palmilhas, divisórias, artesanatos, adubação orgânica, dentre outras, elas têm sido comumente descartadas nas próprias áreas de cultivo (coco seco) ou em áreas urbanas e/ou aterros sanitários (coco verde), constituindo-se em resíduos agrícolas com elevado impacto ambiental negativo. Cabe ressaltar que um material deixa de ser resíduo quando é utilizado na geração de novos produtos (coprodutos). Entre as possibilidades de aproveitamento das cascas de coco, podemos citar a produção de biocombustíveis sólidos (pellets, briquetes e carvão vegetal).

Geração de resíduos na cultura do coqueiro

Entre os resíduos agrícolas descartados no Brasil, encontram-se aqueles provenientes da cocoicultura. O coqueiro gera grande quantidade de resíduos culturais como cascas e endocarpo de frutos, cachos, brácteas, paineiros e folhas senescentes (Nunes, 2018). Nunes et al. (2007) estimaram que, em 2007, a produção de resíduos do coqueiro, apenas na região Nordeste do Brasil, foi de aproximadamente 729 mil toneladas de cascas, 595 mil toneladas de folhas e 243 mil toneladas de inflorescências. Mesmo que tais resíduos possam ser aproveitados e transformados em coprodutos para diversas finalidades, a maior parte deles não tem sido aproveitada, sendo muitas vezes incinerada ou descartada como lixo.

Um dos resíduos agroindustriais com maior potencial para ser explorado como fonte energética no Brasil é a casca de coco verde, principalmente, em função do aumento das áreas de cultivo com coqueiro-anão provocado pela crescente demanda de consumo da água de coco (Nunes et al., 2007). A destinação mais usual das cascas de coco verde tem sido mesmo os aterros, lixões e vazadouros, o que além de representar um custo expressivo nos gastos com limpeza urbana, contribui a proliferação de insetos e outros vetores de doenças, entre elas a dengue, além do mau cheiro e da contaminação do solo e de corpos d'água. No caso da estratégia de descarte das cascas adotada pelas envasadoras de água de coco, esta varia entre a queima (a céu aberto em áreas isoladas) e o seu retorno para o campo, sendo utilizadas

como fertilizante orgânico, cuja prática tem sido fortemente motivada pela obrigatoriedade legal de destinação correta desses resíduos, tanto por parte do produtor, quanto por parte da agroindústria (Rosa et al., 2009).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei Federal 12.305/2010, dispõe sobre os princípios, objetivos e instrumentos para alcançar o correto gerenciamento de resíduos. De acordo com a Lei, a deposição de resíduos, como as cascas de coco, em aterros sanitários, é proibida pelo fato de ser um material de difícil decomposição (levando de 8 a 10 anos para ser degradado) e que ocupa grandes volumes, sendo passível de reciclagem. Embora exista uma gama de opções de uso das cascas de coco, se faz necessário trabalhar a logística reversa dos mesmos, visto que o descarte inadequado tem ocorrido e é cada vez mais preocupante do ponto de vista ambiental (Figura 2).



Foto: Saulo Coelho

Figura 2. Cascas de coco verde descartadas em área urbana. Aracaju, SE, 2019.

A lei que institui a PNRS define 'logística reversa' como um instrumento de desenvolvimento econômico e social formado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outro ciclo produtivo, ou em outra destinação ambientalmente adequada.

Constituição dos frutos do coqueiro

O fruto do coqueiro é constituído por albúmen líquido (água de coco), albúmen sólido (polpa), endocarpo, a parte rígida que protege a polpa, conhecido popularmente como 'quenga' e a casca. A casca de coco é formada pelas fibras (70%), que constituem o mesocarpo do fruto, pelo pó (30%), que é o material de preenchimento dos espaços interfibrilares e pelo epicarpo (casca externa) (Figura 3).

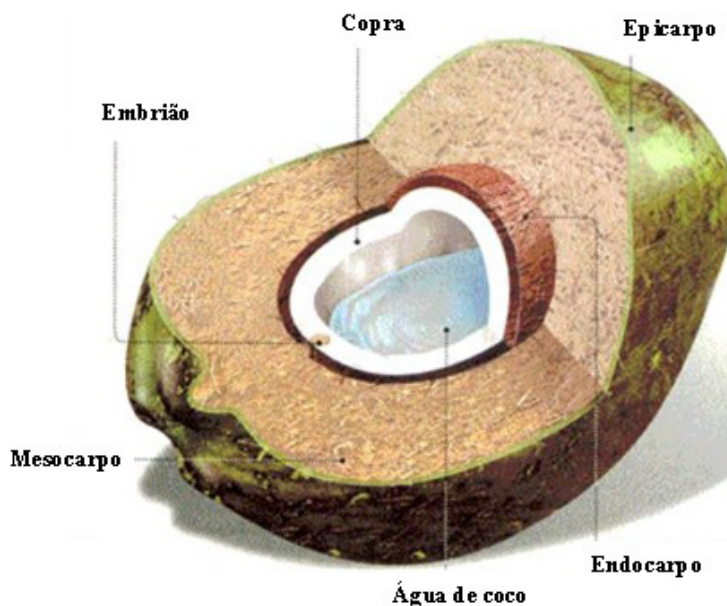


Figura 3. Constituição do fruto do coqueiro.

O fruto do coco seco é colhido com 11 a 12 meses de idade, enquanto que, o do coco verde é colhido ainda imaturo, entre o 6º e o 7º mês de idade, quando se inicia a formação do albúmen sólido e o volume de água de coco atinge o seu nível máximo (250 ml a 500 ml ou mais).

A casca do coco, seja verde ou seco, representa de cerca de 80% do peso bruto do fruto. O volume e o peso das cascas de coco variam com as condições edafoclimáticas de cada região de plantio, com a adubação, os tratamentos culturais e fitossanitários e com a variedade cultivada (Nunes et al., 2007).

Caracterização físico-química das cascas de coco

A casca do coco verde, assim como a do coco seco (maduro), é constituída por uma fração de fibras (70%) e outra denominada de pó (30%). As fibras da casca de coco apresentam até duas vezes mais lignina quando comparadas com outras fibras vegetais. As fibras de coco caracterizam-se pela sua dureza e durabilidade atribuída ao alto teor de lignina, quando comparadas com outras fibras naturais (Silva et al., 2006). Corradini et al. (2009) afirmaram que os teores de lignina nas fibras do coco verde são semelhantes aos do coco maduro, enquanto que, os de celulose são inferiores. Enquanto a celulose determina propriedades mecânicas ou estruturais, a lignina e a hemicelulose formam o material cimentante da casca, aumentando em proporção direta com a idade do fruto, ao contrário do que ocorre com a pectina, que diminui à medida que o fruto amadurece (Aragão et al., 2005). Marafon et al. (2019) analisaram algumas das principais características físico-químicas da casca (mesocarpo) e do endocarpo do coco que demonstram a sua excelente qualidade energética como biocombustíveis sólidos (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização físico-química da casca de coco verde e do endocarpo do coco seco. Rio Largo, AL, 2019.

CARACTERÍSTICA	Casca (fibra + pó)	Endocarpo
Carbono (%)	43,3	48,7
Hidrogênio (%)	5,35	5,56
Nitrogênio (%)	0,46	0,34
Relação C/N	94,3	143,2
Celulose (%)	35,52	42,91
Hemicelulose (%)	33,41	16,76
Lignina (%)	22,28	30,95
Cinzas (%)	7,70	1,31
PCS ⁽¹⁾ (kcal kg ⁻¹)	4.358	4.784
PCI ⁽²⁾ (kcal kg ⁻¹)	4.059	4.484
Densidade básica (g.cm ⁻³)	0,186	0,922
Densidade energética (Mcal.m ⁻³)	811	4.411

⁽¹⁾PCS: poder calorífico superior; ⁽²⁾PCI: poder calorífico inferior.

Tanto a casca quanto o endocarpo do coco apresentam elevada relação C/N, refletindo em um elevado tempo de decomposição natural desses materiais. O endocarpo apresenta maior relação C/N (143,2) do que o mesocarpo (94,3), o que se justifica pelas maiores concentrações de celulose (42,91%) e de lignina (35,34%) em sua constituição. Entretanto, nota-se que os teores de hemicelulose encontrados na casca (33,41%) foram superiores aos do endocarpo (16,16%).

O uso da casca de coco para finalidades energéticas torna-se atraente por suas elevadas proporções de celulose (35% a 47%), hemicelulose (15% a 28%) e lignina (16% a 45%) e pelos baixos teores de cinzas (2,7% a 10%) (Van Dam et al., 2006).

A densidade energética da casca (810,6 Mcal m⁻³), produto entre o poder calorífico superior (PCS) e a densidade básica (Db) foi inferior à do

endocarpo ($4.411 \text{ Mcal m}^{-3}$), o que implica na necessidade de adensamento desse material visando reduzir despesas com frete e estocagem. Além disso, o teor de cinzas da casca de coco (7,7 %) é significativamente superior ao do endocarpo (1,31%), diminuindo seu PCS.

Em relação ao poder calorífico, observamos que a casca de coco apresentou PCS ($4.358 \text{ kcal kg}^{-1}$) inferior ao do endocarpo ($4.784 \text{ kcal kg}^{-1}$), no entanto, o que definirá a eficiência do processo de conversão da biomassa em calor será o grau de umidade de cada um desses materiais quando em combustão (Dermibas, 2004).

A relação celulose: lignina influencia o poder calorífico dos materiais, tendo em vista que a celulose apresenta menor poder calorífico inferior ($4.132 \text{ kcal kg}^{-1}$) do que a lignina ($6.377 \text{ kcal kg}^{-1}$), o que está associado com o seu maior grau de oxidação (Jenkins et al., 1998).

Durante a combustão casca de coco a maior perda de massa (83,4%), ocorre na faixa entre 200°C (temperatura de ignição) e 450°C (temperatura de pico), em um intervalo de 20 a 42 minutos (Mansaray; Ghaly, 1998). De modo geral, a curva termogravimétrica divide-se em três fases, a primeira (temperaturas $\leq 200^\circ\text{C}$) caracterizada por uma ligeira perda de massa ($\leq 10\%$) em função da secagem e da liberação de voláteis, a segunda (temperaturas de 200°C a 500°C), quando ocorre a decomposição térmica da hemicelulose, da celulose e da lignina, com diminuição significativa da massa ($\geq 40\%$) e a terceira fase (temperaturas $\geq 500^\circ\text{C}$) com a decomposição de componentes de alto peso molecular (Chen; Kuo, 2000).

Marcelino et al. (2017) observaram, através da curva derivada termogravimétrica (DTG), a existência de quatro estágios de decomposição da casca de coco: (1) evaporação de água, (2) decomposição da hemicelulose à 292°C , (3) degradação da celulose à 374°C e (4) decomposição da lignina à 413°C . A decomposição térmica da hemicelulose geralmente ocorre em temperaturas que variam entre 150°C e 350°C ; enquanto a da celulose ocorre entre 275°C e 350°C e a de lignina, entre 250°C e 500°C (Demirbas, 2004).

Jenkins (1990) avaliou características químicas das cascas de coco e obteve valores proporcionais de 67,95% para material volátil, 8,25% para cinzas, 23,8% para o carbono fixo e $4.294 \text{ kcal kg}^{-1}$ para o poder calorífico superior (PCS).

Aproveitamento energético das cascas de coco

Diferentemente do endocarpo do coco seco, que tem sua utilização consolidada nas indústrias processadoras através da sua queima para produção de calor, as cascas de coco (verde e seco) ainda são muito pouco utilizadas para esta finalidade, mesmo que se constituam em potenciais fontes de matéria-prima para geração de energia térmica.

Dentre as possibilidades de aproveitamento energético das cascas de coco, podemos citar a combustão direta em fornos ou caldeiras como combustível sólido para de geração de energia térmica, além da transformação desses resíduos em briquetes (Silveira, 2008), carvão vegetal e/ou bioóleo (Andrade et al., 2004).

O aproveitamento energético das cascas de coco como combustível sólido para geração de energia térmica é uma alternativa interessante que se justifica pelos altos teores de lignina e fibras, conferindo-lhe elevado poder calorífico.

Combustão direta in natura

As cascas de coco são passíveis de aproveitamento em processos de combustão térmica, seja na forma in natura ou previamente transformadas em cavacos ou chips (Figura 4). Apesar de sua baixa densidade a granel, os cavacos apresentam como principais vantagens: maior homogeneidade na combustão e facilidade no transporte, além da possibilidade de automatização da etapa de alimentação de caldeiras e/ou fornalhas (Lopes et al., 2016).

Foto: Anderson C. Marafon



Figura 4. Cavacos de cascas de coco verde.

A forma mais simples de obtenção de energia através da biomassa se dá pela sua combustão direta, cujo calor resultante pode ser utilizado para aquecimento de fornos ou a produção de vapor em caldeiras. São muitos os exemplos de sistemas industriais que utilizam a energia térmica proveniente da biomassa, predominantemente da lenha. Um desses setores é o da cerâmica vermelha, que utiliza a casca de coco, juntamente com lenha, bambu e podas de árvores, como combustível sólido para secagem e queima de telhas e tijolos (Figura 5).



Foto: Maura Núcia Franco

Figura 5. Uso de cascas de coco como combustível sólido em fornos da indústria cerâmica vermelha. Maragogi, AL, 2019.

Em 2014, o consumo de cascas de coco, por parte de 33 indústrias cerâmicas e 37 olarias em operação no estado de Alagoas foi de 2.560 m³ (INT, 2014).

A problemática de fornecimento de lenha na região Nordeste é que a principal fonte desse combustível sólido é a floresta nativa, representada pela Caatinga, o que provoca a devastação desse bioma. O suprimento de lenha na região ainda depende do desmatamento da vegetação nativa, uma vez que os demais combustíveis disponíveis no mercado apresentam maior custo e que existem poucas florestas plantadas (INT, 2014).

Além da lenha, a atividade ceramista depende de outros combustíveis para secar artificialmente seus produtos (telhas, tijolos e lajotas), entre eles, o óleo diesel e o óleo combustível do tipo baixo ponto de fluidez (BPF), gás natural (GN), carvão vegetal, serragem, podas de árvores, cascas de coco, entre outros (Tavares, 2014). Nesse enfoque, a casca de coco pode contribuir na economia de lenha e/ou de combustíveis fósseis em distintos setores industriais (cerâmico, sucroenergético, cimenteiro, fertilizantes, etc.), bem como no setor agrícola (secadores de grãos, casas de farinha, etc.).

Produção de briquetes

Os briquetes podem ser fabricados a partir da compactação das biomassas vegetais, sendo uma delas a casca do coco, apresentando-se como alternativa de valorização desses resíduos, com significativa redução de impactos ambientais causados pelo descarte inadequado. Furtado et al. (2010) demonstraram que na utilização de resíduos industriais para a produção de briquetes, podem ser aplicadas diferentes pressões de compactação, no entanto, o tipo de matéria-prima utilizada tem mais influência nas propriedades energéticas do briquete do que as variáveis do processo.

As cascas de coco podem ser transformadas em briquetes de alto poder calorífico para a geração de energia, como fonte alternativa de combustível, em substituição a outras fontes vegetais tradicionais altamente exploradas, as quais precisam ser preservadas, como o carvão vegetal e a lenha nativa (Nunes, 2018). Do Vale et al. (2012) constataram que a casca de coco elevados teores de carbono fixo (23,72%) e materiais voláteis (71,56%) e baixo teor de cinzas (4,71%), características energéticas desejáveis.

A briquetagem consiste no adensamento de materiais lignocelulósicos a elevadas pressões e temperaturas, o qual provoca a 'plastificação' da lignina, que por sua vez, atua como elemento aglomerante das partículas. O processo necessita da presença de uma quantidade de água, compreendida entre 8% a 15% e que o tamanho da partícula seja inferior a 10 mm (Dias et al., 2012). Isto explica a característica higroscópica dos briquetes e sua resistência ao apodrecimento ou à fermentação, facilitando sua estocagem e seu transporte.

Para a produção de um briquete de boa qualidade, características como umidade e granulometria da matéria-prima devem ser controladas (Nakashima et al., 2017; Hansted et al., 2016). Uma mistura de partículas de vários tamanhos pode melhorar a qualidade dos briquetes, sendo uma granulometria entre 5 mm e 10 mm considerada a faixa máxima para a se obter uma compactação eficiente (Quirino et al., 2012).

Os briquetes apresentam massa específica relativa aparente em torno de 1,1 g cm⁻³, sendo que, o volume dos resíduos pode ser reduzido de 4 a 6 vezes e sua massa específica a granel, irá se situar entre 500 kg m⁻³ a 600 kg m⁻³

(Dias et al., 2012). Por oferecerem uma queima rápida e uniforme, os briquetes podem ser utilizados em diversos setores como abatedouros, cerâmicas, cervejarias, destilarias, fecularias, hospitais, hotéis, indústrias de óleo, papel, refrigerantes, laticínios, metalúrgicas, lavanderias, pizzarias, panificadoras e tinturarias (Gentil, 2008).

O volume ocupado pelas cascas de coco é bastante expressivo, visto que, em média, 300 cascas, com peso médio de 1,5 kg e 80 % de umidade ocupam 1 m³ (Silveira, 2008). O adensamento das cascas de coco na forma de briquetes ou de carvão vegetal propicia aumento da densidade energética desse material (Figura 6).

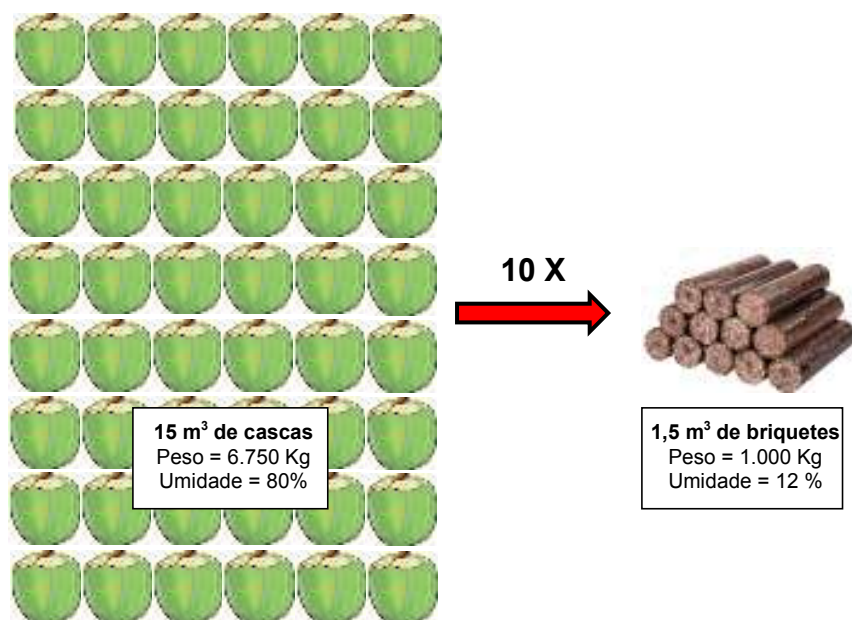


Figura 6. Adensamento das cascas de coco na forma de briquetes.

Os briquetes apresentam umidade entre 10% e 12%, valores bem inferiores aos da lenha convencional (30% a 40%), o que permite que estes sejam armazenados e comercializados a preços competitivos. Vale et al. (2012) obtiveram briquetes de casca de coco com densidade energética de $4.036 \text{ Mcal m}^{-3}$.

Produção de carvão vegetal e bioóleo

A pirólise é uma tecnologia de termoconversão da biomassa vegetal, ou seja, consiste na degradação dos materiais orgânicos na ausência parcial ou total de um agente oxidante, através de uma programação de tempo, com temperatura e atmosfera controlada, em ambiente com pouco ou nenhum oxigênio, alterando a composição do produto pela ação do calor. A pirólise ocorre em altas temperaturas (400°C), até o início do sistema de gaseificação (Andrade et al., 2004). O processo de pirólise pode ser lento, que potencializa a produção de produtos sólidos (biocarvão), ou rápido, visando à produção de produtos gasosos (biogás) e líquidos (bioóleo) (Paz et al., 2017). O rendimento e propriedades dos produtos formados pelo processo de pirólise são afetados pelos tipos de reatores de pirólise, os parâmetros de reação (temperatura, tempo de residência) características da biomassa utilizada (tamanho de partícula, forma e estrutura) (Cortez et al., 2009).

Pimenta et al. (2015) afirmam que existe viabilidade técnica de se aproveitar cascas de coco como matéria-prima para produção de carvão vegetal, bem como a sua posterior conversão em briquetes de finos de carvão vegetal.

Agrizzi (2018) constatou que a pirólise proporcionou aumento do PCS da casca de coco de $4.283 \text{ kcal kg}^{-1}$ para $7.096 \text{ kcal kg}^{-1}$ do carvão vegetal. Silveira (2018) também obteve biocarvão da casca de coco (mesocarpo) com PCS de $6.355 \text{ kcal kg}^{-1}$ a partir da pirólise a 400°C , sendo que a mesma casca in natura apresentava PCS de $4.173 \text{ kcal kg}^{-1}$. O mesmo autor também obteve um biocarvão do endocarpo do coco com PCS de $7.424 \text{ kcal kg}^{-1}$, valor significativamente superior ao PCS do endocarpo in natura de $4.636 \text{ kcal kg}^{-1}$.

Cortez et al. (2009) em experimentos conduzidos por pirólise lenta da casca do coco verde demonstraram que o carvão obtido apresenta, pelo menos em termos qualitativos, viabilidade para uso energético, tendo em vista os seus

altos teores de fibras e lignina. Esses autores também contataram que a carbonização da casca de coco proporcionou aumento no teor de carbono de 45,48 % para 73,55% e redução no teor de hidrogênio 5,65% para 3,19% no carvão obtido destas cascas.

Na matéria vegetal, a lignina está presente tanto em biomassas resinosas, que são compostas por cerca de 23% a 33% de sua massa seca, quanto em biomassas folhosas onde representam de 16% a 25% de sua massa. Estudos comprovam que a pirólise da lignina é uma fonte de hidrocarbonetos aromáticos e de compostos fenólicos, sendo estes de alta importância para indústria química. Dentre os compostos fenólicos encontrados no bioóleo pode-se citar os metóxfenóis, benzenodióis, alquilfenóis, metóxiбенzenos, etc (Scheda, 2015).

O carvão vegetal derivado da casca de coco apresenta bons rendimentos gravimétricos (30,55% a 34,31%), embora ainda sejam necessários estudos específicos para que possa ser usado como insumo energético para geração de energia térmica em diversos setores industriais (Andrade et al., 2004).

O teor de lignina da fibra do coco representa de 35% a 45% e o de celulose de 23% a 43% do total, por isso o uso desse resíduo para a produção energética representa uma alternativa em potencial (Paz et al., 2017). No processo de degradação térmica, a lignina é a que apresenta maior rendimento em carvão (40,6% a 47,1%), fato que confere tanto à casca quanto ao endocarpo do coco, excelente potencial para a produção de carvão vegetal (Raveendran et al., 1996).

Considerações finais

O aproveitamento das cascas de coco para a geração de energia térmica pode ser economicamente viável e consolidar-se como uma excelente alternativa de matéria-prima em substituição à lenha convencional e/ou de combustíveis fósseis, proporcionando a conservação da vegetação nativa dos biomas e a promoção do desenvolvimento regional.

A consolidação da casca de coco como fonte de matéria-prima para produção de energia térmica depende fundamentalmente do aumento da sua densidade energética e da redução da umidade da biomassa. Entre os principais pontos de atenção para a produção de biocombustíveis sólidos (briquetes e carvão vegetal), o mais crítico é o elevado teor de umidade das cascas, demandando processos de secagem. Além disso, aspectos como uma trituração eficiente, a composição de blends com outras matérias-primas e a destinação adequada do LCCV gerado na prensagem também devem ser considerados.

Referências

AGRIZZI, T. **Produção de bio-óleo a partir da pirólise de casca de coco em leito fixo**. 2018. 95 f. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade Federal do Espírito Santo - Centro Universitário Norte São Mateus.

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

ARAGÃO, W. M.; SANTOS, V. A. J.; ARAGÃO, F. B. **Produção de fibra de cultivares de coqueiro**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2005. 4 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Comunicado Técnico, 36).

CHEN, W.; KUO, P. A study on torrefaction of various biomass materials and its impact on lignocellulosic structure simulated by a thermogravimetry. **Energy**, v. 35, n. 6, p. 2580-2586, 2010.

CORRADINI, E.; ROSA, M. F.; MACEDO, B. P.; PALADIN, P. D.; MATTOSO, L. H. C. Composição química, propriedades mecânicas e térmicas da fibra de frutos de cultivares de coco verde. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 3, p. 837-846, 2009.

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

DEMIRBAS, A. Combustion characteristics of different biomass fuels. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 30, pp. 219–230, 2004.

DIAS, J. M. C. S.; SOUZA, D. T.; BRAGA, M.; ONOYAMA, M. M.; MIRANDA, C. H. B.; BARBOSA, P. F. D.; ROCHA, J. D. **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2012. 130 p. (Embrapa Agroenergia. Documentos, 13).

FAO. **Food and agriculture data**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 06 mai. 2019.

FURTADO, T. S.; VALIN, M.; BRAND, M. A.; BELLOTE, A. F. J. Variáveis do processo de briquetagem e qualidade de briquetes de biomassa florestal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 62, p. 101-106, 2010.

GENTIL, L. V. B. **Tecnologia e economia do briquete de madeira**. 2008. 197 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília.

HANSTED, A. L. S.; NAKASHIMA, G. T.; MARTINS, P. M.; YAMAMOTO, H.; YAMAJI, F. M. Comparative analyses of fast growing species in different moisture content for high quality solid fuel production. **Fuel**, v. 184, p. 180-184, 2016.

INT. Programa de Eficiência Energética en Ladrilleras Artesanales de America Latina para Mitigar el Cambio Climatico. **Diagnóstico inicial da região Nordeste**. Rio de Janeiro, 2014. 46 p. Relatório Técnico.

JENKINS, B. M. Fuel properties for biomass materials. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON APPLICATION AND MANAGEMENT OF ENERGY IN AGRICULTURE: THE ROLE BIOMASS FUELS, 1., 1990, New Delhi. **Anais...** Ludhiana: Punjab Agricultural University, 1990. p. 21-23.

JENKINS, B. M.; BAXTER, L. L.; MILES JUNIOR, T. R.; MILES, T. R. Combustion properties of biomass. **Fuel Processing Technology**, v. 54, p. 17-46, 1998.

LOPES, G. A.; BRITO, J. O.; MOURA, L. F. Uso energético de resíduos madeiros na produção de cerâmicas no estado de São Paulo. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 679-686, 2016.

MANSARAY, K. G.; GHALY, A. E. Thermal degradation of rice husks in nitrogen atmosphere. **Bioresource Technology**, v. 65, n. 1-2, p. 13-20, 1998.

MARAFON, A. C.; AMARAL, A. F. C.; LEMOS, E. E. P. Characterization of bamboo species and other biomasses with potential for thermal energy generation. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 49, e55282, 2019.

MARCELINO, M. M.; MELO, S. A. B. V.; TORRES, E. A. Caracterização da biomassa da casca de coco para obtenção de energia. **Bahia Análise & Dados**, v. 27, n. 1, p. 336-355, 2017.

MARTINS, C. R.; JESUS JÚNIOR, L. A. **Produção e comercialização de coco no Brasil frente ao comércio internacional**: panorama 2014. Aracaju. Embrapa Tabuleiros Costeiros 2014. 51 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Documentos, 184).

MATTOS, A. L. A.; ROSA, M. F.; CRISOSTOMO, L. A.; BEZERRA, F. C.; CORREIA, D.; VERAS, L. G. C.; **Beneficiamento da Casca de Coco Verde**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2011. 38 p. Apostila.

NAKASHIMA, G. T.; ADHMANN, I. C. S.; HANSTED, A. L. S.; BELINI, G. B.; WALDMAN, W. R.; YAMAJI, F. M. Materiais Lignocelulósicos: Caracterização e Produção de Briquetes. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 1, p. 150-162, 2017.

NUNES, M. U. C. Coprodutos do coqueiro: matéria-prima x sustentabilidade ambiental. In: FERREIRA, J. M. S.; WARKWICK, D. R. N.; SIQUEIRA, L. A. **A Cultura do Coqueiro no Brasil**. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. p. 495-508.

NUNES, M. U. C.; SANTOS, J. R.; SANTOS, T. C. **Tecnologia para Biodegradação da Casca de Coco Seco e de Outros Resíduos do Coqueiro**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2007. 5 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Circular Técnica, 46).

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

PIMENTA, A. S.; SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, R. V. O. Utilização de resíduos de coco (*Cocos nucifera*) carbonizado para a produção de briquetes. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 1, p. 137-144, 2015.

QUIRINO, W. F.; PINHA, I. V. O. de; MOREIRA, A. C. O. de; SOUZA, F. de; TOMAZELLO FILHO, M. Densitometria de raios x na análise da qualidade de briquetes de resíduos de madeira. **Scientia Forestalis**, v. 40, n. 96, p. 525-536, 2012.

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

ROSA, M. F.; MATTOS, A. L. A.; CRISOSTOMO, L. A.; FIGUEIREDO, M. C. B.; BEZERRA, F. C.; VERAS, L. G. C.; CORREIA, D. Aproveitamento da casca de coco verde. In: CARVALHO, J. M. M. (Org.). **Apoio do BNB à pesquisa e desenvolvimento da fruticultura regional**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, p.165-190, 2009. cap. 8.

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

SILVA, R. V.; SPINELLIA, A. D.; BOSE FILHO, W. W.; CLARO NETO, S.; CHIERICE, G. O.; TARPANIC, J. R. Fracture toughness of natural fibers/castor oil polyurethane composites. **Composites Science Technology**, v. 66, n. 10, p. 1328-1335, 2006.

SILVEIRA, A. J. M. **Viabilidade técnica da pirólise da biomassa do coco**: produção de bioóleo, biocarvão e biogás. Rio Largo, AL, 62 f. 2018. Dissertação (Mestrado em energia da biomassa) - Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias.

SILVEIRA, M. S. **Aproveitamento das cascas de coco verde para produção de briquete em Salvador - BA**. 2008. 163 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Bahia. Salvador.

TAVARES, S. R. L. **Biocombustíveis sólidos: fonte energética alternativa visando à recuperação de áreas degradadas e à conservação do Bioma Caatinga**. Brasília, DF: Embrapa; Natal, RN: Editora do IFRN, 2014. 400 p.

VALE, A. do; BARROS, L. O.; QUIRINO, W. F.; MOREIRA, A. C. O. Densidade energética de briquetes produzidos a partir de resíduos agrícolas. **Biomassa & Energia**, v. 5, p. 1-10, 2012.

VAN DAM, J. E.; OEVER, M. J. A.; TEUNISSEN, W.; KEIJERS, E. R. P.; PERALTA, A. G. Process for production of high density/high performance binderless boards from whole coconut husk: Part 2: Coconut husk morphology, composition and properties. **Industrial Crops and Products**, v. 24, n. 2, p. 96-104, 2006.



Tabuleiros Costeiros



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL