

## Reciclagem das cascas de coco verde no contexto da economia circular: briquetagem e pirólise



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

## **DOCUMENTOS 240**

# Reciclagem das cascas de coco verde no contexto da economia circular: briquetagem e pirólise

*Anderson Carlos Marafon  
André Felipe Câmara Amaral  
Renata Guilherme Cândido da Silva  
Edclea do Nascimento Reis  
Vânia Aparecida de Sá  
João Inácio Soletti  
Mozart Daltro Bispo  
Alex Tenório de Meneses*

**Embrapa Tabuleiros Costeiros**  
Aracaju, SE  
2020

Unidade responsável pelo conteúdo e edição:

**Embrapa Tabuleiros Costeiros**  
Avenida Beira Mar, nº 3250,  
CEP 49025-040, Aracaju, SE  
Fone: +55 (79) 4009-1300  
www.embrapa.br  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações  
da Unidade Responsável

Presidente  
*Ronaldo Souza Resende*

Secretário-Executivo  
*Ubiratan Piovezan*

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

Supervisão editorial  
*Aline Gonçalves Moura*

Normalização bibliográfica  
*Josete Cunha Melo*

Projeto gráfico da coleção  
*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Editoração eletrônica  
*Aline Gonçalves Moura*

Foto da capa  
*Saulo Coelho Nunes*

**1ª edição**  
Publicação digitalizada (2020)

**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

---

Reciclagem das cascas de coco verde no contexto da economia circular : briquetagem e  
pirólise. / Anderson Carlos Marafon [et al...]. – Brasília, DF : Embrapa Tabuleiros  
Costeiros, 2020.

30 p. : il. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1953; 240)

1. Coco verde. 2. Bioenergia. 3. Energia renovável. I. Marafon, Anderson  
Carlos. II. Amaral, André Felipe Câmara. III. Silva, Renata Guilherme Cândido da.  
IV. Reis, Edclea do Nascimento. V. Sá, Vânia Aparecida de. VI. Soletti, João Inácio.  
VII. Bispo, Mozart Daltro. VIII. Meneses, Alex Tenório de. IX. Série.

CDD 634.61 Ed. 21

## Autores

### **Anderson Carlos Marafon**

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

### **André Felipe Camara Amaral**

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

### **Renata Guilherme Cândido da Silva**

Estudante de graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Rio Largo, AL

### **Edclea do Nascimento Reis**

Estudante de graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Rio Largo, AL

### **Vânia Aparecida de Sá**

Engenheira Florestal, doutora em Ciência e Tecnologia da Madeira, docente da Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Laboratório de Produtos Florestais, Rio Largo, AL

### **João Inácio Soletti**

Engenheiro Químico, doutor em Engenharia Química, docente da Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, Laboratório de Sistemas de Separação e Otimização de Processos, Maceió, AL

### **Mozart Daltro Bispo**

Tecnólogo de Petróleo e Gás, doutor em Biotecnologia Industrial, bolsista PosDoc da Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, Laboratório de Sistemas de Separação e Otimização de Processos, Maceió, AL

### **Alex Tenório de Meneses**

Estudante de graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, Laboratório de Sistemas de Separação e Otimização de Processos, Maceió, AL



## Apresentação

A disponibilidade de matérias-primas e de recursos energéticos está associada ao desenvolvimento social e econômico regional, sendo que, a utilização sustentável dos recursos energéticos, essenciais para a sobrevivência do planeta, tem sido alvo de inúmeras discussões entre sociedade civil, indústrias e lideranças governamentais. Neste aspecto, a reciclagem de resíduos agrícolas e/ou agroindustriais vem sendo cada vez mais valorizada, consistindo numa forma alternativa de energia limpa e renovável em detrimento ao uso de combustíveis fósseis.

A economia circular apresenta-se como uma estratégia fundamental para a sustentabilidade da economia das nações, colocando o setor agropecuário no centro dos desafios associados ao crescimento populacional, à segurança alimentar, às mudanças climáticas e à escassez de recursos. A transição do modelo econômico linear de produção *take-make-dispose* para um modelo circular está pautada na inovação, tendo como principal direcionador a efetividade sistêmica para geração de impactos positivos, fundamentada na busca pela melhoria da eficiência e da eficácia para geração de consequências positivas a todas as partes envolvidas no sistema de negócios.

O mercado de água de coco apresenta grande perspectiva de crescimento no Brasil e no mundo por se tratar de um produto natural com excelentes propriedades funcionais. Este contexto de um progressivo aumento no consumo vem acompanhado de relevante incremento na geração de resíduos, constituídos basicamente pelas cascas fibrosas do coco verde, associado à sua disposição, muitas vezes, inadequada, trazendo riscos à saúde pública, além de representar expressivos custos à limpeza urbana.

Devido à baixa densidade energética das cascas de coco verde, é fundamental que esta matéria-prima seja processada localmente por meio de processos de conversão, tais como briquetagem e pirólise, considerados ambiental e economicamente viáveis para o aproveitamento dos resíduos disponíveis. A possibilidade de obtenção de novos produtos e insumos circulares com valor agregado a partir da adoção destes processos pode induzir a implantação de novos modelos de negócios, com geração de valores, emprego e renda, aumentando a competitividade da importante cadeia produtiva do coco verde.

*Marcelo Ferreira Fernandes*  
Chefe-Geral da Embrapa Tabuleiros Costeiros



## Sumário

Introdução .....	9
Economia circular e a cadeia produtiva do coco verde .....	10
Pré-processamento das cascas de coco verde .....	10
Briquete: biocombustível sólido adensado .....	11
Termoconversão da biomassa via pirólise .....	11
Considerações finais .....	17
Referências .....	18



## Introdução

Nos últimos anos, o aumento da demanda por energia, a diminuição das reservas de combustíveis fósseis e a necessidade de redução de emissões de gases de efeito estufa em função das consequências das mudanças climáticas e da segurança energética, têm incentivado a adoção e o desenvolvimento de novas energias renováveis, dentre elas as ‘tecnologias verdes’ a partir da biomassa. As altas taxas de geração de resíduos orgânicos e seu descarte inadequado têm resultado em sérios problemas ambientais, econômicos e sociais adversos. Neste contexto, a aplicação de tecnologias sustentáveis para produção de insumos bioenergéticos, e de políticas públicas para mitigação das mudanças climáticas globais se tornam imprescindíveis para permitir o estabelecimento e o avanço de economias circulares nos países em desenvolvimento (Nizami et al., 2017). A habilidade do Brasil em se transformar de país emergente em desenvolvido depende da distribuição interna de renda e de um posicionamento agressivo no mercado global, como criador e desenvolvedor de produtos de base tecnológica. Nesse sentido, uma das principais ações que merecem destaque é o empreendedorismo tecnológico, isto é, a capacidade de oferecer ao mercado novos produtos baseados em tecnologias inovadoras, sempre com o diferencial de apresentar preços competitivos (Paletta, 2012).

O Brasil é o quarto maior produtor mundial de coco, com produção aproximada de 2,8 milhões de toneladas, em uma área colhida de 257 mil hectares. A produção brasileira se destina ao mercado de coco seco, in natura e/ou na forma industrializada (coco-ralado e leite de coco), e à produção coco verde para a extração e comercialização da água de coco. O fruto do coco seco é colhido com 11 a 12 meses de idade, enquanto que, o fruto 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, que representa cerca de 20% do peso bruto do fruto. O coco verde é fruto das variedades de coqueiro (*Cocos nucifera* L.) anã (var. Nana) e híbrida (resultante do cruzamento da anã com a var. Gigante). No caso do fruto do coco seco, a amêndoa (albúmen sólido) é que possui interesse comercial e, no caso do coco verde, a água de coco é que é comercializada, diretamente

em pontos de venda ou por unidades de envasamento (Martins; Jesus Júnior, 2014).

O agronegócio do coco verde é de relevante importância para o Brasil, e em especial para a região Nordeste, principal produtora do país. O mercado de água de coco apresenta grande perspectiva de crescimento no Brasil e no mundo por se tratar de um produto natural com excelentes propriedades funcionais. A água de coco é predominantemente consumida na forma in natura ou envasada, e a comercialização do coco verde ocorre por meio de centrais de abastecimento, atacadistas, feiras livres, mercados municipais, quiosques, mercearias, revendedores ambulantes e de indústrias de envasamento (Cuenca et al., 2002). O consumo da água de coco verde tem se expandido juntamente com o número de empresas do setor de alimentos interessadas neste produto, o que tem alavancado a produção brasileira de água de coco envasada. Este progressivo aumento no consumo vem acompanhado de relevante aumento na geração de resíduos, constituídos basicamente pelas cascas fibrosas, que correspondem à 80% ou até 85% do peso total do fruto. Desta forma, a grande quantidade de cascas de coco verde geradas e a sua disposição muitas vezes inadequada destes resíduos, cuja destinação mais usual tem sido aterros sanitários, vazadouros e lixões, representa um custo expressivo nos gastos com limpeza urbana, contribui com a proliferação de insetos e outros vetores de doenças, como a dengue, além de causar mau cheiro e contaminação do solo e de corpos d'água devido à lixiviação de compostos (Rosa et al., 2011).

No Brasil, a Lei Federal nº 12.305/2010 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) dispõe sobre os princípios, objetivos e instrumentos para alcançar o correto gerenciamento de resíduos. De acordo com o Art. 3º, Inciso VII, da referida lei, destinação final ambientalmente adequada é definida como:

[...] destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes [...] entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos. (Brasil, 2010, página 3).

Neste sentido, cabe mencionar também a instituição do Programa Nacional de Bioinsumos pelo Decreto nº 10.375/2020, que tem como finalidade ampliar e fortalecer a utilização de bioinsumos no Brasil. De acordo com o seu Art. 5º, um dos seus objetivos é: “incentivar práticas e tecnologias de tratamento de resíduos sólidos para geração de insumos apropriados para uso na produção de bioinsumos” (Brasil, 2020, página 105).

A casca de coco verde pode ser considerada um dos resíduos agroindustriais com maior potencial para ser explorado como fonte energética no Brasil, 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). As cascas de coco verde podem ser utilizadas em inúmeras aplicações gerando produtos e/ou insumos como: substratos agrícolas, mantas e telas para proteção do solo, isolantes acústico e térmico, material adsorvente (carvão ativado), estofamentos automotivos, escovas, tapetes, cordas, fibras industriais, entre outros (Compromisso..., 1998). As cascas de coco também podem ser transformadas em briquetes, como fonte alternativa de combustível para a geração de energia, em substituição a outras fontes vegetais tradicionais altamente exploradas, mas que precisam ser preservadas, como o carvão vegetal e lenha nativa (Nunes, 2018).

Com o intuito de apresentar informações sobre dois processos alternativos de reciclagem para a valorização energética das cascas de coco verde dentro do contexto da economia circular, o presente documento técnico visa enfatizar o potencial de obtenção de novos produtos e/ou insumos a partir do aproveitamento e da transformação desta fonte de matéria-prima por meio dos processos de briquetagem e pirólise. A reciclagem das cascas do coco verde para a produção de briquetes, biocarvão e bio-óleo pode abrir novas perspectivas para a destinação correta, aliada com a agregação de valor a este resíduo sólido. Esta prática está alinhada com o conceito da bioeconomia, a qual refere-se ao conjunto de atividades econômicas baseadas na utilização sustentável e inovadora de recursos biológicos renováveis (biomassa), em substituição às matérias-primas fósseis, para a produção de alimentos, rações, materiais, produtos químicos, combustíveis e energia por meio de processos biológicos, químicos, termoquímicos ou físicos, promovendo a saúde, o desenvolvimento e o crescimento econômico de forma sustentável e o bem-estar da população (Embrapa, 2020).

## Economia circular e a cadeia produtiva do coco verde

A economia circular (EC) pode ser entendida como um sistema, um modelo econômico ou uma estratégia que faz parte do desenvolvimento sustentável e de conceitos econômicos inspirados na economia verde, na economia de funcionalidade, na economia do desempenho e na ecologia industrial, com vistas na redução do consumo de materiais, da geração de resíduos e da emissão de poluentes, a partir da restauração, regeneração e/ou reutilização de materiais. A EC fundamenta-se em três princípios voltados para diversos desafios que a economia industrial enfrenta. O primeiro princípio é preservar e aumentar o capital natural, controlando estoques finitos e equilibrando os fluxos de recursos renováveis; o segundo é otimizar a produção de recursos, fazendo circular produtos, componentes e materiais no mais alto nível de utilidade o tempo todo, tanto no ciclo técnico quanto no biológico, e o terceiro é fomentar a eficácia do sistema, revelando e excluindo externalidades negativas dos projetos, visando melhorar a efetividade sistêmica e a geração de impactos positivos (Ellen..., 2013).

A cadeia produtiva do coco verde segue o modelo econômico linear de produção-consumo-descarte (*take-make-dispose*), o qual está atingindo seu limite porque se mostra ambientalmente insustentável, havendo a necessidade de implantar modelos de ciclo fechado, que possibilitem ganhos ambientais e econômicos. Um dos caminhos para o enfrentamento desse problema é a adoção do modelo de economia circular, que associa o crescimento econômico a um ciclo de desenvolvimento positivo contínuo, que preserva e aprimora o capital natural, otimiza a produção de recursos e minimiza riscos sistêmicos, com a administração de estoques finitos e fluxos renováveis (Ellen..., 2013).

A proposta é que resíduos de uma indústria sejam utilizados como matéria-prima para a própria indústria ou para outra, bem como propõe a criação de produtos focados no reaproveitamento e que mantenha os materiais no ciclo produtivo. Assim, o primeiro passo para a transição da lógica linear para o modelo de economia circular consiste em analisar oportunidades de inovação nos modelos de negócios das empresas, possibilitando a criação de melhores processos, produtos e serviços, a proposição de valores a partir da cap-

tura de valores perdidos ou não percebidos por todas as partes interessadas dentro da cadeia produtiva (Confederação..., 2018).

## Pré-processamento das cascas de coco verde

A viabilidade de determinada biomassa como fonte de matéria-prima para a obtenção de novos produtos depende, essencialmente, de fatores como: disponibilidade, acessibilidade, densidade energética e teor de umidade, os quais influenciam diretamente os custos envolvidos nas operações de transporte, armazenamento, dimensionamento do sistema, manuseio e utilização do material.

Biomassas como as cascas de coco verde, devido a sua natureza heterogênea e densidade inerentemente baixa, técnicas de pré-tratamento como o picoteamento e a secagem são necessárias para viabilizar a sua utilização. Assim, para garantir condições adequadas de processamento, essas cascas (Figura 1B) necessitam ser fragmentadas em cavacos ou *chips* (Figura 1B), e submetidas à secagem, a qual pode ser realizada de forma natural em pátios ou induzida em secadores rotativos.



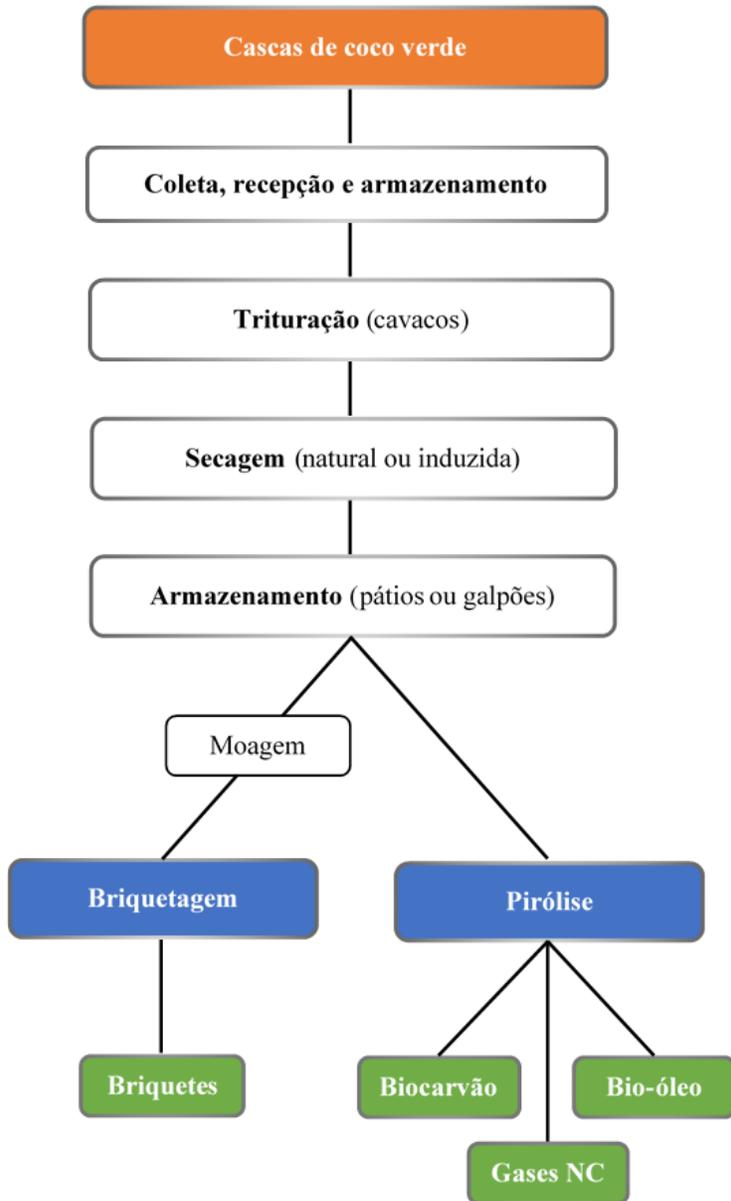
**Figura 2.** Cascas de coco verde (A) e seus cavacos fragmentados e secos ao sol (B). Rio Largo, AL, 2020.

No caso das indústrias de envasamento de água de coco, as cascas de coco verde já se encontram na própria unidade industrial, o que reduz custos de transporte da matéria-prima. Entretanto, no caso do consumo da água de coco in natura, as cascas encontram-se dispersas nos diversos locais de consumo, o que demanda a adoção de uma logística específica de captação, mediante a utilização de coletores (containers) adequados para este resíduo, bem como, de ações de educação ambiental para a conscientização dos consumidores.

As cascas de coco são constituídas por uma fração de fibras (70%) e outra denominada de pó (30%). As fibras de coco caracterizam-se por sua dureza e durabilidade atribuídas ao alto teor de lignina, sendo que, quando comparadas com outras fibras naturais apresentam até duas vezes mais lignina (Silva et al., 2006).

Do ponto de vista de processamento das cascas de coco, o gasto energético com a trituração das cascas de coco verde é menor do que com o das cascas de coco seco, tendo em vista que elas apresentam menor grau de lignificação. Reis (2020) encontrou teores de lignina significativamente mais elevados em cascas de coco seco (41,8%) do que em cascas de coco verde (30,7%). Este aspecto é muito importante do ponto de vista operacional, haja vista que o gasto energético para o picoteamento ou trituração é menor para materiais menos lignificados, bem como o desgaste dos equipamentos.

O diagrama abaixo apresenta as principais etapas envolvidas e os potenciais produtos obtidos por meio dos processos de briquetagem (briquetes) e pirólise (biovarvão, bio-óleo e gases não condensáveis das cascas de coco verde (Figura 2).



**Figura 2.** Diagrama dos processos de briquetagem e pirólise de cascas de coco verde para obtenção de novos insumos e/ou produtos. Rio Largo, AL, 2020.

Reis (2020) e Silva (2020) utilizaram cavacos de cascas de coco verde secos ao sol (secagem natural) durante sete dias para produção de briquetes, biocarvão e bio-óleo. Estes autores observaram que o picoteamento das cascas em fragmentos de 4 a 8 cm proporcionou o aumento na sua densidade a granel de  $150 \text{ kg m}^{-3}$  (cascas inteiras) para  $540 \text{ kg m}^{-3}$  (cavacos), implicando numa significativa redução do volume ocupado pelo material. Durante a secagem a densidade foi reduzida gradualmente com a perda de água conforme mostra a Tabela 1.

**Tabela 1.** Teor de umidade e densidade à granel de cavacos de cascas de coco verde submetidos à secagem natural ao sol. Rio Largo, AL, 2020.

Dias de exposição ao sol	Umidade (%)	Densidade ( $\text{kg m}^{-3}$ )
0	82,2	540
1	75,4	447
2	61,9	388
3	42,1	267
4	21,6	221
5	16,3	207
6	12,2	203
7	7,9	199

César et al. (2009) avaliaram os custos para instalação de usinas de briquetagem e constataram que a utilização da secagem solar, é uma das alternativas que pode reduzir substancialmente os custos de produção dos briquetes de cascas de coco verde. Estes autores constataram que os custos com energia elétrica são elevados, sendo que mais da metade do consumo de energia é atribuído ao picoteador, sem contar os altos custos adicionais com energia demandados para alimentar a fornalha do secador.

## Briquete: biocombustível sólido adensado

A combustão direta de resíduos agrícolas é um processo de conversão energética de baixa eficiência. Além disso, a baixa densidade da maioria destes materiais implica em problemas logísticos de transporte, armazenamento e

manuseio. Neste sentido, a adoção e o aprimoramento de tecnologias como a densificação da biomassa visando a produção de combustíveis sólidos adensados, como *pellets* e briquetes, pode atenuar tais problemas, permitindo sua utilização mais abrangente e descentralizada.

Briquetes e *pellets* resultam da compactação de resíduos lignocelulósicos destinados ao uso como combustíveis sólidos para a geração de energia térmica, os quais podem ser preparados em diferentes formatos e tamanhos, de acordo com o tipo de compactadora utilizada. A maior diferença entre eles são suas dimensões. Enquanto o diâmetro dos *pellets* pode variar entre 6 e 16 mm e o comprimento de 25 a 30 mm, os briquetes possuem diâmetro entre 70 e 100 mm e comprimento entre 250 a 400 mm a depender do equipamento utilizado (Pallavi et al., 2013).

O briquete, também conhecido como ‘lenha ecológica’, é um combustível sólido homogêneo com umidade próxima a 8% com densidade entre 1000 e 1300 kg m<sup>-3</sup> produzido a partir de biomassa solta com densidade aparente entre 100 e 200 kg m<sup>-3</sup>, proporcionando alta densidade. Por oferecer uma queima rápida e uniforme, o briquete pode ser usado de maneira prática e eficiente para a geração de energia térmica, constituindo-se em substituto direto da lenha, ou de combustíveis fósseis, em muitas aplicações, incluindo o uso residencial, em indústrias e estabelecimentos comerciais como abatedouros, cervejarias, destilarias, fecculárias, hospitais, hotéis, indústrias de papel e celulose, laticínios, lavanderias, metalúrgicas, panificadoras, pizzarias, olarias, cerâmicas, fábricas de alimentos, indústrias químicas, têxteis e de cimento, dentre outros segmentos.

A briquetagem é o processo de conversão de resíduos agrícolas em briquetes, o que facilita o transporte, manuseio, armazenamento e utilização da biomassa energética. Os equipamentos tradicionais utilizados na briquetagem industrial são: briquetadeira, secador rotativo de tambor, ventilador de exaustão e transporte, silos e o picoteador (triturador) da matéria-prima. Em relação ao processo de trituração é importante que a biomassa que vai ser empregada para a produção de briquetes esteja com tamanho compatível com o equipamento de compactação. A indicação deste equipamento deve ser feita observando a quantidade de massa a ser triturada, o tamanho da matéria-prima de entrada e o tamanho de partícula ideal para cada tipo de equipamento (Dias et al., 2012).

A briquetagem consiste na compactação ou densificação da biomassa in natura sob elevadas pressões, o que provoca a elevação da temperatura no processo da ordem de 100 °C. Esse processo também pode ser utilizado para biomassa carbonizada, contudo, segundo Fontes et al. (1989), na produção de briquetes de carvão vegetal, é necessária a adição de agente aglutinante para promover a união das partículas. Neste caso, o aglutinante escolhido não deve prejudicar as características energéticas do carvão, diminuindo o rendimento calorífico ou aumentando os teores de voláteis e cinzas.

A briquetagem é uma forma eficiente para concentrar a energia disponível da biomassa, pois um metro cúbico de briquetes contém duas a cinco vezes mais energia que um metro cúbico de resíduos (Quirino, 1991). Uma série de vantagens técnicas e ambientais favorecem o uso de briquetes de cascas de coco verde em relação ao uso da lenha, dentre eles: requer menor espaço para armazenamento, apresenta maior densidade energética, maior facilidade de transporte, manipulação e armazenamento, menor teor de umidade e menor produção de fumaça, cinzas e fuligem (Silveira, 2008).

No processo de compactação da biomassa lignocelulósica, a elasticidade natural das fibras é destruída, provocando a 'plastificação da lignina', macromolécula que atua como aglutinante das partículas, proporcionando com isso, resistência e durabilidade aos briquetes. Para elaboração dos briquetes é importante que o percentual de umidade da biomassa esteja entre 8 a 12% e que a granulometria proporcione adequada aglutinação de partículas, em função das características do equipamento (Nakashima et al., 2014). Em geral, a densidade e durabilidade dos combustíveis sólidos é proporcional ao tamanho das partículas, visto que granulometrias menores oferecem maior área superficial. No entanto, partículas muito pequenas podem ocasionar problemas operacionais como o entupimento do sistema de alimentação do maquinário no processo de densificação. Tumuru et al. (2011) ressaltaram que, diferentemente dos *pellets*, no caso dos briquetes, tamanhos de partículas maiores ( $\approx 6$  mm) são mais desejáveis.

O uso da casca de coco torna-se atraente para a produção de briquetes devido às suas elevadas proporções de estruturas poliméricas bem definidas de celulose (35 a 47%), hemicelulose (15 a 28%) e lignina (16 a 45%); sua baixa quantidade de cinzas (2,7 a 10%); e, dependendo da variedade de coco, o seu elevado teor de extrativos, variando de 3,4 a 30% (Van Dam et al., 2006;

Bilba et al., 2007; Brígida et al., 2010). Análises da biomassa da casca de coco verde utilizada na produção de briquetes por Silva (2020), demonstram que esta apresenta poder calorífico superior de  $4.539 \text{ kcal kg}^{-1}$  e teores de 44,7% de carbono, 5,84% de hidrogênio, 29,1% de extrativos, 24,4% de celulose, 8,5% de hemiceluloses, 30,7% de lignina e 7,3% de cinzas.

Nones et al. (2017) constataram que a produção de briquetes de cascas de coco verde é viável tecnicamente, proporcionando um produto com alta densidade energética e elevada resistência à tração por compressão, sem a necessidade de adição de compostos aglutinantes, já que, a própria lignina atuou como um agente ligante entre as partículas (baixa granulometria), conferindo rigidez e impermeabilidade aos briquetes.

Silva (2020) também obteve briquetes de cascas de coco verde com excelente qualidade a partir do uso da biomassa com granulometria de partículas de 2 mm, os quais apresentaram elevada densidade aparente ( $1.137 \text{ kg m}^{-3}$ ) e energética ( $5.161 \text{ Mcal m}^{-3}$ ). Estes briquetes foram produzidos em pequena escala, em uma prensa hidráulica manual, cujo molde foi acoplado à uma manta térmica dotada de termostato, aplicando-se aquecimento prévio do material ( $125 \text{ }^\circ\text{C}$ ) durante 5 min, seguidos por 3 min de residência na prensa (15 MPa) e de 20 min de resfriamento, antes da retirada dos briquetes da prensa, sem a adição de agentes aglutinantes (Figura 3).



Foto: Renata Guilherme Cândido da Silva

**Figura 3.** Briquetes de cascas de coco verde. Rio Largo, AL, 2020.

O aproveitamento das cascas de coco verde é tecnicamente viável para a produção de briquetes densos e compactos, com alta resistência e densidade energética, sem a necessidade de uso de aglutinantes. Para tanto, é imprescindível que a matéria-prima apresente granulometria de partículas e o teor de umidade adequados e que o equipamento de briquetagem promova adequadas condições de pressão e temperatura para que ocorra a plastificação da lignina, resultando em briquetes densos, compactos e resistentes. Cabe mencionar que, as cascas de coco verde também podem ser utilizadas em misturas (blends) com outras biomassas para produção de briquetes, dentre eles o bagaço de cana-de-açúcar (Bezerra et al., 2017), o eucalipto (Nunes et al., 2019), entre outras.

Os briquetes podem abastecer fornos e caldeiras de indústrias cerâmicas, fábricas de cimento, usinas sucroenergéticas, hotéis, padarias, pizzarias, abatedouros, feccularias, laticínios, lavanderias, metalúrgicas, cervejarias, dentre outros setores. Em processos industriais de briquetagem, as elevadas pressões (200 MPa) geradas mecanicamente provocam incrementos térmicos da ordem de 100 a 150°C, sem haver a necessidade de fornecimento externo de calor. Vale ressaltar também que umidade dos briquetes (10 a 15%) é consideravelmente inferior quando comparada com a umidade da lenha convencionalmente utilizada (30 a 40%). Em relação ao armazenamento, este deve ser realizado em galpões protegidos da umidade, empilhando os briquetes longitudinalmente. Para a comercialização dos briquetes se faz necessária a embalagem do produto (filme plástico) visando sua melhor conservação, além da facilidade de manuseio e transporte.

No Brasil, predominam indústrias que utilizam resíduos florestais, derivados da indústria madeireira, como serragem e maravalha. Além destas, há também empresas que utilizam outros tipos de materiais como bagaço de cana, cascas de arroz, cascas de café e resíduos de algodão (Biomax, 2020). Embora apresentem excelente potencial para a produção de briquetes, ainda não existem indústrias que utilizam as cascas de coco verde. Silveira (2008) realizou um levantamento de custos para a instalação de uma indústria de briquetes de cascas de coco verde, concluindo que seria necessária uma quantidade diária de aproximadamente 25 t desta matéria-prima residual para a operação da fábrica durante 6 horas/dia. O custo estimado para a implantação da unidade fabril com equipamentos convencionais foi de

R\$ 375.900,00. Já, para a implantação da fábrica com maquinários alternativos este custo foi de R\$ 633.000,00.

## Termoconversão da biomassa via pirólise

A pirólise é um processo de degradação termoquímica de um sólido orgânico por meio de uma sequência de reações complexas, associado a processos de transferência de calor e massa, em um ambiente livre ou com baixo teor de oxigênio ( $O_2$ ) e com a presença de um gás inerte. Trata-se de um processo endotérmico rápido, completo e eficiente que necessita de uma fonte externa de energia (calor) que transforma a biomassa em três frações: (1) fração sólida (biocarvão), que consiste principalmente em cinzas minerais e carbono, podendo ser utilizada como combustível ou na fabricação de carvão ativado por meio de sua posterior ativação com gás carbônico ( $CO_2$ ) e/ou vapor de água; (2) fração líquida (bio-óleo) que pode ser aproveitada como combustível em câmaras de combustão, motores à diesel e turbinas, dentre outros e a (3) fração gasosa (gases não condensáveis) que também é combustível, sendo composta basicamente por hidrogênio ( $H_2$ ), monóxido de carbono (CO),  $CO_2$  e metano ( $CH_4$ ) (Lora; Venturini, 2012).

O biocarvão é um material sólido obtido a partir da conversão termoquímica da biomassa em um ambiente com limitação de oxigênio, rico em carbono, com extensa área superficial que lhe confere alto grau de porosidade e elevada capacidade adsorptiva, podendo ser utilizado em diversas aplicações tais como a de agente condicionador e/ou remediador contra poluição do solo (Lehmann; Joseph, 2015). O biocarvão consiste principalmente em carbono (70 a 80%) e cinzas minerais, podendo ser utilizado como combustível por seu elevado poder calorífico, como condicionador de solos ou na fabricação de carvão ativado por meio da sua ativação com  $CO_2$  e ou vapor de água. Quando utilizado especificamente para finalidades agrícolas o biocarvão é designado como *biochar*. Como condicionador e provedor de nutrientes ao solo, o *biochar* apresenta características muito interessantes como a capacidade de proporcionar aumento na microporosidade, aumentar a retenção de água e diminuir a perda de nutrientes minerais por lixiviação do solo. A aplicação do *biochar* tem sido promovida como uma ferramenta para a mitigação das mudanças climáticas, devido aos benefícios promissores de sua

aplicação ao solo, proporcionando o sequestro de grandes quantidades de carbono e, com isso, reduzindo a emissão de gases de efeito estufa (Brassard et al., 2016).

O bio-óleo ou óleos pirolíticos (fração líquida) formado a partir da condensação de materiais voláteis da pirólise é uma mistura complexa de componentes aromáticos e alifáticos oxigenados, dentre eles fenóis, álcoois, aldeídos, cetonas e ácidos carboxílicos. O bio-óleo apresenta cor castanho-escuro e baixa estabilidade, devido à reatividade dos compostos presentes em sua constituição, que sofrem polimerização e condensação ao longo do tempo, as quais são favorecidas pelo aumento de temperatura e presença de ar e luz, resultando em aumento de viscosidade e separação de fases (Mohan et al., 2006).

O bio-óleo é composto basicamente por duas fases: (1) alcatrões (hidrocarbonetos) e (2) ácido pirolenhoso, podendo ser utilizado como combustível, insumo químico para produção de resinas, fungicidas ou aditivos para combustíveis, desde que passe por processos de reforma (*upgrading*). O ácido pirolenhoso, também chamado de extrato pirolenhoso, vinagre de madeira, fumaça líquida, óleo biológico, óleo líquido, óleo de pirólise ou destilado de madeira, é um ácido carboxílico de mistura complexa, que consiste principalmente em hidrocarbonetos alifáticos, aromáticos e naftênicos, como álcoois, aldeídos, cetonas, furanos, ácidos, fenóis e éteres (Grewal et al., 2018). Quanto ao uso industrial, o ácido pirolenhoso tem sido usado como fonte de aromas na indústria alimentícia, em processos de defumação e conservação de carnes e derivados. O ácido pirolenhoso produzido sob condições adequadas também apresenta potencial de utilização na agricultura em função de suas propriedades antioxidantes, antimicrobianas, inseticidas, como promotor da germinação de sementes e potencializador da eficiência de produtos fitossanitários e da absorção de nutrientes, atuando como agente quelatizante em pulverizações foliares (Campos, 2018). Alguns trabalhos apontam a eficiência do ácido pirolenhoso obtido de cascas de coco como produto natural na agricultura, incluindo o efeito sinérgico com atividade inseticida (Mela et al., 2013; Wititsiri, 2011). Os compostos majoritários encontrados nas fibras das cascas de coco são: 1,2-benzenodiol, fenol, ácido acético, 2,6-dimetóxi-fenol e 3-metil-1,2-benzenodiol (Tsai et al., 2006).

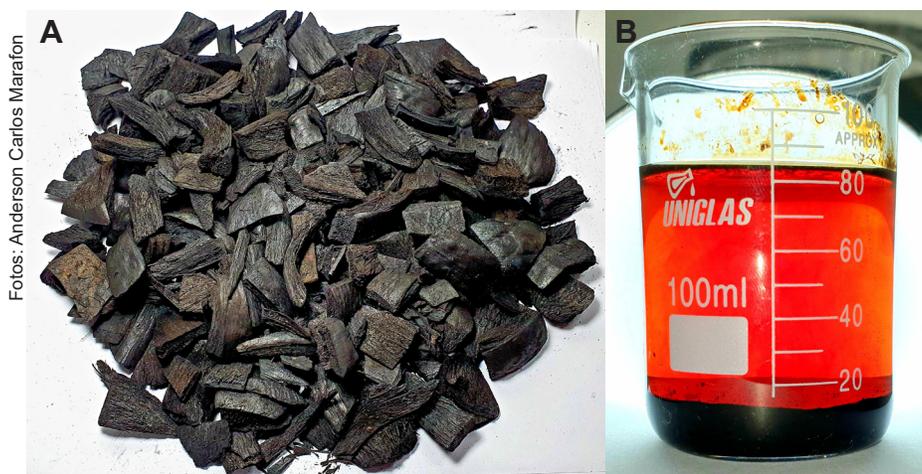
As características dos produtos da pirólise, em termos de quantidade e qualidade, dependem de condições como temperatura, taxa de aquecimento e tempo de resistência da biomassa no reator. O rendimento da pirólise das cascas de coco verde em biocarvão e bio-óleo pode ser aprimorado para obtenção de maiores proporções de um ou de outro produto mediante ajuste nas condições operacionais do processo. Quanto maior a temperatura final de pirólise e maior o tempo de residência da biomassa no reator, menor é o rendimento em bioarvão, isto se deve ao aumento na quantidade de materiais desprendidos na forma de gases condensáveis, não-condensáveis e vapor d'água. Por outro lado, quanto maior for a temperatura final de pirólise e menor o tempo de residência menor é a produção de biocarvão e maior a produção de bio-óleo (Silveira, 2018).

Agrizzi (2018) constatou que a temperatura do processo de pirólise e o diâmetro equivalente de partícula, mostraram efeito sobre o rendimento dos produtos de pirólise da casca de coco verde em um reator de leito fixo. O rendimento da fração sólida (biocarvão) foi beneficiado por menores temperaturas finais de pirólise e por maiores tamanhos de partículas. Por outro lado, o rendimento de líquido (bio-óleo) e gases não condensáveis foram favorecidos por maiores temperaturas e menos tamanhos de partículas. Schena (2015) avaliou os rendimentos da pirólise de fibras de cascas de coco verde à 600 e 700 °C e obteve, para cada temperatura, valores de 43 e 33,8% para bio-óleo, 23 e 25,2% para carvão de 34 e 41% para gases não condensáveis, respectivamente. De acordo com o autor, a maior produção de gases não condensáveis na temperatura mais elevada (700 °C) poderia ser explicada pelo aumento no craqueamento da biomassa. Temperaturas elevadas de pirólise (600 - 800°C) promovem reações de condensação, ocasionando a decomposição de grupos funcionais, como a despolimerização da celulose, resultando em maior produção de materiais voláteis (Suman; Gautam, 2017; Demirbas, 2006).

Suman e Gautam (2017) verificaram que o aumento na temperatura de pirólise de cascas de coco diminuiu o rendimento e os teores de materiais voláteis e de hidrogênio, entretanto, aumentou o poder calorífico, os teores de cinzas e carbono e a área superficial do carvão produzido. Estes autores afirmam que, o carvão das cascas de coco apresenta potencial de aplicação para fins térmicos e metalúrgicos, sendo que o carvão produzido à temperaturas entre

600 e 800 °C tem potencial de aplicação na fabricação do aço, enquanto o carvão derivado da pirólise sob temperaturas entre 400 e 1000 °C tem potencial como condicionador de solo e no tratamento de águas residuais.

Reis (2020) utilizou cascas de coco verde na forma de cavacos (4 a 6 cm), isentos de umidade, para produzir bioarvão e bio-óleo em um forno tubular com taxa de aquecimento de 10 °C min<sup>-1</sup>, temperatura final de pirólise em 450 °C e tempo de residência no reator de 60 min, obtendo os rendimentos gravimétricos de 36,5% em bioarvão (Figura 4A) e 34,7% em bio-óleo (Figura 4B).



Fotos: Anderson Carlos Marafon

**Figura 3.** Biocarvão (A) e bio-óleo (B) de cascas de coco verde. Rio Largo, AL, 2020.

O biocarvão obtido apresentou poder calorífico superior de 6.364 Kcal kg<sup>-1</sup>, densidade de 87 kg m<sup>-3</sup> e teores de 6,6% de umidade, 69,7% de carbono, 3% hidrogênio e de 27% de cinzas. Em relação à composição mineral, o biocarvão obtido apresentou teores de 53,3% de potássio, 17,9% de cloro, 11,6% de sódio, 4,5% de cálcio, 1,9% de magnésio e 0,8% de ferro. Neste trabalho, o principal elemento químico mineral encontrado no biocarvão foi o potássio (53,3%), não sendo detectado o enxofre (S).

Em relação às cinzas, cabe ressaltar que teores muito elevados e/ou baixas temperaturas de fusão destas cinzas podem resultar em problemas técnicos

por deposição, sinterização, incrustação e corrosão de fornos e caldeiras. Dentre os principais elementos formadores das cinzas o potássio e o cloro são os mais indesejáveis. Enquanto o potássio reduz a temperatura de fusão das cinzas e contribui significativamente com o processo de corrosão, o cloro atua como catalisador de reações de corrosão e aumenta as emissões de hidrocarbonetos clorados (Boström et al., 2012). De acordo Zubairu e Gana (2014), os carvões obtidos de resíduos de biomassa agrícola são particularmente caracterizados por baixos valores de densidade aparente (76 a 180 kg m<sup>-3</sup>) e altos teores de cinzas (9,4 a 22,1%), cujas características são indesejáveis para uso como combustíveis sólidos.

Reis (2020) constatou que o biocarvão produzido a partir de cascas de coco verde apresentou alta friabilidade (facilidade de quebra), além de baixa densidade (87 kg m<sup>-3</sup>). Assim, para que possa ser utilizado como combustível sólido, se faz necessário o adensamento do biocarvão na forma de briquetes (ou *pellets*), que demanda a adição de algum material aglutinante e também um forno para a secagem. De acordo com Barros (2020), os aglutinantes são substâncias indispensáveis para o processo de briquetagem do carvão. No setor da siderurgia, o briquete de carvão é utilizado como um termorredutor e, por isto, precisa apresentar resistência a altas temperaturas. Neste aspecto, a busca por novos aglutinantes vem se intensificando, visando principalmente a obtenção de compostos que apresentem baixo custo e que atendam aos requisitos necessários para a produção de briquetes com alta qualidade (Dias et al., 2012). Alguns destes produtos utilizados são aglutinantes naturais como o amido industrial de milho (mais utilizado), o amido de mandioca, as resinas naturais derivadas de espécies lenhosas, entre outros como a pectina, obtida principalmente de cascas de frutas cítricas (Tumuluru et al., 2011).

Outra opção interessante para agregação de valor ao biocarvão das cascas de coco verde é a produção do carvão ativado, obtido após o processo complementar de ativação com gás carbônico e/ou vapor de água, o qual pode ser utilizado como material adsorvente de baixo custo, no tratamento de águas residuais ou em outras aplicações industriais.

## Considerações finais

A cadeia produtiva do coco verde segue o perfil do modelo linear 'produção, extração e descarte', gerando grande quantidade de cascas. Neste aspecto, a incorporação de tecnologias de aproveitamento das cascas de coco verde, tais como a briquetagem e a pirólise, apresentam grande potencialidade para o desenvolvimento de uma cadeia de valores a partir da geração e comercialização de novos produtos e/ou insumos circulares.

Opções técnicas e estratégicas como a briquetagem e a pirólise das cascas de coco verde constituem-se em excelentes oportunidades para novos empreendimentos, com a geração de emprego e renda e a descentralização das atividades envolvidas em cadeias de suprimentos de produtos e insumos obtidos a partir desta biomassa residual. Entretanto, é importante ressaltar que a implantação de unidades de beneficiamento exige um planejamento prévio que considere a disponibilidade de matéria-prima, a logística de captação/aquisição e o mercado pretendido para os produtos obtidos.

A briquetagem e a pirólise das cascas de coco verde mostram-se excelentes alternativas estratégicas e inovadoras para promover a valorização e a viabilidade de uso das cascas de coco verde e a minimização dos problemas socioambientais provocados pela disposição inadequada destes resíduos. Enquanto os produtos obtidos da pirólise das cascas de coco verde podem ser comercializados como condicionador de solos (*biochar*), material adsorvente (carvão ativado) ou químico para uso industrial (ácido pirolenhoso), a produção de briquetes, por sua vez, constitui-se numa opção interessante de suprimento de biocombustível sólido para diversos segmentos que demandam energia térmica, em substituição aos combustíveis fósseis ou à lenha obtida de maneira ilegal, minimizando as emissões de gases de efeito estufa e evitando o desmatamento de vegetação nativa.

## 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, Santa Catarina.
- BARROS, T. D. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. **Finos**. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000ftrg0q902wyiv80kxlb36pud0u80.html>. Acesso: 24 ago. 2020
- BEZERRA, J. M. M.; VIDAL, M. S.; BIZERRA, D. A. U. B.; MALVEIRA, J. Q.; RIOS, M. A. S. Estudo do potencial energético de briquetes produzidos a partir de resíduos da casca de coco verde e bagaço de cana. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AMBIENTAL, 8., 2017, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2017. p. 1-10
- BILBA, K.; ARSENE, M.; OUENSANGA, A. Study of banana and coconut fibers: Botanical composition, thermal degradation and textural observations. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 1, p. 58-68, 2007.
- BIOMAX. **Briquetagem**. Disponível em: <https://www.biomaxind.com.br/briquetagem/> Acesso em: 5 nov. 2020.
- BOSTRÖM, D.; SKOGLUND, N.; GRIMM, A.; BOMAN, C.; ÖHMAN, M. BOSTRÖM, M. Ash transformation chemistry during combustion of biomass. **Energy and Fuels**, v. 26, p. 85-93, 2012.
- BRASIL, **Decreto nº 10.375** de 26 de maio de 2020 - Programa Nacional de Bioinsumos. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, 27 mai. 2020. Disponível em: <http://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.375-de-26-de-maio-de-2020-258706480>. Acesso em: 23 jul. 2020.
- BRASIL. **Lei nº 12.305** de 02 de agosto de 2010 - Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, 2 ago. 2010. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/12305.htm). Acesso em: 21 jul. 2020.
- BRASSARD, P.; GODBOUT, S.; RAGHAVAN, V. Soil biochar amendment as a climate change mitigation tool: Key parameters and mechanisms involved. **Journal of environmental management**, v. 181, p. 484-497, 2016.
- BRÍGIDA, A. I. S.; CALADO, V. M. A.; GONÇALVES, L. R. B.; COELHO, M. A. Z. Effect of chemical treatments on properties of green coconut fiber. **Carbohydrate Polymers**, v. 79, n. 4, p. 832-838, 2010.
- CAMPOS, A. D. **Informação Técnica sobre Extrato Pirolenhoso**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2018. 9 p. (Embrapa Clima Temperado. Circular Técnica, 177).
- COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Perfil de recicladora de fibras de coco**. São Paulo, 1998. 35 p. (Reciclagem & Negócio: Fibra de Coco).

CÉSAR, S. F.; SILVEIRA, M. S.; R. CUNHA, D. A. Aproveitamento das cascas de coco verde para produção de briquete em Salvador - uma alternativa sustentável para a destinação de resíduos do coco in natura. In: ENCONTRO NACIONAL E LATINO-AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 5., 2009, Recife. **Anais...** Recife, 2009. p. 1-9.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Economia circular: oportunidades e desafios para a indústria brasileira**. Brasília, DF: CNI, 2018. 64 p.

CUENCA, M. A. G.; RESENDE, J. M.; SAGGIN JUNIOR, O. J.; REIS, C. S. dos Mercado brasileiro do coco: situação atual e perspectivas. In: ARAGÃO, W. M. (Ed.). **Coco: pós-colheita**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. cap. 2, p. 11-18. (Frutas do Brasil, 29).

DEMIRBAS, A. Production and characterization of bio-chars from biomass via pyrolysis. **Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects**, v. 28, n. 5, p. 413-422, 2006.

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).

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the circular economy: economic and business rationale for an accelerated transition**. Cowes: [s.n.], 2013. v. 1. 98 p.

EMBRAPA. **VII Plano Diretor da Embrapa: 2020–2030**. Brasília, DF, 2020. 31 p.

FONTES, P. J.; QUIRINO, W. F.; OKINO, E. Y. **Aspectos técnicos da briquetagem de carvão vegetal no Brasil**. Brasília, DF: Laboratório de Produtos Florestais, 1989. p. 1-14.

GREWAL, A.; ABBEY, L.; GUNUPURU, L. R. Production, prospects and potential application of pyrolygneous acid in agriculture. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 135, p. 152–159, 2018.

LEHMANN, J.; JOSEPH, S. Biochar for environmental management: an introduction. In: LEHMANN, J.; JOSEPH, S. (Ed.). **Biochar for Environmental Management Science, Technology and Implementation** 2. ed. New York: Routledge, 2015. p. 1-14.

LORA, E. E. S; VENTURINI, O. J. **Biocombustíveis: volumes 1 e 2**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2012. 1200 p.

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).

MELA, E.; ARKEMAN, Y.; NOOR, E.; ACHSAN, N. A. Potential products of coconut shell wood vinegar. **Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences**, v. 4, n. 4, p. 1480-1493, 2013.

MOHAN, D.; PITTMAN, C. U. J.; STEELE, P. H. Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: a critical review. **Energy & Fuels**, v. 20, n. 3, p. 848-889, 2006.

NAKASHIMA, G. T.; MARTINS, M. P.; SILVA, D. A.; CHRISOSTOMO, W.; YAMAJI, F. M. Aproveitamento de resíduos vegetais para a produção de briquetes. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 34, p. 22-29, 2014.

- NIZAMI, A. S.; REHAN, M.; WAQAS, M.; NAQVI, M.; OUDA, O. K. M.; SHAHZAD, K.; MIANDAD, R.; KHAN, M. Z.; SYAMSIRO, M.; ISMAIL, I. M. I.; PANT, D. Waste biorefineries: Enabling circular economies in developing countries. **Bioresource Technology**, v. 241, p. 1101–1117, 2017.
- NONES, D. L.; BRAND, M. A. M.; ANDRADE, E.; OLIVEIRA, J.; MARTINS, S. A. Uso potencial da casca de coco verde para produção de briquetes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 3., Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2017. p. 1-7.
- NUNES, E. Z.; ANDRADE, A. M.; DIAS JÚNIOR, A. F. Production of briquettes using coconut and eucalyptus wastes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 11, p. 883-888, 2019.
- 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).
- PALETTA, F. C. A engenharia no mundo contemporâneo. In: GONDEMBERG, J.; PALETTA, F.C. **Energias Renováveis**. São Paulo: Bluncher, 2012, p. 15-22.
- PALLAVI, H. V.; SRIKANTASWAMY, S.; KIRAN, B. M.; VYSHNAVI, D. R.; AND ASHWIN, C. A. Briquetting agricultural waste as an energy source. **Journal of Environmental Science, Computer Science and Engineering & Technology**, v. 2, p. 160-172, 2013.
- QUIRINO, W. F. **Características de briquetes de carvão vegetal a seu comportamento na combustão**. 1991. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestais) - Escola Superior Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- REIS, E. N. **Biocarvão e bio-óleo de cascas de coco (*Cocos nucifera* L.) sob diferentes temperaturas de pirólise**. 2020, 50 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Alagoas.
- ROSA, M. F.; SOUZA FILHO, M. S. M.; FIGUEIREDO, M. C. B.; MORAIS, J. P. S.; SANTAELLA, S. T.; LEITÃO, R. C. Valorização de resíduos da agroindústria. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS, 2., 2011, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2011.
- SCHENA, T. **Pirólise da fibra da casca de coco**: caracterização do bio-óleo antes e após a aplicação de dois processos de melhoramento. 2015. 172 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Rio Grande do sul, Instituto de Química, Porto Alegre.
- SILVA, R. G. C. **Produção e caracterização de briquetes de biomassas lignocelulósicas em diferentes granulometrias**. 2020. 45 f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Alagoas, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Alagoas.
- 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 pirolise da biomassa do coco: produção de bio-óleo, biocarvão e biogás**. 2018. 62 f. Dissertação (Mestrado em Energia da Biomassa) - Universidade Federal de Alagoas, Centro de Tecnologia, Alagoas.
- SILVEIRA, S. M. **Aproveitamento das cascas de coco verde para produção de briquetes em Salvador - BA**. 2008. 163 f. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- SUMAN, S.; GAUTAM, S. Pyrolysis of coconut husk biomass: Analysis of its biochar properties, **Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects**, v. 39, n. 8, 7 p. 61-767, 2017.
- TSAI, W. T.; LEE, M. K.; CHANG, Y. M. Fast pyrolysis of rice straw, sugarcane bagasse and coconut shell in an induction-heating reactor. **Journal of Analytical Applied Pyrolysis**, v. 76, p. 230-237, 2006.
- TUMULURU, J. S.; WRIGHT, C. T.; HESS, J. R.; KENNEY, K. L. A review of biomass densification systems to develop uniform feedstock commodities for bioenergy application. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 5, n. 6, p. 683-707, 2011.
- VAN DAM, J. E.; OEVER, M. J. A. V.; KEIJSERS, E. R. P.; PUTTEN, J. C. V.; ANAYRON, C.; JOSOL, F. PERALTA, A. 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.
- WITITSIRI, S. Production of wood vinegars from coconut shells and additional materials for control of termite workers, *Odontotermes* sp. and striped mealy bugs, *Ferrisia virgata* Songklanakarin **Journal of Science Technology**, v. 33, p. 349-354, 2011.
- ZUBAIRU, A.; GANA, S. A. Production and characterization of briquette charcoal by carbonization of agro-waste. **Energy and Power**, v. 4, n. 2, p. 41-47, 2014.



---

*Tabuleiros Costeiros*

