ENGINEERING & TECHNOLOGY SCIENTIFIC JOURNAL

ORIGINAL

2023, VOL. 01, N°. 01, e023003
DOI: 10.55977/etsjournal.v01i01.e023003

# Análise Preliminar do potencial energético da casca de mandioca para formação de Biochar

Jade Zepelin Rodrigues Olmedo [1], Thais Alessandra Da Silva [1], Sabrina Alves Da Silva [1], Cauã Silveira De Lima [1], Nanci Keiko Matsumoto [1], Carlos Toshiyuki Hiranobe [1], Isabela Marques Queiroz [1], Andrea Cressoni De Conti* [1]

[1] Faculdade de Engenharia e Ciências (FEC), Departamento de Engenharia - Campus de Rosana. Rosana, 19274-000, São Paulo, Brasil.

**Received** 2022-12-29
**Revised** 2023-05-13
**Accepted** 2023-06-26
**Published** 2023-10-10

***Corresponding author**
Andrea C. De Conti
andrea@rosana.unesp.br

***ORCID**
0000-0002-5433-3295

**Page e-location ID**
e023003

**Distributed under**
CC BY-NC 4.0

**Copyright:** Authors
OPEN ACCESS

## RESUMO

A definição de biochar é dada como sendo um resíduo biológico produzido a partir de uma pirólise com baixos níveis de oxigênio, o que resulta num material poroso e com baixa densidade de carbono. Considerando que o Biochar é um biocarvão, composto por resíduos orgânicos (palha de cana-de-açúcar, mandiocas, e entre outros) e resíduos animais sendo formado através da pirólise lenta (temperatura inferior a 500 °C com baixos níveis e sem controle no oxigênio. A pesquisa em questão traz um reaproveitamento no agro com o intuito de reutilização dos resíduos como casca de mandioca para formação de biochar. Com este aspecto foi desenvolvida a pesquisa em torno de bibliografias e documentos, trazendo uma contextualização para o aprofundamento no assunto e iniciando as discussões como as análises da pirólise, análise química imediata, densidade a granel. O PCS do material in natural foi de 11,35 $MJ.Kg^{-1}$. Com a pirólise a uma temperatura de 450 °C, com tempos diferentes como 6 horas, 4 horas, 2 horas, 1 horas, e 30 minutos determinando qual o tratamento é mais benéfico na produção do biochar. O tratamento $T_2$, que equivale a uma torrefação de 4 horas, apresentou um teor de carbono fixo de 43,45%, rendimento energético de 43,04% e PCS de 10,90 $MJ.kg^{-1}$. Enquanto o tratamento $T_5$ apresentou rendimento energético de 63,50%, sendo o maior rendimento entre todos os tratamentos, teor de carbono fixo de 31,53% e PCS de 15,95 $MJ.Kg^{-1}$. Dessa forma pode-se afirmar que o tratamento $T_5$, foi o que apresentou melhor resultado energético, pois obteve um ganho de 34% no PCS, e houve um aumento no rendimento energético.

**Palavras-Chave** Biochar; Densificação Energéticas; Casca de Mandioca.

**How to cite this article (APA):** Zepelin Rodrigues Olmedo, J., Alessandra Da Silva, T.., Alves Da Silva, S.., Silveira De Lima, C.., Keiko Matsumoto, N.., Toshiyuki Hiranobe, C.., Marques Queiroz, I.., & Cressoni De Conti, A. Análise Preliminar do potencial energético da casca de mandioca para formação de Biochar. *Engineering & Technology Scientific Journal, 01(01)*, e023003.

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Biochar: definição, propriedades e importância

A definição de biochar é dada como sendo um resíduo biológico produzido a partir de uma pirólise com baixos níveis de oxigênio, o que resulta num material poroso e com baixa densidade de carbono (Beesley et al., 2011). A importância do biochar está relacionada a sua capacidade de trocas catiônicas e grande área superficial permitindo, assim, uma significativa absorção de contaminantes orgânicos e inorgânicos, o que reduz a quantidade do uso de poluentes ao corrigir os solos contaminados. E, para além da contaminação de solos, o biochar corrobora a revegetação, conseguindo superar os resultados dos métodos de baixo custo mais usados hoje em dia, ou seja, a calagem e a liberação de carbono na solução do solo.

O artigo de Cavalcante, Varejão e Cruz (2012, além de concordar com o que foi explicado acima, acrescenta que o biochar tem influência na germinação de sementes de carvoeiro (uma das fontes de estudo do projeto), o que provou a qualidade do biochar como condicionador de substrato e a substituição de esterco por biochar, acarretando esse fato ao beneficiamento econômico comparado aos condicionantes comerciais.

## 1.2. Densidade a granel

Duas das questões mais emblemáticas do trabalho com biomassa é o armazenamento e o transporte da mesma devido, entre outros motivos, ao espaço requisitado e, consequentemente, ao custo a ser arcado. Por isso, é preciso calcular a densidade a granel, ou seja, a densidade do material in natura a fim de descobrir a viabilidade do projeto através do conhecimento sobre o quanto de espaço o material irá precisar nas duas etapas já citadas (Sant' et al., 2002). Sendo assim, a densidade a granel tem uma grande relevância comercial, além de ser fundamental para iniciar qualquer projeto envolvendo biomassa.

Ademais, segundo Silva et al. (2007), apesar de não haver uma confirmação na literatura, a densidade a granel do biocarvão, para produção de silício metálico, pode estra intimamente relacionada ao custo de energia elétrica, uma vez que quanto menor a densidade a granel, menor é a produtividade dentro dos fornos e, consequentemente, também prejudica a venda do excedente de energia elétrica e ainda desfavorece a oportunidade de estabelecer diretrizes para uma política de renumeração para o produtor florestal e carbonizador. Desse modo, estabelece-se mais uma vez a importância da densidade a granel, a qual, por sua vez, é facilmente obtida através da relação massa e volume, como pode ser observado na **Equação 1** (Silva et al., 2007).

$$D_{granel} = \frac{m}{v} \qquad \textbf{Eq. (1)}$$

Onde:
$m$ é a massa do material in natura;
$v$ é o volume utilizado para medição.

**How to cite this article (APA):** Zepelin Rodrigues Olmedo, J., Alessandra Da Silva, T.., Alves Da Silva, S.., Silveira De Lima, C.., Keiko Matsumoto, N.., Toshiyuki Hiranobe, C.., Marques Queiroz, I.., & Cressoni De Conti, A. Análise Preliminar do potencial energético da casca de mandioca para formação de Biochar. *Engineering & Technology Scientific Journal, 01(01)*, e023003.

### 1.3. Durabilidade

De acordo com Mendes e Júnior (2022), a durabilidade e resistência dos briquetes depende dos aglutinantes, a trituração é benéfica para a compactação e a durabilidade. No estudo de Ndumbo, De Conti e Brienzo (2022), de novo processo de produção de briquetes com maior durabilidade utilizando frações da cana-de-açúcar, e aditivos, o teste de durabilidade mecânica de bio-briquetes com nível alto teve um desempenho (BF – 97,80%, SCS – 97,70%).

### 1.4. Análise química imediata

Considerando a origem da palavra "char", usualmente o seu significado está atrelado a definição de carvão, processo que ocorre a partir da queima direta de biomassa e sua relação com a atmosfera (Batista e Gomes, 2021). Tendo em vista isso, o carvão termoquímico é rico em carbono estável, de modo que, em virtude da degradação bioquímica da biomassa. Além disso, durante a etapa de pirólise, os polímeros naturais passam por uma divisão térmica (Wijitkosum e Jiwnok, 2019), (Batista e Gomes, 2021). Em razão desses fatores, realizar a análise química imediata torna-se primordial para avaliar a qualidade do biochar (Alves, 2014).

A partir da realização da análise química, se tratando dos teores de cinzas, pode haver uma divergência no resultado caso exista alguma quantidade de material inorgânico presente na amostra (Romão, 2022). Usualmente, o material in natura apresenta uma quantidade inferior de taxa de carbono fixo em relação à matéria-prima pós conversão. Além disso, em temperaturas mais elevadas acaba havendo um aumento da quantidade de matéria volátil, que consequentemente acaba aumentando o conteúdo de estruturas aromáticas, especialmente em casos a temperaturas superiores a 400 °C. De forma que, quanto mais elevada a estrutura dos compostos aromáticos, maior será a estabilidade da estrutura do biochar.

### 1.5. PCS

Segundo Ferreira Quirino et al., (2004), a definição do poder calorífico superior (PCS) é a quantidade de calor liberada pela queima, onde a água se encontra em estado líquido seguindo a Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1984. Dourado et al., (2002)obtiveram os seguintes PCS: Pinhão manso (3822,6 A) = 0,95 cal.g$^{-1}$ , Mamona (4022,2 B) = 0,48 cal.g$^{-1}$, Amendoim (4607,6 C ) = 0,86 cal.g$^{-1}$, e a Macaúba 4595,6 C = 1,03 cal.g$^{-1}$ e também, exploraram a relação das propriedades físico-químicas dos resíduos, pelo modelo linear. O teor de minerais foi menor que a energia liberada, decorrente da matéria inorgânica na queima não liberar energia. A relação dos componentes elementares com PCS, com a correlação de linear de Pearson indica que a tendência de maior valor do seu poder calorífico está associada com o maior valor do carbono e hidrogênio.

Contudo, a pesquisa de Pires (2017) sobre produção e caracterização de biochar de palha de cana-de-açúcar não se aprofunda tanto no poder calorífico, mas o estudo foi demonstrado através da colheita de máquina e manual trazendo a colheita mecânica com 17,1 (MJ Kg$^{-1}$), folhas secas 18,4 (MJ Kg$^{-1}$), folhas verde 18,4 (MJ Kg$^{-1}$) e pontas 18,6 (MJ Kg$^{-1}$), sabendo que a palha da cana é também a folhas

(secas e verdes) e a ponteira sendo separado a parte importante do caldo para indústria na limpeza.

### 1.6. Extrativos

O método Soxhlet foi usado para extração da amostra do material pirolisado. (Rodrigues, 2016) demonstrou o uso desse método na extração de lipídio, sendo a remoção com solúveis (o óleo) do material inerte, são processos puramente físicos, pois o óleo transferido para o solvente é recuperado sem nenhuma reação química.

Cavalcante, Varejão e Cruz (2012) estudaram a produção e caracterização de biochar de palha de cana-de-açúcar (Saccharum sp.) obtendo resultados de extrativos para a palha integral de 10,70% onde foi realizada a colheita mecanizada, e para a colheita manual como a folhas secas 7,60%, folha verde 17,10 %, e na ponta 13,80%.

### 1.7 Pirólise

Segundo os artigos de Oliveira (2015) e Madalena (2019), a pirólise é um processo termoquímico, o qual consiste na degradação térmica da biomassa com ausência de oxigênio. Além disso, existem três tipos de pirólise: a pirólise lenta, a rápida e a torrefação. Como o objetivo deste trabalho é a pirólise lenta, então focar-se-á na mesma. A pirólise lenta tem como resultado um produto sólido através de temperaturas inferiores a 500 °C, de taxas baixas de aquecimento e do controle na presença de oxigênio. Esse processo é largamente conhecido na produção de carvão e é chamado de torrefação, a qual se divide em torrefação seca e úmida. A primeira consiste em temperaturas de 200 °C a 300 °C com tempo de 30 a 60 min e com o mínimo de oxigênio. Já, por último, a torrefação úmida trabalha com temperaturas de 150 °C a 260 °C com uma grande variação de tempo, podendo ser de 5 min a várias horas, a alta pressão, e o processo também necessita de um reator com controle de água ou vapor. A utilização dessa técnica, porém, não é viável ambiental e economicamente e em razão também das dificuldades técnicas, logo não é viável comercialmente.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Densidade a granel

A densidade a granel é a relação responsável por expressar o peso das partículas que constituem o volume de um determinado recipiente (Silva et al., 2007). Para a análise proposta, realizou três medidas da massa em um Becker de 100 mL, posteriormente, o valor da massa foi mensurado em uma balança analítica (**Fig. 1**). Por fim, aplicou-se a **Equação (1)** para encontrar a densidade a granel.

$$d_{granel} = \frac{m}{v} \qquad \textbf{Eq. (1)}$$

**How to cite this article (APA):** Zepelin Rodrigues Olmedo, J., Alessandra Da Silva, T.., Alves Da Silva, S.., Silveira De Lima, C.., Keiko Matsumoto, N.., Toshiyuki Hiranobe, C.., Marques Queiroz, I.., & Cressoni De Conti, A. Análise Preliminar do potencial energético da casca de mandioca para formação de Biochar. *Engineering & Technology Scientific Journal, 01(01)*, e023003.



**Figura 1.** Balança analítica do Laboratório de biomassa da FEC-Unesp.

## 2.2. Análise química

Para a análise imediata, utilizou-se a norma NBR 8112/86, a qual discorre sobre o processo da formação do carvão vegetal. No entanto, ainda não existe uma norma nacional determinada para o teste da análise imediata de resíduos vegetais.

## 2.3. Teor de cinzas

A partir das cinzas geradas na queima do combustível, é possível obter a quantidade de energia produzida pela biomassa, de forma que, quanto mais cinzas são produzidas, menos eficiente será a queima deste resíduo. As normas utilizadas durante o procedimento foram ASTM 1765 e NBR 8112/86, onde cerca de 1 g da amostra, com baixa umidade, foi pesada em um cadinho previamente pesado e levada à mufla a 600 ± 10 °C até que ocorra a queima total do material. Em seguida, retira-se a amostra da mufla, onde passará pelo resfriamento em um dessecador até alcançar a temperatura ambiente. Por fim, é realizada a quantificação da massa final utilizando a **Equação (2)**.

$$CZ = \frac{m_1 - m_0}{m} \cdot 100 \qquad \textbf{Eq. (2)}$$

onde:
$CZ$ = teor de cinza (%);
$m_0$ = massa do cadinho (g);
$m_1$ = massa do cadinho + amostra do resíduo (g);
$m$ = massa da amostra (g).

## 2.4. Teor de voláteis

O teor de voláteis é definido como a parte da biomassa que evapora através do aquecimento (Pires, 2017). Para esse teste, utilizou-se a norma ABNT NBR 8112/86, onde aproximadamente 1 g de amostra previamente seca foi pesada em cadinho previamente tarado e levado à mufla a uma temperatura de 900 ± 10 °C por 7 minutos. Posteriormente, é retirado da mufla e colocado em um dessecador para ser

mensurada a sua massa final.

Assim, o teor de voláteis é determinado pela **Equação (3)**.

$$TV = \frac{m_2 - m_3}{m} \cdot 100 \qquad \textbf{Eq. (3)}$$

Onde:
$TV$= teor de materiais voláteis (%);
$m_2$ = massa inicial do cadinho + amostra do resíduo (g);
$m_3$ = massa final do cadinho + amostra de resíduo (g);
$m$ = massa da amostra do resíduo (g).

## 2.5. Teor de carbono fixo

Teor de carbono fixo é o valor restante da massa após a liberação dos compostos voláteis, o qual é encontrado a partir da retirada dos valores das cinzas e teores de umidade. A equação utilizada para o teor de carbono é definida pela NBR 8112/86. Tendo em vista que, a análise do carbono fixo de refere à quantidade de carvão que é queimado no estado sólido, para uma combustão maior, percentuais de carbono fixo são preferíveis por conta de indicarem que a queima do material é mais lenta. A **Equação (4)** descreve o cálculo do teor de carbono fixo.

$$CF = 100 - (CZ + MV) \qquad \textbf{Eq. (4)}$$

Onde:
$CF$ = Teor de carbono fixo (%);
$CZ$ = Teor de cinzas (%);
$MV$ = Teor de materiais voláteis (%).

## 2.6. Pirólise

O processo termoquímico da produção do biochar foi realizado em mufla (**Fig. 2**) do Laboratório de pesquisa do grupo BioJoule/FEC-UNESP a uma temperatura de 450 °C todas as amostras, seguindo Pereira et al. (2021). Foram separadas, 5 amostras (**Fig. 3**) de 100 g cada para que fossem analisados tempos diferentes de aquecimento, sendo por 30 min, 1 h, 2 h, 4 h e 6 h. Em seguida, o material pirolisado foi direcionado para o dessecador (**Fig. 4**).



**Figura 2.** Mufla do Laboratório de Biomassa FEC-UNESP.



**Figura 3.** Amostras para pirólise.



**Figura 4.** Dessecador com material pirolisado.

## 2.7. Extrativo

Com objetivo de analisar o resultado da pirólise, foi feito, segundo a norma Tappi, 1997, o teste de extrator de soxhlet (**Fig. 5**), que consiste em um sistema fechado para extração contínua sólido-líquido. Em laboratório, depois de pesar e separar as seis amostras (cinco pirolisadas com tempos diferentes e uma in natura), o teste consiste em submeter uma quantidade de amostra do material modificado e do material in natura a altas temperaturas juntamente com um solvente de álcool etílico, o qual entra em ebulição, percorre o equipamento em direção ao condensador, onde altera seu estado gasoso para líquido e pinga sobre o material de estudo até acumular-se e voltar para o balão para que, dessa forma, o ciclo repita-se cinco vezes. Ao final do processo, as amostras foram reservadas para esfriar no dessecador e pesadas novamente.



**Figura 5.** Extrator de soxhlet.

### 2.8. Rendimento mássico

Após a realização do extrativo e das medições de massas das amostras in natura e do carvão produzido, através da balança analítica, o rendimento mássico foi obtido conforme a razão da massa do extrativo pela massa do carvão dada pela **Equação (5).**

$$Rendimento\ mássico = \frac{massa\ de\ extrato\ (g)}{massa\ inicial\ da\ amostra\ (g)} \qquad \textbf{Eq. (5)}$$

### 2.9. Rendimento energético

Através dos testes de PCS das amostras in natura e do carvão produzido e das massas das respectivas espécies, o rendimento energético foi realizado conforme a **Equação (6)**.

$$Rendimento\ energético = \frac{m_{cp}}{m_a} \cdot \frac{PCS_{CP}}{PCD_{ascnd}} \qquad \textbf{Eq. (6)}$$

Onde:
$m_{cp}$ é a massa de carvão produzido;
$m_a$ é a massa da amostra;

E a razão entre essas duas massas recebe o nome de rendimento gravimétrico. Já $PCS_{cp}$ *e* $PCS_{ascond}$ representa os valores dos testes de PCS do carvão produzido e da amostra *in natura*.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

**How to cite this article (APA):** Zepelin Rodrigues Olmedo, J., Alessandra Da Silva, T.., Alves Da Silva, S.., Silveira De Lima, C.., Keiko Matsumoto, N.., Toshiyuki Hiranobe, C.., Marques Queiroz, I.., & Cressoni De Conti, A. Análise Preliminar do potencial energético da casca de mandioca para formação de Biochar. *Engineering & Technology Scientific Journal, 01(01)*, e023003.

### 3.1. Densidade

Foram separadas 3 amostras para as análises, os cálculos foram feitos de acordo como a **Eq. (2)**, utilizado a casca de mandioca. Seguindo Silva et al. (2007), a maior densidade a granel, é também, aquela de maior densidade energética, notando que a massa 2 tem a maior densidade. Demostrou-se na **Tab. 1** os resultados da densidade, extraindo uma densidade a granel de 0,0477 Kg.

**Tabela 1.** Densidade casca de mandioca

| Amostras | Volume ($M_1$) | Densidade ($g.cm^{-3}$) |
|---|---|---|
| **47,2405** | 100 | 0,4724 |
| **48,0662** | 100 | 0,4806 |
| **47,8268** | 100 | 0,4782 |

As densidades de outros materiais apresentada na **Tab. 2**, indicam que material proposto neste estudo tem densidade menor do que Pinus sp, Violeta e Ipê Roxo (Amorim et al., 2015).

**Tabela 2.** Densidade de matérias revisado

| Material | Densidade ($g.cm^{-3}$) |
|---|---|
| Casca de mandioca | 0,4770 |
| Pinus sp | 1,2297 |
| Violeta | 1,3355 |
| Ipê Roxo | 1,1399 |

### 3.2. Análise química imediata

Com um processo comparativo na **Tab. 3**, demonstrando que o material aqui estudado tem um PCS menor do que o obtido em Pires (2017) sendo que a casca de mandioca *in* natura foi o estudo feito e os outros materiais foram da análise de produção e caracterização de biochar de palha de cana-de-açúcar (Saccharum sp.), os materiais foram todos de acordo com o plantio analisando de diferentes faces do material.

**Tabela 3.** Análise química imediata dos quatro tratamentos referentes a casca de mandioca adotados na pirólise

| Tratamento casca de mandioca (%) | Teor de voláteis (%) | Teor de cinzas (%) | Teor de Carbono Fixo (%) |
|---|---|---|---|
| *In Natura* | 60,05 ± 1,48 | 31,61 ± 1,84 | 8,34 ± 0,38 |
| T 1 | 13,67 ± 0,74 | 66,85 ± 1,55 | 19,47 ± 2,23 |
| T 2 | 10,71 ± 0,73 | 65,72 ± 1,61 | 23,57 ± 2,32 |
| T 3 | 9,75 ± 0,40 | 72,02 ± 0,95 | 18,23 ± 0,99 |
| T 4 | 9,40 ± 0,72 | 47,13 ± 0,91 | 43,47 ± 0,53 |
| T 5 | 7,94 ± 0,37 | 60,52 ± 1,34 | 31,54 ± 1,49 |

**How to cite this article (APA):** Zepelin Rodrigues Olmedo, J., Alessandra Da Silva, T.., Alves Da Silva, S.., Silveira De Lima, C.., Keiko Matsumoto, N.., Toshiyuki Hiranobe, C.., Marques Queiroz, I.., & Cressoni De Conti, A. Análise Preliminar do potencial energético da casca de mandioca para formação de Biochar. *Engineering & Technology Scientific Journal, 01(01)*, e023003.

Os teores de voláteis e cinzas desempenharam valores diferentes aos apresentados em Nakashima (2016) de forma que o valor médio obtido para o teor de voláteis correspondia a cerca de 30%. Em relação ao teor de cinzas, tinha-se como referencial o percentual de 16,44% como média. No entanto, tanto o valor o teor de voláteis quanto o de cinzas diferiram dos valores apresentados em Nakashima (2016). Em vista disso, vale ressaltar que o teor de voláteis é definido como a parcela da biomassa que evapora em detrimento do aquecimento, quanto maior o teor de voláteis, maior a reatividade do combustível.

O trabalho de Nakashima (2016)retrata que essa discrepância entre os valores pode ser atribuída a questões relacionadas à colheita e possíveis resíduos indesejáveis presentes no material. No entanto, o teor de cinzas se mostrou superior ao esperado usualmente, visto que um alto teor de cinzas interfere na qualidade do combustível, pois, as cinzas representam possíveis perdas térmicas ao longo do processo, como observado em Nwabue et al. (2017).

Se tratando do teor de carbono fixo presente em cada tratamento, nota-se que cada experimento obteve um valor significativamente diferente em relação aos demais. Crombie et al. (2013) define que conforme a pirólise progride, ou seja, tem a sua duração elevada, as reações resultam em um material carbonáceo poroso com um teor maior de carbono fixo. Assim sendo, percebe-se a relação do biochar com a sua função na correção do solo, onde se tem intuito de aumentar a fertilidade de $CO_2$ atmosférico.

### 3.3. PCS

O poder calorífico da casca de mandioca apresentou um PCS de 11,35 $MJ.Kg^{-1}$. Na **Tab. 4** são apresentados esse valor e os valores apresentados por Pires (2017). Percebe-se que a casca de Mandioca in natura apresenta um valor abaixo o quando comparado com as folhas secas e verdes e as ponteiras da palha de cana-de-açúcar. Após a torrefação, verifica-se que o tratamento $T_5$, foi o que apresentou maior melhora no PCS, sendo da ordem de 34% de aumento.

**Tabela 4.** Análise do Poder Calorífico Superior

| **Material** | **PCS ($MJ.Kg^{-1}$)** | **Material Torrefado** | **PCS ($MJ.Kg^{-1}$)** |
|---|---|---|---|
| Casca de Mandioca *in natura* | 11,35 | $T_1$ | 12,10 |
| | | $T_2$ | 11,97 |
| | | $T_3$ | 11,20 |
| | | $T_4$ | 10,90 |
| | | $T_5$ | 15,23 |
| Folha seca | 18,4 | | |
| Folha verde | 18,4 | | |
| Pontas | 18,6 | | |

Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.4. Extrativos

Analisando os extrativos obteve um resultado de 4,604% e houve a variação da massa final em relação à massa inicial como esperado, no entanto, a massa final foi maior que a inicial (Tab. 5). Isso aconteceu devido a reação do solvente com o material de pirólise, uma vez que a amostra in natura não apresentou esse tipo de diferença.

**Tabela 5.** Extrativo

| | **Teor de extrativos (TE%)** | **Teor de extrativos corrigidos (TEC%)** |
|---|---|---|
| Média das amostras | 4,943 | 4,604 |

Fonte: Elaborado pelo autor

### 3.5. Rendimento mássico

A Tab. 6 apresenta o rendimento mássico dos diferentes tratamentos.

**Tabela 6.** Rendimento mássico

| **Tratamento** | **Rendimento mássico (%)** |
|---|---|
| **$T_1$** | 216,88 |
| **$T_2$** | 228,23 |
| **$T_3$** | 225,42 |
| **$T_4$** | 219,49 |
| **$T_5$** | 208,02 |

Observa-se que o maior rendimento mássico aconteceu para o tratamento $T_2$, ou seja, para o tempo de 1 h de torrefação.

### 3.6. Rendimento energético

Como pode ser observado na Tab. 7, a amostra 5 obteve maior rendimento energético, ou seja, a pirólise de 6h foi a que mais favoreceu energeticamente o carvão produzido.

**Tabela 7.** Rendimento energético

| Amostras | Rendimento energético (%) |
|---|---|
| 1 | 48,37 ±0,70 |
| 2 | 45,48±0,66 |
| 3 | 43,08±0,67 |
| 4 | 43,04±0,66 |
| 5 | 63,50±0,68 |

**How to cite this article (APA):** Zepelin Rodrigues Olmedo, J., Alessandra Da Silva, T.., Alves Da Silva, S.., Silveira De Lima, C.., Keiko Matsumoto, N.., Toshiyuki Hiranobe, C.., Marques Queiroz, I.., & Cressoni De Conti, A. Análise Preliminar do potencial energético da casca de mandioca para formação de Biochar. *Engineering & Technology Scientific Journal, 01(01)*, e023003.

## 4. CONCLUSÃO

Dentro do contexto apresentado neste trabalho, foi possível produzir o biochar a partir da casca de mandioca por meio do processo de pirólise em uma temperatura de 450 °C, com variações de tempo de exposição, sendo $T_1$ = 30 min, $T_2$ = 60 min, $T_3$ = 2 h, $T_4$ = 4 h e $T_5$ = 6 h, analisando qual o melhor tempo de exposição para a produçnao do biochar.

O melhor resultado obtido foi referente ao $T_2$, que produziu um biochar a temperatura de 450 °C com exposição de 1 h, obtendo uma melhor taxa de teor de carbono fixo, além de apresentar um grande equilíbrio entre os demais rendimentos abordados.

## 5. INFORMAÇÃO DO AUTOR

Andrea Cressoni De Conti
Corresponding author. E-mail address: andrea@rosana.unesp.br

## REFERÊNCIAS

Alves, D. A. de H. (2014). *Avaliação do potencial energético de resíduos de produção agrícola provenientes do beneficiamento da mandioca e do milho*. Universidade Federal de Alagoas.

Amorim, F. S., Ribeiro, M. X., Protásio, T. P., Borges, C. H. A., & Costa, R. M. C. (2015). Produção de briquetes a partir de espécies florestais. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, *10*(2), 34. https://doi.org/10.18378/rvads.v10i4.3779

Batista, R. R., & Gomes, M. M. (2021). Effects of Chemical Composition and Pyrolysis Process Variables on Biochar Yields: Correlation and Principal Component Analysis. *Floresta e Ambiente*, *28*(3), 1–12. https://doi.org/10.1590/2179-8087-FLORAM-2021-0007

Cavalcante, C. M., Varejão, M. de J. C., & Cruz, I. de A. (2012). *Poder calorífico decasca e madeira de espécies de Eperua: E.falcata AUBL.; E. leucantha BENTH.; purpuera BENTH. e E. schomburgkiana BENTH*.

Crombie, K., Mašek, O., Sohi, S. P., Brownsort, P., & Cross, A. (2013). The effect of pyrolysis conditions on biochar stability as determined by three methods. *GCB Bioenergy*, *5*(2), 122–131. https://doi.org/10.1111/gcbb.12030

Dourado, D. C., Everton, ;, Tavares, L., Erivelton, ;, Stroparo, C., Kely, ;, Souza, V. de, Hillig, É., Waldir, ;, & Schirmer, N. ([s.d.]). *Avaliação das propriedades físico-químicas de resíduos lignocelulósicos provenientes da produção do biodiesel Evaluation of the physico-chemical properties of lignocellulosic residues from biodiesel production*.

Ferreira Quirino, W., Teixeira Do Vale, A., Ana, ;, Abreu De Andrade, P., Lúcia, V., Abreu, S., Cristina, A., & Azevedo, S. (2004). *Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósico* (Número 2).

Gomes da Silva, M., Numazawa, S., Machado Araujo, M., Yuri Rodrigues NAGAISHI, T., & Rodrigues Galvão, G. (2007). *Carvão de resíduos de indústria madeireira de três espécies florestais exploradas no município de Paragominas, PA 1 Charcoal from timber industry residues of three tree species logged in the municipality of Paragominas, PA* (Vol. 37, Número 1).

**How to cite this article (APA):** Zepelin Rodrigues Olmedo, J., Alessandra Da Silva, T.., Alves Da Silva, S.., Silveira De Lima, C.., Keiko Matsumoto, N.., Toshiyuki Hiranobe, C.., Marques Queiroz, I.., & Cressoni De Conti, A. Análise Preliminar do potencial energético da casca de mandioca para formação de Biochar. *Engineering & Technology Scientific Journal, 01(01)*, e023003.

Isbaex, C. ([s.d.]). *Influência da densidade do carvão vegetal na produção e silício metálico*.

Madalena, L. C. de S. (2019). *Anáilise físico-química e energética de briquetes de feijão guandu (Cajanus cajan) silg 2009 submetidos à torrefação*. Universidade Estadual do Oeste do Paraná .

Mendes, J., & Júnior, S. (2022). *Pellets de biochar como condicionador de solo na produção e nutrição de Urochloa brizantha cv. BRS Paiaguás*.

Nakashima, G. T. (2016). *Use of sugarcane trash for solid biofuel production: physicochemical, characterization and influence of storage time*. Universidade Federal de São Carlos.

Ndumbo, M., de Conti, A. C., & Brienzo, M. (2022). *Novo processo de produção de briquetes com maior durabilidade utilizando frações da cana-de-açúcar, e aditivos; briquetes e seu uso*.

Nwabue, F. I., Unah, U., & Itumoh, E. J. (2017). Production and characterization of smokeless bio-coal briquettes incorporating plastic waste materials. *Environmental Technology and Innovation*, *8*, 233–245. https://doi.org/10.1016/j.eti.2017.02.008

Pereira, M. E., Varanda, L. D., Carvalho, N. R. de, Sette Jr, C. R., Padua, F. A. de, de Conti, A. C., & Yamaji, F. M. (2021). Biochar produced from poultry litter waste. *Research, Society and Development*, *10*(11), e351101119704. https://doi.org/10.33448/rsd-v10i11.19704

Pires De Oliveira, T. J. (2015). *Pirólise rápida de casca de soja: desenvolvimento do reator de leito fluidizado, análise do bio-óleo produzido e do vapor obtido na pirólise analítica*.

Pires, I. C. de S. A. (2017). *Produção e caracterização de biochar de palha de cana-de-açúcar (Saccharum sp.)*. Universidade Federal de São Carlos.

Rodrigues, L. de L. C. (2016). *Caracterização e compactação de resíduos lignocelulósicos visando à produção de biocombustíveis sólidos*. Universidade tecnológica Federal do Paraná.

Romão, D. C. de F. (2022). *Estudo das potencialidades dos resíduos de biomassa da Amazônia legal para aproveitamento tecnológico, social e ambiental*. Universidade Federal de Tocantis.

Sant', L., Alesi, A., Botaro, V. R., Pádua, F., Yamaji, F. M., Tomeleri, J., Ricardo, L., Santos, O., Silva, D., & Chi, I. E. ([s.d.]). *Densidade a granel e caracterização química do línter de algodão Gossypium hirsutum L.*

Wijitkosum, S., & Jiwnok, P. (2019). Elemental composition of biochar obtained from agriculturalwaste for soil amendment and carbon sequestration. *Applied Sciences (Switzerland)*, *9*(19). https://doi.org/10.3390/app9193980