



República Federativa do Brasil

Ministério do Desenvolvimento, Indústria,
Comércio e Serviços

Instituto Nacional da Propriedade Industrial



(21) BR 102024020226-0 A2

(22) Data do Depósito: 30/09/2024

(43) Data da Publicação Nacional:
07/04/2026

(54) Título: BRIQUETE COM MISTURA DE EUCALIPTO TORREFADO COM MADEIRA DE LARANJEIRA IN NATURA

(51) Int. Cl.: F24B 1/00.

(52) CPC: F24B 1/00.

(71) Depositante(es): UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JULIO DE MESQUITA FILHO.

(72) Inventor(es): ANDREA CRESSONI DE CONTI; BEATRIZ CARVALHO DE OLIVEIRA.

(57) Resumo: BRIQUETE COM MISTURA DE EUCALIPTO TORREFADO COM MADEIRA DE LARANJEIRA IN NATURA. O Presente pedido de patente de invenção, pertencendo ao campo da Energia, compreende um Brique de a partir da mistura de eucalipto torrefado com madeira de laranja in natura, em que a composição final do brique, garante um produto bem balanceado com ótimo poder calorífico (quantidade de energia), alta durabilidade e de fácil utilização para o preparo de churrasquinho gourmet , pois a madeira de laranja faz o papel de ligante do brique, realizando a liberação de aroma que proporcionam sabores defumados com um tom frutado aos alimentos.



BRIQUETE COM MISTURA DE EUCALIPTO TORREFADO COM MADEIRA DE LARANJEIRA *IN NATURA*

BREVE DESCRIÇÃO

[001] O presente pedido de patente de invenção, compreende uma composição de briquete ou biocombustível sólido preparado a partir da mistura de eucalipto torrefado com madeira de laranjeira *in natura*, gerando produto bem balanceado com ótimo poder calorífico (quantidade de energia), alta durabilidade e de fácil utilização.

CAMPO TÉCNICO

[002] O campo técnico da invenção está relacionado ao campo de Energia, fornecendo um Briquete com ótimo poder calorífico para ser utilizado em churrasqueiras, forno a lenha, lareira e caldeiras.

ESTADO DA TÉCNICA

[003] É importante destacar que os briquetes e pellets têm a vantagem de serem produzidos a partir de diversas formas de biomassa, que advém muitas vezes de sobras residuais das cadeias produtivas agrícolas e florestais. Isso inclui materiais como casca de arroz, sabugo e palha de milho, bagaço de cana-de-açúcar, maravalhas e cavacos de madeira. Quando essa biomassa residual é direcionada para outro processo produtivo, ela passa a ser matéria-prima desse novo processo, fazendo com que o que antes seria descartado tenha papel de protagonismo em outro processo.

[004] O documento de SILVA, 2019, intitulado “AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DO PRÉ-PROCESSAMENTO DO EUCALIPTO PARA GERAÇÃO DE ENERGIA”, mostra que o processo de torrefação do eucalipto apresenta resultados muito interessantes, pois aumenta a densidade energética da biomassa por meio de um processo relativamente barato por ser auto térmico, ou seja, é alimentado pelos gases que gera.

[005] O documento de BIANCHET *et al.*, 2020, intitulado “PRODUÇÃO DE BRIQUETES UTILIZANDO RESÍDUOS AGRÍCOLAS DA LARANJA E BORRA DO CAFÉ” refere-se à produção de briquetes utilizando resíduos orgânicos, como a casca de laranja, e borra do café. Foi avaliado o poder calorífico superior e inferior, resistência mecânica a tração, monitoramento de fumaça e cinzas, mostrando que os corpos de prova mais resistentes foram os que tiveram maior quantidade de casca de laranja. Quanto ao teor de cinzas

encontrado nos espécimes foram de 4,89 a 5,63% e, por fim, o teste de sílica demonstrou oscilações nos resultados entre os espécimes. Os briquetes desenvolvidos podem ser uma possibilidade para a reutilização dos resíduos da casa de laranja e borra de café como substituto da lenha mitigando os problemas ambientais globais desencadeados por emissões de CO₂.

[006] A referência SENA *et al.*, 2021, intitulada “*CHARACTERIZATION OF BRIQUETTES PRODUCED FROM EUCALYPTUS WOOD WASTE GENERATED IN AGRO-INDUSTRIES*”, refere-se à caracterização de briquetes produzidos a partir de resíduos de madeira de eucalipto gerados em agroindústrias como fonte alternativa de energia.

OBJETIVOS DA INVENÇÃO

[007] O principal objetivo da presente invenção é a criação de um produto para utilização como combustível alternativo e renovável, que possua boas no que tange o poder calorífico, densidade energética, teor de cinzas, carbono fixo e durabilidade.

VANTAGENS DA INVENÇÃO

[008] A vantagem da presente invenção é combinar duas biomassas, eucalipto torrefado e não carbonizado, com madeira de laranjeira *in natura* no qual proporciona um combustível com melhores características de poder calorífico e de fácil utilização.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA FIGURA

[009] A Figura 1 são fotografias dos briquetes, em diferentes misturas, sendo a Figura 1A 100% Laranjeira, Figura 1B 100% Eucalipto, Figura 1C 100% Eucalipto torrefado, Figura 1D 50% Eucalipto torrefado mais 50% de Laranjeira e Figura 1E 75% Eucalipto torrefado mais 25% de Laranjeira.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

[010] Inicialmente ambos os resíduos são triturados individualmente, e realizada a separação granulométrica pelas peneiras, apenas para que parte do resíduo de 60 mesh fique separada para a realização da análise imediata. No entanto, os briquetes são confeccionados com resíduos na granulometria de 0 mesh.

[011] Já com os resíduos triturados inicia-se a fase de torrefação do Eucalipto, o mesmo é separado em porções e pesado em recipientes com aproximadamente 100 gramas

cada, sofrendo um aquecimento em forno de alta temperatura até 270 °C por duas horas. As amostras são alocadas em formas de alumínio e envoltas em papel alumínio com a finalidade de criar uma barreira ao oxigênio. Após as duas horas de torrefação, a forma de alumínio é retirada do forno e inserida no dessecador para esperar seu resfriamento completo em temperatura ambiente. Após o resfriamento total do material, foi pesado e armazenado em sacos plásticos. Após todo o processo realizado, foi obtido cerca de 950 gramas de eucalipto torrefado com uma taxa de degradação (taxa de diminuição do material) de aproximadamente 28%.

[012] Para o processo de análise imediata, é caracterizado como um processo que inicialmente se faz necessária a classificação granulométrica, com a utilização da peneira de 60 mesh. Com as amostras na granulometria adequada, foram formadas às misturas das blendas (tabela 1) com suas devidas proporções.

Tabela 1 – Descrição e identificação das misturas utilizadas na confecção dos briquetes, (% em massa).

Blendas	Mistura
A	100% Laranjeira
B	100% Eucalipto
C	100% Eucalipto torrefado
D	50% Eucalipto torrefado + 50% Laranjeira
E	75% Eucalipto torrefado + 25% Laranjeira

[013] As misturas são adicionadas a cadinhos de porcelana, com aproximadamente 1grama, e em triplicatas são submetidas a ensaios para determinação de teor de voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo, respectivamente, com aquecimento em forno de alta temperatura e resfriamento em dessecador.

[014] Para determinar o teor de voláteis os cadinhos são adicionados ao forno aquecido a 900 °C por cerca de 10 min e alocadas do dessecador com sílica. A determinação de seu Teor de Voláteis (TV) é determinada pela equação 1:

$$TV = \frac{M_1 - M_2}{M} * 100 \quad (\text{Eq.1})$$

em que:

TV: Teor de material volátil (%);

M₁: massa inicial do cadinho com a amostra (g);

M₂: massa final do cadinho com a amostra (g);

M: massa da amostra em base seca (g).

[015] A determinação do teor de cinzas utiliza a amostra do ensaio (TV) após o resfriamento. Os cadinhos com o material restante do teste de voláteis são adicionados ao forno ainda desligada com a programação para aquecer até 700°C por 7 h. Posteriormente o material é alocado no dessecador com sílica para o resfriamento novamente. A determinação do teor de cinzas (TC) é obtida pela equação 2.

$$TC = \frac{m_0 - m_1}{m} * 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

em que:

TC: teor de cinza (%);

m₀: massa do cadinho (g);

m₁: massa do cadinho com o resíduo após combustão (g);

m: massa da amostra em base seca (g).

[016] O Teor de Carbono Fixo (TCF) é determinado pela equação 3 que relaciona TCF com TV e TC.

$$TCF = 100 - (TV + TC) \quad (\text{Eq. 3})$$

em que:

TCF: teor de carbono fixo (%);

TC: teor de cinzas (%);

TV: teor de material volátil (%).

[017] Foram confeccionados 40 briquetes, sendo eles 8 unidades de cada uma das blendas mencionadas na tabela 1, conforme a figura 1. Os briquetes foram produzidos com aproximadamente 50 gramas de mistura cada, na briquetadeira, com temperatura regulada em 110 °C e pressão de 100 bar, respeitando o tempo de 5 minutos para

prensagem e 7 minutos para resfriamento, tendo um tempo total de produção de 12 minutos por unidade de briquete.

[018] Após o resfriamento, os briquetes passaram pela etapa de identificação, tiveram sua altura e diâmetro medidos com a utilização de paquímetro digital sendo alocados em sacos plásticos para impedir o ganho de umidade. Os briquetes avançaram para a verificação da expansão volumétrica, acompanhados durante 72h, nesse período pode-se notar como as características adquiridas por cada material influencia ou não a formação e expansão dos biocombustíveis. A Tabela 2 indica o resultado obtido pela taxa de expansão volumétrica.

Tabela 2 – Resultado obtido pela taxa de expansão volumétrica por briquete.

Briquete	A	B	C	D	E
1	1,88%	1,49%	3,09%	2,18%	0,90%
2	1,27%	1,16%	0,76%	1,08%	1,19%
3	1,78%	1,33%	3,87%	1,67%	0,22%
4	1,72%	1,42%	4,00%	1,60%	0,65%
5	1,19%	1,59%	3,83%	1,60%	1,00%
6	1,03%	1,59%	4,03%	0,41%	1,01%
7	0,69%	1,68%	5,45%	1,01%	1,63%
8	1,19%	1,34%	3,48%	0,58%	1,33%
Média	1,23%	1,45%	3,85%	1,34%	1,00%

[019] Apenas com base nos dados apresentados pela tabela 2 notam-se algumas informações, a primeira e principal dela é de que os briquetes formados pela blenda 3, que corresponde a 100% Eucalipto Torrefado, foram os que mais sofreram com alterações no volume, sendo assim eles apresentam características mais frágeis ao transporte e armazenamento.

[020] Porém, mesmo tendo a diminuição da resistência mecânica dos briquetes ao utilizar a biomassa torrefada, ela apresenta aumento no poder energético, como é visto na tabela 3. Isso se deve ao fato da torrefação que faz com que grande parte da celulose e

hemicelulose sejam degradadas e restando uma abundância de lignina aumentando o poder calorífico do material.

[021] Para a análise de expansão volumétrica foi considerada as medidas variáveis dos briquetes durante as primeiras 72h após sua compactação. Dessa forma os briquetes tinham seus dados de diâmetro e altura medidos com auxílio de um paquímetro digital nos seguintes períodos 0h, 1h, 3h, 5h, 7h, 24h, 48h, 72h após sua compactação e resfriamento. Esses dados foram utilizados para determinar o volume dos briquetes e a taxa de expansão, dadas pelas equações 4 e 5.

$$V = \pi \left(\frac{D^2}{2} \right) h \quad (\text{Eq. 4})$$

em que:

V: Volume dos briquetes (cm³);

D: Diâmetro dos briquetes (cm);

h: Altura dos briquetes (cm).

$$V_v = \frac{V_{Fb} - V_{Ib}}{V_{Ib}} * 100 \quad (\text{Eq. 5})$$

em que:

V_v: Variação percentual do volume dos briquetes (%);

V_{Ib}: Volume inicial do briquete (cm²);

V_{Fb}: Volume final do briquete (cm²).

[022] A densidade aparente de cada briquete é determinada pela massa inicial de cada briquete dividido pelo volume de cada briquete após o período de 48h, conforme equação 6.

$$d = \frac{m_b}{V_{Fb}} \quad (\text{Eq. 6})$$

em que:

d: Densidade aparente do briquete (kg/m³);

m_b: Massa do briquete (kg);

V_{Fb}: Volume final do briquete (cm²).

[023] A densidade energética é definida como a quantificação da energia contida por unidade de volume, e obtida por uma relação entre a densidade aparente (d) e o poder calorífico superior (PCS), conforme equação 7.

$$DE = d * PCS \quad (\text{Eq. 7})$$

em que:

DE: Densidade energética (MJ/m³);

d: densidade aparente por briquete (Kg/m³);

PCS: Poder Calorífico Superior (MJ/Kg).

[024] Realizou-se o teste de durabilidade dos briquetes, também conhecido como teste de resistência à abrasão, visando avaliar a deformação dos briquetes devido à queda e ao atrito. Utilizando um tambor rotativo, o teste de durabilidade foi conduzido conforme a norma ISO 17831-2:2015.

[025] No teste, foram inseridos 2 briquetes no tambor, que girou a uma velocidade de 85 rpm por um período de 80 segundos. Após o procedimento, o material foi peneirado utilizando uma peneira com abertura de 25 mm, obtendo-se o total retido. Através da massa de briquetes retidos na peneira, foi possível determinar a durabilidade pela equação 8.

$$DU = \frac{m_i}{m_f} * 100 \quad (\text{Eq. 8})$$

em que:

DU: Durabilidade dos briquetes (%);

m_r: Massa retida na peneira granulométrica (g);

m_i: Massa total inicial (g).

[026] A análise do poder calorífico foi conduzida com uma bomba calorimétrica, seguindo a norma ASTM D2015-96 (ASTM D 5865, 2010).

Tabela 3 – Poder Calorífico (MJ/kg) para cada mistura.

Blendas	Poder calorífico (MJ/Kg)
A	15,172
B	17,411
C	20,089

D	18,365
E	19,429

[027] O Poder Calorífico é o principal refletor energético dos adensamentos, dele obtém-se dados importantes sobre a combustão do briquete, quanto maior o poder calorífico apresentado por um briquete maiores são as chances de ele ser um bom fornecedor de energia, claro que esse fator pode ser alinhado com outras características, como a baixa quantidade de cinzas, por exemplo. No entanto, pensando em uma comparação mais prática sobre o uso e fornecimento de energia, é possível comparar o Poder Calorífico dos briquetes produzidos com o de carvões vegetais. Na bibliografia encontramos dados sobre o PC dos carvões de 8027,1 kcal kg⁻¹ (BASSO, 2017), que ao ser convertido para a mesma unidade usada aqui é igual a 33,6 (MJ/kg).

[028] Outra característica importante inerente aos briquetes é denominada como densidade energética, onde é quantificada a disponibilidade de energia contida por unidade de volume do combustível. Ela é determinada com base na densidade aparente do PCS. A partir de sua aplicação foram obtidos os seguintes resultados, conforme tabelas 4 e 5.

Tabela 4 – Resultados do cálculo de densidade energética.

	A	B	C	D	E
DE (MJ/m ³)	18211,33	21686,58	20231,21	21997,33	22394,22

Tabela 5 – Resultado dos ensaios da análise imediata por mistura.

	A	B	C	D	E
TV	82,91%	78,35%	67,60%	72,91%	69,30%
TC	1,60%	0,74%	1,36%	1,50%	1,61%
TCF	15,49%	20,91%	31,05%	25,60%	29,09%

[029] Da análise imediata é notável que todas as misturas possuem um bom teor de voláteis e um baixo teor de cinzas, o que é muito benéfico quando se pensa nos combustíveis sólidos. Além disso, as misturas constituídas de eucalipto torrefado e

laranjeira se destacam pela sua densidade energética, ou seja, sua capacidade térmica armazenada por volume. Ao comparar os dados com a literatura é perceptível um discreto contraste entre os dados principalmente em relação os teores de Cinzas. Em BASSO (2017) obtiveram-se os seguintes valores para TV, TC e TCF respectivamente 25,61%, 2,52% e 71,87% quando analisou carvões de origem vegetal.

[030] A durabilidade é um dos ensaios utilizados para caracterizar a qualidade dos biocombustíveis sólidos, com base em seus resultados é possível determinar se o produto é resistente ao transporte e armazenamento por grandes períodos de tempo sem grandes prejuízos as suas características energéticas. Sua escala é medida em 0 a 100%, tendo os melhores combustíveis valores maior ou igual a 98%.

Tabela 6 – Resultados ensaios de durabilidade mecânica.

	A	B	C	D	E
DU (%)	99,6268	99,7825	77,0622	98,6466	98,3446

[031] Apenas uma das misturas não apresenta resultados de um produto com boa durabilidade. A mistura B3, apresentou 77% de durabilidade, dado bem abaixo do esperado que é de no mínimo 98%. No entanto, isso já era esperado tendo visto o alto índice de expansão volumétrica apresentada por estes briquetes, antes mesmo do ensaio, eles já se encontravam esfarelados e quebradiços e o teste só evidenciou e quantificou essas características.

REIVINDICAÇÃO

1. **BRIQUETE, caracterizado pelo** fato de apresentar em sua composição 75% em massa de eucalipto torrefado e 25% em massa de madeira de laranjeira *in natura*, mais preferencialmente 50% em massa de eucalipto torrefado e 50% em massa de madeira de laranjeira *in natura*.

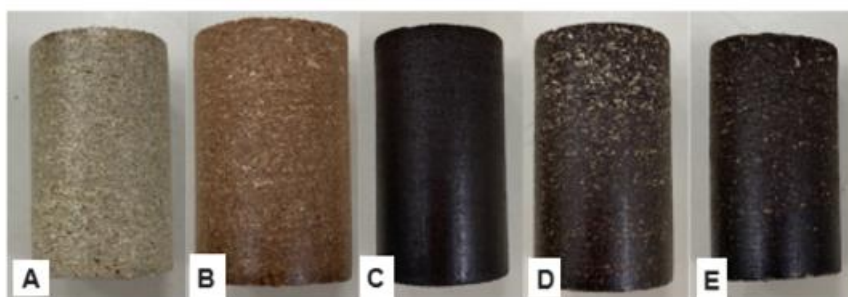


FIGURA 1

RESUMO

**BRIQUETE COM MISTURA DE EUCALIPTO TORREFADO COM MADEIRA DE
LARANJEIRA *IN NATURA***

O Presente pedido de patente de invenção, pertencendo ao campo da Energia, compreende um Briquete a partir da mistura de eucalipto torrefado com madeira de laranjeira *in natura*, em que a composição final do briquete, garante um produto bem balanceado com ótimo poder calorífico (quantidade de energia), alta durabilidade e de fácil utilização para o preparo de churrasco "*gourmet*", pois a madeira de laranjeira faz o papel de ligante do briquete, realizando a liberação de aroma que proporcionam sabores defumados com um tom frutado aos alimentos.