
CARACTERÍSTICAS ENERGÉTICAS DA TORTA DE CRAMBE INDUSTRIAL APÓS EXTRAÇÃO DE ÓLEO PARA BIODIESEL

CRAMBE PRESS CAKE ENERGY CHARACTERISTICS AFTER INDUSTRIAL OILS EXTRACTION FOR BIODIESEL

Robson Leal da Silva¹ Matheus Azevedo Chaves Correia² Omar Seye³

Resumo: A produção de biodiesel no Brasil utiliza como matéria-prima principal a soja, cujo teor de óleo é ~24%, enquanto que para o crambe alcança ~40%. A torta de crambe (~60% do peso original) é biomassa residual no processo de extração do óleo, que permanece sem destinação comercial adequada visto inadequação como alimento quando *in natura*. O objetivo é investigar as características energéticas da torta prensada de crambe, identificando a potencial valorização deste coproduto para conversão em energia térmica. Amostras de crambe após processamento industrial em fábrica de biodiesel foram analisadas quanto à composição química imediata e elementar, bem como massa específica aparente e poder calorífico superior e inferior (PCS e PCI). As principais conclusões são: a) baixo teor de umidade e tempo de secagem reduzido; b) apresenta características complementares atrativas para análise imediata e elementar ($T_{CF,bs}$, $T_{MV,bs}$, T_C , T_H and T_O), ressalvado o $T_{CZ,bs}$ ~6% que é superior ao de outras biomassas típicas; c) PCS de 22 MJ.kg⁻¹ é ~20% superior ao PCS do bagaço da cana-de-açúcar; d) A comercialização deste coproduto pode ser viabilizada após densificação na forma de peletes ou briquetes, embora a massa específica aparente seja adequada nas condições recebidas (ρ_{bulk} ~846 kg.m⁻³); e) As diversas características favoráveis elencadas para uso como combustível sólido corroboram para uma valorização deste resíduo industrial via combustão e conversão em energia térmica e/ou elétrica, ou seja, potencial para agregar valor econômico na cadeia produtiva do biodiesel.

Palavras-chaves: energia renovável, biomassa, resíduos industriais, energia de resíduos.

Abstract: Biodiesel production in Brazil uses soybeans as the main raw material, whose oil content is ~24%, while for crambe it reaches ~40%. The crambe press cake (~60% of the original weight) is residual biomass in the oil extraction process, which remains without adequate commercial destination seen inadequacy as food when in raw conditions. The objective is to investigate the energy characteristics of crambe press cake by identifying the potential valuation of this by-product for conversion into thermal energy. Crambe samples after industrial processing in a biodiesel plant were analyzed to determine the proximate and elemental composition, as well as bulk density and heating values (HHV and LHV). Main conclusions are: a) Low moisture content and reduced drying time; b) attractive complementary characteristics for proximate and ultimate analysis ($T_{CF,bs}$, $T_{MV,bs}$, T_C , T_H and T_O), except for $T_{CZ,bs}$ ~6% which is higher than other typical biomasses; c) PCS ~22 MJ.kg⁻¹ is ~20% higher than PCS for sugarcane bagasse; d) The marketing of this co-product is may be made possible after densification in the form of pellets or briquettes, although the bulk density is adequate under the conditions received (ρ_{bulk} ~846 kg.m⁻³); e) The various favorable characteristics listed for use as solid fuel corroborate for an appreciation of this industrial waste via combustion and conversion into thermal and/or electric energy, that is, potential to add economic value in the biodiesel production chain.

Keywords: renewable energy, biomass, industrial residues, waste-to-energy.

^{1,3} UFGD - Universidade Federal da Grande Dourados, Rodovia MS-270, km 12, CEP: 79.804-970, Dourados-MS, Brasil. e-mail: rlealsilva@hotmail.com; omar_seye@hotmail.com

² Profissional Engenheiro de Energia, Campo Grande-MS, Brasil, email: mateusacorreia@gmail.com

1 Introdução

A produção de biodiesel no Brasil utiliza como principal matéria-prima o óleo de soja, cujo teor de óleo na semente é no máximo 24% e, após o esmagamento a biomassa residual (farelo de soja, proteína) é um produto de alto valor agregado que atende à alimentação humana e de animais (ração). O país produz diversas outras culturas agrícolas oleaginosas, a exemplo do girassol e algodão, porém normalmente com valor agregado em aplicações diversas à cadeia produtiva da bioenergia, da qual o biodiesel é parte.

O óleo de soja corresponde a ~75% da matéria-prima de todo o biodiesel produzido, seguido por gorduras animais ~18%, óleo de algodão ~3%, óleo de fritura usado e outros ~2% (ABIOVE, 2016). Espécies oleaginosas utilizadas como alternativa para biodiesel, e cujo resíduo após extração de óleo (“torta prensada”) são de baixo valor agregado, incluem (Souza et al., 2009): pinhão manso (*Jatropha curcas*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus*) e crambe (*Crambe abyssinica* Hochst). Algumas características físico-químicas e cromatográficas do óleo de Crambe indicam estabilidade elevada para uso como biodiesel (Silveira et al., 2017), com interesse já estabelecido de cultivo e produção em países europeus (Costa et al., 2019).

O crambe possui um teor de óleo superior ao da soja, em média 40% mesmo em outros países (Zanetti et al., 2016) e variando entre 30-45%, sendo uma cultura de inverno de ciclo curto, ~90 dias e pode chegar a 4 ciclos de produção anuais (Souza et al., 2009; Onorevoli, 2012). É parte da família a colza, a canola e a mostarda (crucíferas), o crambe é originário da África (Etiópia) e adaptado à região do Mediterrâneo, atualmente bem resistente ao clima frio e seco (Onorevoli, 2012). Em 1995 foi introduzido no Brasil no estado de Mato Grosso do Sul (Rio Brilhante-MS) e, além da região Centro-Oeste, atualmente também é cultivável nas regiões Sul e Sudeste; é opção para rotação de cultura em praticamente todas as regiões do Brasil (Pilau et al., 2012). Outras espécies oleaginosas para fins de extração de óleo apresentam teores inferiores (ex: soja ~18%) ou superiores (ex: amendoim ~48%, pinhão manso ~50%, mamona ~57%), enquanto estes mesmos estudos registram teor de óleo extraído do crambe ~37% (Rosseto et al., 2012); outros indicam 26-38% para sementes de crambe, dentre outras características (Masetto et al., 2013).

A produção de biodiesel a partir do óleo do crambe em miniusinas com até 100L.h⁻¹ indicam viabilidade econômica, o que torna-se interessante para aplicações em atividades do agronegócio de pequena escala e agricultura familiar. Cerca de 1,8 kg de torta de crambe são resíduos do processamento de 2,7 kg do grão, para obter 1L de óleo do crambe. Ou seja, ~63% do peso original torna-se biomassa residual (coproduto, preço médio R\$ 0,51) e ~37% óleo bruto que é a matéria-prima para o biodiesel (Vernini et al., 2015).

O desempenho experimental de motores de combustão interna ciclo Diesel operando com biodiesel do crambe indicam: potência de saída em média ~10% e ~5% menores quanto comparados com biodiesel de soja e óleo diesel, respectivamente (Chaves et al., 2012) - possivelmente devido à viscosidade e massa específica maior em relação ao diesel do petróleo; misturas com 10% e 30% de crambe foram identificadas como soluções técnicas viáveis para substituição parcial do Diesel em comunidades rurais (5 kVA) com redução das emissões de CO, CO₂ e NO_x (Leite et al., 2019); comparação de biodiesel (100% crambe) e diesel (100% óleo mineral) indicaram consumo específico e eficiência estatisticamente equivalentes, porém com redução significativa das emissões (Rosa et al., 2014).

O potencial do óleo de crambe como matéria-prima para biodiesel é recente, porém interessante, visto que neste predominam ácidos graxos e não é adequado para alimentação humana por conter ~60% de ácido erúico (C₂₂H₄₂O₂); no entanto, é matéria-prima para lubrificantes (tal como a mamona), nylon, plastificantes, revestimento de superfícies, dentre outros (Bassegio et al., 2016). A extração do óleo tipicamente utiliza processos mecânicos

(esmagamento), resultando na chamada torta de crambe prensada que corresponde a ~60% do peso original. Aplicações dos coprodutos óleo vegetal, biodiesel – apesar do elevado conteúdo de fósforo que requer degomagem para adequação de qualidade (Costa et al., 2018), bio-óleo e óleo lubrificante são mais comuns, ou mesmo, uso das sementes como adsorvente na remoção de metais pesados e poluentes (Onorevoli, 2012; Bassegio et al., 2016).

No entanto, permanece sem destinação comercial adequada a biomassa residual do crambe (torta prensada) na cadeia produtiva da bioenergia da qual o biodiesel é parte; tipicamente outras biomassas de origem agrícola ou agroindustrial (Brand, 2010) são utilizadas como ração animal, fertilizantes ou aplicações medicinais, quando não aproveitados como biomassa para energia. Do exposto, tem-se no crambe uma interessante fonte renovável de energia com destaque para o Brasil (Bassegio, 2016).

Assim, o objetivo deste artigo é investigar as características energéticas da torta de crambe identificando potencial valorização deste coproduto para conversão em energia térmica. Os resultados obtidos podem subsidiar agroindústrias e produtores de biodiesel a considerar o crambe como um produto de melhores características comerciais para agregação de valor no mercado nacional: biocombustível líquido (biodiesel) e biocombustível sólido (biomassa para energia ou biomassa energética), que se não utilizada será tratado como um resíduo agroindustrial sem valor econômico.

2 Materiais e Métodos

2.1 Origem da biomassa residual

A biomassa residual analisada (torta prensada de crambe) foi obtida no período 2010-2011, via empresa BIOCAR (Dourados-MS), consistindo em 3 (três) amostras de ~1 kg cada. Estas foram retiradas de posições diversas no local de armazenamento, Fig. 1. As amostras foram analisadas assim como recebidas, não havendo trituração ou moagem adicional, visando preservar as condições do processamento mecânico (esmagamento, sem necessidade de preaquecimento das sementes) para extração do óleo em equipamentos industriais. Tratando-se, portando, de resíduo industrial ou melhor, biomassa residual da agroindústria.

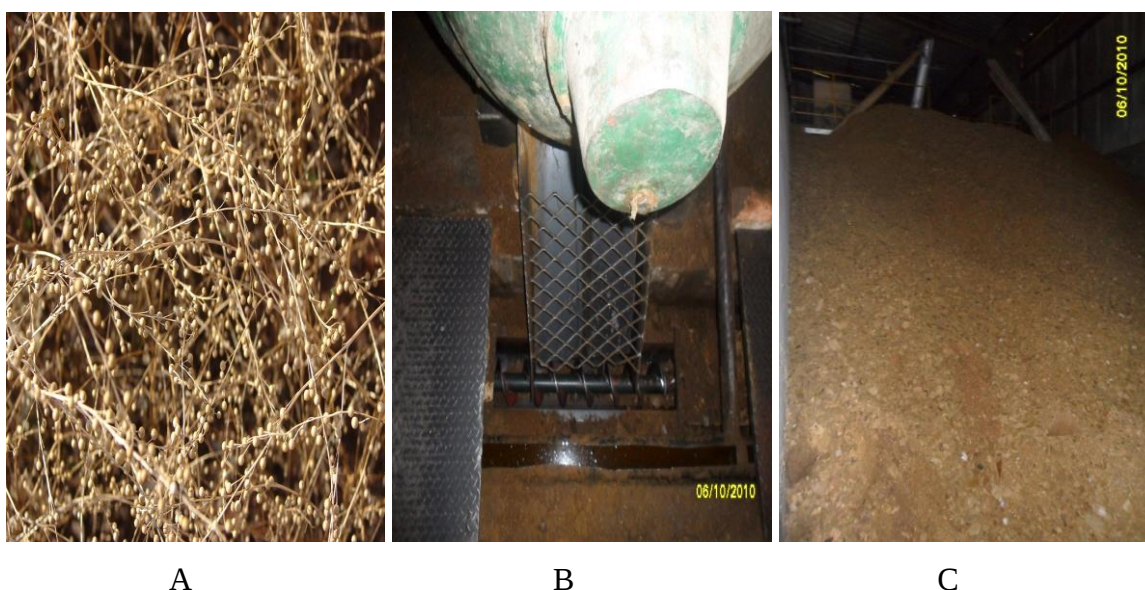


Figura 1. Grãos de crambe para colheita (A), prensagem industrial (B) e armazenagem da torta de crambe (C).

2.2 Análises imediata e elementar

Para análise imediata, são determinados os teores de: umidade na base úmida ($T_{UM,bu}$), e na base seca para matéria volátil ($T_{MV,bs}$), cinzas ($T_{CZ,bs}$) e carbono fixo ($T_{CF,bs}$). O procedimento foi realizado em duplicada, conforme NBR 8112 (ABNT, 1986). Inicialmente, a amostra deve ficar tempo suficiente secando na estufa até que não haja variação da massa registrada por balança analítica. Ou seja, é necessário determinar o tempo de secagem para cada tipo e natureza das amostras sob análise; registrando a cada 30 min (pesagem), o que resultou em 4 h o tempo total requerido para secagem. A preparação de amostras é conforme NBR 6922 e 7402 (ABNT, 1981; 1982).

Para análise elementar, são determinadas a fração ou composição atômica percentual mássica para: Hidrogênio (T_H), Oxigênio (T_O), Carbono (T_C), Nitrogênio (T_N), Enxofre (T_S) e Cinzas (substâncias inorgânicas). A capacidade poluidora é determinada pelos teores de enxofre e nitrogênio, tipicamente reduzidos em biomassas de origem vegetal, porém elevados naquelas de origem animal (ex: dejetos suínos, cama de frango, etc). A proporção entre as quantidades de C, H e O implica diretamente na quantidade de energia que pode ser obtida da combustão da biomassa (McKendry, 2002). Visto que a determinação experimental da análise elementar conforme NBR 8631 (ABNT, 1984) é de alto custo devido aos equipamentos sofisticados e por vezes demorada; alternativamente, para estimativas de boa qualidade e também para fins de modelagem e simulação computacional da combustão, tem-se correlações da literatura para biomassas de origem vegetal (Parikh, Channiwala e Ghosal, 2007) com base em resultados experimentais de análise imediata e validada para os componentes mais importantes, H, O e C, Eqs. (1), (2) e (3) a seguir.

$$T_H (\%) = 0,052.(T_{CF}) + 0,062.(T_{MV}) \quad (1)$$

$$T_O (\%) = 0,304.(T_{CF}) + 0,476.(T_{MV}) \quad (2)$$

$$T_C (\%) = 0,637.(T_{CF}) + 0,455.(T_{MV}) \quad (3)$$

Tais correlações foram obtidas para resultados de análise imediata e elementar, validadas para os seguintes intervalos, respectivamente: $57,2\% \leq T_{MV} \leq 90,6\%$; $4,7\% \leq T_{CF} \leq 38,4\%$; $36,2\% \leq T_C \leq 53,1$; $4,36\% \leq T_H \leq 8,3\%$; $31,37\% \leq T_O \leq 49,5\%$. Para análise imediata, embora haja recomendação de preparação de amostras conforme NBR 6922 e NBR 7402 (ABNT, 1981; 1982), estes procedimentos alterariam as condições do processamento industrial. Assim, optou-se por manter as amostras tais como recebidas, de maneira a caracterizar este coproduto conforme disponível na indústria de biodiesel.

2.3 Poderes caloríficos (PCS e PCI) e massa específica aparente (ρ_{AP})

O PCS corresponde à máxima quantidade de energia térmica que pode ser liberada por meio da combustão da biomassa (combustível sólido). Para o PCI não há um procedimento experimental de referência, mas sim correlações da literatura (Garcia, 2013) que dependem do PCS, T_H e $T_{UM,bu}$, Eq. (4); corresponde ao PCS menos a quantidade de energia térmica necessária para mudança de estado da água na forma de vapor superaquecido para líquido saturado, representada pelo $T_{UM,bu}$ na amostra (Cortez, Lora e Gómez, 2008; Rendeiro e Nogueira, 2008).

Adicionalmente, para fins de comparação, determinou-se o PCS via correlação da literatura com base no resultado experimental para análise imediata (Parikh, Channiwala e Ghosal, 2005), Eq. (5); e com base no resultado experimental para análise elementar (Rendeiro et al., 2008), Eq. (6). As Eqs. (1) e (3) foram utilizadas para obter T_H e T_C requeridos nas Eqs. (4) e (6). A massa específica aparente é determinada utilizando balança

para registro da quantidade de amostra (m, kg) que preenche um recipiente pré-definido (v, m³), Eq. (7).

$$PCI \text{ (MJ.kg}^{-1}\text{)} = PCS - 2240 \cdot [(9.T_H + T_{UM, bu})] \quad (4)$$

$$PCS \text{ (MJ.kg}^{-1}\text{)} = 0,3536.(T_{CF, bs}) + 0,1559.(T_{MV, bs}) - 0,0078.(T_{CZ, bs}) \quad (5)$$

$$PCS \text{ (MJ.kg}^{-1}\text{)} = 0,4371.(T_C) - 1,6694 \quad (6)$$

$$\rho_{AP} \text{ (kg.m}^{-3}\text{)} = m / v \quad (7)$$

A Eq.(5) para PCS estimado foi obtida e validada para resultados de análise imediata, com amostras de biomassas diversas (Parikh et al., 2005). Os equipamentos utilizados foram: balança analítica Acculab ALC-210.4 ($\pm 0,001$ g para secagem e $T_{CZ, bs}$), balança centesimal Bel Engineering M2202 ($\pm 0,01$ g para análise imediata e ρ_{AP}), forno mufla (Fornitec 2,2 kW), cadinhos e tampas em cerâmica, bomba calorimétrica (PARR modelo 1341).

3 Resultados e discussões

O processo de secagem das amostras de crambe é visualizado na Figura 2, identificando-se como 60 minutos o tempo mínimo para determinação do teor de umidade. Entre 60 e 210 minutos na estufa constatou-se a estabilização da massa registrada por balança analítica. Tipicamente, o tempo de secagem de biomassas energéticas pode superar 4 h. Em biomassas de origem agrícola, tem-se $T_{UM} \sim 15\text{-}30\%$; em toras de madeira $\sim 40\text{-}55\%$ com secagem natural (ao tempo) ou $\sim 8\text{-}12\%$ quando em secagem forçada (Rendeiro et al., 2008).

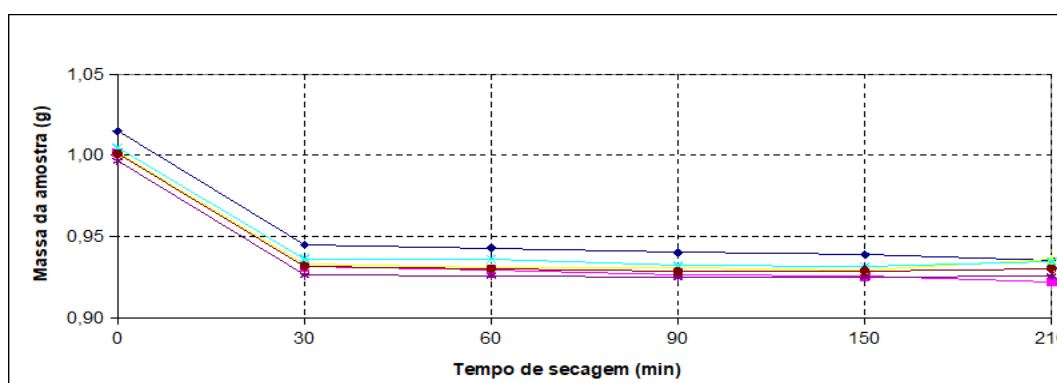


Figura 2. Determinação do tempo de secagem para amostras da torta de crambe industrial.

Na Tabela 1, tem-se os resultados experimentais para análise imediata da torta industrial de crambe. O valor médio obtido ($T_{UM} \sim 8\%$) é abaixo daqueles registrados para outras biomassas (Rendeiro et al., 2008); isto representa um indicativo de boa qualidade para uso como combustível sólido sem necessidade de secagem artificial. De maneira similar, o $T_{CF} \sim 11,5\%$ é igualmente interessante, visto ser da mesma ordem de grandeza ou superior àqueles encontrados para matérias-primas residuais de origem arbórea. Resíduos típicos de madeira para uso como energia (base seca) apresentam $T_{UM} \sim 7,3\%$; $\sim 8,6\%$; $\sim 8,8\%$; $\sim 26,3\%$ e $\sim 10,6\%$; $T_{CF} \sim 11,4\%$; $\sim 9,9\%$; $\sim 14,0\%$; $\sim 10,9\%$ e $\sim 5,7\%$; respectivamente para resíduos de reflorestamento de Eucalipto, Pinus, casca de Eucalipto, serragem de eucalipto e resíduos de destoca (Vissoto et al., 2012). A quantidade de cinzas é elevada ($T_{CZ} \sim 6\%$), em comparação com valores entre 1-2% para outras biomassas, indicativo de eventuais complicações operacionais no aproveitamento para fins de combustão em caldeiras a vapor; similar ao uso do bagaço da cana-de-açúcar cujo T_{CZ} alcança 11-12% (Brand, 2010). Quanto ao $T_{MV} \sim 82\%$,

mesmo na base úmida, é superior ao valor encontrado para o bagaço da cana-de-açúcar na base seca (~74%). (Cortez et al., 2008; Brand, 2010)

Tabela 1. Análise imediata para torta de crambe industrial.

Amostra	T _{UM, bu} (%)	T _{MV, bs} (%)	T _{CZ, bs} (%)	T _{CF, bs} (%)
1	6,06	81,00	5,38	13,62
	7,00	84,16	4,30	11,54
2	8,91	83,00	7,61	9,39
	9,00	82,00	5,49	12,51
3	8,00	81,82	5,43	12,75
	7,07	82,00	8,70	9,30
Valor Médio	7,67	82,33	6,15	11,52

A massa específica aparente obtida é de $\rho_{ap} \sim 846 \text{ kg.m}^{-3}$, valor bem superior àquele de algumas espécies amazônicas (madeiras e resíduos de extrativismo) que dificilmente ultrapassam 300 kg.m^{-3} ou mesmo 200 kg.m^{-3} no caso do bagaço da cana-de-açúcar (Rendeiro et al., 2008; Brand, 2010). A massa específica (substâncias contínuas; do inglês, “density”) é sempre superior à massa específica aparente, visto a existência de descontinuidades (espaços vazios) na biomassa residual analisada. Na Figura 3, tem-se a imagem das amostras de originadas do processo industrial para fabricação de biodiesel.



Figura 3. Torta de crambe após processamento industrial para extração do óleo para biodiesel.

Na Tabela 2, tem-se o PCS, PCI e a composição elementar. As parcelas estimadas de hidrogênio (~6%) e carbono (~45%) são equivalentes aos valores médios para o bagaço da cana-de-açúcar, enquanto que a parcela de oxigênio (~43%) é um pouco superior à do bagaço (~38%) (Brand, 2010; Rendeiro et al., 2008). Considerando que a energia química contida no carbono é superior àquelas contidas, individualmente, no oxigênio e hidrogênio (McKendry, 2002), o baixo teor de hidrogênio e a quantidade de carbono pouco superior à de oxigênio são

características que tornam a torta prensada de crambe industrial com características interessante para uso como energia, isto é, combustível sólido.

Tabela 2. Massa específica aparente, análise elementar e poder calorífico.

Amostras	ρ_{ap}^2	T_H^1	T_O^1	T_C^1	PCS ¹	PCS ²	PCS ²	PCI ^{1,2}
1, 2 e 3	(kg.m ⁻³)	(%)	(%)	(%)	(MJ.kg ⁻¹)	(MJ.kg ⁻¹)	(MJ.kg ⁻¹)	(MJ.kg ⁻¹)
Valores médios	846,2	5,7	42,7	44,8	~16,9	~17,9	~22,00	~20,68

¹ Experimental; ² Correlação da literatura baseada em outros resultados experimentais.

Destaca-se ainda, na Tabela 2, valores de PCS mais elevado do que outras biomassas residuais de origem agroindustrial (~18,4 MJ.kg⁻¹, ex: bagaço da cana-de-açúcar), agrícola (~15,7 MJ.kg⁻¹, basicamente palha, folhas e caules) e florestal (~13,8 MJ.kg⁻¹, ex: serragem de madeira, casca, cavaco, maravalha, aparas, costaneira, etc) (Cortez, Lora e Gómez, 2008). O PCS elevado, em parte é devido ao teor de óleo remanescente na amostra, visto que o processo mecânico de extração (esmagamento) retira em média 70% do conteúdo total de óleo dos grãos/semente de Crambe (Bassegio et al., 2016) e restando ~6% (Onorevoli, 2012). O PCS obtido por correlações da literatura, é um valor subestimado 19-23% em relação ao resultado experimental; no entanto representa uma boa estimativa preliminar para a ordem de grandeza deste parâmetro.

Uma grande quantidade de biomassa residual é proveniente do beneficiamento de produtos agrícolas para extração de óleo visando a fabricação de biodiesel, a exemplo do crambe. Nas condições após prensagem, pode ser utilizado na própria indústria (ex: combustão direta em caldeira) ou comercializado para outras empresas que demandam energia térmica em processos diversos, ou ainda para conversão em energia térmica em energia elétrica (cogeração). Outras possibilidades interessantes incluem utilizar a torrefação (maior qualidade para armazenamento), ou mesmo a carbonização para obtenção de carvão vegetal (“biochar”), ou ainda gaseificação; as quais, no entanto, requerem etapas e equipamentos adicionais não existentes hoje nas indústrias de biodiesel.

A valorização do coproduto torta de crambe - biomassa residual em algumas indústrias de biodiesel – tratado como combustível sólido, teria papel econômico significativo na cadeia produtiva do biodiesel. Resultados aqui apresentados permitem estimular o uso do crambe como matéria-prima vegetal alternativa ao grão de soja, o qual possui valor econômico e social mais pertinente como óleo (parte líquida) e proteína (parte sólida) para consumo humano ou ração na criação de animais.

4 Conclusões

As características investigadas para uso da torta de crambe industrial, i.e., biomassa residual, i.e., indicam qualidades típicas esperadas em combustíveis sólidos; sem alterações na quantidade de óleo extraído para produção de biodiesel. Em específico, destacam-se: a) baixo teor de umidade ($T_{UM} < 8\%$) e tempo de secagem reduzido (1 h); b) apresenta características complementares atrativas para análise imediata e elementar ($T_{CF,bs}$, $T_{MV,bs}$, T_C , T_H and T_O), ressalvado o $T_{CZ,bs}$ ~6% que é superior ao de outras biomassas típicas e cerca de metade daquele referente ao bagaço da cana-de-açúcar; c) PCS de 22 MJ.kg⁻¹ é ~20% superior ao PCS do bagaço da cana-de-açúcar, em parte devido ao teor de óleo residual não retirado no processo de prensagem usual; d) A comercialização deste coproduto pode ser viabilizada após densificação na forma de peletes ou briquetes, embora a massa específica aparente (ρ_{ap} ~846

kg.m⁻³) atenda a mais esta característica desejável para combustíveis sólidos; e) As diversas características favoráveis elencadas para uso como combustível sólido corroboram para uma valorização deste resíduo industrial via combustão e conversão em energia térmica e/ou elétrica, ou seja, potencial para agregar valor econômico na cadeia produtiva do biodiesel.

Agradecimentos

À FINEP (Edital MCT/FINEP/CT-PETRO PROMOPETRO 02/2009), projeto de pesquisa “BIOCOMB - Aplicação do Biocombustível no Ensino de Engenharia e Ensino Médio”, pela bolsa ITI - Iniciação Tecnológica Industrial e alunos participantes. À empresa BIOCAR Óleos Vegetais e Química (<http://www.biocar.com.br/>) pela matéria prima fornecida. À UFAM / CEDEAM - Centro de Desenvolvimento Energético Amazônico pela bomba calorimétrica utilizada para determinação experimental do PCS (<https://www.cdeam.ufam.edu.br/>).

Referências

ABIOVE – Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais, **Cadeira produtiva de oleaginosas e biodiesel**. Acessado em 01/08/2016. Web page: <http://www.abiove.org.br/site/index.php?page=estatistica&area=NC0yLTE=>>.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6922: Carvão vegetal: determinação da massa específica (densidade a granel). 1981, 2p.; NBR 6923: Carvão vegetal: amostragem e preparação da amostra. 1981, 15p.; NBR 7402: Carvão vegetal: determinação granulométrica. 1982, 3p.; NBR 8112. Carvão vegetal: análise imediata. 1986, 5p.; NBR 8631. Carvão mineral: análise elementar: método de ensaio. 1984a, 12p.; NBR 8633. Carvão vegetal: determinação do poder calorífico. 1984b, 13p.

BRAND, M.A. **Energia da biomassa florestal**. 1.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 131p.

BASSEGIO, D.; ZANOTTO, M.D.; SANTOS, R.F.; WERNCLE, I.; DIAS, P.P.; OLIVO, M. Oilseed crop crambe as a source of renewable energy in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.66, n.12, p.311-321, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.010>

CHAVES, L.I.; ROSA, H.A.; SOUZA, S.N.M.; REOLON, C.B.; FERNANDES, J.B.; SANTOS, R.F. Variação da potência de saída de um gerador em função da utilização de biodiesel de crambe e soja. *Acta Iguazu*, Cascavel, v.1, n.1, p.1-7, 2012. URL: <http://e-revista.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/7022>

CORTEZ, L.A.B.; LORA, E.E.S.; GÓMEZ, E.O. **Biomassa para energia**. 1.ed. Campinas: Editora da Unicamp, 2008. 733p.

COSTA, E.; ALMEIDA, M.F.; ALVIM-FERRAZ, M.C.; DIAS, J.M. Effect of Crambe abyssinica oil degumming in phosphorus concentration of refined oil and derived biodiesel. *Renewable Energy*, v.124, n.1, p.27-33, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.08.089>

COSTA, E.; ALMEIDA, M.F.; ALVIM-FERRAZ, M.C.; DIAS, J.M. The cycle of biodiesel production from *Crambe abyssinica* in Portugal. **Industrial Crops and Products**, v.129, n.1, p.51-58, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.11.032>

LEITE, D., SANTOS, R.F., BASSEGIO, D., SOUZA, S.N.M., SECCO, D., GURGACZ, F., SILVA, T.R.B. Emissions and performance of a diesel engine affected by soybean, linseed, and crambe biodiesel. **Industrial Crops and Products**, v.130, n.4, p.267-272, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.12.092>

MASETTO, T.E.; RIBEIRO, D.M.; REZENDE, R.K.S. Germinação de sementes de *Urochloa ruziziensis* em função da disponibilidade hídrica do substrato e teor de água das sementes. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.43, n.4, p.385-391, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1983-40632013000400010>

McKENDRY, P. Energy production from biomass (Part 1) overview of biomass. **Bioresource Technology**, v.83, p.37-46, 2002. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00118-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00118-3)

ONOREVOLI, B. Estudo do Crambe Abyssinica como fonte de matérias-primas oleaginosas: óleo vegetal, biodiesel e bio-óleo. 2012. 115f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

PARIKH, J.; CHANNIWALA, S.A.; GHOSAL, G.K. A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels. **Fuel**, v.84, n.5, p.487-494, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2004.10.010>

PARIKH, J.; CHANNIWALA, S.A.; GHOSAL, G.K. A correlation for calculating elemental composition from proximate analysis of biomass materials. **Fuel**, v.86, n.12-13, p.1710-1719, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2004.10.010>

PILAU, F.G.; SOMAVILLA, L.; BATTISTI, R.; SCHWERZ, L.; KULCZYNSKI, S.M. Germinação de sementes de crambe em diferentes temperaturas e substratos. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33, n.5, p.1825-1830, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2012v33n5p1825>

RENDEIRO, G.; NOGUEIRA, M.F.M. [et al.]. **Combustão e gaseificação de biomassa sólida** (soluções energéticas para a Amazônia). 1.ed. Brasília: MME, 2008. 192p.

ROSA, H.A.; WAZILEWSKI, W.T.; SECCO, S.; CHAVES, L.I.; VELOSO, G.; SOUZA, S.N.M. de; SILVA, M.J. da; SANTOS, R.F. Biodiesel produced from crambe oil in Brazil - A study of performance and emissions in a diesel cycle engine generator. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.38, n.1, p.651-655, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.013>

ROSSETO, R.E.; SANTOS, R.F.; BASSEGIO, D.; SECCO, D.; SOUZA, S.N.M.; CHAVES, L.I.; FORNASARI, C.H. Efeito da secagem na extração de óleos em plantas com potencial energético. **Acta Iguazu**, Cascavel, v.1, n.1, p.69-77, 2012. URL: <http://e-revista.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/7031>

SILVEIRA, E.V., VILELA, L.S., CASTRO, C.F.S., LIÃO, L.M., GAMBARRA NETO, F.F., OLIVEIRA, P.S.M. Chromatographic characterization of the crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) oil and modeling of some parameters for its conversion in biodiesel. **Industrial Crops and Products**, v.97, n.3, p.545-551, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.12.033>

SOUZA, A.D.V.; FÁVARO, S.P.; ÍTAVO, L.C.V.; ROSCOE, R.. Caracterização química de sementes e tortas de pinhão manso, nabo-forrageiro e crambe. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.10, p.1328-1335, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2009001000017>

VENRINI, A.A.; BUENO, O.C.; OLIVEIRA, P.A. Viabilidade econômica de três miniusinas para produção de biodiesel utilizando como matéria-prima o óleo de crambe (*Crambe abyssinica* Hochst). **Energia na Agricultura**, Botucatu, v.30, n.2, p.164-171, 2015. DOI: <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2015v30n2p164-171>

ZANETTI, F.; SCORDIA, D.; VAMERALI, T.; COPANI, V.; CORTIVO, C.D.; MOSCA, G. Crambe abyssinica a non-food crop with potential for the Mediterranean climate: Insights on productive performances and root growth. **Industrial Crops and Products**, v.90, n.1, p.152-160, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.06.023>