

## Implementação de uma economia de baixo carbono na secagem do tabaco por meio do uso de biomassa florestal

Débora Luana Pasa<sup>1\*</sup> Nuvea Kuhn<sup>1</sup> Jorge Antonio de Farias<sup>1</sup> Dionatan Hermes<sup>2</sup> Fábio Roesch<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Av. Roraima, nº 1000 Cidade Universitária, CEP 97105-900, Santa Maria - RS, Brasil

<sup>2</sup>JTI Processadora de Tabaco do Brasil LTDA, Rua Cerro Alegre Baixo, s/n, Santa Cruz do Sul - RS, Brasil

### Original Article

\*Corresponding author:  
debora.pasa@gmail.com

### Palavras-chave:

Pellets

Redução de poluentes

Sustentabilidade

### Keywords:

Pellets

Reduction of pollutants

Sustainability

### Received in

2021/06/27

### Accepted on

2022/05/05

### Published in

2022/06/30



### DOI:

<http://dx.doi.org/10.34062/af.s.v9i2.12676>



**RESUMO:** O setor fumageiro é responsabilizado por diversos danos ambientais originados desde a plantação até a secagem da folha do tabaco. Frente a esta situação, no Brasil para fins de fomentar a fumicultura de forma a reduzir tais danos, estratégias podem ser pensadas com o intuito de minimizar esse impacto, a exemplo do uso da biomassa florestal, energeticamente mais eficiente. Diante deste ensejo, a presente pesquisa teve como objetivo geral analisar a implementação de uma estratégia para uma economia de baixo carbono levando em consideração a eficiência do uso de pellets nas unidades de cura utilizadas na secagem das folhas do tabaco. Para tal, utilizou-se de uma pesquisa experimental por meio da metodologia de análise de cenários, utilizando a lenha como biomassa base e os pellets como cenário de sensibilidade. Quantificou-se o consumo de biomassa e as emissões de gases em tCO<sub>2</sub>-eq durante todo o ciclo de secagem do tabaco. Os resultados demonstraram que o uso de pellets se apresentou mais viável pelo viés ambiental e sustentável em relação ao uso de lenha no processo de geração de energia, reduzindo 61,58% as emissões de CO<sub>2</sub>-eq e 61,14% o consumo de biomassa. Por meio do uso de pellets demonstrou-se, portanto uma possível estratégia para a redução de emissão de gases poluentes no processo de cura do tabaco.

## Implementation of a low carbon economy in tobacco drying through the use of forest biomass

**ABSTRACT:** The tobacco sector is responsible for several environmental damages originated from the plantation to the drying of the tobacco leaf. Faced with this situation, in Brazil, in order to promote tobacco farming in order to reduce such damage, strategies can be devised in order to minimize this impact, such as the use of more energy efficient forest biomass. Given this opportunity, the present research had as general objective to analyze the implementation of a strategy for a low carbon economy taking into account the efficiency of the use of pellets in the curing units used in the drying of tobacco leaves. For this, an experimental research was used through the methodology of scenario analysis, using firewood as base biomass and pellets as a sensitivity scenario. Biomass consumption and gas emissions were quantified in tCO<sub>2</sub>-eq during the entire tobacco drying cycle. The results showed that the use of pellets was more viable from an environmental and sustainable point of view in relation to the use of firewood in the energy generation process, reducing CO<sub>2</sub>-eq emissions by 61.58% and biomass consumption by 61.14%. Through the use of pellets, a possible strategy for reducing the emission of polluting gases in the tobacco curing process was demonstrated.

## Introdução

O aumento da emissão de gases de efeito estufa (GEE) a nível mundial, especialmente por parte do setor agrícola é uma das maiores preocupações tanto para agricultores quanto para a indústria de transformação (Zhang et al., 2019).

Neste sentido, Países como China, Índia, Brasil e Estados Unidos da América (EUA) possuem os maiores índices de emissão, em um comparativo entre países desenvolvidos e em desenvolvimento (Maraseni e Qu 2016). Destaca-se, para tanto que no Brasil, um dos principais desafios é promover o desenvolvimento econômico e agrícola de forma a mitigar os impactos ambientais.

A preocupação no país com questões relacionadas à estabilização e redução da emissão de carbono parte de seu constante crescimento econômico e demográfico (Maraseni e Qu 2016), e devido ao Brasil ser considerado um dos maiores emissores de GEE no setor agrícola (Maraseni e Qu, 2016, He et al., 2021).

Em um comparativo sobre a emissão de óxido nitroso a nível internacional, considerando 52 anos (1961–2012) entre países desenvolvidos e em desenvolvimento, Maraseni e Qu (2016) identificaram que a Austrália possui os menores índices de emissão agrícola, já a Índia (10,5%) e a China (15,5%) apresentaram emissões mais altas. Além destes, Brasil e EUA também foram mencionados como principais emissores.

Com a criação do Programa de Agricultura de Baixo Carbono (ABC), no ano de 2010, a produção agrícola passou a assumir um papel de protagonista neste viés, por meio de condutas sustentáveis e de um novo direcionamento no que tange as práticas e estratégias voltadas à redução de GEEs (Silva e Vieira Filho 2020).

Após o acordo de Paris, firmado em 2015 entre 195 países, estratégias foram acordadas com a finalidade de mitigar a emissão de carbono de forma a fomentar a sustentabilidade ambiental mundial, estando o Brasil comprometido a reduzir um percentual significativo de emissão de taxas de CO<sub>2</sub> até o ano de 2025 (Vital 2018).

A fumicultura no país destaca-se tanto pelo viés econômico (Maraseni e Qu 2016), bem como pelos danos ambientais causados, desde o plantio até a secagem da folha do tabaco (Inca 2022). Reduzir estes danos apresenta-se como uma perspectiva possível diante deste contexto, principalmente pelo uso de novas estratégias, a exemplo do uso da biomassa florestal (Welter et al., 2019).

Uma das possibilidades de reduzir a emissão de GEE na fumicultura, por meio de uma economia de baixo carbono é por meio da utilização de energia limpa e renovável pelo uso e implementação de diferentes tecnologias que possam maximizar o uso de insumos, mantendo ou aumentando a

produtividade, por meio, por exemplo, da utilização de biomassa em substituição ao carvão no processo de cura do tabaco (He et al., 2021), e da lenha (Welter et al., 2019). Cabe destacar-se neste sentido que a possibilidade de variar a matriz energética, reduz a dependência de combustíveis fósseis, e amplia a aceitação da biomassa florestal como combustível alternativo (Possidônio et al., 2016).

Atualmente o método utilizado na secagem do tabaco acontece pela utilização da lenha como principal fonte de energia (Moreira et al., 2015), no entanto, esta fonte de energia pode se tornar ainda mais promissora se for incluído o uso dos resíduos e matérias-primas oriundas das atividades de base florestal (Brand et al., 2014; Welter et al., 2019), como por exemplo o uso de pellets.

Como hipótese da pesquisa, tem-se que o uso de pellets acarreta na redução de emissões de GEE do processo de secagem.

Diante deste cenário, neste estudo objetiva-se analisar a implementação de uma estratégia para uma economia de baixo carbono levando em consideração a eficiência do uso de pellets nas unidades de cura utilizadas na secagem das folhas do tabaco. Assim, este experimento apresenta uma importante contribuição para a atividade fumageira nacional, visto que aponta um viés sustentável de forma a contribuir com esta atividade econômica no país.

## Material e métodos

### *Pesquisa experimental*

Para a implementação de uma estratégia voltada à perspectiva de uma economia de baixo carbono, fez-se o contato com uma empresa multinacional de tabaco, que atua em parceria com produtores rurais, auxiliando no processo produtivo.

Fez-se um estudo preliminar por meio da base de dados da empresa, a fim de evidenciar qual a principal fonte de geração de energia utilizada por esses agricultores, em que se constatou que a lenha era utilizada por 100% dos agricultores, independentemente do tipo e tecnologia da unidade de cura utilizada no processo, desde a mais básica até a mais tecnológica.

Com base em tais informações, realizou-se uma pesquisa experimental, tendo como variáveis de investigação a lenha (energia base) e os pellets (produto a ser testado). Por meio destes dois elementos compararam-se a eficiência energética e o menor impacto ambiental no processo de secagem do tabaco.

### Análise de cenários

Com a finalidade de identificar a eficiência na redução de emissão de gases poluentes, utilizou-se a metodologia da análise de cenários. É amplamente utilizada para a investigação de oportunidades de redução de emissões de GEE (Moreira et al., 2015).

Foram dois cenários analisados, e para ambos foram utilizadas unidades de secagem, ou unidades de cura (UC) convencionais, com capacidade para +/- 5.500 kg de tabaco verde, sendo que o peso líquido após a secagem é de +/- 778 kg de tabaco. A UC é construída de alvenaria (tijolos furados), chaminé com diâmetro de 25 cm x 40 cm, apresentando o controle de temperatura e de umidade dentro da estufa. Exclusivamente, a diferença entre ambas as UC estão no tipo de estrutura utilizada para o abastecimento da biomassa. As informações sobre cada cenário são apresentadas na sequência, no Cenário A e B, cujo processo também pode ser visualizado por meio da Figura 1.

As imagens das Unidades de cura estão apresentadas na Figura 1.



Figura 1. Unidade de cura convencional. A) para lenha b) para pellets. Fonte: dados da pesquisa (2020).

a) Cenário A: Contempla o método tradicional, em que o processo de secagem ocorre pela queima de lenha, sendo utilizado como teste a lenha de *Eucalyptus dunni* Maiden, com umidade variando entre 25 % e 35%. O abastecimento da fornalha é realizado de forma manual, sendo que esta apresenta uma estrutura denominada “abafador” que libera ou limita a entrada de ar para dentro da fornalha, conforme a temperatura de dentro da estufa.

b) Cenário B. Uso da biomassa do tipo pellets, com umidade de 8% em base úmida (b.u), originado da espécie de *Pinus* sp., sendo este, a estratégia para redução das emissões de GEE. Foi realizada uma adaptação na fornalha, instalando o equipamento de pellets denominado de “Caldogno”. Esta estrutura possui injeção de pellets de forma automática, vinculada ao aparelho de medição de temperatura. Possui injeção de ar artificial, durante o

abastecimento da fornalha com pellets sendo ambos os processos realizados de forma automática.

As análises para os cenários de cura das folhas de tabaco pelo meio convencional (lenha) e pelo uso de pellets foram realizadas no centro de pesquisa da empresa JTI, localizada no município de Santa Cruz do Sul/RS.

### Quantificação de consumo de biomassa e emissões de gases poluentes

Para a análise da emissão de gases poluentes, quantificou-se primeiramente a totalidade de biomassa utilizada no processo de secagem, contabilizada em kg de biomassa por kg de tabaco seco.

Durante o processo de secagem, que perdura em média 168 horas, foram coletadas 360 amostras de gases emitidos pela chaminé durante o processo de combustão, tanto de lenha quanto de pellets. Foi utilizado o analisador de gases de combustão modelo Chemist 500x, da marca Seitron. Os gases analisados foram: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxido nitroso (NO<sub>x</sub>), Hidrocarbonetos (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>).

A concentração dos gases foi transformada para 8% de O<sub>2</sub> de referência, conforme Resolução N° 382 de 26 de dezembro de 2006. Em seguida, foi realizado o cálculo dos fatores de emissão, que é um indicador de poluição que exprime a relação entre a quantidade de poluição produzida e a quantidade de produto processado. Esse fator é expresso como a razão entre o peso do poluente e uma unidade de peso ou volume, calculado conforme Equação 1, de França *et al.* (2012).

$$FEx = \frac{V_{chimney-total} [X] M_X}{m_{dry-basis fuel} V_X} \left[ \frac{g_X}{kg_{dry-basis fuel}} \right] \quad (1)$$

Em que:

V<sub>total</sub> - chaminé = volume total de gases que flui pela chaminé (m<sup>3</sup>);

[X] = concentração média de X (ppmv) à 8% de oxigênio (Resolução CONAMA, 436/2011);

M<sub>X</sub> = massa molar (g/mol);

M (combustível em base seca) = massa do combustível em base seca (kg);

V<sub>x</sub> = volume molar de 1 mol a 0 °C e 1 atm (L/mol) (=0.0224 m<sup>3</sup>).

Os fatores de emissão (FEx) em g/kg foram transformados em toneladas de carbono equivalente (Equação 2).

$$tCO_2 - eq = \sum (PAGt \times GEEi) \quad (2)$$

Em que:

CO<sub>2</sub>-eq= Emissões em toneladas de carbono equivalente; PAG: Potencial de aquecimento global do gás i; GEE: Massa do gás i; e, i = gás de efeito estufa.

A análise foi repetida igualmente e rigorosamente por três vezes, no período de novembro de 2019 a janeiro de 2020. O processo de etapas da secagem do tabaco pelo método tradicional e pela proposição do uso dos pellets enquanto estratégia pode ser visualizada na Figura 2.

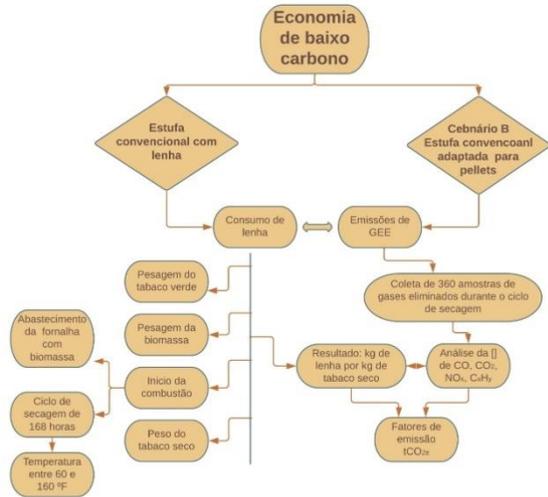


Figura 2. Fluxograma da pesquisa. Fonte: dados da pesquisa (2020)

**Resultados e Discussões**

Nos últimos anos, pesquisas têm sido realizadas a nível internacional e nacional em relação à transição para uma economia de baixo carbono, e especificamente no intuito de testar a eficiência de diferentes biomassas no processo de cura do tabaco, a exemplo na China pelos pesquisadores Xiao et al. (2015); Wang et al. (2015); Cao et al. (2017); Wang et al. (2019); Zhang et al. (2019); na África por Jimu et al. (2017); no Paquistão por Hussain et al. (2017); na Itália, por Bortolini et al. (2019); e no Brasil, pelos estudos de Dessbesell, Farias e Roesch (2017); e de Welter et al. (2019).

Para a realização desta pesquisa experimental, analisou-se a implementação da estratégia de mudança do uso da fonte de energia para a secagem do tabaco. Percebeu-se que ocorreu uma redução da quantidade consumida de biomassa por kg de tabaco seco, passando de 3,8 kg de lenha por kg de tabaco para 1,43 kg de pellets por kg de tabaco seco, conforme se observa na Figura 3.

**Eficiência no consumo de biomassa**

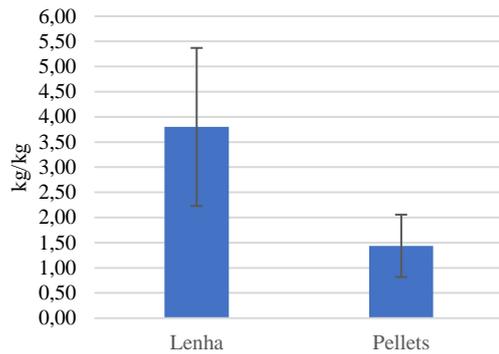


Figura 3. Relação entre kg de biomassa por kg de tabaco seco

Verificou-se uma significativa redução de emissões de gases poluentes no processo de combustão para a secagem do tabaco por meio de pellets ao invés de lenha (Figura 4). A redução de CO<sub>2</sub>, gás de combustão completa, foi de 1,04%. No entanto, a redução de gases de combustão incompleta foi drástica, reduzindo em 79,59% o CO e 89,56% C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>. A emissão de NO<sub>x</sub> teve aumento de 244,84% com uso de pellets (Apêndice A, Tabela 1).

**Emissão de GEE**

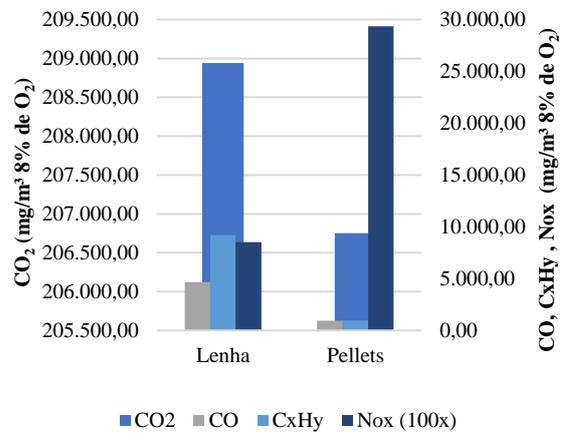


Figura 4. Emissão de gases no processo de combustão, a 8% de O<sub>2</sub> de referência

A redução de gases oriundos da combustão incompleta, como o CO e o CxHy, com o uso de pellets também foi evidente. Este fato está diretamente relacionando à maior eficiência de combustão desta biomassa, resultados estes que corroboram com o estudo feitos por Welter et al. (2019). Já o aumento da formação de NOx com pellets pode ser explicado pelo baixo teor de umidade deste biocombustível em relação à lenha.

Cabe destacar-se que a queima da madeira mais seca eleva a temperatura da chama, que se não for controlada (com técnicas de recirculação de ar ou com excesso de ar) tende a formar NOx em maior quantidade (Wakelin, Beauchemin e Tampier, 2008). Como os pellets têm uma umidade menor (em torno de 8% b.u), a emissão de NOx também é maior do que com uso de lenha, possui umidade variando entre 25-35% neste estudo. Para Wakelin, Beauchemin e Tampier (2008), as emissões de NOx variam de 303 mg m3 para madeira úmida a 674 mg/m3 para madeira seca.

No que tange ao uso de pellets e à estrutura utilizada para abastecimento da fornalha, ressalta-se que está possui um sistema de injeção de ar automático, com uso de ventoinha, com intuito de homogeneização entre ar e combustível. A injeção de ar permite a entrada de maior quantidade de oxigênio no processo de combustão, que reage diretamente com o combustível e retarda o abastecimento da fornalha, fazendo com que ocorra a queima da biomassa ainda presente. Este avanço tecnológico no abastecimento da fornalha com pellets se apresenta como uma grande vantagem, que não ocorre com a lenha, onde o abastecimento é manual.

Na Figura 5 apresentam-se os fatores dos gases de acordo com os dois cenários.

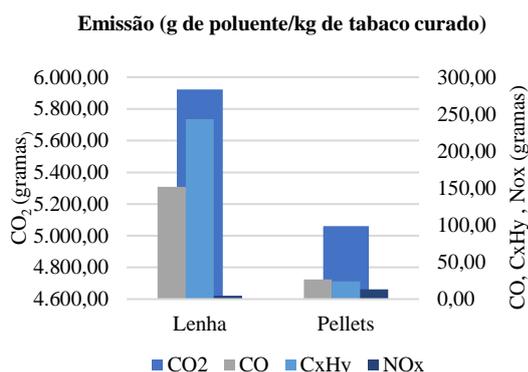


Figura 5. Fatores de emissão com uso de diferentes biomassas no processo de combustão

Verificou-se pelo uso dos dois cenários, que os resultados em gramas de poluentes por kg de tabaco seco demonstram que o uso de pellets emitiu menores quantidades de poluentes por kg de tabaco curado (Figura 5). Transformando-se esses

resultados para toneladas de CO<sub>2</sub>-eq, a redução foi de praticamente 2 toneladas por ciclo de cura, passando de 9,71 tCO<sub>2</sub>-e com uso de lenha para 7,30 tCO<sub>2</sub>-e com uso de pellets, totalizando 24,8% de redução (Apêndice A, Tabela 2).

A redução do consumo de pellets em relação à lenha evidenciou-se pela eficiência energética de cada biomassa. Combustíveis mais energéticos produzem mais calor com menos quantidade de biomassa, ou em via de regra, gastam menos energia para secar uma mesma quantidade de produto, como é o caso dos pellets em relação à lenha (Welter et al., 2019). Este fato ocorreu devido ao aumento da densidade do uso dos pellets em relação à lenha. Ainda, a baixa densidade, a elevada umidade, a heterogeneidade de tamanho, e a forma dificultam a manipulação, transporte, armazenamento e utilização da biomassa *in natura* (lenha) (Zamorano et al., 2011). Neste sentido a densificação da biomassa proporciona muitos benefícios, visto que, além do aumento da densidade, reduz também os custos de transporte e armazenamento. Também é importante mencionar que o tamanho e o formato uniformes facilitam o manuseio, o transporte e o uso de equipamentos padronizados (Tumuluru et al., 2011).

Consequentemente a uma eficiência energética maior, ocorreu também maior aumento da eficiência no processo de combustão, o que diminui o uso de biomassa, reduzindo os fatores de emissão por kg de biomassa consumida ou por kg de tabaco seco. Estes resultados corroboram com o estudo de Oliveira (2012), em que o autor destacou que as emissões de gases poluentes provenientes do uso de pellets são menores em comparação com as outras formas de aquecimento e energia, como a lenha, pois a combustão é muito mais eficiente e libera menos fumaça, devido ao baixo teor de umidade dos pellets.

No mesmo contexto, além do uso de pellets serem considerados mais eficiente energeticamente, e com menores emissões, ele pode ser proveniente dos resíduos gerados pelo processamento da madeira (como serragem e cavaco) (Ipea 2012).

Em um estudo realizado na região central do estado do Rio Grande do Sul, Brasil, Dessbesell, Farias e Roesch (2017) destacaram que o consumo de biomassa é menor para os pellets de *Pinus sp.*, seguido da lenha de *Eucalyptus sp.* e da serragem, sendo este material também oriundo de madeira de *Eucalyptus sp.* O processo de adensamento resultou em 82,66% de redução no consumo de biomassa (pellets em relação à serragem). Já Welter et al. (2019) analisaram as características físicas e químicas para a geração de energia de biomassa florestal para secagem de tabaco, e concluíram que, em termos de energia disponível, o consumo por cada quilograma de tabaco seco foi de 77,23 MJ para lenha, 61,40 MJ para serragem e 37,51 MJ para pellets. Os pellets apresentaram as melhores características para produção de energia, com

destaque para o maior poder calorífico, maior conteúdo de lignina e maior densidade de energia.

Costa et al. (2019) salientaram que a transformação de resíduos em biocombustíveis é uma alternativa interessante para combater problemas ambientais e ainda fornece maior eficiência energética, efetividade do transporte e redução de custos. Miranda et al. (2017) já haviam mencionado que além da lenha na forma comercial, o resíduo de madeira tem sido amplamente utilizado nos últimos anos na geração de energia, deixando de ser um problema ambiental e passa a ser uma fonte de energia renovável e de baixo custo.

É importante ressaltar que a adesão pela lenha por parte dos agricultores deve-se a perspectiva de maior disponibilidade do produto e seu preço praticado no mercado (Gioda 2019), e que especificamente para o cultivo do tabaco, o consumo de lenha é maior em relação ao uso da serragem e de outras energias (Welter et al., 2019).

A possibilidade de implementar uma economia de baixo carbono no setor agrícola incide diretamente não só na perspectiva ambiental, como também econômica e social (Jensen et al., 2019), principalmente à medida que possibilita o plantio e sustento das famílias de produtores rurais, e atenta ao viés sustentável. Portanto salienta-se que o uso de pellets pode auxiliar para um processo de secagem da folha de tabaco de forma ambientalmente mais sustentável, e que a empresa pode adentrar com maior facilidade ao mercado nacional e internacional e tornar-se mais competitiva, visto que, as condições ambientais serão cumpridas.

Essa estratégia está integralmente associada aos objetivos de desenvolvimentos sustentáveis da Organização das Nações Unidas (ONU), tais como: erradicação da pobreza, fome zero e agricultura sustentável e ação contra as mudanças climáticas (Ipea 2022). Ainda, fazem parte da estratégia de redução de carbono na atmosfera, firmado pelo Acordo de Paris em 2015 e reiterado na Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas (COP26) no ano de 2021 (Ray 2021).

Os resultados obtidos evidenciaram que a substituição da lenha pelo uso de pellets pode ser considerada uma estratégia de baixo carbono a ser implantada na empresa bem como pelos produtores integrados.

Como principal contribuição, salienta-se uma maior atenção de pesquisas e estudos voltados para uma economia de baixo carbono para a agricultura no Brasil, que neste caso em específico esteve direcionado para o tabaco, mas que pode ser realizado para outras culturas como milho, soja, trigo e café.

Como sugestões para pesquisas futuras, evidenciou-se um campo profícuo para estudos a serem realizados voltados à análise de sustentabilidade e viabilidade econômica de adesão do uso pellets, visto que não foram levadas em

consideração informações econômicas e financeiras, que por vezes podem ser decisivas na escolha do produto para a realização do processo de secagem da folha de tabaco. Ainda, outros estudos podem ser feitos utilizando outras formas de biomassa florestal e por meio de outras tecnologias de secagem.

## Conclusões

Apesar da incipiência de estudos produzidos no Brasil sobre uso de biomassa e redução da emissão de carbono no setor fumageiro, as pesquisas publicadas direcionam a um panorama de sustentabilidade pelo uso dos pellets ao invés do meio tradicional (lenha) no processo de cura do tabaco.

Os resultados encontrados neste estudo experimental com base nos dois cenários demonstraram que a utilização de pellets em substituição à lenha acarreta em uma mudança positiva no cenário agrícola do tabaco e apresentou-se estrategicamente mais viável pelo viés ambiental.

Como resultado principal verificou-se que ocorreu uma significativa redução na quantidade de biomassa florestal utilizada por kg de tabaco seco e redução, de 61,58% das emissões de GEE no processo de secagem com uso de pellets.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a JTI (*Japan Tobacco International*) pela disponibilidade de informações e pelo apoio financeiro na pesquisa.

## Referências

- Bortolini M, Gamberi M, Mora C, Regattieri A (2019) Greening the tobacco flue-curing process using biomass energy: a feasibility study for the flue-cured Virginia type in Italy. *International Journal of Green Energy*, 1(10):1220-1229. doi: 10.1080/15435075.2019.1671397
- Brand MA, Stähelin TSF, Ferreira JC, Neves MD (2014) Produção de biomassa para geração de energia em povoamentos de *Pinus Taeda* L. com diferentes idades. *Revista Árvore*. 38 (2): 353-360. doi: 10.1590/S0100-67622014000200016
- Cao G, Bao Y, Wu C, Wang Y (2017) Analysis on efficiency optimization of tobacco leaf flue-curing process. *Procedia Engineering*. 205: 540-547, 2017. doi: 10.1016/j.proeng.2017.10.413
- Costa S, Santos RS, Castro RVO, Castro AFNM, Magalhães MA, Carneiro ACO, Santos CPS, Gomes IRF, Rocha MG (2019) Briquettes quality produced with the Macauba Epicarp (*Acrocomia Aculeata*) and *Pinus* Sp. Wood. *Revista Árvore*, 43(5): 1-8. doi: 10.1590/1806-90882019000500001

- Dessbesell L, Farias J, Roesch F (2017) Complementing firewood with alternative energy sources in Rio Pardo Watershed, Brazil. Fontes alternativas para energia em complementação a lenha na Bacia Hidrográfica do Rio Pardo. *Ciência Rural*, 47(9):1-3. doi:10.1590/0103-8478cr20151216
- França DA, Longo KA, Neto TGS, Santos JC, Freitas SR, Rudorff BFT, Cortez EV, Anselmo E, Carvalho J (2012) Pre-Harvest Sugarcane Burning: Determination of Emission Factors through Laboratory Measurements. *Atmosphere*, 3(1): 164-180. doi:10.3390/atmos3010164
- Gioda A (2019) Características e procedência da lenha usada na cocção no Brasil. *Estudos Avançados*, 33(95): 133-149. doi:10.1590/s0103-4014.2019.3395.0009
- He F, Wei F, Ma C, Zhao H, Fan Y, Wang L, Wang J (2021) Performance of an Intelligent Biomass Fuel Burner as an Alternative to Coal-Fired Heating for Tobacco Curing. *Polish Journal Environmental Studies*, 30 (1):131–140. doi:10.15244/pjoes/122164
- Hussain M, Malik RN, Taylor A, Puettmann M (2017) Hazardous pollutants emissions and environmental impacts from fuelwood burned and synthetic fertilizers applied by tobacco growers in Pakistan. *Environmental Technology & Innovation*, 7: 169-181. doi:10.1016/j.eti.2017.02.003
- IPEA. Instituto de pesquisa econômica aplicada (2012) *Plano Nacional de Resíduos Sólidos: diagnóstico dos resíduos urbanos, agrosilvopastoris e a questão dos catadores*. 15 p.
- IPEA. Instituto de pesquisa econômica aplicada (2022) *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*. Disponível em: <<https://www.ipea.gov.br/ods/index.html>>. Acesso em 11 de abril de 2022.
- Jensen H, Dominguez IP, Fellmann, T, Lirette P, Hristov J, Phillippidis G (2019) Economic Impacts of a Low Carbon Economy on Global Agriculture: The Bumpy Road to Paris. *Sustainability*, 11(8): 2-17. doi: 10.3390/su11082349
- Jimu L, Mataruse L, Musemw L, Nyakudya IW (2017) The miombo ecoregion up in smoke: The effect of tobacco curing. *World Development Perspectives*, 5:44-46. doi: 10.1016/j.wdp.2017.03.007
- Li D, Lei Y, Li L, Liu L (2020) Study on industrial selection of counterpart cooperation between Jilin province and Zhejiang province in China from the perspective of low carbon. *Environmental Science And Pollution Research*, 27:16668–16676. doi:10.1007/s11356-020-07779-4
- Maraseni TN, Qu J (2016) An international comparison of agricultural nitrous oxide emissions. *Journal of Cleaner Production*, 135: 1256-1266. doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.035
- Miranda MAS, Ribeiro GBD, Valverde SR, Isbaex C (2017) *Eucalyptus* sp. woodchip potential for industrial thermal energy production. *Revista Árvore*. Viçosa, 41(6): 1-8. doi: 10.1590/1806-90882017000600004
- Moreira MMR, Harfuch L, Kimura W, Bachion LC, Lima R, Zambianco W, Nassar A, Dubeux CBS, Walter MKC (2015) Cenários de Afolu. In: La Rovere, EL, et al. *Implicações Econômicas e Sociais de Cenários de Mitigação de Gases de Efeito Estufa no Brasil até 2030: Projeto IES-Brasil*, Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas – FBMC. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2016.
- Oliveira CM (2012) *Wood Pellets Brasil*. Associação Brasileira de Indústrias de Biomassa e Energia. 53p.
- INCA. National Cancer Institute (2022) *Quais são os danos causados ao meio ambiente pela plantação de tabaco?*. Disponível em <<https://www.inca.gov.br/en/node/174>>. Acesso em 11 de abril de 2022.
- Possidônio EFSC, Silva JEAR, Toso EAV (2016) Biomass supply chain analysis with densified waste. *Revista Árvore*, 40 (2): 355-362. doi:10.1590/0100-67622016000200018
- Ray R (2021) *Na COP26, mais de 130 empresas de moda prometem reduzir emissões de CO2*. Disponível em: <<https://news.un.org/pt/story/2021/11/1769992>>. Acesso em 28 de abril de 2022.
- Silva FP, Vieira Filho JER (2020) *Avaliação de impacto do programa de agricultura de baixo carbono no Brasil*. Texto para discussão. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. (IPEA). Brasília. 40 p.
- Tumuluru JS, Wright CT, Hess, JR, Kenney KL (2011) A review of biomass densification systems to develop uniform feedstock commodities for bioenergy application. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 5(6):683-707. doi:10.1002/bbb.324
- Vital MHF(2018) *Aquecimento global: acordos internacionais, emissões de CO2 e o surgimento dos mercados de carbono no mundo*. BNDES. Rio de Janeiro, 24(48): 167-244.

Xiao X, Li C, Ya P, He J, He Y, Bi XT (2015) Industrial Experiments of Biomass Briquettes as Fuels for Bulk Curing Barns. *International Journal of Green Energy*, 12(11):1061-1065. doi:10.1080/15435075.2014.891119

Wakelin T, Beauchemin PA, Tampier M (2008). Emissions from Wood-Fired Combustion Equipment. North Vancouver: *Envirochem Services Inc.*

Wang XF, Xu GZ, Zhang BL, Jiao YZ, Lu F, Li BM (2015) Application of tobacco stems briquetting in tobacco flue-curing in rural area of China. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 8(6):84-88.

Wang JA, Zhang Q, Wei YW, Yang GH, Wei FJ (2019) Integrated Furnace for Combustion/Gasification of Biomass Fuel for Tobacco Curing. *Waste and Biomass Valorization*, 10: 2037-2044. doi:10.1007/s12649-018-0205-1

Welter CA, Farias JA, Silva DA, Rech RS, Teixeira DS, Pedrazzi C (2019) Consumption and Characterization of Forestry Biomass Used in Tobacco Cure Process. *Floresta e Ambiente*, 26:1-5. doi:10.1590/2179-8087.043818

Zamorano M, Popov V, Rodríguez ML, García-Maraver A (2011) A comparative study of quality properties of pelletized agricultural and forestry lopping residues. *Renewable Energy*, 36(11):3133-3140. doi:10.1016/j.renene.2011.03.020

Zhang R, Chen R, Wang X, Jiang Z (2019) Carbon effect of modern tobacco agriculture: Based on tobacco cooperatives in Shaanxi Province. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, (27), 12: 1903-1915.

## Apêndice A

Tabela 1. Comparativo das emissões de O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> e NO<sub>x</sub> para o uso de lenha e de pellet\*

		O <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	CO <sub>2</sub> <sup>(2)</sup>	CO <sup>(3)</sup>	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> <sup>(4)</sup>	NO <sub>x</sub> <sup>(5)</sup>
	Análise	%	mg/m <sup>3</sup> 8%	8% mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup> 8%	8% mg/m <sup>3</sup>
Convencional para lenha	01	14,37	208.588,24	2936,46	6.159,03	72,64
	02	13,65	208.530,61	5822,70	6.134,41	93,93
	03	10,89	209.697,33	4991	13.463,36	86,91
	<b>Média</b>	<b>12,97</b>	<b>208.938,98</b>	<b>4679</b>	<b>9.216,97</b>	<b>85,12</b>
	<b>DP</b>	<b>1,84</b>	<b>657,60</b>	<b>841,49</b>	<b>2.796,79</b>	<b>10,35</b>
Convencional para pellet	01	17,08	206.540,82	49,90	2.170,19	294,26
	02	15,12	208.132,65	985,70	289,36	270,43
	03	17,66	205.275,45	2105,20	509,41	333,27
	<b>Média</b>	<b>16,62</b>	<b>206.753,42</b>	<b>954,99</b>	<b>971,14</b>	<b>293,53</b>
	<b>DP</b>	<b>1,33</b>	<b>1.431,71</b>	<b>1.029,02</b>	<b>199,77</b>	<b>31,72</b>

Nota: <sup>(1)</sup> Oxigênio; <sup>(2)</sup> Dióxido de carbono; <sup>(3)</sup> Monóxido de carbono; <sup>(4)</sup> Hidrocarbonetos; <sup>(5)</sup> Óxidos nitrosos  
 \*Optamos por deixar duas casas após a vírgula para padronizar os resultados.

Tabela 2. Emissão Ton CO<sub>2</sub>eq. por kg tabaco seco e por unidade de cura\*\*

Unidades de cura		Ton CO <sub>2</sub> eq. por kg tabaco seco				tCO <sub>2</sub> e/kg tabac <sup>(5)</sup>	Ton CO <sub>2</sub> eq. por unidade de cura				tCO <sub>2</sub> e/ciclo de secagem
		CO <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	CO <sup>(2)</sup>	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> <sup>(3)</sup>	NO <sub>x</sub> <sup>(4)</sup>		CO <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	
Convencional com uso de lenha	Baixeiro	0,0113	0,0003	0,0070	0,0023	0,0210	8,5186	0,2747	5,2879	1,7299	15,8112
	Meio Pé	0,0045	0,0002	0,0028	0,0012	0,0088	3,4377	0,2198	2,1112	0,9027	6,6716
	Ponteira	0,0033	0,0001	0,0045	0,0008	0,0088	2,5229	0,1375	3,3979	0,6098	6,6683
	<b>Média</b>	<b>0,0064</b>	<b>0,0002</b>	<b>0,0047</b>	<b>0,0014</b>	<b>0,0129</b>	<b>4,8264</b>	<b>0,2107</b>	<b>3,5990</b>	<b>1,0808</b>	<b>9,7170</b>
	<b>DP</b>	<b>0,0043</b>	<b>9,2E-05</b>	<b>0,0021</b>	<b>0,0007</b>	<b>0,0070</b>	<b>3,2300</b>	<b>0,0690</b>	<b>1,5978</b>	<b>0,5808</b>	<b>5,2776</b>
Convencional pellet	Baixeiro	0,0071	3,95E-06	0,0015	0,0059	0,0146	5,3773	0,0029	1,1789	4,4505	11,0097
	Meio Pé	0,0041	4,56E-05	0,0001	0,0031	0,0075	3,1325	0,0341	0,0833	2,3868	5,6368
	Ponteira	0,0034	8,16E-05	0,0001	0,0032	0,0070	2,6222	0,0612	0,1223	2,4665	5,2723
	<b>Média</b>	<b>0,0049</b>	<b>4,37E-05</b>	<b>0,0006</b>	<b>0,0041</b>	<b>0,0097</b>	<b>3,7106</b>	<b>0,0327</b>	<b>0,4615</b>	<b>3,1013</b>	<b>7,3063</b>
	<b>DP</b>	<b>0,0019</b>	<b>3,89E-05</b>	<b>0,0008</b>	<b>0,0015</b>	<b>0,0042</b>	<b>1,4657</b>	<b>0,0291</b>	<b>0,6215</b>	<b>1,1691</b>	<b>3,2124</b>

Nota: <sup>(1)</sup> Dióxido de carbono; <sup>(2)</sup> Monóxido de carbono; <sup>(3)</sup> Hidrocarbonetos; <sup>(4)</sup> Óxidos nitrosos

\*\*Optamos por deixar quatro casas após a vírgula visto que valores de emissão de gases como o CO, por exemplo, são baixos, mas importantes e por isso devem ser apresentados na tabela. Ainda, deixamos alguns resultados na forma de notação científica, visto que o resultado seria expresso em maior número de casas decimais que o padronizado para estes resultados.