

Área: Sustentabilidade | **Tema:** Temas Emergentes em Sustentabilidade

**BIOMASSA FLORESTAL COMO FONTE DE ENERGIA PARA A CURA DO TABACO: RELAÇÃO
ENTRE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E EMISSÕES DE GEE**

**FOREST BIOMASS AS A SOURCE OF ENERGY FOR CURE TOBACCO: RELATIONSHIP BETWEEN
ENERGY EFFICIENCY AND GHG EMISSIONS**

Débora Luana Pasa e Jorge Antonio De Farias

RESUMO

Neste trabalho avaliou-se a eficiência energética do uso de lenha como biomassa florestal, para o processo de secagem do tabaco em uma unidade de cura convencional e as respectivas emissões de gases de efeito estufa (GEE), o qual tem importância significativa para a economia familiar da região sul do Brasil. O estudo foi realizado em uma unidade convencional de cura de tabaco e as análises dos gases CO, CO₂, CxHy e NO_x foram obtidas com o medidor de gases Chemist 500x, com a correção dos dados brutos para o oxigênio de referência (8%) a fim de calcular os fatores de emissão. A eficiência energética foi verificada por meio da pesagem e cubagem da lenha utilizada em um ciclo completo de secagem do tabaco em relação a quantidade de tabaco curado. As evidências do estudo apontaram um consumo de 4 kg de lenha por kg de tabaco seco, com fator de emissão por kg de biomassa consumida de 2.164,80 g de CO₂, 74,03 g de CO, 37,78 g de CxHy e 1,80 g de NO_x, sendo que as concentrações de CO e NO_x (mg/NM³) atenderam ao padrão estabelecido pela Resolução CONAMA 432/2011. Por fim, notou-se que as emissões dos gases poluentes deve ser alvo de atenção, a fim de auxiliar o cumprimento das metas do Acordo de Paris, que indicam a redução dos GEE até 2025 e 2030, que poderão ser alcançadas com o aumento da eficiência energética, obtendo assim uma combustão mais completa no processo de queima da biomassa.

Palavras-Chave: sustentabilidade ambiental, gases poluentes, energia renovável

ABSTRACT

This paper evaluated the energy efficiency of firewood as forest biomass for the tobacco drying process in a conventional curing unit and the respective greenhouse gas emissions (GHG), which is of significant importance to the southern family economy of Brazil. The study was performed in a conventional tobacco curing unit and CO, CO₂, CxHy and NO_x gas analyzes were obtained using the Chemist 500x gas meter, with the correction of the raw data for the reference oxygen (8%) in order to calculate emission factors. Evidence from the study pointed to a consumption of 4 kg of firewood per kg of dry tobacco, with emission factor per kg of consumed biomass of 2,164.80 g of CO₂, 74.03 g of CO, 37.78 g of CxHy and 1.80 g NO_x, and the concentrations of CO and NO_x (mg / NM³) met the standard established by CONAMA Resolution 432/2011. Finally, it was noted that pollutant gas emissions should be the focus of attention in order to help meet the Paris Agreement targets of GHG reduction by 2025 and 2030, which could be achieved by increasing energy efficiency, thus achieving a more complete combustion in the biomass burning process.

Keywords: environmental sustainability, pollutant gases, renewable energy

BIOMASSA FLORESTAL COMO FONTE DE ENERGIA PARA A CURA DO TABACO: RELAÇÃO ENTRE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E EMISSÕES DE GEE

1. INTRODUÇÃO

O tabaco no Brasil possui grande representatividade econômica em pequenas propriedades rurais, baseadas na agricultura familiar. Essa é uma cultura essencialmente rural, com pouca, ou até mesmo, nenhuma mecanização, onde o plantio e a colheita ainda são realizados de forma manual.

O Brasil é destaque no cenário mundial do tabaco, ocupando a 2ª posição de maior produtor, compreendendo cerca de 150 mil produtores no Sul do Brasil, e, desde 1993, é o maior exportador do mundo, sendo o Rio Grande do Sul responsável por 50% dessa produção (SINDITABACO, 2019). Nesse cenário, fica evidenciada a importância dessa cultura para a economia sul brasileira, mas, além dos aspectos econômicos, é de fundamental importância considerar os impactos ambientais relacionados ao processo de cultivo.

Com o acordo de Paris, assinado pelo Brasil em 2016, o país se comprometeu a reduzir até o ano de 2025, a emissão de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis encontrados em 2005, chegando em 43% até o ano de 2030. Para isso, o país deve aumentar a participação de bioenergia sustentável na sua matriz energética para aproximadamente 18% até 2030, restaurar e reflorestar 12 milhões de hectares de florestas, bem como alcançar uma participação estimada de 45% de energias renováveis na composição da matriz energética em 2030 (MMA, 2019).

Como consequência imediata, o setor primário de produção, em geral, iniciou a lapidação do processo produtivo para atender os critérios de desenvolvimento limpo, de forma econômica, social e ambiental. Na fumicultura, em especial, um dos principais obstáculos no que tange a sustentabilidade ambiental, está relacionado com a secagem do tabaco.

O setor utiliza biomassa florestal basicamente em forma de lenha, oriunda de áreas reflorestadas, principalmente com eucalipto. A biomassa é queimada para aquecer a unidade de cura (estufa) e realizar a secagem do tabaco e, conseqüentemente, essa combustão direta é fonte de emissão de gases de efeito estufa (GEE).

Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar a eficiência energética de uma das principais fontes de energia renovável disponível, a lenha, na secagem do tabaco, utilizando uma unidade de cura convencional, no sentido de verificar e quantificar as emissões de GEE oriundas desse processo, oportunizando novos estudos voltados às tecnologias de economia de baixo carbono para esse setor.

2. METODOLOGIA

O estudo foi realizado em uma unidade convencional de cura de tabaco, construída de alvenaria, com capacidade de 500 varas de tabaco, sem a presença de ventoinha para injeção de ar. Neste espaço, a área útil da chaminé corresponde a 0,049 m² e o abastecimento com lenha foi realizado de forma manual.

Para verificar o consumo, inicialmente foi realizada a cubagem e pesagem de uma quantidade de lenha (m³ e mst) capaz de suprir todo o ciclo de cura. Em seguida, foi realizado o abastecimento da unidade de cura com a marcação e pesagem de três varas de tabaco verde. Após o término do ciclo de cura, em 7 dias, foi realizada a cubagem da lenha remanescente e a pesagem das varas de tabaco, que foram marcadas anteriormente.

As quantificações das emissões de gases de combustão foram realizadas com o auxílio do analisador de gases de combustão modelo Chemist 500x, da marca Seitron. Este equipamento funciona com uma bomba elétrica interna, que retira a amostra do gás através de uma sonda inserida no duto da chaminé e quantifica as concentrações de gases na fumaça (CO, CO₂, NO_x, C_xH_y), temperatura e a velocidade do gás.

Para esse processo, foram abertos orifícios de 10 mm na estrutura das chaminés (a uma altura mínima de 2 vezes o diâmetro interno da tubulação após o último distúrbio do fluxo gasoso - ABNT NBR 10.700/1989), possibilitando a estimativa dos fatores de emissão, com medições realizadas em intervalos padronizados, durante 2 (duas) horas. Desta forma, foi possível obter dados que contemplassem desde o abastecimento da fornalha com biomassa até a sua total queima, em cada fase da colheita do tabaco (baixeiro, meio pé e ponteira).

Após a coleta a campo, os dados foram repassados para um computador por meio de um *software* específico do equipamento e, posteriormente, tabulados para análise em planilha de cálculo modelo Excel[®]. Ao mesmo tempo, a concentração final dos gases foi corrigida para O₂ referência de 8%, permitindo a comparação com a legislação vigente.

Para a quantificação dos fatores de emissões, foi necessária a utilização de equações matemáticas para fornecer os valores adequados em cada uma das emissões. Considera-se que fator de emissão, significa a quantidade de massa emitida de um gás quando é consumido um quilograma de biomassa na combustão. Neste estudo, foi necessário determinar a vazão do gás de combustão (Equação 1) para, posteriormente, multiplicar pela concentração de gases na chaminé obtida pelo analisador e calcular o fator de emissão (Equação 2), conforme o proposto por França *et al.* (2012) e Amorim (2012):

$$Q = v \times A \quad (1)$$

Em que:

Q = vazão (m³/s);

v = velocidade (m/s);

A = área da seção transversal da chaminé (m²)

$$FE_x = \frac{V_{\text{total-chaminé}}}{m_{\text{combustível em base seca}}} \left[\frac{[]_x M_x}{V_x} \right] \left[\frac{g_x}{kg_{\text{combustível em base seca}}} \right] \quad (2)$$

Em que:

V_{total - chaminé} = volume total de gases que flui pela chaminé (m³)

[]X = concentração média de X (ppmv)

M_x = massa molar (g/mol)

m(combustível em base seca) = massa do combustível em base seca (kg)

V_x = volume molar de 1 mol a 0 °C e 1 atm (L/mol) (=0.0224 m³)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabulação dos dados apresentados na Tabela 1, foram utilizados 4,7 mst de lenha para secagem de 794,44 kg de tabaco, após um ciclo de cura, totalizando 4,0 kg de lenha por kg de tabaco seco.

Tabela 1: Relação entre o consumo de biomassa e a secagem do tabaco

Fases do tabaco	Biomassa				Tabaco	Consumo
	m ³	m st	kg lenha	Total (kg)	Total (kg)	kg/kg
Baixeiro	2,93	4,16	603	2.508,48	366,67	6,84
Meio pé	2,87	4,1	580	2.378,00	766,67	3,1

Ponteira	4,08	5,83	442,4	2.577,16	1.250,00	2,06
Média	3,29	4,7	541,8	2.487,88	794,44	4,0

Fonte: Elaborada pelos autores

Welter (2017), em seu estudo encontrou o valor de 2,71, m³ de lenha por kg de tabaco seco para unidade de cura convencional, valor menor do que o encontrado na Tabela 1, de 3,29 m³. Também foi possível verificar que a eficiência energética na cura do tabaco colhido como ponteira foi maior em relação a fase de baixeiro e meio pé, apresentando menor consumo de lenha para secar uma maior quantidade de tabaco, na relação kg de lenha por kg de tabaco seco. Este fato é vinculado ao peso do tabaco, visto que, quanto mais pesado, maior será a eficiência na relação peso de biomassa por peso de tabaco seco, uma vez que quanto menor essa relação, maior a eficiência energética para a cura.

Ainda, deve-se levar em consideração o peso da lenha, que está diretamente relacionado com a densidade da espécie florestal e com o teor de umidade, pois quanto maior a umidade, maior será o peso da lenha e maior será a relação entre o peso de biomassa e o peso do tabaco seco, demonstrando assim pouca eficiência. Neste caso, a lenha foi cortada em meados de julho de 2018, sendo utilizada de dezembro a fevereiro de 2019, apresentando teores médio de umidade entre 30-35%.

Nas emissões de gases de combustão (Tabela 2), pode ser observado maiores concentrações de gases de combustão incompleta como o monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (C_xH_y) com o uso de lenha. Observa-se uma tendência similar das emissões de CO₂ ao longo do processo de cura nas diferentes fases do tabaco. No entanto, para os gases CO e C_xH_y, ocorreu uma concentração de gases menor na fase de meio pé, com o uso da biomassa em relação as demais, e o aumento de CO₂, o que permite afirmar que ocorreu uma combustão mais completa nessa fase.

Em relação as principais razões da formação de hidrocarbonetos totais (C_xH_y) nos gases de combustão, estas são basicamente as mesmas para a formação de monóxido de carbono (CO) e outros produtos da combustão incompleta, como: a mistura não homogênea entre combustível e ar; a má distribuição do tempo de residência dos gases (tempo em que os gases ficam na câmara de combustão podendo ser consumidos ao invés de emitidos para a atmosfera) e o esfriamento da chama, interrompendo as reações (JOSÉ, 2004).

Os óxidos de nitrogênio (NO_x) também são gases poluentes que podem ser emitidos na combustão da biomassa, sendo produzidos durante a combustão do Nitrogênio do ar ou do combustível. Conforme Pinheiro e Valle (1995), a produção de NO_x é altamente dependente da composição do combustível e da relação ar/combustível. A temperatura e o teor de O₂ e N₂ nos produtos da combustão são os principais fatores para a formação de NO_x. Para os autores, a emissão de NO_x e CO devem ser analisadas simultaneamente, pois a diminuição de um poluente pode levar ao aumento da formação de outro, o que pode ser observado na Tabela 2. As maiores concentrações de CO correspondem as menores concentrações de NO_x, pois a liberação de CO, C_xH_y, NO_x, são característicos de combustão incompleta, visto que a combustão completa deve emitir apenas CO₂ e vapor de água:

Tabela 2: Concentração de gases poluentes na combustão da lenha

	Análise	CO ₂ mg/Nm ^{3*}	CO mg/Nm ^{3*}	C _x H _y mg/Nm ^{3*}	NO _x mg/Nm ^{3*}	T gas °C	Velocidade m/s
Lenha	Baixeiro	208.288,56	10.274,46	5.111,58	160,70	129,42	6,60
	Meio pé	209.279,99	1.804,31	546,43	195,37	156,26	6,98
	Ponteira	208.573,50	9.614,61	5.388,07	164,57	122,75	7,74
	Média	208.714,02	7.231,13	3682,03	173,55	136,14	7,11

Fonte: Elaborado pelos autores.

A emissão de gases poluentes vem se tornando um dos obstáculos enfrentados pelo setor primário e secundário, no que tange a regularização das atividades dentro dos parâmetros permitidos por lei, no entanto, para o setor da fusicultura especificamente, não existe no Brasil normativas quantos aos limites de emissões.

Contudo, pode-se levar em consideração a resolução do CONAMA nº 436/2011 que estabelece padrões máximos de emissões para a combustão de derivados de madeira em caldeiras. Nessa resolução, os limites de emissão para poluentes atmosféricos provenientes de processos de geração de calor a partir da combustão externa de derivados da madeira são, em base seca a 8% de oxigênio (oxigênio de referência), de 650 mg/Nm³ de NO_x e 7800 mg/Nm³ de CO.

Assim, foi possível definir teores de 7231,13 mg/Nm³ de CO e 173,55 mg/Nm³ de NO_x, para o uso da lenha em umidades de cura convencional, estando, portanto, dentro dos limites de emissão permitidos em lei. Ressalta-se, que as emissões de CO estão muito próximas ao limite máximo, que pode estar relacionada a combustão incompleta da biomassa dentro da fornalha, por fatores como teor de umidade elevado (30-35%) e pequena superfície de contato entre combustível e carburante, devido as dimensões da lenha. Além disso, variáveis como o manejo da lenha dentro da fornalha também podem ser fatores que interferem na combustão, visto que a quantidade de lenha utilizada no abastecimento deve ser tal, que comporte o tamanho da fornalha e permita a entrada do ar necessário para a realização da combustão de forma completa.

Em relação aos fatores de emissão, quando se leva em consideração a quantidade de gases emitido por kg de biomassa consumida, foi possível observar que para cada kg de lenha foi liberado em média, 2.164,80 g de CO₂ e 74,03 g de CO. Consoante a isso, Gioda (2018) em estudo realizado com lenha utilizada na cocção de alimentos em fogões residenciais, quantificou a emissão de CO₂ em 3,767 kg para 1 kg de biomassa (lenha) consumida, valores superiores aos encontrados nesta pesquisa, pelo que apresenta a Tabela 3:

Tabela 3: Fatores de emissão para os poluentes analisados

	Análises	Fatores de Emissão (g de poluente/kg de biomassa consumida)			
		CO ₂	CO	C _x H _y	NO _x
Lenha	Baixeiro	1.989,07	98,096871	48,803556	1,5343234
	Meio pé	2.229,58	19,218471	5,8202471	2,0809754
	Ponteira	2.273,58	104,78392	58,721444	1,7935494
	Média	2.164,08	74,033089	37,781749	1,8029494

Fonte: Elaborado pelos autores

Quando extrapolado o valor dos fatores de emissão para um ciclo completo de secagem do tabaco, tem-se um total de 8.656,32 g de CO₂, cerca de 296,13 g de CO, de 151,12 g de C_xH_y e 7,2 g de NO_x. No entanto, ressalta-se que quando maior a eficiência energética, ou seja, menor a relação peso de biomassa por peso de tabaco seco, menores serão os fatores de emissão, diminuindo assim os danos ambientais causados pela emissão de GEE.

4. CONCLUSÕES

As evidências encontradas no presente estudo, dão conta que a eficiência energética de uma estufa convencional para cura do tabaco, utilizando a lenha, é de 4 kg para cada kg de tabaco seco e 4,7 mst de lenha por ciclo de cura.

Os indicativos apontaram que os limites de emissão dos gases poluentes CO e NO_x estão dentro dos limites estabelecidos pela resolução do CONAMA nº 432/2011 e que o fator

de emissão por kg de biomassa consumida foi de 2.164,80 g de CO₂, de 74,03 g de CO, cerca de 37,78 g de C_xH_y e 1,80 g de NO_x.

Partindo desses resultados, aponta-se que a redução nas emissões de GEE pode ser alcançada com a maior eficiência energética, reduzindo o consumo de biomassa pela obtenção de uma combustão mais completa, com menores concentrações de CO.

A contribuição esperada, a partir das constatações aqui explanadas, se dá no sentido de que outros estudos possam ser realizados com o intuito de aprimorar o modo de combustão, reduzindo assim os danos ambientais causados, associando as inovações à sustentabilidade econômica e social que envolvem o processo produtivo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, E. B., **Gases de efeito unidade de cura produzidos pela combustão de biomassa**. 2012. 114p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012. 114 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Acordo de Paris**. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>. Acesso em 15 agos. 2019.

BRASIL. **Resolução CONAMA Nº 436/2011** - " Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 02 de janeiro de 2007." - Data da legislação: 22/12/2011 - Publicação de 26/12/2011, pág. 304-311.

FRANÇA, D.A.; LONGO, K.M; SOARES NETO, T.G.; SANTOS, J.C.; FREITAS, S.R. RUDORFF, B.F.T. et al. Pre-Harvest Sugarcane Burning: Determination of Emission Factors through Laboratory Measurements. **Atmosphere** 2012, 3, 164-180; doi:10.3390/atmos3010164.

GIODA, A. TONIETTO, G., DE LEON, A.P. Exposição ao uso da lenha para cocção no Brasil e sua relação com os agravos à saúde da população. **Revista Ciência & Saúde Coletiva da Associação Brasileira de Saúde Coletiva Impressa** ISSN 1413-8123 | Online ISSN 1678-456.

JOSÉ, H. J. **Combustão e Combustíveis**. Apostila de Química Tecnológica Geral. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). 2004.

PINHEIRO, P. C. C., VALLE, R. M., Controle de Combustão: Otimização do Excesso de Ar. In: II Congresso de Equipamentos e Automação da Indústria Química e Petroquímica, 1995, Rio de Janeiro. **Anais** do II Congresso de Equipamentos e Automação da Indústria Química e Petroquímica. Rio de Janeiro, RJ : ABIQUIM, 1995. v. 1. p. 157-162.

SINDICATO INTERESTADUAL DA INDÚSTRIA DO TABACO (SINDITABACO). **Estatísticas**. 2019. Disponível em: <http://www.sinditabaco.com.br/sobre-o-setor/estatisticas/> Acesso em 15 agos. 2019

WELTER, C.A. Uso da biomassa florestal como estratégia de redução dos gases de efeito estufa: estudo de caso na fumicultura do sul do Brasil. 2017. 68 p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.