

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JOÃO VITOR FRIGERI

**ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA (GEE) NO
CICLO DE PRODUÇÃO DE PELLETS DE MADEIRA**

CURITIBA

2021

JOÃO VITOR FRIGERI

**ESTIMATIVA DE EMISSÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA (GEE) NO
CICLO DE PRODUÇÃO DE PELLETS DE MADEIRA**

Artigo apresentado como requisito parcial
à conclusão do curso de MBA em Gestão
Ambiental, Setor de Ciências Agrárias,
Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Dr. Carlos Roberto Sanquetta

CURITIBA

2021

Estimativa de Emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE) no ciclo de produção de pellets de madeira

João Vitor Frigeri

RESUMO

O aumento no uso de combustíveis fósseis desde a Revolução Industrial tem proporcionado alteração na concentração de Gases do Efeito Estufa (GEE) na atmosfera, reforçando a necessidade de migração para energias renováveis e indústrias de baixo carbono. Desta forma, o objetivo é analisar as emissões de GEE para o ciclo de produção de pellets de madeira, desde a produção da matéria-prima até o embarque dos pellets no porto, através da metodologia GHG Protocol. Os resultados indicam que a etapa com maior participação nas emissões corresponde ao Transporte Rodoviário (33,65%) e, considerando as categorias da metodologia GHG Protocol, a principal fonte de emissão está relacionada a Combustão Móvel (60,6%) e Atividades Agrícolas (25,5%). Pode-se observar que as emissões correspondem a 41,97 kg CO_{2e}/ t de pellets e a produção anual pode substituir o carvão mineral evitando a emissão de 959.650t de CO_{2e} por ano.

Palavras-chave: mudanças climáticas, energia renovável, ciclo de vida.

ABSTRACT

The increase in the use of fossil fuels since the Industrial Revolution has caused changes in the concentration of Greenhouse Gases (GHG) in the atmosphere, reinforcing the need for migration to renewable energy and low carbon industries. Thus, the objective is to analyze GHG emissions for the wood pellet production cycle, from the production of raw material to the shipment of pellets at the port, using the GHG Protocol methodology. The results indicate that the stage with the greatest participation in emissions corresponds to Road Transport (33.65%) and, considering the categories of the GHG Protocol methodology, the main source of emissions is related to Mobile Combustion (60.6%) and Agricultural Activities (25.5%). Emissions correspond to 41.97 kg CO_{2e}/t of pellets and the annual production can replace mineral coal, avoiding the emission of 959,650t of CO_{2e} per year.

Keywords: climate change, renewable energy, life cycle.

1 INTRODUÇÃO

No período antes da Revolução Industrial a concentração de CO₂ era de 270ppm, e a partir da queima de combustíveis fósseis (principal fonte de emissão de CO₂), a concentração em 2020 foi para 410ppm, e está em constante aumento. Ao se alterar a concentração, maior parte da energia eletromagnética fica retida na atmosfera, causando as mudanças climáticas (BERTOLAMI & FRANCISCO, 2020).

Grande parte dos problemas ambientais relacionados com as emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) são causados pela utilização de combustíveis fósseis (ROCHA et al., 2013). Diante deste cenário, o Acordo de Paris estabeleceu metas para neutralização das emissões até 2050.

A mitigação das mudanças climáticas causadas pelas emissões de gases do efeito estufa implica na redução de uso de combustíveis fósseis e a ampliação da produção e uso de energias renováveis de baixo carbono (DE GOUVELLO, 2010)

O uso de biomassa em substituição do carvão mineral para produção de energia nas termelétricas é uma alternativa viável para a redução dos gases do efeito estufa (CHUM et al., 2011). Alguns países, como o Reino Unido, têm metas ambiciosas de interromper a produção de energia elétrica por carvão até o ano de 2025, sendo a biomassa florestal como a principal fonte de calor.

O consumo mundial de carvão mineral é de aproximadamente 6,5 bilhões de toneladas por ano para diversas aplicações (SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, 2014) e este combustível pode, na maioria das aplicações, ser substituído por pellets de madeira que atualmente apresenta produção irrisória de 41 milhões de toneladas por ano (Bioenergy Europe, 2021)

De acordo com Jeswani, Whiting & Azapagic (2020), a substituição de combustíveis fósseis, como carvão mineral, por biomassa sólida poderia reduzir as emissões causadoras do aquecimento global em até 7,3 milhões de toneladas de CO₂/ano no Reino Unido.

O Brasil apresenta grande potencial para produção e exportação de pellets a partir de biomassa florestal. De acordo com Flizikowski (2012), para se iniciar estratégias que

combatam as mudanças climáticas é preciso quantificar as emissões dos gases do efeito estufa e as suas principais fontes de emissões.

O conhecimento do perfil das emissões a partir do inventário permite que a empresa possa traçar estratégias para redução das emissões, abrir novas oportunidades no mercado de baixo carbono e atrair investimentos para novos projetos (GHG PROTOCOL, 2009). Desta forma, o objetivo do trabalho é realizar as estimativas de emissão equivalente de CO₂ na produção de pellets de madeira em uma fábrica localizada na Região Sul do Brasil.

2 METODOLOGIA

O presente trabalho apresenta as estimativas de emissão de GEE de uma unidade produtora de pellets de madeira a ser instalada no município de Pinheiro Machado, estado de Rio Grande do Sul (Figura 01). Tal fábrica terá capacidade máxima de produção de até 600.000t de pellets por ano, com área de plantio de Eucalipto de 30.000ha e com consumo anual de madeira de 900.000t.

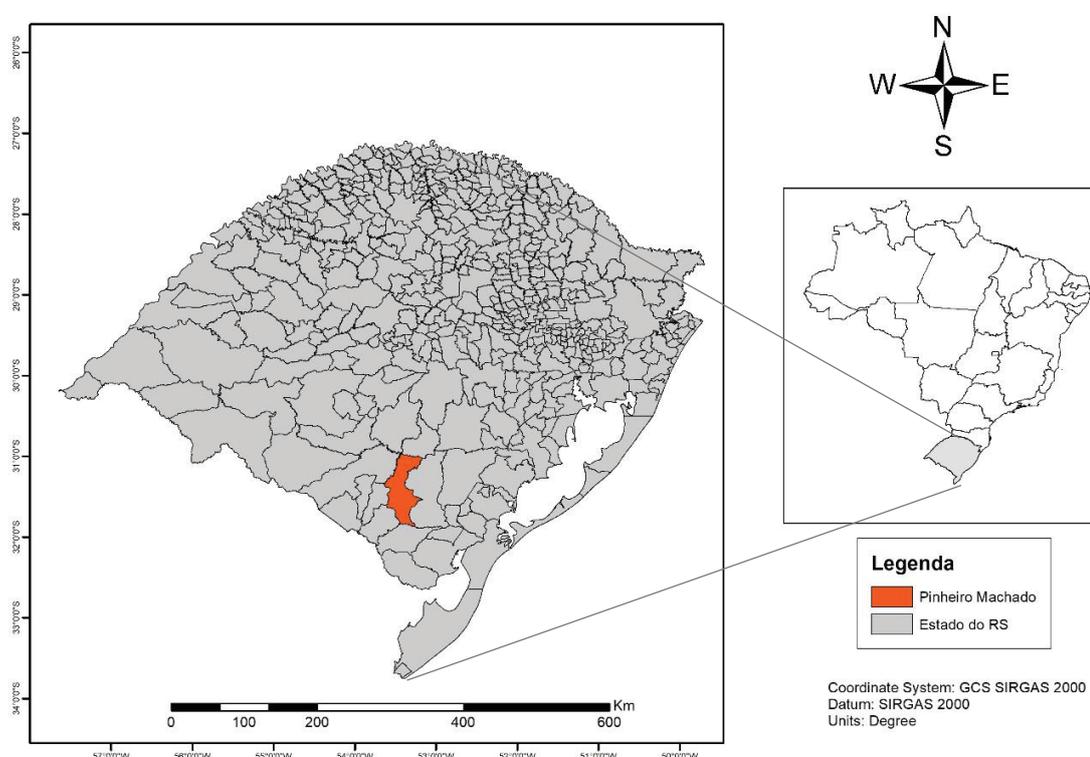


Figura 01: Localização da unidade produtora de pellets de madeira.

Para a realização dos cálculos das emissões dos gases do efeito estufa para a produção de pellets de madeira, a obtenção dos dados necessários foi realizada junto ao banco de dados da empresa produtora de pellets. Estes foram agrupados para cada uma das diferentes etapas de produção, conforme indicado abaixo:

- **Estabelecimento e manutenção da floresta:** Corresponde as atividades de todo ciclo de produção florestal do Eucalipto. No primeiro ano está relacionado as atividades silviculturais, formadas pela limpeza mecânica da área, subsolagem, aplicação de calcário, fertilizantes, plantio mecanizado e irrigação. A partir do segundo ano, corresponde as atividades de limpeza de aceiro e manutenção de estradas durante o ciclo de produção da floresta;
- **Corte, colheita e baldeio:** Corresponde ao corte raso ao final do ciclo de 7 anos de produção do Eucalipto através do uso de equipamentos agrícolas como *Harvester* e *Forwarder*;
- **Transporte rodoviário:** Corresponde ao transporte das toras com casca por caminhões das fazendas até a unidade industrial, numa distância média de 130km;
- **Processo Industrial:** Corresponde ao beneficiamento das toras da madeira através de processos mecânicos de descascamento, picagem, secagem, pelletização da biomassa e armazenamento em silos próprios para carregamento de vagões ferroviários;
- **Transporte ferroviário:** Corresponde ao carregamento e transporte via férrea dos pellets de madeira da unidade industrial até a área portuário no município de Rio Grande (RS), localizada a 180km da unidade industrial;
- **Operações portuárias:** Corresponde ao descarregamento dos vagões em moegas ferroviárias, transporte e armazenamento dos pellets em silos próprios para o carregamento de navios cargueiros.

Após o levantamento dos dados para cada uma das etapas, foi realizada a classificação de cada uma das fontes de emissão de GEE a partir do escopo e da categoria de fonte de emissão adequada, de acordo com a ferramenta GHG Protocol. Esta ferramenta foi desenvolvida pelo *World Resources Institute* (WRI) e é compatível com as normas ISO e com as metodologias do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). Dentro deste contexto, a ferramenta sofreu algumas adaptações considerando as características e o contexto a nível nacional.

De forma geral, as emissões são calculadas pela multiplicação do consumo de uma determinada fonte de emissão (ex: combustível fóssil, energia elétrica, etc) pelo fator de emissão, que corresponde a quantidade equivalente de GEE emitidos por unidade.

O Programa Brasileiro GHG Protocol classifica as fontes de emissão em três escopos, sendo eles: 1) emissões diretas da qual a organização possui controle ou propriedade; 2) emissões indiretas relacionadas a aquisição de energia; e 3) todas as outras emissões indiretas que não estejam no Escopo 02. Para efeitos desta estimativa, todas as emissões foram classificadas como diretas, ou seja, assumindo que a empresa terá controle ou propriedade das operações, com exceção da aquisição de energia, inserida no Escopo 02.

Para a categoria “atividades agrícolas” do GHG Protocol, foi utilizado a metodologia GHG Protocol da Agricultura (2015) para o cálculo das emissões descritas no Anexo 01, sendo elas: Aplicação Fertilizante Nitrogenado Sintético, Aplicação de Calcário, Aplicação de defensivos agrícolas, Emissão de N₂O proveniente de deposição atmosférica e Emissão de N₂O proveniente de lixiviação ou escoamento superficial.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do inventário de GEE no ciclo de produção de pellets de madeira (Tabela 01) mostram que a principal etapa emissora corresponde ao Transporte Rodoviário das toras das áreas de plantio até a indústria, com 33,65% das emissões totais, proveniente do consumo de combustíveis fósseis.

Tabela 01: Emissão total de CO₂e para cada etapa de produção de pellets de madeira.

Etapa	tCO₂e	% Emissão Total
Estabelecimento e Manutenção da Floresta	7.813,05	31,03
Corte, Colheita e Baldeio	4.527,16	17,98
Transporte Rodoviário	8.471,72	33,65
Processo Industrial	3.403,38	13,52
Transporte Ferroviário	858,00	3,41
Atividades Portuárias	106,06	0,42
TOTAL	25.179,4	100

Em segundo lugar encontra-se a etapa de Estabelecimento e Manutenção da Floresta, com 31,03% das emissões. Esta etapa tem como principal fonte de emissão a utilização de fertilizantes nitrogenados e calcário, além do uso de combustíveis fósseis nas máquinas e implementos agrícolas.

Por outro lado, a etapa com menor emissão corresponde as Atividades Portuárias, onde as emissões estão relacionadas ao uso de energia elétrica do grid para o transporte e armazenamento dos pellets e consumo de combustíveis fósseis. A emissão do grid brasileiro é considerada baixa pois tem como principal fonte as usinas hidroelétricas, sendo assim, a principal fonte de emissão no Porto são os combustíveis fósseis para transporte de pessoal e máquinas pontuarias.

Além disso, o processo industrial para produção de pellet de madeira envolve etapas mecânicas para preparação das partículas e pelletização, com consumo médio de 224kWh/ t de pellets produzido. Para a indústria analisada, foi considerado a autoprodução de energia elétrica fotovoltaica para abastecer a área indústria, sendo assim, suas emissões são consideradas nulas. O uso dos painéis fotovoltaicos garante uma redução anual das emissões de 8.295,84 t de CO_{2e} ao substituir a energia da rede nacional.

Considerando as categorias de emissões do GHG Protocol, conforme observado na Tabela 02, a principal fonte de emissão para produção de pellets diz respeito a queima de biomassa residual (casca, galhos e pontas) na caldeira para geração de calor para o processo de secagem das partículas de madeira, dentro da etapa de Processo Industrial.

Apesar do alto valor, as emissões biogênicas são geradas por ciclo biológico de fixação de carbono (fotossíntese), considerada assim emissões neutras em termos de impacto ambiental e uma importante contribuição para a redução das emissões de GEE (GHG Protocol, 2009). Desta forma, para efeitos das mudanças climáticas, o processo de secagem dos pellets tem emissão 3.379,080 t de CO_{2e} por ano dentro da categoria de Combustão Estacionária, correspondendo a 13,42% das emissões totais.

Tabela 02: Emissões CO_{2e} para produção de pellets de madeira.

	Categoria de Emissão	tCO_{2e}	% tCO_{2e}	tCO_{2e} biogênico
ESCOPO 01	Combustão estacionária	3.379,08	13,4	174.174,00
	Combustão móvel	15.287,9	60,7	1.796,182
	Emissões fugitivas			
	Processos industriais			
	Atividades agrícolas	6.412,4	25,5	
	Mudanças no uso do solo			
	Resíduos sólidos			
	Efluentes			
	TOTAL Escopo 01	25.079,4	99,60	175.970,182
ESCOPO 02	Categoria de Emissão	tCO_{2e}	% tCO_{2e}	tCO_{2e} biogênico
	Eletricidade (localização)	99,99	0,40	
	Perdas T&D (localização)			
	Compra de energia térmica			
	Eletricidade (escolha de compra)			
	Perdas T&D (escolha de compra)			
	TOTAL Escopo 02	99,99	0,40	
	TOTAL GERAL	25.179,45	100	175.970,182

Considerando as emissões não-biogênicas, a principal fonte de emissão CO_{2e} corresponde a combustão móvel, com 15.287,988 t por ano, ou seja, 60,71% das emissões totais. Tais emissões são provenientes do uso de combustíveis fósseis nas etapas de Estabelecimento e Manutenção da Floresta, Corte, Colheita e Baldeio, Transporte Rodoviário e Transporte Ferroviário.

Dentro da categoria de Combustão Móvel (Figura 02), o Transporte Rodoviário das toras e biomassa residual emite anualmente 8343,40t de CO₂, correspondendo a 55,47 % das emissões de combustão móvel.

Em seguida, a Colheita Florestal apresenta como emissões relacionadas principalmente na queima do diesel nos equipamentos de corte (*Harvester*) e baldeio (*Forwarder*) e no transporte de módulos, totalizando 4448.79t de CO₂, ou seja, 29.58% das emissões de combustão móvel.

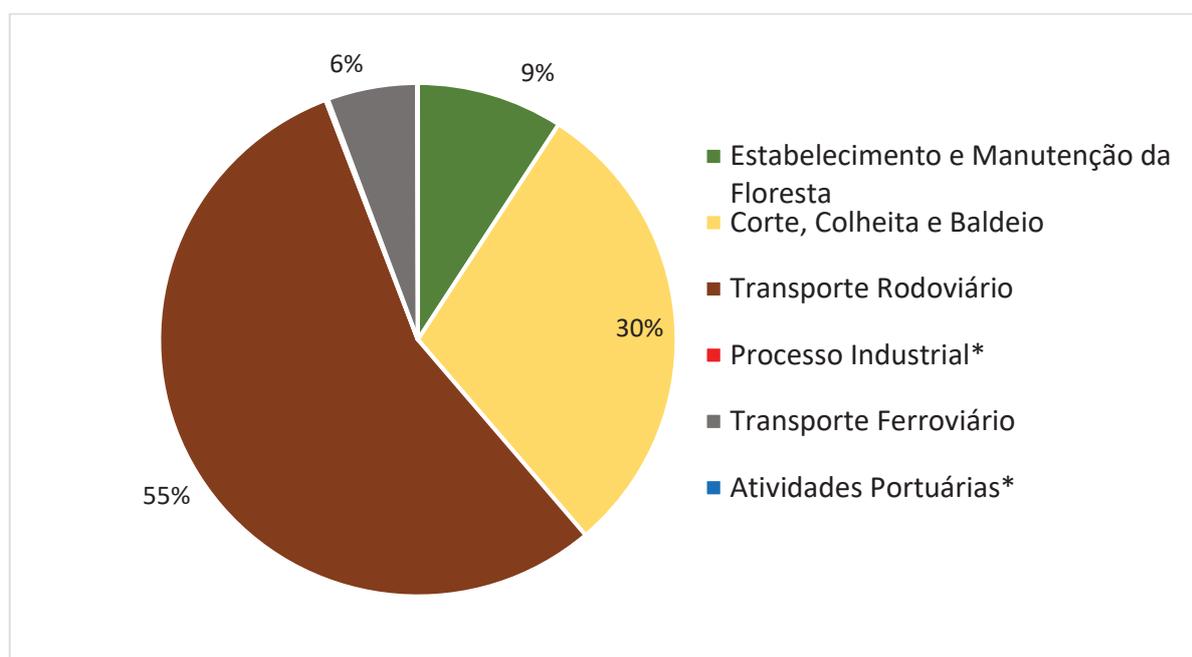


Figura 02: Emissão por Combustão Móvel para cada uma das etapas de produção de pellets de madeira.

*Valores menores que 1%

A segunda maior fonte de emissão de GEE não-biogênicas diz respeito as atividades agrícolas, com 6.412, 519 t / ano, correspondendo a 25,46% das emissões totais. De acordo com Brandão et al (2012) metade das emissões do originárias das atividades agrícolas correspondem as queimadas para limpeza do terreno antes do plantio e do uso de fertilizantes nitrogenados, do qual produz o N_2O . Para este estudo, a emissão corresponde basicamente ao uso de fertilizantes nitrogenados e calcário.

Dentro das emissões do Escopo 02, a categoria de compra de eletricidade (localização) representa menos de 1% das emissões totais, basicamente corresponde ao uso de energia elétrica do grid nas Atividades Portuárias.

Apesar da matriz elétrica brasileira apresentar baixa emissão de GEE, de acordo com Sanquetta et al. (2017), no período de 2010 a 2014 houve um aumento expressivo no fator de emissão pelo fato do aumento da utilização de fontes fósseis para geração de energia, devido principalmente a crise hídrica, da qual se estende até os dias atuais. Desta forma, há uma necessidade latente para o aumento da participação das energias renováveis para diminuir as emissões de GEE no setor elétrico.

De modo geral, considerando a capacidade de produção da unidade industrial (600.000t de pellets/ ano) e o as emissões para o Ciclo de Produção de 25.179,45t CO_{2e}, tem-se como referência o valor de 41,97 kg CO_{2e} por tonelada de pellets produzido.

Furtula et. al (2017) ao analisarem o ciclo de produção de pellets de madeira na Sérvia obtiveram resultados semelhantes de emissões para as etapas do Estabelecimento da Cultura (12Kg CO_{2e}/t pellets), Colheita (11Kg CO_{2e}/t pellets) e Transporte da matéria-prima (18Kg CO_{2e}/t pellets. Por outro lado, o processo industrial e transporte dos pellets apresentaram valores mais elevados se comparados com a unidade em estudo, alcançando 203 e 49kg CO_{2e}/t pellets, respectivamente. Isso se deve principalmente pelo alto fator de emissão do grid do país que é formado por mais de 68% fontes fósseis (EIA, 2021) e pelo transporte dos pellets ser realizado por caminhões, ao invés de ferrovia.

Jonker et al (2014), considerando o estabelecimento e manutenção da floresta, desbaste ao 12 anos e colheita aos 20 anos no sudeste dos EUA, obtiveram emissões de 71,04 CO_{2e}/t pellets, comparados com emissões de 20,72 CO_{2e}/t pellets no estudo, considerando desde o estabelecimento à colheita florestal. A diferença de valores está relacionada a diferenças no manejo florestal, que conta com desbastes e aplicação de fertilizantes adicionais.

Além de apresentar valores relativamente baixos se comparados com outros estudos, uma unidade industrial com capacidade máxima de produção de pellets (17GJ/t) pode substituir até 420.000t de carvão por ano (23,9GJ/t), evitando emissão de 959.650t de CO_{2e} por ano.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para se iniciar estratégias que combatam as mudanças climáticas, o inventário do ciclo de produção de pellets de madeira se faz necessário, tanto para identificar oportunidades de mitigação quanto para atrair futuros investimentos. Conforme as primeiras estimativas, a principal etapa de emissão está relacionada ao Transporte Rodoviário seguido pelo Estabelecimento e Manutenção da Floresta. Considerando as fontes de emissão do GHG Protocol, a principal fonte de emissão está ligada a Combustão Móvel. A substituição de tais combustíveis por biocombustíveis reduziria ainda mais as emissões de GEE, que para a unidade avaliada é de 41,97 kg CO_{2e} por tonelada de pellets.

REFERÊNCIAS

BERTOLAMI, O. FRANCISCO, F. Alterações climáticas e o Sistema Terrestre. **Revista de Ciência Elementar**, v. 8, n. 4, 2020.

BIOENERGY EUROPE, 2021. Statistical report. Pellets report. Disponível em: <https://bioenergyeurope.org/resources.html>. Acesso: 20 de novembro de 2021.

BRANDÃO, F. S. et al. O papel do agronegócio brasileiro na redução de emissão de gases de efeito estufa (GEE). **Revista Agro@ambiente Online**, v. 6, n. 1, p. 84-90, 2012.

BRASIL, 2015. Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (INDC) Brasileira apresentada ao Secretariado da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). Disponível em: http://www.itamaraty.gov.br/images/ed_desenvsust/BRASIL-iNDCportugues.pdf. Acesso em: 23 de agosto de 2021.

CHUM H, et al. In: IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, p. 209–331. **Cambridge University Press**, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2011.

DE GOUELLO, C. et al. Brazil Low-carbon Country Case Study. **Washington: The World Bank Group**, 2010.

EIA. Energy information administration, **Independent Statistics and Analysis**, 2021. Disponível em: <https://www.eia.gov/international/data/world/electricity/electricity-generation>. Acesso em: 28 de novembro de 2021.

FLIZIKOWSKI, L.C. Estimativa de emissões de dióxido de carbono na construção civil e neutralização com espécies florestais: um estudo de caso. 2012. 132 f. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

FURTULA, Mladen A. et al. Energy consumption and equivalent emission of CO₂ at wood pellets production in Serbia. **Thermal Science**, v. 21, n. 5, p. 1905-1915, 2017.

GHG PROTOCOL. Metodologia do GHG Protocol da agricultura, 2015. Disponível em: < https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards_supporting/Metodologia.pdf >. Acesso em: 26 de Agosto de 2021.

GHG PROTOCOL. Guia para a elaboração de inventários corporativos de emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE), 2009.

JESWANI, H. K.; WHITING, A.; AZAPAGIC, A. Environmental and economic sustainability of biomass heat in the UK. **Energy Technology**, v. 8, n. 11, p. 1901044, 2020.

JONKER, Jan Gerrit Geurt; JUNGINGER, Martin; FAAIJ, Andre. Carbon payback period and carbon offset parity point of wood pellet production in the South-eastern United States. **Gcb Bioenergy**, v. 6, n. 4, p. 371-389, 2014.

ROCHA, G.O. et al. Química sem fronteiras: o desafio da energia. **Química Nova**, São Paulo, v. 36, n. 10, p. 1540-1551, 2013.

SANQUETTA, C. R. et al. Emissões de dióxido de carbono associadas ao consumo de energia elétrica no Paraná no período 2010-2014. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 2, n. 1, p. 1-6, 2017.

SERVIÇO GEOLÓGICO BRASILEIRO. Carvão mineral. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/CPRM-Divulga/Canal-Escola/Carvao-Mineral-2558.html>. Acesso em: 17 de novembro de 2021.

United Nations Development Programme (UNDP). Historic Paris Agreement on Climate Change - 195 Nations Set Path to Keep Temperature Rise Well Below 2 Degrees Celsius. Disponível em: https://www.bb.undp.org/content/barbados/en/home/presscenter/articles/2015/12/14/historic-paris-agreement-on-climate-change-195-nations-set-path-to-keep-temperature-rise-well-below-2-degrees-celsius.html?utm_source=EN&utm_medium=GSR&utm_content=US_UNDP_PaidSearch_Brand_English&utm_campaign=CENTRAL&c_src=CENTRAL&c_src2=GSR&qclid=Cj0KCQjw0emHBhC1ARIsAL1QGNfB8uNdd-XI4ak4nKdxi9blzMF3L_I0PJxCGeHB0k4nPY4MxurciTcaAgOsEALw_wcB> Acesso em: 23 de Julho de 2021.

ZIMBRES, Barbara et al. **Nota Metodológica SEEG 8**, 2021.

ANEXO 01

ATIVIDADES AGRÍCOLAS	
Aplicação Fertilizante Nitrogenado Sintético	$N_2O_{fert} = N_{fert} \times (1 - FRAC_{gasf}) \times EF$
<ul style="list-style-type: none"> • N_2O_{fert} é a emissão de óxido nitroso associada à aplicação de fertilizantes nitrogenados sintéticos (Kg N_2O-N / Kg de adubo aplicado); • N_{fert} é a quantidade de N aplicado como fertilizante nitrogenado (Kg); • $FRAC_{gasf}$ é a fração do N aplicado que volatiliza na forma de NH_3 e NO_x (0,9); • EF é o fator de emissão (0,003). 	
Aplicação de Calcário	$CO_{2cal} = (Q_{cal} \times FE_{cal} + Q_{dol} \times FE_{dol}) \times 44/12$
<ul style="list-style-type: none"> • CO_{2cal} é a emissão de CO_2 associada à aplicação de calcário no solo (kg CO_2); • Q_{cal}: a quantidade anual de calcário calcítico ($CaCO_3$) aplicado ao solo por ano (kg); • Q_{dol}: quantidade anual de calcário dolomítico ($CaMg(CO_3)_2$) (Mg) aplicado ao solo por ano (kg); • FE_{cal} é o fator de emissão (0,12); • FE_{dol} fator de emissão (0,13); • 44/12 é o fator de conversão de C para CO_2 (adimensional). 	
Aplicação de defensivos agrícolas	$E_{da} = Q_{herb} \times FE_{herb} + Q_{ins} \times FE_{ins} + Q_{fung} \times FE_{fung}$
<ul style="list-style-type: none"> • E_{da} é a emissão de GEE associada à aplicação de defensivos agrícolas no solo (kg CO_2e); • Q_{herb} é a quantidade de herbicida aplicado no solo (kg); • FE_{herb} é o fator de emissão de herbicida (10,261 kg CO_2e /kg produto); • Q_{ins} é a quantidade de inseticida aplicado no solo (kg); • FE_{ins} é o fator de emissão de inseticida (16,675 kg CO_2e /kg produto); • Q_{fung} é a quantidade de fungicida aplicado no solo (kg); • FE_{fung} é o fator de emissão de fungicida (10,114 kg CO_2e /kg produto). 	
Emissão de N_2O proveniente de deposição atmosférica	$N_2O = [(N_{fert} \times FRAC_{gasf}) + (N_{res} \times FRAC_{gasm})] \times EF$
<ul style="list-style-type: none"> • N_2O é a emissão de óxido nitroso associada à deposição atmosférica (kg N_2O); • N_{fert} é a quantidade de N aplicada na forma de fertilizante sintético (kg de N/ano); • $FRAC$ é a fração do N aplicada na forma de fertilizante sintético que volatiliza como NH_3 e NO_x (0,1 kg NH_3/kg N aplicado); • N_{res} é a quantidade de N contido nos resíduos aplicados aos solos como fertilizante (kg de N/ano); • $FRAC_{gasm}$ é a fração do N aplicada como resíduos que volatiliza como NH_3 e NO_x (0,2 kg NH_3/ kg N excretado); • EF é o fator de emissão para a deposição atmosférica (0,01 kg N_2O /kg NH_3 emitido). 	
Emissão de N_2O proveniente de lixiviação ou escoamento superficial	$N_2O = (N_{fert} + N_{res}) \times FRAC_{leach} \times FE$
<ul style="list-style-type: none"> • $N_2O(L)$ é a emissão de óxido nitroso associada à lixiviação ou escoamento superficial (kg N_2O-N); • N_{fert} é a quantidade de N aplicada na forma de fertilizante sintético (kg de N/ano); • N_{res} é a quantidade de N contido nos resíduos aplicados aos solos como fertilizante (kg de N/ano); 	

<ul style="list-style-type: none"> • $FRAC_{leach}$: fração do N adicionado ao solo que é perdida por lixiviação ou escoamento superficial (0,3 kg N lixiviado ou escoado/kg de fertilizante); • EF= fator de emissão de N_2O para lixiviação/escoamento (0,025 kg N_2O/kgN lixiviado/escoado). 	
Consumo de combustível	$CO_{2diesel} = Q_{diesel} \times FE_{diesel}$
<ul style="list-style-type: none"> • $CO_{2diesel}$ é a emissão de CO_2 associada ao consumo de óleo diesel (Kg CO_2e); • Q_{diesel} é a quantidade de óleo diesel consumida (L); • FE_{diesel} é o fator de emissão do óleo diesel (kg CO_2/L): <ul style="list-style-type: none"> ○ 2,681 kg CO_2/l ○ 0.0003 kg CH_4/l ○ 0,00002 kg N_2O/l 	