



GREENHOUSE
GAS PROTOCOL

Metodologia do GHG Protocol da agricultura

Realização:



WRI BRASIL



UNICAMP

2015



SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	3
LISTA DE TABELAS	3
1. INTRODUÇÃO.....	6
1.1. Ferramenta de Cálculo.....	7
2. GASES DE EFEITO ESTUFA	8
2.1. O dióxido de carbono equivalente (CO _{2e})	9
3. REPORTE DAS EMISSÕES	10
3.1. Definição dos escopos	12
3.2. Carbono biogênico	13
3.3. Emissões e remoções de uso e ocupação do solo	14
3.4. Emissões líquidas: Indicador de eficiência.....	14
3.5. Outros gases	15
4. ESCOLHA DA METODOLOGIA E NÍVEIS ADOTADOS (TIER 1, TIER 2 E TIER 3)..	15
5. TEMPO DE RESPOSTA DO CARBONO NO SOLO	16
6. METODOLOGIAS DE CÁLCULO	17
6.1. Aplicação de fertilizantes orgânicos.....	18
6.2. Aplicação de fertilizantes nitrogenados sintéticos (exceto ureia).....	20
6.3. Aplicação de calcário	21
6.4. Aplicação de ureia.....	22
6.5. Cultivo de arroz	23
6.5.1. Cultivo de arroz (Rio Grande do Sul).....	27
6.6. Dejetos de animais em pastagens.....	28





6.7.	Fermentação entérica	29
6.8.	Manejo de dejetos de animais (exceto animais em pastagem)	32
6.9.	Manejo de dejetos.....	34
6.10.	Fontes secundárias de N ₂ O (deposição atmosférica e lixiviação ou escoamento superficial)	40
A.	Emissão de N ₂ O proveniente de deposição atmosférica	40
B.	Emissão de N ₂ O proveniente de lixiviação ou escoamento superficial.....	41
6.11.	Mudança de uso do solo e sistemas de manejo	42
6.12.	Queima de Resíduos Agrícolas.....	43
6.13.	Resíduos de colheitas	46
6.14.	Operações Mecanizadas.....	48
A.	Consumo de combustível	48
B.	Estimativas sobre as operações	50
6.15.	Energia Elétrica.....	55
	Referências bibliográficas.....	57

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.	Modelo de reporte de emissões de GEE	11
-----------	--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Conversão de Emissões em GWP-100 e GTP-100	10
Tabela 2.	Parâmetros para aplicação de fertilizantes orgânicos	19
Tabela 3.	Percentual de N e fatores de emissão compostos para adubos orgânicos.....	19
Tabela 4.	Tabela fatores de emissão fertilizantes nitrogenados sintéticos.....	20



Tabela 5. Fatores de emissão do calcário.....	21
Tabela 6. Fatores de emissão de dióxido de carbono da aplicação de ureia	23
Tabela 7. Fatores de escala dos diferentes ecossistemas de arroz	26
Tabela 8. Fatores de escala para incrementos orgânicos	26
Tabela 9. Fator de emissão composto baseado no preparo do solo para o cultivo do arroz no estado do Rio Grande do Sul.	27
Tabela 10. Fator de emissão para dejetos de animais em pastagens	28
Tabela 11. Fatores de emissão de metano para fermentação entérica de gado de corte, machos e jovens, fêmeas e vacas leiteiras.....	30
Tabela 12. Fatores de emissão de metano por fermentação entérica por outras categorias animais.....	32
Tabela 13. Valores default para fator de emissão de N ₂ O de manejo de dejetos animal por tipo de manejo	33
Tabela 14. Valores para fator de emissão de N ₂ O de manejo de dejetos animal por tipo de animal	34
Tabela 15. Fatores de emissão de metano para manejo de esterco de bovinos e suínos	35
Tabela 16. Fatores de emissão de metano para manejo de esterco de asininos, muaras, bubalinos, caprinos, equinos, ovinos e aves.....	38
Tabela 17. Parâmetros para o cálculo de emissões de N ₂ O provenientes de deposição atmosférica.	41
Tabela 18. Parâmetros para o cálculo de emissões de N ₂ O provenientes de lixiviação ou escoamento superficial	42
Tabela 19. Taxas de alteração (Mg C/ha/ano) para os principais sistemas de manejo do solo.....	42
Tabela 20. Taxa de emissão de gases liberados durante a queima de resíduos agrícolas para o cálculo de emissões	45





Tabela 21. Parâmetros para queima de resíduos vegetais.....	46
Tabela 22. Fatores utilizados para a determinação do N ₂ O provenientes de resíduos das culturas	47
Tabela 23. Fatores de emissão para queima de óleo diesel.....	49
Tabela 24. Tabela da alocação de emissões nos escopos.	49
Tabela 25. Operações mecanizadas para a cultura de algodão.....	50
Tabela 26. Operações mecanizadas para a cultura de arroz.....	51
Tabela 27. Operações mecanizadas para a cultura de feijão	51
Tabela 28. Operações mecanizadas para a cultura de milho	52
Tabela 29. Operações mecanizadas para a cultura de soja	53
Tabela 30. Operações mecanizadas para a cultura de trigo.....	53
Tabela 31. Operações mecanizadas para a cultura de cana-de-açúcar	54
Tabela 32. Fatores de emissão médios mensais e anuais entre 2006 à 2013	55





1. INTRODUÇÃO

O World Resources Institute (WRI) tem criado, em parceria com o World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), protocolos internacionalmente aceitos para o desenvolvimento de inventários corporativos de gases de efeito estufa (GEE) há mais de 13 anos. Esses padrões, denominados genericamente de GHG Protocol, definem as melhores práticas internacionalmente aceitas para o desenvolvimento de inventários de GEE corporativos, de projetos ou de produtos.

Ao longo dos últimos anos, a demanda por diretrizes técnicas específicas para o setor agrícola mundial cresceu consideravelmente, gerados por características intrínsecas deste macro-setor. No contexto brasileiro, as emissões estimadas dos setores agrícolas e de mudanças no uso do solo contribuem, respectivamente, com 35% e 22% das emissões nacionais¹. Por estes motivos, o WRI iniciou em 2012 um projeto de 2 anos para criar novos recursos técnicos que fornecerá às empresas e legisladores do Brasil ferramentas para mensurar e gerir de forma mais efetiva emissões agrícolas, o Projeto GHG Protocol Agrícola. No período compreendido entre 2012 e 2013, o projeto gerou dois recursos técnicos, as Diretrizes Agrícolas Brasileiras e a Ferramenta de Cálculo.

As Diretrizes Agrícolas Brasileiras (DAB) foram elaboradas através de um processo de construção conjunta com diversas organizações e especialistas do setor e consiste em um protocolo de contabilização de emissões agrícolas. Este propõe uma estrutura consistente e uniforme para o mapeamento e delimitação das fontes de emissões que devem ser incluídas no inventário de GEE de uma empresa do setor agrícola ou de uma unidade rural, assim como uma forma de reporte dos dados de emissão destes inventários.

A Ferramenta de Cálculo é um produto proveniente de uma parceria entre WRI, Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) e Unicamp (Universidade Estadual de Campinas), que permite o cálculo das emissões de GEE utilizando metodologias específicas para a realidade nacional e focadas em fontes de emissão não mecânicas. É imprescindível que as DAB e a Ferramenta de Cálculo sejam utilizadas em conjunto para a elaboração de um inventário de GEE

¹ Segundo as Estimativas Anuais de emissões de gases e efeito estufa no Brasil, MCTI 2013. Disponível em http://www.mct.gov.br/upd_blob/0228/228468.pdf





agrícola, garantindo a consistência dos resultados de emissões de GEE com as diretrizes propostas pelo Projeto GHG Protocol Agrícola.

Combinados, estes recursos permitem aos produtores, assim como às outras empresas das cadeias de valor da agricultura, pecuária, silvicultura, entre outras, incluir o reporte e a mitigação de emissões de GEE em suas estratégias de produção e planejamento anual. Especificamente, eles permitirão que as empresas identifiquem oportunidades de redução de emissões de GEE, rastreiem progresso em direção de metas de redução, comuniquem os resultados aos investidores e aos consumidores finais, e respondam às demandas nacionais e internacionais por produtos menos intensivos em carbono.

1.1. Ferramenta de Cálculo

A Ferramenta de Cálculo foca nas fontes de emissão e remoção de GEE na fazenda, abrangendo as seguintes áreas:

- Adubação orgânica
- Aplicação de calcário e gesso
- Aplicação de fertilizante nitrogenado sintético
- Aplicação de ureia
- Consumo de energia elétrica
- Cultivo de arroz
- Dejetos de animais em pastagens
- Fermentação entérica
- Fontes secundárias (deposição atmosférica e lixiviação ou escoamento superficial)
- Manejo de dejetos
- Manejo de dejetos de animais (exceto animais em pastagens)
- Mudança de uso do solo
- Operações mecanizadas
- Queima de resíduos vegetais
- Resíduos das culturas





Esses itens estão de acordo com os métodos de cálculo do inventário brasileiro de gases de efeito estufa, coordenado pelo MCT&I. O item 6 do presente documento apresenta os detalhes destas metodologias de cálculo.

A alocação de emissões e remoções realizada pela ferramenta de cálculo considera o produtor como seu público-alvo. Nos casos em que compradores, processadores e consumidores utilizem os resultados fornecidos pela Ferramenta, é necessário um processo de realocação das emissões no escopo pertinente (ver item 3 para mais detalhes).

2. GASES DE EFEITO ESTUFA

O clima na Terra é regulado pelo fluxo constante de energia solar que atravessa a atmosfera na forma de luz visível. Parte dessa energia é devolvida pela Terra na forma de radiação infravermelha. Os GEE são gases presentes na atmosfera terrestre que têm a propriedade de bloquear parte dessa radiação infravermelha. Muitos deles, como vapor d'água, dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e ozônio (O₃), existem naturalmente na atmosfera e são essenciais para a manutenção da vida no planeta, pois sem eles a Terra seria, em média, cerca de 30°C mais fria².

Como consequência das atividades antrópicas na biosfera, o nível de concentração de alguns desses gases, como CO₂, CH₄ e N₂O, vem aumentando na atmosfera. Além disso, passou a ocorrer emissão de outros GEE, compostos químicos produzidos somente pelo homem, tais como clorofluorcarbonos (CFCs), hidrofluorcarbonos (HFCs), hidrofluorclorocarbonos (HCFCs), perfluorcarbonos (PFCs) e hexafluoreto de enxofre (SF₆). Como estipulado pelo GHG Protocol, os GEE a serem quantificados e reportados são:

- Dióxido de carbono (CO₂)
- Metano (CH₄)
- Óxido nitroso (N₂O)

² Fonte:

- Acot, P. Breve história do Clima. Ciência e Ambiente. Campinas SP. v34, p13-24 ,2007.
- Marin, F. R.; Assad, E. D.; Pilau, F. G.; Clima e agricultura: Introdução à climatologia para ciências ambientais-Campinas SP Embrapa Informática Agropecuária,2008, 127 p. 1.edição





- Hexafluoreto de enxofre (SF₆)
- Hidrofluorcarbonos (HFCs)
- Perfluorcarbonos (PFCs)
- Trifluoreto de Nitrogênio (NF₃)

Os cálculos devem incluir apenas as emissões antrópicas por fontes e remoções por sumidouros de GEE não controlados pelo Protocolo de Montreal. Por isso, não se deve incluir os gases CFCs e os HCFCs, que destroem a camada de ozônio, os quais já são controlados pelo Protocolo de Montreal.

Os GEE cujas emissões antrópicas e remoções são tipicamente relacionados às atividades de uma cadeia agrícola são o CO₂, CH₄, N₂O. Alguns outros gases, como monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e outros compostos carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e outros compostos orgânicos voláteis não metânicos (NMVOC) são considerados gases precursores do efeito estufa, pois possuem influência nas reações químicas que ocorrem na atmosfera. Desta maneira, a ferramenta também realiza cálculos associados às emissões antrópicas dos precursores quando disponíveis, e eles devem ser reportados separadamente dos escopos, conforme indicado no descrito no item 3.

2.1. O dióxido de carbono equivalente (CO₂e)

Dióxido de carbono equivalente (CO₂e) é uma métrica utilizada para equalizar as emissões de vários GEE com base na relativa importância de cada gás, em relação ao CO₂, na produção de uma quantidade de energia (por área unitária) vários anos após um impulso de emissão.

Para o cálculo do CO₂e são utilizadas algumas conversões, sendo que a mais utilizada é o GWP (Global Warming Potential) proposto pelo IPCC. O Quarto Relatório de Avaliação do IPCC (AR4)³ já examina métricas alternativas ao GWP e o Quinto Relatório de Avaliação do IPCC

³ Disponível em http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html



(AR5)⁴ aprofunda essa análise. Entre as métricas propostas apresentadas no AR4 está o *Global Temperature Potential* – GTP⁵.

O relato, segundo as Diretrizes Agrícolas Brasileiras, deve ser realizado em unidades de massa de cada gás de efeito estufa utilizando a métrica do GWP-100 do AR4, seguindo as diretrizes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), conforme Tabela 1.

Tabela 1. Conversão de Emissões em GWP-100 e GTP-100

Gás	GTP-100	GWP-100
CO ₂	1	1
CH ₄	5	25
N ₂ O	270	298
HFC-125	1.113	3.500
HFC-134a	55	1.300
HFC-143a	4.288	1.430
HFC-152a	0,1	124
CF ₄	10.052	7.390
C ₂ F ₆	22.468	12.200
SF ₆	40.935	22.800

3. REPORTE DAS EMISSÕES

O reporte das emissões deve ser feito de acordo com as DAB e, portanto, tem a estrutura apresentada abaixo:

⁴ Disponível em www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/#.UtRjZfRDvX0

⁵ Zhang, H et al. 2011. A study of radiative forcing and global warming potential of Hydrofluorcarbon. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*. V 112. P. 220-229. 2011.



1. Resumo das emissões das empresas

Escopo	Categoria	Emissões em toneladas			Emissões em toneladas de CO ₂ equivalente (t CO ₂ e)			
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Total
Escopo 1	Fontes mecânicas							
	Fontes não mecânicas							
	Mudanças do uso do solo							
Escopo 2	Compra de energia							
Escopo 3	Upstream e downstream							
Total								
Carbono biogênico	Uso do solo							
	Uso de biocombustíveis							
Total								

2. Sequestro de carbono (t CO₂e)

Categoria	Sequestro em toneladas de CO ₂ equivalente (t CO ₂ e)
Mudança no uso do solo	
Uso do solo	
Total	

3. Emissões líquidas (t CO₂e)

Total de emissões dos escopos (t CO ₂ e)	Total de emissões de carbono biogênico (t CO ₂ e)	Total de sequestro de carbono (t CO ₂ e)	Emissões líquidas (t CO ₂ e)
	+	-	=

4. Outros gases

Gás	Emissão (tonelada)

Figura 1. Modelo de reporte de emissões de GEE



3.1. Definição dos escopos

As emissões são divididas três escopos, que são classificados de acordo com o grau de responsabilidade ou controle da organização inventariante perante a fonte das emissões – fontes diretas (fontes que pertencem ou são controladas pela organização inventariante) e fontes indiretas (fontes que pertencem ou são controladas por outra organização, mas são resultantes das atividades da organização inventariante). Essa divisão deve ser realizada de forma criteriosa e transparente, pois permite uma gestão efetiva das emissões de GEE e pode auxiliar em uma gestão dos riscos e oportunidades de GEE envolvendo toda a cadeia de valor. As categorias são:

Escopo 1: São emissões diretas advindas de fontes da organização inventariante ou controladas por ela. De acordo com as DAB existem três subdivisões dentro do Escopo 1:

- Fontes mecânicas – fontes de emissão que consomem combustível ou eletricidade e, portanto, emitem emissões de GEE pelo processo da combustão (na geração de energia ou no consumo de combustível). Exemplos de fontes mecânicas incluem equipamentos de colheita e caminhões para transporte.
- Fontes não mecânicas – são fontes que emitem GEE por processos bioquímicos e têm uma grande variação de acordo com as condições bioclimáticas sob as quais a fonte de emissão está submetida. Essas emissões, muitas vezes, estão ligadas aos ciclos de nitrogênio e carbono. Exemplos de fontes não mecânicas incluem fermentação entérica do gado e calagem do solo.
- Mudanças no uso do solo - este tipo de emissão ocorre quando há supressão de vegetação nativa para uso posterior da área para outros fins. As emissões advindas desta prática são consideradas não renováveis, pois é considerado que há uma substituição permanente de um reservatório de carbono antigo, relativamente constante e auto regenerativo por um reservatório geralmente de dimensão inferior e não auto regenerativo.

O relato de Escopo 1 é obrigatório segundo as DAB.





Escopo 2: Emissões indiretas provenientes da aquisição de energia elétrica e térmica que é consumida pela empresa. Nesta categoria são incluídas as emissões de GEE relativas à geração de energia elétrica comprada pela organização.

O relato de Escopo 2 é obrigatório segundo as DAB.

Escopo 3: Todas as outras emissões indiretas, não relatadas no Escopo 2. As emissões do Escopo 3 são uma consequência das atividades da empresa, mas ocorrem em fontes que não pertencem ou não são controladas pela empresa. As fontes de emissão escopo 3 são ainda classificadas em 15 subcategorias, 8 a montante (upstream) e 7 a jusante (downstream), conforme a diretrizes do GHG Protocol Corporate Value Chain (Scope 3) Standard⁶.

O relato de Escopo 3 é opcional segundo as DAB.

3.2. Carbono biogênico

Uma proporção significativa das emissões de CO₂ provém da queima de biomassa (material biológico feito de carbono, hidrogênio e oxigênio), especialmente nas atividades produtivas relacionadas ao setor agrícola. Queimar biomassa resulta em emissões consideradas neutras em termos de impacto climático, pois este CO₂ é gerado através de um ciclo biológico (e não um ciclo geológico, como no caso do CO₂ de origem fóssil). Nos termos do atual Protocolo de Quioto, o uso de biomassa e de seus subprodutos como combustíveis alternativos é considerado uma importante contribuição para a redução nas emissões de GEE.

As emissões de carbono biogênico são divididas em duas categorias:

- Uso do solo – emissões dos solos, decomposição de matéria orgânica morta e queimadas de resíduos agrícolas.
- Uso de biocombustível – emissões do uso de biocombustíveis.

A fixação biológica do carbono ocorre através da fotossíntese e, quando realizada, reduz temporariamente a concentração de CO₂ na atmosfera. Dessa forma, o incremento de carbono

⁶ Disponível em <http://www.ghgprotocol.org/standards/scope-3-standard>



em tecido vegetal e solo deve ser contabilizado como remoção biogênica de CO₂. Exemplos: aumento do estoque de carbono no solo, adubação verde, entre outros.

Importante ressaltar que, a queima ou corte de biomassa da vegetação nativa advinda de mudanças no uso da terra (ou seja, de desmatamento), não é considerada neutra em termos de impacto climático e deve ser reportada dentro dos escopos 1 ou 3.

De acordo com as DAB, o carbono biogênico é de relato obrigatório.

3.3. Emissões e remoções de uso e ocupação do solo

Essa categoria abrange todo o carbono emitido ou removido da atmosfera por atividades realizadas diretamente pela empresa inventariante. A remoção de carbono do solo contempla o acúmulo de carbono devido a Mudanças do uso do solo (ex. conversão de área degradada para sistemas agrícolas ou pastagem melhorada) e também mudanças de sistemas de manejo (ex. conversão de sistema convencional para plantio direto). A emissão de carbono do solo contempla a perda de carbono devido a Mudanças do uso do solo (ex. sistema plantio direto para área degradada) e também mudanças de sistemas de manejo (ex. pastagem bem manejada para pastagem degradada).

As emissões e remoções de carbono devido ao uso e ocupação do solo também são consideradas biogênicas segundo as diretrizes do GHG Protocol, porém, no caso da agricultura, devido à sua importância no balanço final de GEE optou-se por relatá-las separadamente.

De acordo com as DAB, o relato da emissão e remoção de carbono é obrigatório.

3.4. Emissões líquidas: Indicador de eficiência

As emissões líquidas são calculadas de acordo com a fórmula abaixo:



Emissões líquidas

$$\begin{aligned} &= (\text{Emissões de Escopo 1 e 2} + \text{Emissões de carbono biogênico} \\ &+ \text{emissão de uso e ocupação do solo}) \\ &- (\text{remoções de carbono biogênico} \\ &+ \text{remoção de uso e ocupação do solo}) \end{aligned}$$

Devido à não obrigatoriedade de relatar as emissões do escopo 3 optou-se em não incluir obrigatoriamente nas emissões líquidas da empresa inventariante.

De acordo com as DAB, o relato de emissões líquidas é obrigatório.

3.5. Outros gases

Atividades agrícolas muitas vezes são responsáveis pela emissão de GEE ou gases precursores do efeito estufa que não são de reporte obrigatório. Alguns desses gases são o monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x) e outros compostos orgânicos voláteis não metânicos (NMVOC).

De acordo com as DAB, o relato de outros gases é opcional.

4. ESCOLHA DA METODOLOGIA E NÍVEIS ADOTADOS (TIER 1, TIER 2 E TIER 3)

Com o intuito de desenvolver inventários nacionais de gases do efeito estufa com alta qualidade e que pudessem ser comparados entre si, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climática (IPCC), desenvolveu e continua desenvolvendo uma série de princípios e procedimentos metodológicos. Dentro destes princípios e procedimentos, se estabeleceu o conceito dos Tiers (nível ou camada). Um Tier representa o nível de complexidade metodológica que é adotada em um inventário de um país. Usualmente, três tiers são fornecidos. O Tier 1 é o método básico, Tier 2 intermediário e o Tier 3 mais demandante em termos de complexidade e necessidade de dados.



O Tier 1 é recomendado para situações onde não há disponibilidade de fatores de emissão específicos para o país, ou limitações quanto aos dados de atividade como por exemplo, informações sobre o uso da terra ou sobre as populações dos rebanhos. Nestes casos, os guias do IPCC disponibilizam os dados defaults, os quais permitem a realização das estimativas. O Tier 2 é recomendado para situações onde existe a disponibilidade de fatores de emissão específicos para as principais condições do país ou região e/ou maior detalhamento para os dados das atividades. O Tier 3, no caso da convenção quadro das Nações Unidas, se refere ao uso de procedimentos metodológicos desenvolvidos especificamente pelo país, o qual pode incluir modelagem e maior detalhamento das medidas dos inventários.

Apesar de desenvolvido para uso em inventários nacionais, o conceito dos tiers também pode ser aplicado a estimativas regionais ou no nível do produtor rural. Neste sentido, esta ferramenta buscou adotar sempre que possível o Tier 2, ou seja, dados específicos a nível dos estados brasileiros. Somente na ausência de informações específicas, adotaram-se os valores default do IPCC (Tier 1).

Detalhamento maior das incertezas existentes em cada nível definido pode ser verificado no *IPCC Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, chapter 6, Quantifying Uncertainties In Practice*.⁷

5. TEMPO DE RESPOSTA DO CARBONO NO SOLO

Diversos experimentos no Brasil⁸ têm identificado como é o comportamento do estoque de carbono no solo em tempos diferentes. No trabalho de Moraes et al 1996, comparando o estoque como isótopo ¹³C da floresta e de pastagem a estabilização fica entre 13 a 20 anos.

⁷ É possível acessar o detalhamento das metodologias adotadas pelo IPCC em

- http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/0_Overview/V0_1_Overview.pdf
- <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/>

⁸ Fontes:

- MORAES, J.F.L.D., VOLKOFF, B., CERRI, C. BERNOUX, M. Soil properties under Amazon forest and changes due to pasture installation in Rondonia, Brazil. *Geoderma*, v.70, p63-81, 1996





Os diversos exemplos analisados nos trabalhos científicos deixam evidente que a estabilização do carbono começa a ocorrer entre 15 e 20 anos após a alteração de uso do solo. Levando em consideração esses resultados experimentais estabelecidos no Brasil, o tempo de 20 anos foi considerado na ferramenta de cálculo para a estabilização do carbono no solo em função do seu uso. Esse valor também é utilizado com o *default* nos relatórios do IPCC.

6. METODOLOGIAS DE CÁLCULO

Neste item são apresentadas as metodologias utilizadas na Ferramenta de Cálculo do GHG Protocol Agrícola. Tais metodologias são baseadas nas mesmas diretrizes utilizadas pelo Segundo Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Relatório de Referência da Coordenação Geral de Mudanças Globais, Ministério da Ciência e Tecnologia, publicado no ano de 2010 e que segue o relatório do IPCC Guidelines 2006⁹, e também dos relatórios de referência da Terceira Comunicação Nacional (Brasil, 2015), além de publicações científicas da área.

Conforme descrito a seguir, foi dada prioridade para a utilização de fatores de emissão adequados para a realidade brasileira, portanto fatores de emissão Tier 2 e, nos casos em que as métricas Tier 2 não estão disponíveis, foram utilizados fatores de emissão Tier 1, baseadas

-
- Alves, B.J.R.; Urguiaga, S.; Aita, C.; Boddey, R.M.; Jantalia, C.P., Camargo, F.A.O. in: Manejo de sistemas agrícolas, Impacto no sequestro de C e nas emissões de Gases de efeito estufa. Porto Alegre, Genesis, 2006, 216 p. Embrapa Agrobiologia.
 - Campos, D.V.B.; Uso da técnica de 13C e fracionamento físico da matéria orgânica nos solos sob cobertura de pastagens e cana de açúcar na região da Mata atlântica. Tese de doutorado UFRRJ, Seropédica. 2003
 - Salton, Julio Cesar. Matéria orgânica e agregação do solo na rotação da lavoura-pastagem em ambiente tropical. Porto Alegre Tese de doutorado, UFRGS, 158p. 2005.
 - Urquiaga, S.; Cadish, G.; Alves, B.J.R.; Boddey, R.M.; Giller, K.E.; Influence of decomposition of roots of tropical forage species on the availability of nitrogen. Soil Biology and Biochemistry, v.30. n. 14, p2099-2106, 1998. Embrapa Agrobiologia.

⁹ Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>

http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/full/310922/Segundo_Inventario_Brasileiro_de_Emissoes_e_Remocoes_Antronicas_de_Gases_de_Efeito_Estufa.html





principalmente no IPCC Guidelines 2006. Todas as variáveis utilizadas nos cálculos são descritas e explicadas nos itens 6.1 ao 6.17.

Não foram utilizados fatores de emissão Tier 3, pois esses são muito específicos para cada tipo de clima, sistema de manejo, entre outros fatores. Portanto, a utilização desses fatores de emissão não está de acordo com o objetivo da Ferramenta de Cálculo, que visa ser utilizada em todo o território brasileiro.

6.1. Aplicação de fertilizantes orgânicos

A equação utilizada para calcular as emissões de óxido nitroso proveniente do uso de fertilizantes orgânicos se encontra abaixo:

$$N_2O_{AD.ORG} = Q_{ORG} \times N_{ad} \times (1 - FRAC_{GASM}) \times EF_1 \times \frac{44}{28}$$

Onde,

$N_2O_{AD.ORG}$ é a emissão de óxido nitroso associada à aplicação de fertilizantes orgânicos (Kg N_2O / Kg de adubo aplicado);

Q_{ORG} é a quantidade de adubo orgânico aplicado (Kg);

N_{ad} é o percentual de nitrogênio do adubo orgânico (%);

$FRAC_{GASM}$ é a fração do N aplicado que volatiliza na forma de NH_3 e NO_x (%);

EF_1 é o fator de emissão (%).

$\frac{44}{28}$ é a Conversão de N- N_2O para N_2O

As Tabela 2 e

Tabela 3 apresentam alguns dos parâmetros utilizados para o cálculo de emissões associadas ao uso de fertilizantes orgânicos.

Tabela 2. Parâmetros para aplicação de fertilizantes orgânicos¹⁰

Parâmetro	Valor	Fonte	Tier
FRAC _{GASM} (%)	0,2	IPCC, 2006	Tier 1
EF ₁ (%)	0,01	MCT, 2010	Tier 2

Tabela 3. Percentual de N e fatores de emissão compostos para adubos orgânicos

Adbos orgânicos	% de N		Fator de Emissão Composto (t/CO ₂ e) ¹¹	Fonte	Tier
Esterco (bovino, equino, suíno, ovinos)	1,60		0,0599406	KIEHL, 1985; LOPES, 1989	2
Esterco de Aves	3		0,1123886	KIEHL, 1985; LOPES, 1989	2
Composto orgânico	1,4		0,0524480	KIEHL, 1985; LOPES, 1989	2
Geral	1,8		0,0674331	KIEHL, 1985; LOPES, 1989	2
Adbos orgânicos - Cana	g de N ₂ O/	% de N	Fator de Emissão Composto (t/CO ₂ e)	Fonte	Tier
Vinhaça	269	0,03	0,0000000109 ¹²	PAREDES et al., 2014; (Brasil, 2015)	2
Torta de filtro	2357	1,4	0,002357 ¹³	FIRME, 2005; (FERREIRA, ZOTARELLI, & SALVIATI, 1986)	2

¹⁰ Fonte:

- MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). Emissões de óxido nitroso de solos agrícolas e de manejo de dejetos (Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa – Relatório de Referência). Coordenação Geral de Mudanças Globais, Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, DF, Brasil, 106 pp. 2010.

¹¹ Fatores de emissão compostos representam o valor unificado de todos os parâmetros envolvidos nas estimativas das emissões de GEE, incluindo as conversões de quilograma para tonelada e o potencial de aquecimento global de cada gás.

¹² Fonte: PAREDES, D.S., LESSA, A.C.R., SANT'ANNA, S.A.C., BODDEY, R.M., URQUIAGA, S., ALVES, B.J.R. Nitrous oxide emission and ammonia volatilization induced by vinasse and N fertilizer application in a sugarcane crop at Rio de Janeiro, Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 98, p. 41-55, 2014.

¹³ Fonte: FIRME, L.P. Cinética de degradação microbiológica de torta de filtro no solo na presença de cádmio e níquel. (Dissertação de Mestrado). Piracicaba, 2005, 74 p.

6.2. Aplicação de fertilizantes nitrogenados sintéticos (exceto ureia)

A equação utilizada para calcular as emissões de óxido nitroso proveniente do uso de fertilizantes sintéticos se encontra abaixo:

$$N_2O_{FERT} = N_{FERT} \times (1 - FRAC_{GASF}) \times EF_1 \times 44/28$$

Onde,

N_2O_{FERT} é a emissão de óxido nitroso associada à aplicação de fertilizantes nitrogenados sintéticos (Kg N_2O / 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 (%);

EF_1 é o fator de emissão (%).

Tabela 4. Tabela fatores de emissão fertilizantes nitrogenados sintéticos¹⁴

Componentes	Valor	Valor (equação)	Fonte	Tier
PAG do N_2O	298	298	(IPCC, 2013)	1
EF_1	0,80%	0,008	(Brasil, 2015)	2
$FRAC_{GASF}$	10%	0,1	(Brasil, 2015)	2
Fator de emissão composto (t/CO_2 eq)		3,37	-	-

¹⁴ Fonte: IPCC, 2007



6.3. Aplicação de calcário

A emissão de CO₂ na calagem é calculada utilizando-se a equação abaixo:

$$CO_{2\text{ CALCÁRIO}} = (Q_{\text{Calcítico}} \times FE_{\text{Calcítico}} + Q_{\text{Dolomítico}} \times FE_{\text{Dolomítico}}) \times \frac{44}{12}$$

Onde,

CO₂CALCÁRIO é a emissão de CO₂ associada à aplicação de calcário no solo (kg CO₂);

Q_{CALCÍTICO} é a quantidade anual de calcário calcítico (CaCO₃) aplicado ao solo por ano¹⁵ (kg);

Q_{DOLOMÍTICO} é a quantidade anual de calcário dolomítico (CaMg(CO₃)₂) (Mg) aplicado ao solo por ano¹⁶ (kg);

FE é o fator de emissão – conteúdo de carbono no calcário (%);

44/12 é o fator de conversão de C para CO₂ (adimensional).

A Tabela 5 mostra quais são os fatores de emissão para uso do calcário. Esses fatores de emissão são Tier 1.

Tabela 5. Fatores de emissão do calcário¹⁷

Tipo de Calcário	Fator de Emissão (%)	Fonte	Tier
Calcítico	0,12	IPCC,2006	1
Dolomítico	0,13	IPCC,2006	1

¹⁵ Q deve incluir todo o calcário calcítico aplicado no solo, inclusive a proporção aplicada por meio de mistura de fertilizantes.

¹⁶ Q deve incluir todo o calcário dolomítico aplicado no solo, inclusive a proporção aplicada por meio de mistura de fertilizantes.

¹⁷ Fonte: IPCC, 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IGES, Hayama, Japan



6.4. Aplicação de ureia

As emissões provenientes da aplicação de ureia são divididas em:

- Emissões de óxido nitroso
- Emissões de dióxido de carbono

A emissão de N₂O na aplicação de ureia é calculada utilizando-se a equação abaixo:

$$N_2O_{UREIA} = N_{FERT} \times (1 - FRAC_{GASFU}) \times EF_1 \times 44/28$$

Onde,

N₂O_{FERT} é a emissão de óxido nitroso associada à aplicação de ureia (Kg N₂O / Kg de adubo aplicado);

N_{FERT} é a quantidade de N aplicado como ureia (Kg);

FRAC_{GASFU} é a fração do N aplicado que volatiliza na forma de NH₃ e NO_x (%);

EF₁ é o fator de emissão (%).

Tabela 5. Tabela fatores de emissão de óxido nitroso na aplicação de ureia

Componentes	Valor	Valor (equação)	Fonte	Tier
PAG do N ₂ O	298	298	(Brasil, 2015)	2
EF ₁	0,80%	0,008	(Brasil, 2015)	2
FRAC _{GASFU}	30%	0,3	(Brasil, 2015)	2
Fator de emissão composto (t / CO₂ eq)		2,62	-	-

A emissão de CO₂ na aplicação de ureia é calculada utilizando-se a equação abaixo:



$$CO_{2\text{ UREIA}} = Q_{\text{Ureia}} \times FE_{\text{Ureia}} \times \frac{44}{12}$$

Onde,

$CO_{2\text{ UREIA}}$ é a emissão de CO_2 associada à aplicação de ureia no solo (kg CO_2);

Q_{UREIA} é a quantidade de ureia aplicada ao solo¹⁸ (kg);

FE_{UREIA} é o fator de emissão – conteúdo de carbono no calcário (%);

44/12 é p fator de conversão de C para CO_2 (adimensional).

A Tabela 6 mostra quais são os fatores de emissão de dióxido de carbono para uso de ureia no solo. Esses fatores de emissão são Tier 1.

Tabela 6. Fatores de emissão de dióxido de carbono da aplicação de ureia¹⁹

Fertilizante	Fator de Emissão (%)	Fonte	Tier
Ureia	0,20	IPCC, 2006	1

6.5. Cultivo de arroz

As emissões devido ao cultivo no arroz são calculadas multiplicando-se um fator de emissão pela área colhida anual levando-se em consideração o tipo de ecossistema do arroz, a presença de alagamento antes e durante o cultivo e incrementos orgânicos. De acordo com a relação abaixo:

$$CH_{4\text{ ARROZ}} = FE_i \times A$$

¹⁸ Q deve incluir toda a ureia aplicada no solo, inclusive a proporção aplicada por meio de mistura de fertilizantes.



Onde,

CH_{4ARROZ} é a emissão de metano associada à produção de arroz (g CH_4);

FEi é o fator de emissão integrado para a estação e para uma dada área colhida (g CH_4 / m^2 /ano);

A é a área colhida (m^2).

O fator de emissão é calculado a partir da equação:

$$FEi = FEc \times SFw \times SFo \times SFs$$

Onde,

FEc é o fator de emissão integrado para a estação para campos continuamente inundados sem acréscimos orgânicos -padrão (g CH_4 / m^2 /ano);

SFw é o fator de escala para levar em conta as diferenças em ecossistemas e regimes de manejo de água (adimensional);

SFo é o fator de escala que varia para ambos os tipos e quantidades de acréscimos orgânicos aplicados (adimensional);

SFs é o fator de escala para o tipo de solo, se disponível (adimensional).

O fator de emissão integrado para a estação para campos continuamente inundados e sem acréscimos orgânicos (FEc) foi baseado em IPCC, 2006 (Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories), na qual é utilizado o valor de 20 g CH_4 / m^2 /ano.

Os fatores de escala são adimensionais e são eles que adaptam o fator de emissão padrão (FEc) para as práticas específicas adotadas na fazenda. Por exemplo, em um sistema que permanece continuamente inundado o fator de escala é 1. Se o sistema é intermitentemente inundado com uma única aeração o fator é de 0,5, ou seja, 50% da emissão do sistema referência (continuamente inundado).



Os ecossistemas de arroz são:

1. **Sequeiro (ou Terra Firme):** os campos nunca são inundados por um período significativo de tempo;
2. **Terras Baixas:** os campos são inundados por um período significativo de tempo;
 - 2.1. **Irrigado:** o regime de água é totalmente controlado;
 - 2.1.1. Continuamente inundado: os campos apresentam uma lâmina de água ao longo da estação de crescimento de arroz e podem estar secos somente para a colheita;
 - 2.1.2. Intermitentemente inundado: os campos apresentam pelo menos um período de aeração de mais de 3 dias durante a estação de cultivo;
 - 2.1.2.1. Aeração única: os campos de arroz são submetidos a apenas uma aeração durante a estação de cultivo em qualquer estágio de crescimento;
 - 2.1.2.2. Múltiplas aerações: os campos são submetidos a mais de um período de aeração durante a estação de cultivo;
 - 2.2. **Alimentado por Chuva:** o regime de água depende exclusivamente da precipitação pluviométrica;
 - 2.2.1. Várzea úmida: o nível de água pode subir até 50 cm durante a estação de crescimento;
 - 2.2.2. Várzea seca: períodos de ausência de chuva (seca) ocorre durante cada estação de cultivo;
 - 2.3. **Arroz de água profunda:** a água de inundação sobe a mais de 50 cm por um período significativo de tempo durante a estação de crescimento;
 - 2.3.1. Campos inundados com profundidade de água de 50-100 cm;
 - 2.3.2. Campos inundados com profundidades de água maiores que 100 cm.





Os fatores de escala estão descritos nas Tabela 7 e Tabela 8. Esses fatores de escala são Tier 1.

Tabela 7. Fatores de escala dos diferentes ecossistemas de arroz²⁰

Regime de água	Fator de escala (adimensional)	Intervalo
1. Sequeiro (ou Terra Firme)	0	-
2. Terras Baixas		
2.1. Irrigado		
2.1.1. Continuamente inundado	1	-
2.1.2. Intermitentemente inundado		
2.1.2.1. Aeração Única	0,5	0,2 - 0,7
2.1.2.2. Múltiplas aerações	0,2	0,1 - 0,3
2.2. Alimentado por Chuva		
2.2.1. Várzea úmida	0,8	0,5 - 1,0
2.2.2. Várzea seca	0,4	0 - 0,5
2.3. Água profunda		
2.3.1. Profundidade entre 50 e 100 cm	0,8	0,6 - 1,0
2.3.2. Profundidades maiores que 100 cm	0,6	0,5 - 0,8

Tabela 8. Fatores de escala para incrementos orgânicos

Quantidade de matéria seca aplicada (t/ha)	Fator de escala – SFo (adimensional)	Intervalo
1-2	1,5	1-2

²⁰ Fonte: IPCC, 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IGES, Hayama, Japan.



Quantidade de matéria seca aplicada (t/ha)	Fator de escala – SFo (adimensional)	Intervalo
2-4	1,8	1,5-2,5
4-8	2,5	1,5-3,5
8-15	3,5	2-4,5
15+	4	3-5

Para usar a Tabela 8 para acréscimos orgânicos fermentados, dividir a quantidade aplicada por seis.

6.5.1. Cultivo de arroz (Rio Grande do Sul)

Para o estado do Rio Grande do Sul, o cálculo é baseado no preparo de solo, de acordo com a Tabela 9.

Tabela 9. Fator de emissão composto baseado no preparo do solo para o cultivo do arroz no estado do Rio Grande do Sul.

Sistema	Emissão	FEC	FEC	Fonte	Tier
	(g CH ₄ /m ² /ano)	(t CH ₄ /ha/ano)	(t CO ₂ /ha/ano)		
Preparo convencional	41,7	0,417	10,43	(Brasil, 2015)	2
Preparo antecipado (cultivo mínimo)	31,7	0,317	7,93	(Brasil, 2015)	2



6.6. Dejetos de animais em pastagens

A equação utilizada para calcular as emissões de óxido nitroso proveniente de animais em pastagens se encontra abaixo:

$$N_2O_{PAST} = NA \times N_{EX} \times FRAC_{PRP} \times EF_3$$

Onde,

N_2O_{PAST} é a emissão de óxido nitroso associada aos dejetos de animais em pastagens (Kg N_2O / Kg de dejetos depositado);

NA é o número de animais (por rebanho);

N_{EX} é o total de N excretado anualmente por animal de cada categoria (Kg N/ animal / ano); Os valores do N excretado são Tier 1 Guidelines IPCC, 2006;

$FRAC_{PRP}$ é a fração do N total excretado pelos animais diretamente em pastagens (%);

EF_3 é o fator de emissão (%);

Tabela 10. Fator de emissão para dejetos de animais em pastagens²¹

Dejetos	Fator de Emissão	Fonte	Tier
Dejetos de animais	0,007	Lessa, et al. (2014)	2

²¹ Fonte: MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). Emissões de óxido nitroso de solos agrícolas e de manejo de dejetos (Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa – Relatório de Referência). Coordenação Geral de Mudanças Globais, Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, DF, Brasil, 106 pp. 2010.

Lessa, A.C.R.; Madari, B.E.; Paredes, D.S.; Boddey, R.M.; Urquiaga, S.; Jantalia, C.P.; Alves, B.J.R.; Bovine urine and dung deposited on Brazilian savannah pastures contribute differently to direct and indirect soil nitrous oxide emissions. Agriculture, Ecosystems and Environment. 2014



6.7. Fermentação entérica

O cálculo de emissões devido à fermentação entérica é realizado a partir de:

$$CH_4_{FERMENTAÇÃO} = NA \times FE_{CH_4FERMENTAÇÃO}$$

Onde,

$CH_4_{FERMENTAÇÃO}$ = emissão de metano associada à fermentação entérica (kg de CH_4 /ano)

NA é o número de animais;

$FE_{CH_4.FERMENTAÇÃO}$ = fator de emissão de CH_4 para fermentação entérica (kg de CH_4 /cabeça/ano).

Os fatores de emissão de metano para fermentação entérica da pecuária ($FE_{CH_4.FERMENTAÇÃO}$) são apresentados na

Tabela 11 e Tabela 12 abaixo. Esses fatores de emissão são Tier 2 e Tier 1 respectivamente.



Tabela 11. Fatores de emissão de metano para fermentação entérica de gado de corte, machos e jovens, fêmeas e vacas leiteiras²²

Estado	Fator de emissão (kg CH ₄ /cabeça/ano)			
	Gado de corte			Vaca leiteira ²³
	Macho ²⁴	Jovem ²⁵	Fêmea ²⁶	
Rondônia	53	41	60	63
Acre	53	41	58	61
Amazonas	53	41	56	59
Roraima	53	41	54	58
Pará	53	41	60	63
Amapá	53	41	61	64
Tocantins	53	41	57	60
Maranhão	55	43	61	57
Piauí	55	43	60	55
Ceará	55	43	64	59
Rio Grande do Norte	55	43	65	59

²² Fonte: MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). Emissões de metano por fermentação entérica e manejo de dejetos de animais. (Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa – Relatório de Referência). Coordenação Geral de Mudanças Globais, Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, DF, Brasil, 120 pp. 2010.

²³ Período de 2006

²⁴ Período de 2002 até 2006

²⁵ Período de 2002 até 2006

²⁶ Período de 2006



Estado	Fator de emissão (kg CH ₄ /cabeça/ano)			
	Gado de corte			Vaca leiteira ²³
	Macho ²⁴	Jovem ²⁵	Fêmea ²⁶	
Paraíba	55	43	65	60
Pernambuco	55	43	73	67
Alagoas	55	43	74	67
Sergipe	55	43	71	65
Bahia	55	43	60	56
Minas Gerais	52	41	70	64
Espirito Santo	52	41	64	60
Rio de Janeiro	52	41	65	60
São Paulo	52	41	64	59
Paraná	55	43	83	69
Santa Catarina	55	43	84	70
Rio Grande do Sul	55	43	84	70
Mato Grosso do Sul	51	40	62	55
Mato Grosso	51	40	64	56
Goiás	51	40	66	58
Distrito Federal	51	40	72	63



Tabela 12. Fatores de emissão de metano por fermentação entérica por outras categorias animais²⁷

Categoria	Fator de emissão (kg CH ₄ /cabeça/ano)
Suínos	1
Asininos	10
Muares	10
Bubalinos	55
Caprinos	5
Equinos	18
Ovinos	5

6.8. Manejo de dejetos de animais (exceto animais em pastagem)

A equação utilizada para calcular as emissões de óxido nitroso do manejo de dejetos proveniente de animais exceto pastagens se encontra abaixo:

$$N_2O_{DEJ} = NA \times N_{EX} \times (1 - FRAC_{PRP}) \times EF_3$$

Onde,

$N_2O_{DEJETOS}$ é a emissão de óxido nitroso associada ao manejo de dejetos (Kg N₂O / Kg de dejetos depositado);

NA é o número de animais (por rebanho);

²⁷ Fonte: MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). Emissões de metano por fermentação entérica e manejo de dejetos de animais. (Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa – Relatório de Referência). Coordenação Geral de Mudanças Globais, Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, DF, Brasil, 120 pp. 2010.



N_{EX} é o total de N excretado anualmente por animal de cada categoria (Kg N/ animal / ano);

$FRAC_{PRP}$ é a fração do N total excretado pelos animais diretamente em pastagens (%);

EF_3 é o fator de emissão (kg N_2O-N / kg de n excretado).

Tabela 13. Valores default para fator de emissão de N_2O de manejo de dejetos animal por tipo de manejo

Sistema	Descrição	EF_3 (kg N_2O-N / kg de N excretado)	Tier
Lagoa anaeróbica	O sistema de lagoa anaeróbica é caracterizado como o transporte de dejetos através da água para lagoas. O esterco permanece na lagoa por um período de 30 dias até 200 dias. A água da lagoa pode ser utilizada para irrigar e fertilizar os campos.	0,001	1
Armazenamento sólido	O esterco e a urina são coletados e armazenados empilhados por um longo tempo (meses) antes de serem eliminados, com ou sem escoamento de água de chuva para um sistema de fossa.	0,02	1
Dry lot	Em clima seco os animais podem ser mantidos em confinamento não pavimentado, onde o esterco seca até ser periodicamente removido. Após a remoção, o esterco pode ser distribuído nos campos.	0,02	1
Pastagem	Este dejetos é depositado diretamente no solo pela pecuária. Portanto, não possui tratamento.	0,02	1
Esterqueira	Este sistema é caracterizado por combinar o armazenamento de esterco e urina em tanques. Para facilitar a manipulação, água pode ser adicionada ao material armazenado.	0,001	1



Sistema	Descrição	EF ₃ (kg N ₂ O-N / kg de N excretado)	Tier
Biodigestor	Esterco e urina são anaerobicamente digeridos produzindo CH ₄ .	0,001	1
Outros sistemas	Sistemas não definidos	0,005	1

Os sistemas de manejo de dejetos foram agrupados de acordo com os fatores de emissão, com a finalidade de simplificar os cálculos na ferramenta, ou seja, os sistemas com fatores de emissão de mesmo valor fazem parte do mesmo grupo (Grupo 1: Armazenamento sólido e Dry lot; Grupo 2: Esterqueira, lagoa anaeróbica, poços abaixo do confinamento e biodigestor; Grupo 3: Outros; Grupo 4: Queimado como combustível).

A emissão também pode ser calculada a partir do tipo de animal. Neste caso, o fator de emissão é Tier 2 e estão apresentados na Tabela 14.

Tabela 14. Valores para fator de emissão de N₂O de manejo de dejetos animal por tipo de animal

Sistema	EF ₃ (%)	Fonte	Tier
Gado (leiteiro, não leiteiro e búfalos), aves e porcos	0,007	Lessa et al. (2014)	2
Ovinos e outros animais	0,01	(Brasil, 2015)	2

6.9. Manejo de dejetos

A equação utilizada para calcular as emissões de metano do manejo de dejetos proveniente de animais é:

$$CH_4 \text{ DEJETOS} = NA \times EF_{CH_4 \text{ DEJETOS}}$$



Onde,

$CH_{4DEJETOS}$ é a emissão do metano associada ao manejo de dejetos (kg CH_4 /ano);

NA é o número de animais;

$FE_{CH_4.DEJETOS}$ = fator de emissão de CH_4 para manejo de dejetos (kg CH_4 /cabeça/ ano).

Os fatores de emissão de metano para manejo de esterco da pecuária são apresentados nas

Tabela 15 e

Tabela 16.

Tabela 15. Fatores de emissão de metano para manejo de esterco de bovinos e suínos²⁸

Estado	Fator de emissão ²⁹ (kg CH_4 /cabeça/ano)				
	Bovino de corte			Suíno	Vaca leiteira
	Macho	Fêmea	Jovem		
Rondônia	1,8	1,6	1,1	0,6	2,2
Acre	1,8	1,6	1,1	0,4	2,1
Amazonas	1,8	1,6	1,1	0,5	2,1
Roraima	1,9	1,7	1,2	0,4	1,8
Pará	1,8	1,6	1,1	0,5	2,1
Amapá	1,8	1,6	1,1	0,5	2,4

²⁸ Fonte: (Brasil, 2015) e Tier 2.

²⁹ Ano base 2006



Estado	Fator de emissão ²⁹ (kg CH ₄ /cabeça/ano)				
	Bovino de corte			Suíno	Vaca leiteira
	Macho	Fêmea	Jovem		
Tocantins	1,8	1,6	1,1	0,6	2,1
Maranhão	1,7	1,5	1	0,9	2,1
Piauí	1,7	1,5	1,1	0,6	2,1
Ceará	1,7	1,5	1	1,1	2,1
Rio Grande do Norte	1,7	1,5	1,1	0,8	2,1
Paraíba	1,7	1,5	1,1	0,8	2,2
Pernambuco	1,7	1,5	1	0,7	2,1
Alagoas	1,9	1,7	1,2	1,9	2,7
Sergipe	1,7	1,5	1,1	1,2	2,1
Bahia	1,3	1,2	0,8	0,7	1,6
Minas Gerais	1,5	1,4	0,9	2,5	1,8
Minas Gerais (grandes propriedades)	-	-	-	8,6	-
Espírito Santo	1,4	1,3	0,9	2,1	1,8
Espírito Santo (grandes propriedades)	-	-	-	5,9	-
Rio de Janeiro	1,5	1,3	0,9	5,9	1,6



Estado	Fator de emissão ²⁹ (kg CH ₄ /cabeça/ano)				
	Bovino de corte			Suíno	Vaca leiteira
	Macho	Fêmea	Jovem		
São Paulo	1,5	1,4	0,9	2,2	2
São Paulo (grandes propriedades)	-	-	-	6,4	-
Paraná	1,6	1,5	1	3,6	2,4
Paraná (grandes propriedades)	-	-	-	6	-
Santa Catarina	1,8	1,6	1,1	5,8	2,3
Santa Catarina (grandes propriedades)	-	-	-	6,5	-
Rio Grande do Sul	1,5	1,3	0,9	3,9	2
Rio Grande do Sul (grandes propriedades)	-	-	-	10	-
Mato Grosso do Sul	1,3	1,2	0,8	2,7	1,9
Mato Grosso do Sul (grandes propriedades)	-	-	-	9,7	-
Mato Grosso	1,3	1,2	0,8	3,3	1,6
Mato Grosso (grandes propriedades)	-	-	-	8,5	-
Goiás	1,4	1,2	0,8	1,9	1,6
Goiás (grandes propriedades)	-	-	-	7,7	-



Estado	Fator de emissão ²⁹ (kg CH ₄ /cabeça/ano)				
	Bovino de corte			Suíno	Vaca leiteira
	Macho	Fêmea	Jovem		
Distrito Federal	3,2	2,8	1,9	8,8	1,4

Tabela 16. Fatores de emissão de metano para manejo de esterco de asininos, muares, bubalinos, caprinos, equinos, ovinos e aves³⁰

Estado	Fator de emissão (kg CH ₄ /cabeça/ano)						
	Asininos	Muares	Bubalinos	Caprinos	Equinos	Ovinos	Aves
Rondônia	1,2	1,2	2	0,22	2,2	0,21	0,023
Acre	1,2	1,2	2	0,22	2,2	0,21	0,023
Amazonas	1,2	1,2	2	0,22	2,2	0,21	0,023
Roraima	1,2	1,2	2	0,22	2,2	0,21	0,023
Pará	1,2	1,2	2	0,22	2,2	0,21	0,023
Amapá	1,2	1,2	2	0,22	2,2	0,21	0,023
Tocantins	1,2	1,2	2	0,22	2,2	0,21	0,023
Maranhão	1,2	1,2	2	0,22	2,2	0,21	0,023
Piauí	1,2	1,2	2	0,22	2,2	0,21	0,023
Ceará	1,2	1,2	2	0,22	2,2	0,21	0,023

³⁰ Tier 1 (valores default do IPCC) e Fontes:

- JENSEN, B.B. Methanogenesis in monogastric animals. Environmental Monitoring and Assessment, v. 42, n. 1-2, p.99-112, 1996.
- MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). Emissões de metano por fermentação entérica e manejo de dejetos de animais. (Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa – Relatório de Referência). Coordenação Geral de Mudanças Globais, Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, DF, Brasil, 120 pp. 2010.



Estado	Fator de emissão (kg CH ₄ /cabeça/ano)						
	Asininos	Muares	Bubalinos	Caprinos	Equinos	Ovinos	Aves
Rio Grande do Norte	1,2	1,2	2	0,22	2,2	0,21	0,023
Paraíba	1,2	1,2	2	0,22	2,2	0,21	0,023
Pernambuco	1,2	1,2	2	0,22	2,2	0,21	0,023
Alagoas	1,2	1,2	2	0,22	2,2	0,21	0,023
Sergipe	1,2	1,2	2	0,22	2,2	0,21	0,023
Bahia	0,9	0,9	1	0,17	1,6	0,16	0,018
Minas Gerais	0,9	0,9	1	0,17	1,6	0,16	0,117
Espírito Santo	0,9	0,9	1	0,17	1,6	0,16	0,018
Rio de Janeiro	0,9	0,9	1	0,17	1,6	0,16	0,117
São Paulo	0,9	0,9	1	0,17	1,6	0,16	0,117
Paraná	0,9	0,9	1	0,17	1,6	0,16	0,117
Santa Catarina	0,9	0,9	1	0,17	1,6	0,16	0,117
Rio Grande do Sul	0,9	0,9	1	0,17	1,6	0,16	0,117
Mato Grosso do Sul	0,9	0,9	1	0,17	1,6	0,16	0,018
Mato Grosso	0,9	0,9	1	0,17	1,6	0,16	0,018
Goiás	0,9	0,9	1	0,17	1,6	0,16	0,018
Distrito Federal	0,9	0,9	1	0,17	1,6	0,16	0,018

Para os rebanhos de búfalos, ovinos, caprinos, equinos, muares, asininos e aves foi adotado o Tier 1. As diferenças entre os fatores de emissão de cada estado acontecem, pois, os fatores de emissão do Tier 1 são definidos para faixas climáticas.



6.10. Fontes secundárias de N₂O (deposição atmosférica e lixiviação ou escoamento superficial)

As emissões secundárias de N₂O foram calculadas considerando duas fontes principais: a deposição atmosférica de NH₃ e NO_x, a lixiviação e o escoamento superficial. Para tanto, foram utilizados os dados referentes ao uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos (N_{FERT}) e à quantidade de N contida tanto nos resíduos adicionados ao solo (N_{RESÍDUOS}). Parte-se do princípio que parte do N aplicado ao solo é volatilizada na forma de NH₃ e NO_x e retorna ao solo pela deposição atmosférica, ficando novamente passível de ser emitida na forma de N₂O.

A. Emissão de N₂O proveniente de deposição atmosférica

$$N_2O_{(G)} = [(N_{FERT} + FRAC_{GASF}) + (N_{RESÍDUOS} \times FRAC_{GASM})] \times EF_3$$

Onde,

N₂O_(G) é a emissão de óxido nitroso associada à deposição atmosférica (kg N₂O-N);

N_{FERT} é a quantidade de N aplicada na forma de fertilizante sintético (kg de N/ano);

FRAC_{GASF} é a fração do N aplicada na forma de fertilizante sintético que volatiliza como NH₃ e NO_x (kg [NH₃-N e NO_x-N]/kg N aplicado);

N_{RESÍDUOS} 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 NH₃ e NO_x (kg [NH₃-N e NO_x-N]/kg N excretado);

EF₃ é o fator de emissão para a deposição atmosférica (kg N₂O-N/kg [NH₃-N e NO_x-N] emitido) (IPCC, 2006).

Os valores de FRAC_{GASF}, FRAC_{GASM} e EF₃ são apresentados na tabela 18.



Tabela 17. Parâmetros para o cálculo de emissões de N₂O provenientes de deposição atmosférica.

Parâmetro	Valor	Fonte	Tier
FRAC _{GASF}	0,1	IPCC (2006)	1
FRAC _{GASM}	0,2	IPCC (2006)	1
EF ₃	0,01	IPCC (2006)	1

B. Emissão de N₂O proveniente de lixiviação ou escoamento superficial

Para calcular a quantidade de N passível de lixiviação ou escoamento superficial, também foram utilizados os dados referentes ao uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos (N_{FERT}), da quantidade de N contida em resíduos aplicados aos solos como fertilizante (N_{resíduos}).

$$N_2O_{(L)} = (N_{FERT} + N_{RESÍDUOS}) \times FRAC_{LEACH} \times EF_4$$

Onde,

N₂O_(L) é a emissão de óxido nitroso associada à lixiviação ou escoamento superficial (kg N₂O-N);

N_{FERT} é a quantidade de N aplicada na forma de fertilizante sintético (kg de N/ano);

N_{resíduos} é a quantidade de N contido nos resíduos aplicados aos solos como fertilizante (kg de N/ano);

FRAC_{LEACH} = fração do N adicionado ao solo que é perdida por lixiviação ou escoamento superficial (kg N lixiviado ou escoado/kg de fertilizante ou esterco);

EF₄ = fator de emissão de N₂O para lixiviação/escoamento (kg N₂O-N/kg N lixiviado/escoado).

A Tabela 19 indica os parâmetros para o cálculo de emissões de N₂O provenientes da lixiviação ou escoamento superficial.



Tabela 18. Parâmetros para o cálculo de emissões de N₂O provenientes de lixiviação ou escoamento superficial

Parâmetro	Valor	Fonte	Tier
FRAC _{LEACH}	0,3	Guidelines 1996	1
EF ₄	0,025	Guidelines 1996	1

6.11. Mudança de uso do solo e sistemas de manejo

O cálculo de emissões e remoções de GEE referente à mudança de uso do solo e diferentes sistemas de manejo é feito utilizando as taxas de alteração de carbono em cada tipo de modificação. A Tabela 19 mostra as taxas de alterações das mudanças de uso do solo.

Tabela 19. Taxas de alteração (Mg C/ha/ano) para os principais sistemas de manejo do solo³¹

Uso anterior	Uso atual	Detalhes	Fator de emissão composto (tonelada CO ₂ /hectare)	Referências	Tier
Plantio direto	Integração lavoura-pecuária	-	1,0267	MAIA et al., 2013	2

³¹ Fonte:

- Bayer, C., Martin-Neto, L., Mielniczuk, J., Pavinato, A., Dieckow, J., 2006. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. *Soil & Tillage Research* 86, 237-245.
- Cerri, CC., Galdos, MV., Maia, SMF., Bernoux, M., Feigl, BJ., Powelson, D., Cerri, CEP., 2011. Effect of sugarcane harvesting systems on soil carbon stocks in Brazil: an examination of existing data. *European Journal of Soil Science*, 62, 23–28.
- Maia, SMF., Carvalho, JLN., Cerri, CEP., Lal, R., Bernoux, M., Galdos, MV., Cerri, CC., 2013. Contrasting approaches for estimating soil carbon changes in Amazon and Cerrado biomes. *Soil & Tillage Research* 133, 75-84.
- Mello, FFC. Estoques de carbono do solo na mudança de uso da terra para o cultivo de cana-de-acucar na região centro Sul do Brasil., 2012. Tese de Doutorado, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, 102p.
- MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). Emissões de dióxido de carbono no setor uso da terra, mudança do uso da terra e florestas. (Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa – Relatório de Referência). Coordenação Geral de Mudanças Globais, Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, DF, Brasil, 100 pp. 2010.



Uso anterior	Uso atual	Detalhes	Fator de emissão composto (tonelada CO ₂ /hectare)	Referências	Tier
Cultivo convencional	Plantio direto	Demais regiões	1,7600	MAIA et al., 2013	2
Cultivo convencional	Plantio direto	Região sul	1,2833	BAYER et al., 2006	2
Pastagem	Plantio direto	-	0,6967	MAIA et al., 2013	2
Vegetação nativa	Plantio direto	Cerrado	0,4400	MAIA et al., 2013	2
Vegetação nativa	Plantio direto	Amazônia	-0,8800	MAIA et al., 2013	2
Vegetação nativa	Cultivo convencional	Baixo teor de argila	-0,9167	MAIA et al., 2013	2
Vegetação nativa	Cultivo convencional	Alto teor de argila	-0,1613	MAIA et al., 2013	2
Vegetação nativa	Cana com queima	Cerrado	-3,1203	MELLO et al., 2014	2
Cultivo convencional	Cana com queima	-	2,0900	MELLO et al., 2014	2
Pastagem	Cana com queima	-	-0,9423	MELLO et al., 2014	2
Cana com queima	Cana sem queima	-	2,2477	CERRI et al., 2011	2
Vegetação nativa	Pastagem degradada	-	-0,6490	MAIA et al., 2009	2
Vegetação nativa	Pastagem nominal	-	1,1220	MAIA et al., 2009	2
Vegetação nativa	Pastagem melhorada	-	1,3860	MAIA et al., 2009	2
Pastagem	Integração lavoura-pecuária	-	1,7000	Assad e Martins, 2015	2
Pastagem	Integração lavoura-pecuária-floresta	-	1,7000	Assad e Martins, 2015	2
Vegetação nativa	Integração lavoura-pecuária	-	0,7077	Adaptado de Assad e Martins, 2015	2
Cultivo convencional	Integração lavoura-pecuária	-	1,7000	Adaptado de Assad e Martins, 2015	2
Plantio direto	Cultivo convencional	-	-0,9167	Adaptado de MAIA et al., 2009	2
Pastagem	Cultivo convencional	-	-0,9167	Adaptado de MAIA et al., 2009	2

6.12. Queima de Resíduos Agrícolas

Para a estimativa das emissões de GEE devido à queima de resíduos a metodologia adotada baseia-se no carbono total liberado, taxas de emissão de CH₄ e CO para o total de carbono liberado e de N₂O e NO_x para o total de nitrogênio liberado.

- (Assad & Martins, Agricultura de baixa emissão de carbono: a evolução de um paradigma, 2015).



Para emissão de CH₄ e CO foi utilizada a equação abaixo:

$$CH_{4RES} = [(CROP * FRAC_{DMcrop}) * (RES_{DM}/CROP_{DM}) * FRAC_{CRes} * Eq_{RES}] * EF_1$$

Onde,

CROP é a produção anual de cada cultura (tonelada);

FRAC_{DMcrop} é a fração da matéria seca do produto colhido (comercializado) de cada cultura (%);

Re_{SDM} / CROP_{DM} é a razão entre resíduo seco e produto seco, para cada cultura;

FRAC_{CRes} é o conteúdo de C da parte aérea de cada cultura (%);

EF₁ é o fator de emissão para cada gás;

Eq_{RES} é a eficiência de queima do resíduo (%).

Já para a emissão de N₂O e NO_x para o total de nitrogênio liberado foi utilizada a seguinte equação:

$$N_2O_{res} = (CROP * FRAC_{DMcrop}) * (RES_{DM}/CROP_{DM}) * FRAC_{CRes} * REL_{N/C} * Eq_{RES}] * EF_1$$

Onde:

CROP é a produção anual de cada cultura (tonelada);

FRAC_{DMcrop} é a fração da matéria seca do produto colhido (comercializado) de cada cultura (%);

Re_{SDM} / CROP_{DM} é a razão entre resíduo seco e produto seco, para cada cultura;

FRAC_{CRes} é o conteúdo de C da parte aérea de cada cultura (%);

REL_{N/C} é a relação nitrogênio / carbono da parte aérea de cada cultura;

EF₁ é o fator de emissão para cada gás.

Eq_{RES} é a eficiência de queima do resíduo (%);



As taxas de emissão são apresentadas na tabela 21, enquanto que os demais parâmetros necessários aos cálculos se encontram na tabela 22. Nos cálculos considera-se ainda a conversão de C e N para CH₄, CO, N₂O e NO_x, usando para tal, os respectivos fatores de conversão: 16/12; 28/12; 44/28 e 46/14.

Tabela 20. Taxa de emissão de gases liberados durante a queima de resíduos agrícolas para o cálculo de emissões³²

	CH ₄	CO	N ₂ O	NO _x	Fator de emissão composto (t CO ₂ e)	Fonte	Tier
Cana-de-açúcar	0,000378	0,007936	0,000019	0,000674	0,220	MCT (2010)	2
Algodão	0,00513	0,10773	0,000356	0,012849	4,079	MCT (2010)	2
Milho	0,003742	0,078584	0,000123	0,004463	1,531	MCT (2010)	2
Soja	0,004646	0,097574	0,000383	0,013855	4,347	MCT (2010)	2
Feijão	0,003497	0,073427	0,000288	0,010426	3,271	MCT (2010)	2
Arroz	0,002321	0,048733	0,000054	0,001938	0,705	MCT (2010)	2
Trigo	0,002772	0,058212	0,000055	0,001984	0,745	MCT (2010)	2

³² Fonte: MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). Emissões de gases de efeito estufa na queima de resíduos agrícolas. (Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa – Relatório de Referência). Coordenação Geral de Mudanças Globais, Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, DF, Brasil, 65 pp. 2010.



Tabela 21. Parâmetros para queima de resíduos vegetais³³

Cultura	Parâmetros			
	Teor médio de carbono (FRAC _{CRes}) (%)	Relação N/C (REL _{N/C})	Razão entre resíduo seco e produto seco (Res _{DM} /CROP _{DM})	Eficiência de queima (Eq _{RES}) (%)
Cana-de-açúcar	42,4	0,0299	0,169	79,0
Algodão	45,0	0,042	1,9	90,0
Milho	47,0	0,02	1,49	80,0
Soja	44,0	0,05	1,98	80,0
Feijão	44,0	0,05	1,49	80,0
Arroz	41,4	0,014	1,05	80,0
Trigo	44,0	0,012	1,05	90,0

Com exceção da cana-de-açúcar, a queima dos resíduos não é mais uma prática comum no Brasil, de toda forma, foi colocada na ferramenta para ficar alinhada com o inventário, e oferecer ao usuário esta possibilidade.

6.13. Resíduos de colheitas

Os resíduos das culturas normalmente se referem às palhadas que ficam após a colheita e a decomposição dessa palha gera emissão de GEE. Esses resíduos podem se decompor ou serem queimados, emitindo N₂O. Atualmente a prática de queima de resíduos acontece muito raramente com o aumento do plantio direto.

³³ Fonte: MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). Emissões de óxido nitroso de solos agrícolas e de manejo de dejetos. (Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa – Relatório de Referência). Coordenação Geral de Mudanças Globais, Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, DF, Brasil, 106pp, 2010.



As equações utilizadas para calcular as emissões de óxido nitroso provenientes dos resíduos da soja, milho, feijão, arroz, trigo e cana se encontram abaixo:

$$N_2O_{RES} = \left[(CROP \times FRAC_{DMcrop} \times Res_{DM} / CROP_{DM} \times FRAC_{NCRes}) \right] \times FE_1$$

Onde,

CROP é a produção anual de cada cultura;

FRAC_{DMcrop} é a fração da matéria seca do produto colhido (comercializado) de cada cultura;

Res_{DM} / CROP_{DM} é a razão entre resíduo seco e produto seco, para cada cultura;

FRAC_{NCRes} é o conteúdo de N da parte aérea de cada cultura;

FE₁ é o fator de emissão.

Os parâmetros para o cálculo de emissões de resíduos de colheitas estão descritos na Tabela 22.

Tabela 22. Fatores utilizados para a determinação do N₂O provenientes de resíduos das culturas

Cultura	ResDM/CROPDM	FRACNCRes	FRACDMcrop	Fonte	Tier
Soja	1,98	0,009	0,87	(Brasil, 2015)	Tier 2
Milho	1,49	0,008	0,87	(Brasil, 2015)	Tier 2
Feijão	1,49	0,017	0,87	(Brasil, 2015)	Tier 2
Arroz	1,05	0,008	0,87	(Brasil, 2015)	Tier 2
Trigo *	-	0,013	0,87	(Brasil, 2015)	Tier 2
Cana	0,181	0,006	-	(Brasil, 2015)	Tier 2

* A cultura do trigo deve ter sua produção multiplicada pela FRACDM (simplificada).



6.14. Operações Mecanizadas

O cálculo de emissões de GEE das operações mecanizadas pode ser feito de duas maneiras. É importante que seja feita uma única escolha, para que não ocorra dupla contagem de emissões.

A. Consumo de combustível

Uma das abordagens fornecidas pela ferramenta de cálculo é o cálculo das emissões de GEE a partir do consumo de óleo diesel total na produção, o que elimina a necessidade de regionalizar as operações mecanizadas. Neste caso, o cálculo é realizado utilizando os fatores de emissão apresentados na Tabela 23 e a partir da relação abaixo:

$$CO_{2\text{ DIESEL}} = Q_{\text{DIESEL}} \times FE_{\text{DIESEL}}$$

Onde,

$CO_{2\text{DIESEL}}$ 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).

Analogamente a esta relação são calculadas as emissões dos outros GEE, além das emissões do biodiesel.



Tabela 23. Fatores de emissão para queima de óleo diesel³⁴

Fatores de Emissão (kg CO ₂ /L)					
Combustível	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Fonte	Tier
Diesel	2,681	0,0003	0,00002	IPCC (2006)	1
Biodiesel	2,499	-	-	IPCC (2006)	1

No Brasil, o biodiesel puro (B100) é adicionado obrigatoriamente ao diesel de petróleo em proporções que aumentam de acordo com a legislação em vigor. Em 2008 a adição obrigatória de biodiesel (B2) no diesel de petróleo era de 2%. Em 1º de janeiro de 2010 continha 5% de biodiesel (B5); e a partir do segundo semestre de 2014 subiu o percentual obrigatório de biodiesel: B6 a partir de julho; B7 a partir de novembro. A ferramenta de cálculo comporta todas essas porcentagens. O cálculo das emissões é feito separadamente, para o diesel e sua fração renovável. É importante salientar que as emissões de CO₂ provenientes da combustão, tanto de diesel e biodiesel são consideradas neutras.

A alocação das emissões nos escopos é feita da seguinte maneira:

Tabela 24. Tabela da alocação de emissões nos escopos.

Alocação de emissões	Diesel			Biodiesel		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Escopo 1	x	x	x		x	x

³⁴ Fontes:

- Programa Brasileiro Greenhouse Gas Protocol 2010.
- IPCC, 2006.
- 2009/2010 Guidelines to Defra's GHG Conversion Factors: Methodology Paper for Transport Emission Factors.



Alocação de emissões	Diesel			Biodiesel		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Carbono Biogênico				x		

B. Estimativas sobre as operações

Como abordagem alternativa, as operações mecanizadas são calculadas segundo as planilhas de necessidade de operação por atividade, por hectare. Com essa planilha é possível estimar o consumo médio de diesel nas operações e calcular as emissões de GEE. Esta abordagem tem como vantagem a baixa necessidade de dados complexos. Por conta da alta taxa de estimativas, esta abordagem apresenta um erro implícito que é a diferença de consumo e de necessidade de horas de cada máquina em tipo de solo, umidade de solo, cultura a ser cultivada, quantidade de adubo a ser aplicado etc.

As tabelas abaixo apresentam as médias de hora máquina por hectare médio em cada tipo de lavoura.

Tabela 25. Operações mecanizadas para a cultura de algodão³⁵

Operação	Hora máquina por hectare
Distribuição calcário	0,25
Preparo do solo	1,61
Incorporação milheto	0,39
Semeadura/adubação	0,4
Adubação cobertura	1,4
Aplicação de defensivos	2,05

• ³⁵ *Embrapa. Sistemas de Produção.*



Operação	Hora máquina por hectare
Colheita	7
Destruição soqueira	0,3

Tabela 26. Operações mecanizadas para a cultura de arroz³⁶

Operação	Hora máquina por hectare
Distribuição do calcário	0,4
Gradagem aradora	1
Gradagem niveladora	0,5
Reforma de taipas	0,8
Plantio	1
Transporte interno	0,28
Aplicação adubo cobertura	0,12
Controle de plantas daninhas	0,20
Aplicação de herbicida pré-emergente	0,22
Colheita mecanizada	2

Tabela 27. Operações mecanizadas para a cultura de feijão³⁷

Operação	Hora máquina por hectare
Distribuição mecanizada de calcário	2
Aração convencional	4

- ³⁶ *Embrapa. Sistemas de Produção.*
- ³⁷ *Embrapa. Sistemas de Produção.*



Operação	Hora máquina por hectare
Gradagem niveladora	4
Plantio mecanizado	2
Transporte interno de insumos para plantio	1
Adubação de cobertura	1,5
Aplicação de herbicida pós-emergente	2
Aplicação de fungicida	2
Trilha com batedeira de cereais	5
Transporte interno da produção	1

Tabela 28. Operações mecanizadas para a cultura de milho³⁸

Operação	Hora máquina por hectare
Distribuição calcário	0,125
Gradagem aradora	1,6
Gradagem niveladora	0,4
Plantio com adubação	0,8
Transporte interno plantio	0,3
Adubação de cobertura	0,6
Aplicação herbicida	0,3
Aplicação inseticida	0,6
Colheita mecânica	0,85
Transporte interno colheita	0,3

³⁸ *Embrapa. Sistemas de Produção.*



Tabela 29. Operações mecanizadas para a cultura de soja³⁹

Operação	Hora máquina por hectare
Roçada (limpeza)	0,9
Dessecação pré-emergente	0,28
Calagem (Aplicação e Incorporação)	0,18
Adubação e Semeadura	0,36
Aplicação Herbicida pós-emergente	0,56
Aplicação inseticida	0,84
Aplicação Fungicida	0,56

Tabela 30. Operações mecanizadas para a cultura de trigo⁴⁰

Operação	Hora máquina por hectare
Semeadura	0,7
Aplicação herbicida	0,15
Aplicação inseticida	0,3
Aplicação fungicida	0,15
Colheita mecânica	0,8

- ³⁹ FURLANETO, F. P. B.; RECO, P. C.; KANTHACK, R. A. D.; CIMONETTI, D.; MASSUD, J. R. G., OLIMA, A. L. R. O., ESPERANCINI, M. S. T. *Análise comparativa de estimativas de custo de produção e de rentabilidade entre as culturas de soja convencional e transgênica na região de Assis, Estado de São Paulo, safra 2006/07. Informações Econômicas, São Paulo, v. 37, n. 12, 2007b. p. 7-16.*
- ⁴⁰ RICHETTI, A.; LAZZAROTTO, C. *Estimativa de custo de produção de trigo, safra 2009, em Dourados, MS. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2009. 7 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado técnico, 154). Embrapa Dourados.*

Tabela 31. Operações mecanizadas para a cultura de cana-de-açúcar⁴¹

Operação	Hora máquina por hectare
Dessecação	0,6
Gradagem	1,6
Calagem	0,9
Terraceamento	1,2
Aração	1,7
Gradagem niveladora	1
Sulcação	1,8
Cobrição	0,77
Pulverização	0,6

A equação para o cálculo do consumo de óleo diesel, no uso de máquinas é:

$$Q_{DIESEL} = HM_{ha} \times A_P \times 20$$

Onde,

HM_{ha} é hora máquina da operação por hectare (hr/ha);

A_P é a área plantada (ha);

20 é o consumo médio de diesel por hora máquina (litros/hr).

-
- ⁴¹ KANEKO, F.H.; TARSITANO, M.A.A.; RAPASSI, R.M.A.; CHIODEROLI, C.A.; NAKAYAMA, F.T. 2009 *Análise econômica da produção de cana-de-açúcar considerando-se a terceirização das operações agrícolas: o caso de um produtor. Pesq. Agropec. Trop., Goiânia, 39(3): 266-270.*

6.15. Energia Elétrica

Os fatores de emissão médios de CO₂ para energia elétrica a serem utilizados em inventários têm como objetivo estimar a quantidade de CO₂ associada a uma geração de energia elétrica determinada. É calculada a média das emissões da geração, levando em consideração todas as usinas que estão gerando energia e não somente aquelas que estejam funcionando na margem. Se todos os consumidores de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional (SIN) calculassem as suas emissões multiplicando a energia consumida por esse fator de emissão, o somatório corresponderia às emissões do SIN. Nesse sentido, ele deve ser usado quando o objetivo for quantificar as emissões da energia elétrica que está sendo gerada em determinado momento. Ele serve, portanto, para inventários em geral, corporativos ou de outra natureza.

Os fatores de emissão para o cálculo associado ao consumo de energia elétrica é Tier 2.

Tabela 32. Fatores de emissão médios mensais e anuais entre 2006 à 2013⁴²

Fator Médio Mensal (t CO ₂ /MWh)													
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Médio
2006	0,0322	0,0346	0,0337	0,0275	0,0317	0,0306	0,0351	0,0336	0,0383	0,036	0,0265	0,028	0,0323
2007	0,0229	0,0195	0,0195	0,0197	0,0161	0,0256	0,031	0,0324	0,0355	0,0377	0,0406	0,0496	0,0293
2008	0,0584	0,0668	0,0599	0,0453	0,0459	0,0521	0,0437	0,0425	0,0411	0,0438	0,0334	0,0477	0,0484
2009	0,0281	0,0237	0,0247	0,0245	0,0405	0,0369	0,0241	0,0199	0,0162	0,0179	0,0181	0,0194	0,0246
2010	0,0211	0,028	0,0243	0,0238	0,0341	0,0506	0,0435	0,0774	0,0907	0,0817	0,0869	0,0532	0,0512
2011	0,0262	0,0288	0,0208	0,0198	0,027	0,0341	0,0308	0,0301	0,0273	0,035	0,0356	0,0349	0,0292
2012	0,0294	0,0322	0,0405	0,0642	0,062	0,0522	0,0394	0,046	0,0783	0,0984	0,1247	0,1168	0,0653

⁴² Fonte: <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/321144.html#ancora>



Fator Médio Mensal (t CO₂/MWh)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Médio
2013	0,1151	0,109	0,0981	0,0959	0,1151	0,1079	0,0838	0,0833	0,084	0,0831	0,093		

A fórmula utilizada para o cálculo das emissões provenientes do uso de energia elétrica é:

$$CO_{2\ EE} = EE \times FE$$

Onde,

CO_{2 EE} é a emissão de CO₂ (t CO₂);

EE é o consumo de energia elétrica (MWh);

FE é o fator de emissão nacional (t CO₂/MWh).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acot, P. Breve história do Clima. Ciência e Ambiente. Campinas SP.v34,p13-24 2007

Alves, B.J.R.; Urguiaga, S.; Aita, C.; Boddey, R.M.; Jantalia, C.P., Camargo, F.A.O. in: Manejo de sistemas agrícolas, Impacto no sequestro de C e nas emissões de Gases de efeito estufa. Porto Alegre, Genesis, 2006, 216 p. Embrapa Agrobiologia.

Assad & Martins, Agricultura de baixa emissão de carbono: a evolução de um paradigma. Revista Agroanalysis. 2015.

Bayer, C., Martin-Neto, L., Mielniczuk, J., Pavinato, A., Dieckow, J., 2006. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. Soil & Tillage Research 86, 237-245.

Brasil, 2015. Terceiro inventário de emissões anuais de gases de efeito estufa no Brasil (em processo de revisão).

Campos, D.V.B.; Uso da técnica de ^{13}C e fracionamento físico da matéria orgânica nos solos sob cobertura de pastagens e cana de açúcar na região da Mata atlântica. Tese de doutorado UFRRJ, Seropédica. 2003

Cerri, C.C., Galdos, M.V., Maia, S.M.F., Bernoux, M., Feigl, B.J., Powlson, D., Cerri, C.E.P., 2011. Effect of sugarcane harvesting systems on soil carbon stocks in Brazil: an examination of existing data. European Journal of Soil Science, 62, 23–28.

FERREIRA, E. S.; ZOTARELLI, E. M. M.; SALVIATI, L. Efeitos da utilização da torta de filtro na produtividade da cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 4., 1986, Piracicaba. Anais... Piracicaba: Copersucar, 1986. p. 321-331.

FIRME, L.P. Cinética de degradação microbológica de torta de filtro no solo na presença de cádmio e níquel. (Dissertação de Mestrado). Piracicaba, 2005, 74 p.

FURLANETO, F. P. B.; RECO, P. C.; KANTHACK, R. A. D.; CIMONETTI, D.; MASSUD, J. R. G., OLIMA, A. L. R. O., ESPERANCINI, M. S. T. Análise comparativa de estimativas de custo de produção e de rentabilidade entre as culturas de soja convencional e transgênica na região de Assis, Estado de São Paulo, safra 2006/07. Informações Econômicas, São Paulo, v. 37, n. 12, 2007b. p. 7-16.

Guidelines 1996. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

IPCC, 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IGES, Hayama, Japan.



IPCC, 2007. Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change. **Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007**
B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC, 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis.

JENSEN, B.B. Methanogenesis in monogastric animals. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 42, n. 1-2, p.99-112, 1996.

KANEKO, F.H.; TARSITANO, M.A.A.; RAPASSI, R.M.A.; CHIORDEROLI, C.A.; NAKAYAMA, F.T. 2009 Análise econômica da produção de cana-de-açúcar considerando-se a terceirização das operações agrícolas: o caso de um produtor. Pesq. Agropec. Trop., Goiânia, 39(3): 266-270.

KIEHL, E.J. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba, Editora Agronômica Ceres Ltda, 1985. 492p.

Lessa, A.C.R.; Madari, B.E.; Paredes, D.S.; Boddey, R.M.; Urquiaga, S.; Jantalia, C.P.; Alves, B.J.R.; Bovine urine and dung deposited on Brazilian savannah pastures contribute differently to direct and indirect soil nitrous oxide emissions. Agriculture, Ecosystems and Environment. 2014

LOPES, A.S. E GUIMARÃES, P.T.G. (coord.) Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais; 4ª aproximação. Lavras, CFSEMG. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1989. 176p.

Maia, SMF., Carvalho, JLN., Cerri, CEP., Lal, R., Bernoux, M., Galdos, MV., Cerri, CC., 2013. Contrasting approaches for estimating soil carbon changes in Amazon and Cerrado biomes. *Soil & Tillage Research* 133, 75-84.

Marin, F.R; Assad, E,D.; Pilau, F,G.; Clima e agricultura: Introdução à climatologia para ciências ambientais-Campinas SP Embrapa Informática Agropecuária,2008, 127 p. 1.edição

MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). Emissões de óxido nitroso de solos agrícolas e de manejo de dejetos (Segundo inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa – Relatório de Referência). Coordenação Geral de Mudanças Globais, Ministério da Ciência e Tecnologia, Brasília, DF, Brasil, 106 pp. 2010.

Mello, FFC. Estoques de carbono do solo na mudança de uso da terra para o cultivo de cana-de-acucar na região centro Sul do Brasil., 2012. Tese de Doutorado, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, 102p.





MORAES, J.F.L.D., VOLKOFF, B., CERRI, C., BERNOUX, M. Soil properties under Amazon forest and changes due to pasture installation in Rondonia, Brazil. *Geoderma*, v.70, p63-81, 1996

PAREDES, D.S., LESSA, A.C.R., SANT'ANNA, S.A.C., BODDEY, R.M., URQUIAGA, S., ALVES, B.J.R. Nitrous oxide emission and ammonia volatilization induced by vinasse and N fertilizer application in a sugarcane crop at Rio de Janeiro, Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 98, p. 41-55, 2014.

RICHETTI, A.; LAZZAROTTO, C. Estimativa de custo de produção de trigo, safra 2009, em Dourados, MS. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2009. 7 p. (Embrapa Agropecuária Oeste. Comunicado técnico, 154). Embrapa Dourados.

Salton, Julio Cesar. Matéria orgânica e agregação do solo na rotação da lavoura-pastagem em ambiente tropical. Porto Alegre Tese de doutorado, UFRGS, 158p. 2005.

Zhang, H et al. 2011, A study of radiative forcing and global warming potential of Hydrofluorcarbon. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*. V 112. P. 220-229. 2011.

Urquiaga, S.; Cadish, G.; Alves, B.J.R.; Boddey, R.M.; Giller, K.E.; Influence of decomposition of roots of tropical forage species on the availability of nitrogen. *Soil Biology and Biochemistry*, v.30. n. 14, p2099-2106, 1998. Embrapa Agrobiologia.

