

## Pegada de Carbono de Produtos Agrícolas: Estudo de Caso do Melão



ISSN 2179-8184  
Dezembro, 2013

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Agroindústria Tropical  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

## **Documentos 167**

### **Pegada de Carbono de Produtos Agrícolas: Estudo de Caso do Melão**

*Tayane de Lima Santos  
Viviane da Silva Barros  
Maria Cléa Brito de Figueirêdo  
Ana Bárbara de Araújo Nunes  
Rubens Sonsol Gondim  
Ebenézer de Oliveira Silva  
Fernando Antônio Souza de Aragão  
João Alencar de Sousa*

Embrapa Agroindústria Tropical  
Fortaleza, CE  
2013

Unidade responsável pelo conteúdo e edição:

Embrapa Agroindústria Tropical

Rua Dra. Sara Mesquita 2270, Pici

CEP 60511-110 Fortaleza, CE

Fone: (85) 3391-7100

Fax: (85) 3391-7109

www.cnpat.embrapa.br

cnpat.sac@embrapa.br

Comitê de Publicações da Embrapa Agroindústria Tropical

Presidente: *Marlon Vagner Valentim Martins*

Secretário-Executivo: *Marcos Antônio Nakayama*

Membros: *José de Arimatéia Duarte de Freitas, Celli Rodrigues Muniz,*

*Renato Manzini Bonfim, Rita de Cassia Costa Cid, Rubens Sonsol*

*Gondim, Fábio Rodrigues de Miranda*

Revisão de texto: *Marcos Antônio Nakayama*

Normalização bibliográfica: *Rita de Cassia Costa Cid*

Editoração eletrônica: *Arilo Nobre de Oliveira*

Fotos da capa: *Maria Cléa Brito de Figueirêdo*

1ª edição (2013): versão eletrônica

**Todos os direitos reservados**

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

**Embrapa Agroindústria Tropical**

---

Pegada de carbono de produtos agrícolas: estudo de caso do melão / Tayane de Lima Santos... [et. al.] - Fortaleza : Embrapa Agroindústria Tropical, 2013.

34 p. : il. color ; 21 cm x 29,7 cm. – (Documentos / Embrapa Agroindústria Tropical, ISSN 2179-8184 ; 167).

1. Melão. 2. Emissões. 3. Fonte de GEE. 4. Efeito estufa. 5. ACV. 6. Análise de Ciclo de Vida. I. Santos, Tayane de Lima. II. Barros, Viviane da Silva. III. Figueirêdo, Maria Cléa Brito de. IV. Nunes, Ana Bárbara de Araújo. V. Gondim, Rubens Sonsol. VI. Silva, Ebenézer de Oliveira. VII. Aragão, Fernando Antônio Souza de. VII. Sousa, João Alencar de. IX. Série.

---

CDD 635.51

© Embrapa 2013

# **Autores**

## **Tayane de Lima Santos**

Tecnóloga em Gestão Ambiental, mestranda em Engenharia Civil/ Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará, bolsista da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, [tayanedelimasantos@gmail.com](mailto:tayanedelimasantos@gmail.com)

## **Viviane da Silva Barros**

Engenheira-agrônoma, M.Sc. em Irrigação e Drenagem, bolsista da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, [vivianebarros1@hotmail.com](mailto:vivianebarros1@hotmail.com)

## **Maria Cléa Brito de Figueirêdo**

Bacharel em Ciências da Computação, D.Sc. em Saneamento Ambiental, pesquisadora da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, [clea.figueiredo@embrapa.br](mailto:clea.figueiredo@embrapa.br)

## **Ana Bárbara de Araújo Nunes**

Engenheira sanitária, D.Sc. em Recursos Hídricos, professora da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, [abarbara@deha.ufc.br](mailto:abarbara@deha.ufc.br)

## **Rubens Sonsol Gondim**

Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Recursos Hídricos, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, [rubens.gondim@embrapa.br](mailto:rubens.gondim@embrapa.br)

## **Ebenézer de Oliveira Silva**

Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Fisiologia Vegetal, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, [ebenezer.silva@embrapa.br](mailto:ebenezer.silva@embrapa.br)

## **Fernando Antônio Souza de Aragão**

Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Fitotecnia/Melhoramento Vegetal, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, [fernando.aragao@embrapa.br](mailto:fernando.aragao@embrapa.br)

## **João Alencar de Sousa**

Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Plantas Medicinais, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, [joao.alencar@embrapa.br](mailto:joao.alencar@embrapa.br)

# Apresentação

O estudo da pegada de carbono de produtos agroindustriais é uma ferramenta importante que busca a redução dos impactos de produtos nas mudanças climáticas. Além de permitir a identificação das principais fontes de emissões de gases de efeito estufa no ciclo de vida de um produto, ajuda a dar suporte à definição de estratégias de redução das emissões, sendo o primeiro passo para certificação de carbono em produtos. Essa certificação vem sendo cada vez mais demandada por cadeias de suprimento de alimentos e por consumidores que requerem formalização do compromisso ambiental de toda a cadeia produtiva relacionada a um produto.

Compromissada com a sustentabilidade do agronegócio brasileiro, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) vem contribuindo ativamente com o desenvolvimento de estudos relacionados à pegada de carbono de produtos agroindustriais. A Embrapa Agroindústria Tropical também participa dessa iniciativa, apresentando, neste documento, uma revisão dos protocolos de certificação de carbono, principais fontes de emissão de gases de efeito estufa na agricultura e indicação das etapas necessárias à condução de um estudo de pegada de carbono. Também é apresentado um estudo de caso focado no melão cantaloupe (*Cucumis melo* variedade *cantaloupensis*), buscando facilitar a compreensão do método para cálculo da pegada. Neste estudo, apresenta-se a abordagem metodológica utilizada pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) para estimativa de emissões oriundas de atividades agrícolas.

Este trabalho busca apoiar avaliações de pegada de carbono de produtos agroindustriais, realizadas por unidades produtivas. Busca também contribuir com as discussões sobre os avanços necessários para redução das incertezas associadas ao estudo.

*Cláudio Rogério Bezerra Torres*

Chefe-Geral Interino da Embrapa Agroindústria Tropical

# Sumário

|                                                                                                                             |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Introdução.....</b>                                                                                                      | <b>5</b>  |
| <b>Protocolos para determinação da pegada de carbono .....</b>                                                              | <b>7</b>  |
| <b>Fonte de GEE na agricultura e pecuária .....</b>                                                                         | <b>10</b> |
| Emissões resultantes da mudança no uso da terra .....                                                                       | 13        |
| Emissões da pecuária .....                                                                                                  | 14        |
| Emissões da aplicação de fertilizantes sintéticos e calcário .....                                                          | 15        |
| Emissões da queima de restos culturais e combustíveis fósseis .....                                                         | 16        |
| Emissões do cultivo de arroz irrigado com o método de inundação .....                                                       | 16        |
| <b>Passo a passo para elaboração de um estudo de pegada de carbono .....</b>                                                | <b>17</b> |
| <b>Estudo de caso: melão cantaloupe .....</b>                                                                               | <b>19</b> |
| Materiais e método .....                                                                                                    | 19        |
| Coleta de dados de inventário .....                                                                                         | 20        |
| Descrição dos processos com coleta de dados primários .....                                                                 | 21        |
| Cálculo das distâncias de transporte .....                                                                                  | 25        |
| Cálculo de emissões GEE.....                                                                                                | 26        |
| Avaliação de Impactos .....                                                                                                 | 27        |
| Resultados e discussão.....                                                                                                 | 28        |
| Inventário dos processos agrícolas e de empacotamento .....                                                                 | 28        |
| Inventário do ciclo de vida do melão cantaloupe focado nos GEE (CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O) ..... | 32        |
| Pegada de carbono do melão cantaloupe .....                                                                                 | 33        |
| Conclusão .....                                                                                                             | 35        |
| <b>Referências .....</b>                                                                                                    | <b>37</b> |
| <b>ANEXO A - Fórmulas usadas para estimar as emissões de GEE .....</b>                                                      | <b>41</b> |

# Pegada de Carbono de Produtos Agrícolas: Estudo de Caso do Melão

---

*Tayane de Lima Santos*

*Viviane da Silva Barros*

*Maria Cléa Brito de Figueirêdo*

*Ana Bárbara de Araújo Nunes*

*Rubens Sonsol Gondim*

*Ebenézer de Oliveira Silva*

*Fernando Antônio Souza de Aragão*

*João Alencar de Sousa*

## Introdução

O termo “pegada de carbono” para produtos se refere à massa de gases de efeito estufa (GEE) emitida devido à produção, uso e descarte de um produto. Assim, estudos sobre pegada de carbono de produtos contabilizam as emissões provenientes de um conjunto de processos relacionados ao ciclo de vida de um produto (PANDEY et al., 2011).

O conjunto de processos contemplados nesses estudos (sistema de produto) deve ser claramente definido e apresentado, pois pode variar de acordo com o objetivo do estudo. Alguns estudos têm circulação restrita a uma ou mais empresas, almejam a identificação de oportunidades de melhoria de processos, sendo direcionados a outras empresas que integram uma cadeia produtiva. Já outros estudos buscam apresentar os resultados do estudo ao consumidor final e, dessa forma, contemplam todos os processos do ciclo de vida completo de um produto, abrangendo as cadeias de produção e de consumo. Usualmente, afirma-se que os estudos têm escopo “da empresa ao consumidor” (*business to consumer*) quando abrangem todos os processos do ciclo de vida de um produto, desde os relacionados à extração de materiais e insumos necessários a sua fabricação até os processos de descarte final do produto pelo consumidor. Quando os processos contemplados em uma avaliação se restringem às etapas de extração de insumos e materiais e de fabricação do produto, diz-se que o escopo do estudo é de “empresa para empresa” (*business to business*).

Estudos que apresentam a pegada de carbono de produtos alimentícios vêm sendo realizados por inúmeras empresas internacionais de suprimento como Tesco (TESCO INC., 2013), Casino (CASINO GROUP, 2013) e Dole (DOLE FOOD COMPANY, 2013), com o resultado da pegada certificado por terceiros e expresso em selo de qualidade presente na embalagem do produto. Esses estudos se devem à crescente consciência pela sociedade do desafio global de redução das emissões que causam as mudanças climáticas. A consciência das possíveis consequências dessas mudanças na dinâmica dos ecossistemas aumentou a demanda dos consumidores por produtos com certificação ambiental de origem, em especial, de pegada de carbono que mostre o compromisso da cadeia produtiva com a redução dos GEE.

O setor agrícola é responsável por importante parcela das emissões de GEE. De acordo com o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (INTERGOVERNMENTAL..., 2006), a agricultura emite aproximadamente 22% do total de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), 80% do óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e 55% do metano (CH<sub>4</sub>) oriundos de atividades humanas.

Essa contabilidade considera as emissões que ocorrem na fazenda devido à aplicação de fertilizantes nitrogenados, manejo do solo com alterações no estoque de carbono, uso de maquinário que queimam combustíveis fósseis, fermentação entérica de rebanhos, queima de resíduos vegetais e manejo de dejetos animais. Entretanto, além dessas emissões provenientes das áreas de cultivo e criação de animais, outras

emissões são decorrentes da produção de insumos agrícolas como fertilizantes, pesticidas, embalagens, energia elétrica e material de irrigação. Todas essas emissões, provenientes tanto do campo quanto da cadeia de suprimentos, são contabilizadas em estudos de pegada de carbono de produtos agrícolas.

O governo brasileiro vem incentivando a adoção de medidas para redução das emissões de GEE em todos os setores produtivos, em especial, o agrícola. No final de 2009, foi instituída a Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei 12.187, de 29/12/2009), que instiga os diversos setores da economia a pesquisar, desenvolver e adotar tecnologias de baixo carbono (BRASIL, 2009). Segundo o Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima (BRASIL, 2010), a agropecuária de baixo carbono está relacionada à adoção de processos que visem à recuperação de pastagens, a integração lavoura-pecuária, o plantio direto, a fixação biológica de nitrogênio e florestas plantadas. Esse mesmo comitê estabeleceu metas de redução de emissões entre 5% e 6% para o setor agrícola, considerando a previsão de emissões para 2020.

Nesse contexto, o estudo da pegada de carbono de produtos agrícolas identifica atividades com maior potencial de emissão de GEE e possibilita a definição de práticas de manejo que reduzam essas emissões. Quando o estudo leva à certificação do produto com relação a sua pegada de carbono, também amplia o mercado para comercialização do produto em locais onde os consumidores valorizam essa iniciativa, como os mercados europeu e americano.

Este trabalho está estruturado em duas partes, uma teórica sobre o tema da pegada de carbono, e outra prática, com a apresentação de um estudo de caso. Inicialmente, realiza-se uma revisão dos protocolos de certificação de carbono, principais fontes de emissão de gases de efeito estufa na agricultura e indicação das etapas necessárias à condução de um estudo de pegada de carbono. Em seguida, apresenta-se o estudo de caso da pegada de carbono do melão cantaloupe, buscando facilitar a compreensão do método para cálculo da pegada. No estudo de caso, apresenta-se a abordagem metodológica utilizada pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) para estimativa de emissões oriundas de atividades agrícolas.

## Protocolos para determinação da pegada de carbono

Podem-se apontar três principais protocolos que orientam estudos quanto à quantificação e comunicação da pegada de carbono de produtos aos consumidores: o PAS 2050 (BSI, 2011), a Norma para Contabilização e Comunicação da Pegada de Carbono de Produtos (WRI; WBCSD, 2011) e a ISO 14067 (ISO, 2013). Uma análise comparativa desses protocolos com relação a importantes critérios oportuna a identificação de semelhanças e diferenças entre os protocolos (Tabela 1).

Observam-se as seguintes semelhanças entre esses protocolos: a) eles requerem o uso da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para o cálculo da pegada; b) o resultado da pegada é expresso em termos de massa de CO<sub>2</sub>-equivalente (CO<sub>2</sub>-eq) e relativo a uma unidade funcional de referência; c) o cálculo das emissões de GEE deve considerar os métodos indicados pelo IPCC (2006), incluindo as emissões decorrentes de mudanças no uso da terra; d) há consideração das fontes de incerteza nos resultados.

As principais diferenças se referem: a) ao escopo da avaliação, ou seja, processos que precisam ser contemplados quanto às emissões de GEE; b) à consideração e comunicação das emissões de CO<sub>2</sub> provenientes de fontes biogênicas e remoções de carbono no solo; c) ao tipo de alocação dos dados quando um processo resulta em mais de um produto.

**Tabela 1.** Comparação entre as principais metodologias de certificação de carbono quanto aos principais aspectos metodológicos.

| Critério                          | Aspecto                                                                                                                                                                                                                                                             | WRI/SWBCSD (2011)                                                                                               | PAS 2050 (BSI, 2011)                                                                                        | ISO 14067 (ISO, 2012)                                                              |
|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Metas                             | – Fornecer uma metodologia consistente para quantificação da pegada de carbono em produtos, envolvendo identificação, conhecimento e gerenciamento das emissões                                                                                                     | sim                                                                                                             | sim                                                                                                         | sim                                                                                |
|                                   | – Fornecer requisitos para comunicação pública dos resultados                                                                                                                                                                                                       | sim                                                                                                             | -                                                                                                           | sim                                                                                |
| Avaliação de impacto              | – Avalia, segundo o IPCC (2007), o potencial de aquecimento global, por 100 anos                                                                                                                                                                                    | sim                                                                                                             | sim                                                                                                         | sim                                                                                |
| Fronteiras do sistema permitidas  | – Da empresa ao consumidor                                                                                                                                                                                                                                          | sim                                                                                                             | sim                                                                                                         | sim                                                                                |
|                                   | – Da empresa para empresa                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                 | sim                                                                                                         | sim<br>(Permitido, desde que justificado e em sintonia com os objetivos do estudo) |
| Unidade de análise                | – Os resultados da avaliação são relativos a uma unidade funcional de referência. A unidade funcional é a quantificação da função de um produto                                                                                                                     | sim                                                                                                             | sim                                                                                                         | sim                                                                                |
| Indicador                         | – Resultado expresso em kg CO <sub>2</sub> -eq/unidade funcional.                                                                                                                                                                                                   | sim                                                                                                             | sim                                                                                                         | sim                                                                                |
| GEE                               | – Gases inventariados: emissões e remoções, na atmosfera, de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), metano (CH <sub>4</sub> ), óxido nitroso (N <sub>2</sub> O), hexafluoreto de enxofre (SF <sub>6</sub> ), perfluorcarbonos (PFCs) e os hidrofluorcarbonos (HFCs) | sim<br>(Apresenta, separadamente, todas as emissões e remoções biogênicas e não biogênicas de CO <sub>2</sub> ) | sim<br>(Não considera emissões de CO <sub>2</sub> , por fontes biogênicas, quando equivalentes às remoções) | sim                                                                                |
| Armazenagem de Carbono no produto | – Se, após a disposição final do produto, o teor de carbono é mantido por um período maior que o período de avaliação, consideram-se as remoções biogênicas e não biogênicas                                                                                        | sim                                                                                                             | sim                                                                                                         | sim                                                                                |
| Carbono no solo                   | – Quantificação e consideração do carbono armazenado no solo devido a práticas agrícolas                                                                                                                                                                            | (Permitido com comprovação científica)                                                                          |                                                                                                             | (Permitido desde que o cálculo utilize métodos indicados pelo IPCC)                |
| Mudança no uso da terra           | – Considera a transformação direta de áreas florestais em agrícolas ocorrida após 1990, em qualquer fase do ciclo de vida do produto                                                                                                                                | sim                                                                                                             | sim                                                                                                         | sim                                                                                |
|                                   | – Considera as emissões de GEE devidas às transformações indiretas pelo uso da terra                                                                                                                                                                                | (Podem ser reportadas separadamente)                                                                            |                                                                                                             | (Poderão ser reportadas quando houver consenso internacional sobre método)         |
| Dados                             | – Possui regras de qualidade para coleta de dados                                                                                                                                                                                                                   | sim                                                                                                             | sim                                                                                                         | sim                                                                                |
|                                   | – Coleta de dados primários para os processos pertencentes, operados ou controlados pela organização que desenvolve o estudo                                                                                                                                        | sim                                                                                                             | sim                                                                                                         | sim                                                                                |
| Alocações                         | – Indica alocação física quando mais de um produto ou coprodutos são gerados, caso não puder ser evitada pela expansão do sistema do produto                                                                                                                        | sim                                                                                                             |                                                                                                             | sim                                                                                |
|                                   | – Sugere alocação econômica quando mais de um produto ou coprodutos são gerados, caso não puder ser evitada pela expansão do sistema do produto                                                                                                                     |                                                                                                                 | sim                                                                                                         | (segunda opção)                                                                    |
| Incertezas                        | – Requer a inclusão de uma indicação qualitativa de incertezas dos resultados                                                                                                                                                                                       | sim                                                                                                             | sim                                                                                                         | sim                                                                                |

A avaliação de ciclo de vida é um método de avaliação de impacto de produtos e processos que está normatizado nas normas ISO 14040 e 14044 (2006a, 2006b). Esse método avalia o impacto de um produto considerando as emissões e consumo de recursos naturais que ocorrem em processos produtivos, de consumo e pós-consumo, associados ao ciclo de vida do produto. Os resultados de uma ACV são sempre relativos à unidade funcional de referência definida no estudo. A unidade funcional quantifica a função de um produto de acordo com serviço prestado por ele ao seu consumidor (ex.: quantidade de calorias relativas à ingestão de 1 kg de castanha), podendo também expressar a massa produzida ou comercializada de um produto (ex.: kg de amêndoas de caju).

O resultado da pegada de carbono é expresso em kg ou t de CO<sub>2</sub>-eq por unidade funcional, para o período de 1 ano. A medida t CO<sub>2</sub>-eq é calculada considerando o potencial de aquecimento global ou *global warming potential* (GWP) de cada GEE emitido em um estudo de pegada de carbono. A cada gás foi atribuído um potencial de aquecimento global que, ao ser multiplicado pela massa de gás liberado, permite sua expressão dos resultados em termos de CO<sub>2</sub>-eq. Dessa forma, tem-se uma relação estabelecida de cada GEE com o gás CO<sub>2</sub>, ao qual foi atribuído potencial igual a um (GWP = 1) (Tabela 2).

**Tabela 2.** Potencial de aquecimento global (GWP) dos principais gases de efeito estufa.

| GEE              | GWP (20 anos) | GWP (100 anos) | GWP (500 anos) |
|------------------|---------------|----------------|----------------|
| CO <sub>2</sub>  | 1             | 1              | 1              |
| CH <sub>4</sub>  | 72            | 25             | 7.6            |
| N <sub>2</sub> O | 310           | 298            | 153            |

Fonte: IPCC (2007).

Recomenda-se que o cálculo das emissões de GEE oriundas de cada processo utilize os métodos recomendados pelo IPCC (2006) para realização de inventários nacionais desses gases. Os métodos são propostos pelo IPCC para cada atividade (ex.: agricultura, indústria, energia e resíduos) e gás (ex.: CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>).

Para o cálculo de GEE em áreas de cultivo, os métodos combinam informações relacionadas à quantidade de insumos utilizados (ex.: quantidade de fertilizante nitrogenado), características ambientais (ex.: tipo de solo, vegetação, clima e cultura) e fatores de emissão para cada gás em estudo. O IPCC (2006) fornece informações ambientais para classes globais de bioma, clima e solo, assim como fatores de emissão gerais para grupos de culturas temporárias e permanentes (metodologia mais simplificada de análise – Tier 1) cultivados em todo o mundo. O inventário brasileiro de emissões GEE (BRASIL, 2010) apresenta informações ambientais mais detalhadas para biomas e solos brasileiros.

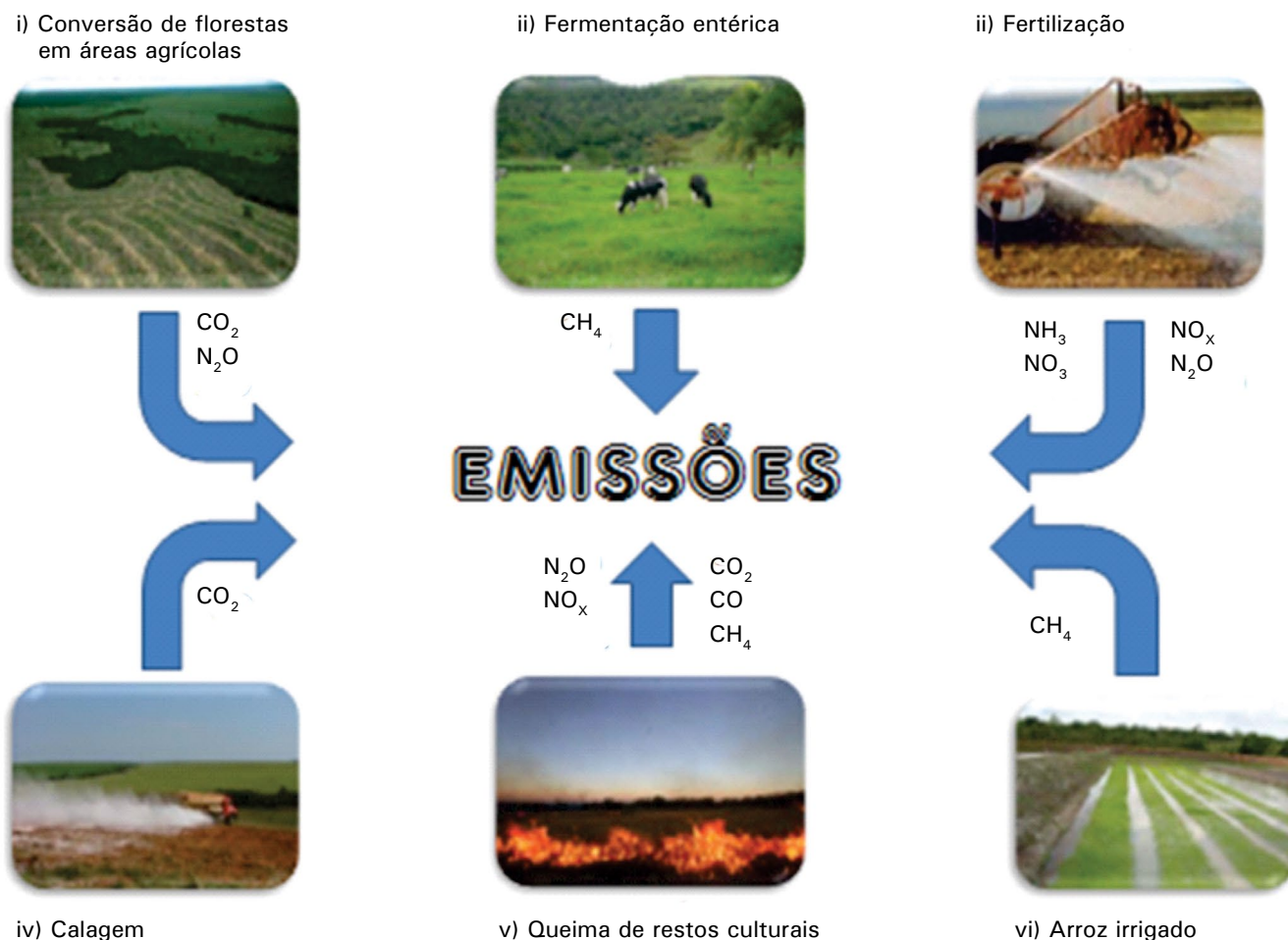
As incertezas relacionadas aos estudos de pegada de carbono de produtos agrícolas estão relacionadas à qualidade dos dados coletados e a estimativa das emissões. A coleta de dados deve prezar pela completeza e possuir correlação tecnológica, temporal e geográfica com a região onde os processos em estudo ocorrem. Nesses levantamentos, deve-se primar pela consideração da variabilidade dos dados. A transparência quanto a essa variabilidade é importante para que os interessados no estudo possam entender suas limitações e abrangência.

Outro fator que traz incerteza aos estudos de pegada de carbono está relacionado aos fatores de emissão utilizados no cálculo das emissões de GEE. Como observado anteriormente, os fatores disponíveis nos inventários de GEE do IPCC (2006) e do governo brasileiro (BRASIL, 2010) não são gerais e contemplam grandes biomas brasileiros, sendo necessário o desenvolvimento de pesquisa para geração de fatores de emissões característicos de culturas específicas e microrregiões. Pesquisas estão em andamento no Brasil com o objetivo de determinar fatores de emissão de N<sub>2</sub>O para o uso de fertilizantes em culturas específicas localizadas em diferentes condições ambientais brasileiras, como a cana-de-açúcar produzida no Sudeste e o melão no Nordeste.

### Fonte de GEE na agricultura e pecuária

Para realização de um estudo de pegada de carbono de produtos agrícolas, é importante inicialmente identificar as atividades com potencial de gerar GEE na área de cultivo. De acordo com o IPCC (2006), a atividade agropecuária gera diretamente GEE quando: a) realiza a mudança no uso da terra, com a liberação de estoques de carbono pela conversão de florestas em áreas agrícolas; b) realiza a pecuária, com

emissões liberadas pela fermentação entérica dos animais; c) utiliza fertilizantes sintéticos ou advindos de dejetos animais e vegetais; d) utiliza calagem para correção da acidez do solo; e) queima restos culturais ou combustíveis fósseis pelo uso de maquinários; f) cultiva arroz irrigado com o método de inundação. As emissões por atividades podem ser visualizadas na Figura 1.



**Figura 1.** Emissões por atividade.

### Emissões resultantes da mudança no uso da terra

A ação antrópica de iniciação de novas atividades agrícolas em áreas florestais leva ao desmatamento com liberação de  $\text{CO}_2$  devido à degradação do carbono orgânico estocado na biomassa e no solo. A atividade microbiana de degradação da matéria orgânica também libera  $\text{N}_2\text{O}$ .

A cobertura reduzida do solo amplia sua exposição à radiação solar com aumento da temperatura e redução da umidade. Os processos de preparo do solo, com utilização de aração e gradagem, aumentam a aeração, estimulam a atividade microbiana e, conseqüentemente, a liberação de  $\text{CO}_2$  e  $\text{N}_2\text{O}$  para a atmosfera. Quando a retirada da vegetação é seguida de queima da biomassa, mais GEEs são emitidos.

Os desmatamentos no bioma Amazônia são responsáveis pelas maiores emissões de  $\text{CO}_2$  devido à mudança no uso da terra no Brasil. Em 2005, as emissões líquidas de  $\text{CO}_2$  desse bioma foram de 789,03 Tg (teragramas) de um total de 1.095,51 Tg. Estima-se que em 2010 as emissões de  $\text{CO}_2$  foram reduzidas para 124,88 x Tg nesse bioma (BRASIL, 2013). A quase totalidade das emissões devido ao desmatamento é oriunda da transformação de florestas nativas em áreas de pastagem e agrícolas, situação também observada nos demais biomas brasileiros.

## Emissões da pecuária

A criação de animais é a principal fonte de emissões de metano, principalmente relacionado ao rebanho para produção de carne criados em regime de confinamento. Essas emissões são resultantes da fermentação entérica que faz parte do processo digestivo dos animais ruminantes, e da fermentação anaeróbica dos dejetos animais que emite  $\text{CH}_4$  e  $\text{NO}_2$ . Observa-se na Tabela 3 que, em 2005, as emissões de metano devido à fermentação entérica foram de 11.487 Gg (gigagramas). Em 2010, a previsão para as emissões devidas a essa atividade foi de 11.741,4 Gg (BRASIL, 2013).

As emissões de metano devido ao manejo de dejetos de animais em 2005 foram de 723 Gg. A previsão para essas emissões em 2010 foi de 794,4 Gg tendo sido impulsionadas pelo aumento do manejo de dejetos do rebanho de suínos, que passou de 357,7 Gg em 2005 para 401,2 Gg em 2010 (BRASIL, 2013).

**Tabela 3.** Estimativa de emissões de  $\text{CH}_4$ , por fermentação entérica.

| Tipo de animal | 1990  | 1994  | 2000  | 2005   | Participação 2005 | Variação 1990-2005 |
|----------------|-------|-------|-------|--------|-------------------|--------------------|
|                | (Gg)  |       |       |        | %                 | %                  |
| Gado bovino    | 8.004 | 8.597 | 9.256 | 11.129 | 96,9              | 39                 |
| Gado de leite  | 1.198 | 1.263 | 1.178 | 1.371  | 11,9              | 14,5               |
| Gado de corte  | 6.807 | 7.316 | 8.078 | 9.757  | 84,9              | 43,4               |
| Outros animais | 415   | 416   | 344   | 358    | 3,1               | -13,7              |
| Total          | 8.419 | 8.995 | 9.599 | 11.487 | 100               | 25                 |

Fonte: BRASIL (2013).

## Emissões da aplicação de fertilizantes sintéticos e calcário

Com a Revolução Industrial e o incremento da produção agrícola, passou-se a utilizar fertilizantes industrializados para suprir as deficiências nutricionais dos solos, principalmente em nitrogênio, que é de grande importância no metabolismo das plantas. Desse modo, aumentou-se a capacidade de rendimento das culturas, mas também as emissões de GEE (PES, 2009).

O nitrogênio é um dos principais nutrientes aplicados nas culturas visando promover seu rápido crescimento, sendo fundamental no processo de fotossíntese. Ainda na década de 1960, a disponibilidade de nitrogênio no planeta era controlada por processos naturais, por meio da fixação do elemento pelas plantas. Da década de 1960 a 2000, o consumo de fertilizante nitrogenado cresceu cerca de 30 vezes (COSTA et al., 2009).

O uso desse nutriente em fertilizantes orgânicos e inorgânicos acarreta a liberação direta e indireta de  $\text{N}_2\text{O}$  devido à liberação de amônia ( $\text{NH}_3$ ), óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) (IPCC, 2006) e posterior transformação desses compostos em  $\text{N}_2\text{O}$  devido aos processos de nitrificação e desnitrificação. O uso de fertilizantes sintéticos no Brasil foi responsável pela emissão de 9.652 Gg de  $\text{CO}_2$ -eq em 2005 e de 12.516 Gg  $\text{CO}_2$ -eq em 2010, representando um aumento de 29,7% nas emissões (BRASIL, 2013).

A volatilização da  $\text{NH}_3$  e  $\text{NO}_x$  e a lixiviação do  $\text{NO}_3^-$  de solos agrícolas acarretam a liberação indireta de  $\text{N}_2\text{O}$ , que será depositado em outros locais. O  $\text{N}_2\text{O}$  é liberado em menor quantidade que o  $\text{CO}_2$ , mas tem um potencial de aquecimento, no horizonte de 100 anos, 298 vezes maior que o  $\text{CO}_2$  (IPCC, 2007).

Os processos de nitrificação e desnitrificação estão diretamente relacionados com as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  e demais compostos de nitrogênio. Na nitrificação, ocorre a oxidação da amônia ( $\text{NH}_4^+$ ) em nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e há produção de óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Esse processo ocorre em condições aeróbicas, necessitando de solos bem drenados, com baixa saturação hídrica. O pH do solo também influencia nesse processo, sendo desejável pH acima de 5, o que favorece a atividade das bactérias quimioautotróficas que participam do processo (COSTA et al., 2009; ALVES et al., 2012). Já no processo de desnitrificação, o

nitrito é reduzido a  $N_2$ ,  $NO_x$  e  $N_2O$  em condições anaeróbias, sendo predominantes as emissões de  $N_2O$ . Nesse contexto, o alto índice de saturação do solo influencia a desnitrificação, pois traz o solo para próximo de sua capacidade de campo (COSTA et al., 2009; ALVES et al., 2012).

A aplicação de ureia ( $CO(NH_2)_2$ ) libera, além de  $N_2O$ , o  $CO_2$  que foi incorporado ao produto na fase industrial. A ureia é convertida em amônio ( $NH_4^+$ ), hidroxila ( $OH^-$ ) e bicarbonato ( $HCO_3^-$ ), que, por sua vez, libera  $CO_2$  na presença de água.

A aplicação de carbonatos para correção da acidez em solos agrícolas também libera  $CO_2$ . A adição de calcário (ex.:  $CaCO_3$  ou  $CaMg(CO_3)_2$ ) leva à liberação de  $CO_2$  e água quando o carbonato se dissolve e libera o bicarbonato.

### Emissões da queima de restos culturais e combustíveis fósseis

A atividade agrícola no Brasil ainda utiliza a prática de queimar restos culturais em campo. Essa queima causa emissões principalmente de  $CH_4$  e  $NO_2$ . A grande quantidade de  $CO_2$  emitido nesse processo não é considerada no cômputo das emissões líquidas, já que, na fotossíntese, a mesma quantidade de  $CO_2$  é absorvida durante a fase de crescimento da planta.

As práticas de manejo para implantação de culturas utilizando implementos agrícolas acoplados a tratores também contribuem para a emissão de GEE ( $CO_2$ ,  $CH_4$  e  $N_2O$ ) no processo de queima de combustíveis fósseis.

### Emissões do cultivo de arroz irrigado com o método de inundação

No sistema de cultivo de arroz inundado, realizado em áreas de várzea, onde o fluxo de oxigênio atmosférico para o solo é interrompido, ocorre a decomposição de matéria orgânica de forma anaeróbia, levando à produção de  $CH_4$ . As emissões de  $CH_4$  variam em função de fatores como pH do solo, temperatura, radiação solar e manejo (aplicação de fertilizantes), bem como em função da área colhida nos diferentes sistemas de cultivo.

Na Tabela 4, observa-se que a região Sul do Brasil possui uma maior contribuição nas emissões de metano por solos cultivados com arroz. Isso se deve a essa região ser a maior produtora de arroz no País e por essa produção ser realizada em regime de irrigação contínua ou de várzea.

**Tabela 4.** Emissões de metano por cultivo de arroz por região e no País.

| Região       | 1990  | 1994  | 2000  | 2005  | Varição 1990-2005 |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------------------|
|              | (Gg)  |       |       |       | %                 |
| Norte        | 8,8   | 19,4  | 16,8  | 23,3  | 164,1             |
| Nordeste     | 16,3  | 18    | 15,4  | 16,2  | -0,2              |
| Sudeste      | 67,2  | 56,2  | 26,6  | 20    | -70,2             |
| Sul          | 249,8 | 328,2 | 321,7 | 349,8 | 40                |
| Centro-Oeste | 21    | 14,6  | 12,4  | 16,3  | -22,4             |
| Brasil       | 363,1 | 436,3 | 392,9 | 425,7 | 17,2              |

Fonte: BRASIL (2010).

## Passo a passo para elaboração de um estudo de pegada de carbono

O Protocolo PAS 2050 (BSI, 2011) apresenta passos que podem ser seguidos em estudos que buscam determinar a pegada de carbono de um produto:

- **Passo 1 – Planejamento:** Inicialmente, deve-se definir a fronteira do sistema em estudo, com a apresentação do fluxograma de processos contemplados no estudo de ciclo de vida do produto. Após essa definição dos processos, devem-se identificar as atividades responsáveis por emissões de gases

em cada processo e estabelecer procedimentos para quantificação dos gases. A unidade funcional deve ser definida para que os dados referentes a consumos e emissões sejam relativos a essa unidade.

- **Passo 2 – Coleta de dados:** Será necessário o levantamento de dados para utilização dos métodos de cálculo de emissões propostos pelo IPCC (2006). Esses dados se referem tanto a insumos utilizados no processo como às condições ambientais do local da emissão e fatores de emissão. Incentiva-se a coleta de dados primários sobre insumos e condições ambientais nos processos que ocorrem na empresa fabricante do produto em estudo ou nos fornecedores mais próximos. As informações sobre consumos e emissões de GEE referentes aos demais processos podem ser oriundas de fontes secundárias, como banco de dados de inventários de ciclo de vida (ex.: Ecoinvent). É importante conhecer a variação existente nos dados e identificar situações que implicarão mudança nos resultados, realizando análises de incerteza e sensibilidade.

Deve-se realizar ampla revisão da literatura para levantamento de fatores de emissão que tenham sido definidos para a cultura e regiões próximas à de estudo. Outra opção é realizar medições das emissões de GEE in loco em experimentos de campo para determinação de fatores de emissão locais, próprios para a cultura e ambiente em estudo. Essa alternativa demanda conhecimento técnico-científico para elaboração do plano amostral, que deve considerar possíveis variações dos dados no tempo e no espaço, e para análise dos resultados, requerendo maior investimento de capital. O IPCC (2006) recomenda a realização de coleta de GEE durante pelo menos 1 ano para determinação de fatores de emissão.

- **Passo 3 – Cálculo da pegada:** De posse dos dados primários e secundários levantados, calculam-se as emissões, utilizando os métodos indicados pelo IPCC (2006) por processo em estudo, atividade e gás de efeito estufa ou dados oriundos de medições. É importante relatar todas as suposições e escolhas realizadas para caracterização do ambiente e tecnologia empregada nos processos analisados. Ao final dessa etapa, tem-se, além do inventário de GEE, a expressão da pegada em CO<sub>2</sub>-eq por unidade funcional adotada. O inventário deve apresentar as emissões de CO<sub>2</sub> de origem biogênica e fóssil separadamente, assim como as remoções de CO<sub>2</sub> em produtos ou em solos agrícolas. É importante lembrar que ainda não há consenso entre os métodos de certificação de pegada de carbono, quanto à consideração do estoque de carbono no solo por mudanças de práticas de manejo, como, por exemplo, estocagem de carbono devido à prática de plantio direto em substituição ao plantio com aração e gradagem do solo.
- **Passo 4 – Interpretação dos resultados:** A análise dos dados permite identificar quais processos e atividades são os maiores responsáveis pela pegada e estabelecer ações que visem à redução das emissões de GEE. É importante conhecer o impacto da variação dos dados no resultado da pegada e identificar situações que impliquem mudança nos resultados, realizando análises de incerteza e sensibilidade.

## Estudo de caso: melão cantaloupe

O melão é hoje um importante produto tropical para o mercado externo brasileiro. Segundo dados da Food and Agriculture Organization (FAO, 2013), em 2011, o Brasil esteve entre os 12 maiores produtores mundiais e entre os 4 maiores exportadores de melão. A produção nacional se concentra na região Nordeste. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013), os estados do Ceará e Rio Grande do Norte são responsáveis por mais de 80% da produção brasileira, sendo a região do Baixo Jaguaribe e Apodi o principal polo produtor, abrangendo no Ceará os municípios de Aracati, Icapuí, Quixeré, Russas, Jaguaruana e Limoeiro do Norte, e, no Rio Grande do Norte, os municípios de Tibau, Mossoró, Grossos e Baraúna.

Entre as variedades mais produzidas para exportação, estão o melão amarelo e o cantaloupe. A variedade cantaloupe é considerada nobre por suas características sensoriais, como polpa muito doce e aroma acentuado (MENEZES et al., 2000).

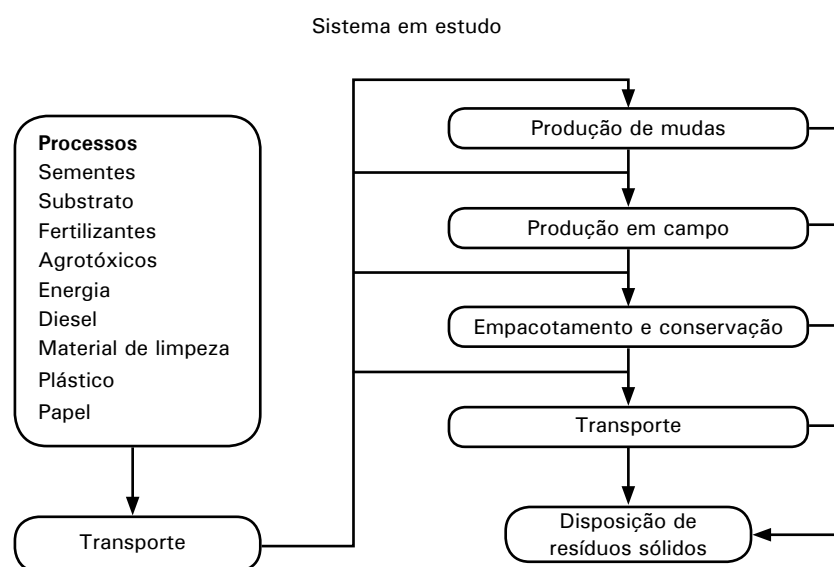
Este estudo teve como objetivo avaliar a pegada de carbono do melão cantaloupe brasileiro, produzido na região do Apodi (CE e RN) e exportado para o mercado europeu.

## Materiais e método

O estudo foi conduzido observando as normas ISO 14040 e ISO 14044 (2006a; 2006b), com foco na categoria de impacto nas mudanças climáticas.

A unidade funcional deste trabalho é uma tonelada de melão cantaloupe embalado e exportado para o porto de Rotterdam, na Holanda. Segundo informações fornecidas pelas fazendas entrevistadas, a produção de sementes e mudas é idêntica para todas as variedades de melão. Logo, a quantidade de semente e muda necessária à produção de melão cantaloupe seguiu a mesma lógica da quantidade definida para o melão amarelo em Figueirêdo et al. (2013): para cada tonelada exportada de melão cantaloupe, são utilizadas 3,64 kg de muda e 0,034 kg de semente.

Os processos considerados no estudo do melão cantaloupe são: a) produção e transporte dos insumos utilizados nas etapas de produção agrícola; b) produção agrícola; c) disposição de resíduos sólidos oriundos das fazendas; d) transporte dos frutos para o Porto do Pecém, CE, e, em seguida, para o Porto de Rotterdam, na Holanda. A produção de insumos (a) contempla diversos sistemas de produção relativos a sementes, defensivos agrícolas, energia para irrigação, diesel, plástico, papel e material de limpeza do fruto. Já a produção agrícola (b) envolve os processos que ocorrem na região do Apodi relativos a produção de mudas, produção de melão em campo aberto, embalagem e conservação dos frutos. O sistema de produto em estudo é apresentado na Figura 2: os processos de produção que ocorrem fora da região de estudo estão listados à esquerda da figura, e os processos que ocorrem na região em estudo estão localizados à direita.



**Figura 2.** Fronteiras do sistema em estudo.

## Coleta de dados de inventário

Dados primários referentes à quantidade de insumos utilizados no processo de produção de melão cantaloupe (produção do fruto em campo aberto) e de embalagem dos frutos foram obtidos por meio da aplicação de questionários em uma fazenda produtora de melão cantaloupe para exportação, localizada na região do Baixo Jaguaribe e Apodi, onde se encontra a maior produção brasileira de melão. Os dados são referentes ao ciclo de produção de 2011 e 2012, numa área plantada de cantaloupe de 37,5 hectares. Foram obtidos dados referentes a cada uma das 14 parcelas de produção de melão cantaloupe.

Já as informações correspondentes à produção de mudas refletem a realidade de uma unidade produtora de sementes da região do Baixo Jaguaribe e Apodi. Os dados referentes à produção de sementes de melão são provenientes de uma unidade experimental de sementes de melão da Embrapa Agroindústria Tropical.

Segundo os produtores de melão da região do Baixo Jaguaribe e Apodi, a produção de sementes e mudas não difere entre as variedades de melão, sendo igual para as variedades amarelo e cantaloupe. Dessa forma, os dados referentes a insumos e emissões nos processos de produção de sementes e mudas foram os mesmos levantados em estudo anterior sobre pegada de carbono do melão amarelo publicado em Figueirêdo et al. (2013).

Os dados referentes à produção e transporte dos seguintes foram retirados da base de dados Ecoinvent (FRISCHKNECHT; JUNGBLUTH, 2007): fertilizantes, agrotóxicos, diesel, eletricidade, plásticos, papel e material de limpeza dos frutos (cloro e sabão neutro).

## **Descrição dos processos com coleta de dados primários**

### **⇒ Produção de sementes**

A produção de sementes envolve os processos de produção de mudas e frutos, colheita, extração das sementes, fermentação das sementes, lavagem, secagem e armazenamento. Dependendo do ambiente, a produção pode ser realizada em estufas com ou sem aquecimento. Geralmente, a produção em países tropicais dispensa o uso de aquecimento, o que diminui custos e impactos. As sementes adquiridas pelos produtores de melão são, na maioria das vezes, importadas de países como Argentina, Chile e Estados Unidos.

Considera-se que a produção de sementes ocorre em estufas não aquecidas, em uma área de 0,05 ha produzindo 1.632 melões com peso individual de aproximadamente 1 kg, contendo cada um 400 sementes viáveis, e que cada semente gera uma muda. Considerou-se ainda que quatro ciclos de produção ocorrem em 1 ano, e que a vida útil do plástico de estrutura da estufa é de 3 anos; a vida útil das bandejas de mudas, feitas de PET (terefitalato de polietileno), é de 900 dias, e a vida útil do substrato de coco, 2 anos.

### **⇒ Produção de mudas**

O processo de produção de mudas envolve as seguintes etapas: semeadura, germinação em temperatura controlada e desenvolvimento em estufa. Considera-se que a produção de mudas ocorre em uma unidade com área de 0,12 ha e gera 110 milhões de mudas por ano. A vida útil do plástico da estufa onde ocorre a produção de melão para sementes é de 3 anos, e das bandejas utilizadas para produção das mudas, 900 dias.

### **⇒ Produção de melão cantaloupe**

A produção de melão cantaloupe, assim como de outras variedades, dá-se no segundo semestre do ano, período de estiagem. As etapas constituintes da produção em campo são: limpeza do terreno, preparo do solo, transplântio de mudas, tratos culturais e colheita. Na limpeza do terreno, ocorre a retirada da vegetação nativa para dar lugar aos campos de produção. Neste estudo de caso, assumiu-se que havia vegetação de Caatinga na área em estudo há menos de 20 anos e que essa vegetação foi removida e queimada. O processo de produção em campo segue com a preparação do solo. Nessa etapa, o terreno passa por processos de aração, gradagem e sulcamento, recebe a adubação de fundação (formada por compostos orgânicos) e, se necessário, recebe calcário para correção de pH do solo.

Na área de plantio, são ainda construídos os camalhões (pequenos montes de areia com altura entre 15 cm e 20 cm) para facilitar a drenagem do solo, instalado o sistema de irrigação, e distribuído o *mulching* nos camalhões (o qual é uma manta de polietileno que tem como funções: manter a umidade do solo, pela capacidade de evitar a evaporação da água presente no solo; proteger o solo da erosão; reduzir o crescimento de ervas daninhas; e garantir a integridade do fruto, evitando que partes do melão, em contato com o solo úmido, apodreçam).

As mudas produzidas em estufas são transferidas para o campo (Figura 3). Em seguida, as mudas são cobertas com um tecido de polipropileno (TNT), que protege a planta durante seus primeiros 25 dias contra a incidência de pragas. Ao iniciar o período de polinização, essa cobertura é retirada.

Após o transplântio de mudas, iniciam-se os tratos culturais que buscam fornecer condições favoráveis ao desenvolvimento da cultura. Nessa etapa, realizam-se: a fertirrigação, que é a aplicação de fertilizantes

diluídos na água de irrigação da cultura; o manejo de pragas, doenças e plantas daninhas, pela aplicação de agrotóxicos; a irrigação diária (gotejamento), visando fornecer a demanda hídrica requerida pela cultura; e o manejo dos frutos, por meio da viragem dos frutos para evitar que se formem manchas pela exposição ao sol e deformações pelo contato com o solo. O uso de bandejas plásticas, para evitar o contato do fruto com o solo, ocorre predominantemente no manejo das espécies nobres de melão, como o cantaloupe (Figura 4), utilizando-se uma bandeja por fruto.

A última etapa é a colheita, em que os frutos são retirados do campo e levados para a unidade de empacotamento da fazenda (*Packing House*). A colheita é feita, manualmente, em torno do 56º dia do ciclo, e o transporte dos frutos até a área de embalagem é feito em caçambas abertas puxadas por tratores que utilizam diesel como combustível.

Nesse processo, considera-se, para o cálculo da quantidade de insumos utilizados, que em um hectare são produzidos 23 mil quilogramas de melão, em 11.200 plantas, espaçadas 40 centímetros entre si e 2 metros entre fileiras. Considera-se também que a vida útil do *mulching* e da bandeja é de 112 dias (dois ciclos de produção), e da manta de polipropileno e tubos de irrigação, 169 dias (três ciclos de produção).



Fotos: Tayane de Lima Santos

Figura 3. (A) Solo preparado, (B) transplântio de mudas e (C) colocação do tecido.



Fotos: Tayane de Lima Santos

Figura 4. Melão cantaloupe sobre a bandeja em campo.

#### ⇒ Embalagem de Melão

Depois de colhido, o melão cantaloupe é levado para o galpão de embalagem. Nesse local, os frutos passam por um processo de lavagem, secagem, aplicação de solução antimicrobiana, separação por peso, embalagem e refrigeração. Os melões cantaloupe, antes de serem embalados, são acondicionados em sacos

de polipropileno, que possuem microporos (Figura 5), permitindo a troca de gases com o ambiente externo e evitando o acúmulo de vapores. As caixas com melões são organizadas em paletes, presos por cantoneiras e fitas plásticas e armazenadas em baixa temperatura para aumentar sua conservação. Os melões cantaloupe passam cerca de 8 horas em câmara fria, à temperatura de 3 °C, antes de serem transferidos para os containers de transporte que seguem para os navios no porto de exportação do Pecém.

Considera-se que a unidade de embalagem processa 43 t de melão por dia, funciona 9 meses no ano e tem área de 4.500 m<sup>2</sup>; que os sacos de prolipropileno e as caixas de papelão têm capacidade de armazenar 10 kg de cantaloupe; e que a câmara fria comporta 1.500 kg de fruto.

Fotos: Viviane da Silva Barros



**Figura 5.** Embalagens de melão cantaloupe.

### **Cálculo das distâncias de transporte**

Para o cálculo da distância de transporte de insumos agrícolas para as fazendas, consideram-se duas origens dos produtos: nacional e internacional. As distâncias nacionais e internacionais foram estimadas consultando informações sobre produção e localização das empresas disponíveis nas bases de dados do IBGE (2010), para insumos nacionais, e Brasil (2011), para insumos internacionais.

As distâncias percorridas são determinadas realizando-se a média ponderada das possíveis distâncias percorridas por insumo pela porcentagem de sua produção em cada região, seguindo estratégia adotada por Figueirêdo et al. (2013). Pela dificuldade de obter informações de localização dos distribuidores de alguns insumos, como agroquímicos, considera-se que o transporte desses produtos é feito diretamente dos produtores para as fazendas de melão.

Considera-se que os insumos agrícolas importados são transportados por navios, e os nacionais, por caminhões. Chegando aos portos brasileiros, o transporte dos insumos internacionais é feito por caminhões, que, segundo os produtores agrícolas, têm capacidade de carregar 24 toneladas.

Considera-se também que o transporte do melão é feito em containers refrigerados, com capacidade para transportar 20 t, levados em caminhões das fazendas até o porto do Pecém, seguindo para Europa (porto de Rotterdam, Holanda) em transporte náutico, por cerca de 7.500 km.

### **Cálculo de emissões de GEE**

#### **⇒ Emissões dos processos de produção em campo e embalagem de melão**

Os cálculos das emissões de GEE provenientes dos processos de produção de melão em campo aberto e de empacotamento são realizados de acordo com a metodologia proposta pelo IPCC (2006) e Brasil (2010). O Anexo A traz as equações utilizadas e os fatores de emissão adotados para o cálculo das emissões de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> nos processos agrícolas deste estudo, por atividade agrícola.

Dentro do processo de produção de frutos e empacotamento, as atividades consideradas para estimativa dos gases são: a transformação do uso da terra (passando do bioma natural caatinga para área de agricultura, sofrendo perda de biomassa por corte e queima, e mineralização da matéria orgânica); a queima de combustíveis fósseis pelo maquinário; e o uso de fertilizantes nitrogenados (incluindo não só os fertilizantes sintéticos, mas também o N proveniente da incorporação de resíduos culturais incorporados ao solo). Embora muitas fazendas utilizem áreas já desmatadas há mais de 20 anos, este estudo considera o pior caso em termos de emissões, devido ao desmatamento de floresta nativa é realizado para abertura de áreas produtoras de melão.

O IPCC (2006) apresenta equações que permitem calcular os GEE liberados durante o processo de produção de sementes, mudas, plantas e embalagem de melão. A Equação 1(a) generaliza como o cálculo da massa de GEE é realizada em estudo de pegada de carbono.

$$GHG_{g,a} = Input_a * EF_{g,a,l} \quad (\text{Eq. 1a})$$

em que:

$GHG_{g,a}$  é a massa (em kg) de GEE  $g$  liberada em uma atividade  $a$  (mudança de uso do solo, aplicação de fertilizantes nitrogenados, ou queima de combustíveis fósseis), no tempo de 1 ano.

$Input_a$  é a massa (kg) dos recursos utilizados durante uma atividade  $a$ , no período de 1 ano.

$EF_{g,a}$  é o fator de emissão, selecionado segundo as características da área em atividade. Para a região em estudo, os fatores adotados foram retirados do IPCC (2006) e do Inventário Nacional de GEE (BRASIL, 2010).

A equação 1(b), por sua vez, mostra como a massa total (kg) de GEE  $g$  de um processo é obtida pelo somatório das massa (kg) de GEE  $g$  liberados em todas as atividades  $a$ .

$$Processo_{GHG_g} = \sum_{a=1}^4 GHG_{g,a} \quad \text{Processo}_{GHG_g} = \sum_{a=1}^4 GHG_{g,a} \quad (\text{Eq. 1b})$$

#### ⇒ Emissões GEE por outros processos

As emissões de GEE nos processos de produção de sementes e de mudas foram calculadas por Figueirêdo et al. (2013) e utilizadas neste trabalho. As emissões relacionadas ao processo de produção dos insumos (eletricidade, agroquímicos, diesel, plástico, papelão e materiais de limpeza) são as fornecidas no Ecoinvent (FRISCHKNECHT; JUNGBLUTH, 2007).

### Avaliação de impactos

A pegada de carbono é calculada em cada processo, considerando a massa dos principais gases emitidos ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ ) e seu potencial de aquecimento global em 100 anos (IPCC, 2006). O cálculo é relativo à exportação de uma tonelada de melão cantaloupe.

A Equação 2 indica a fórmula utilizada para o cálculo da pegada de carbono, expressa em kg de  $\text{CO}_2$ -eq por t melão cantaloupe exportado.

$$PC_p = \sum_{g=1}^n \text{Processo} - GEE_{g,p} * PAG_g \quad (\text{Eq. 2})$$

em que:

$PC_p$  é a pegada de carbono no processo completo ( $\text{kg CO}_2\text{-eq t melão}^{-1} \text{ano}^{-1}$ ).

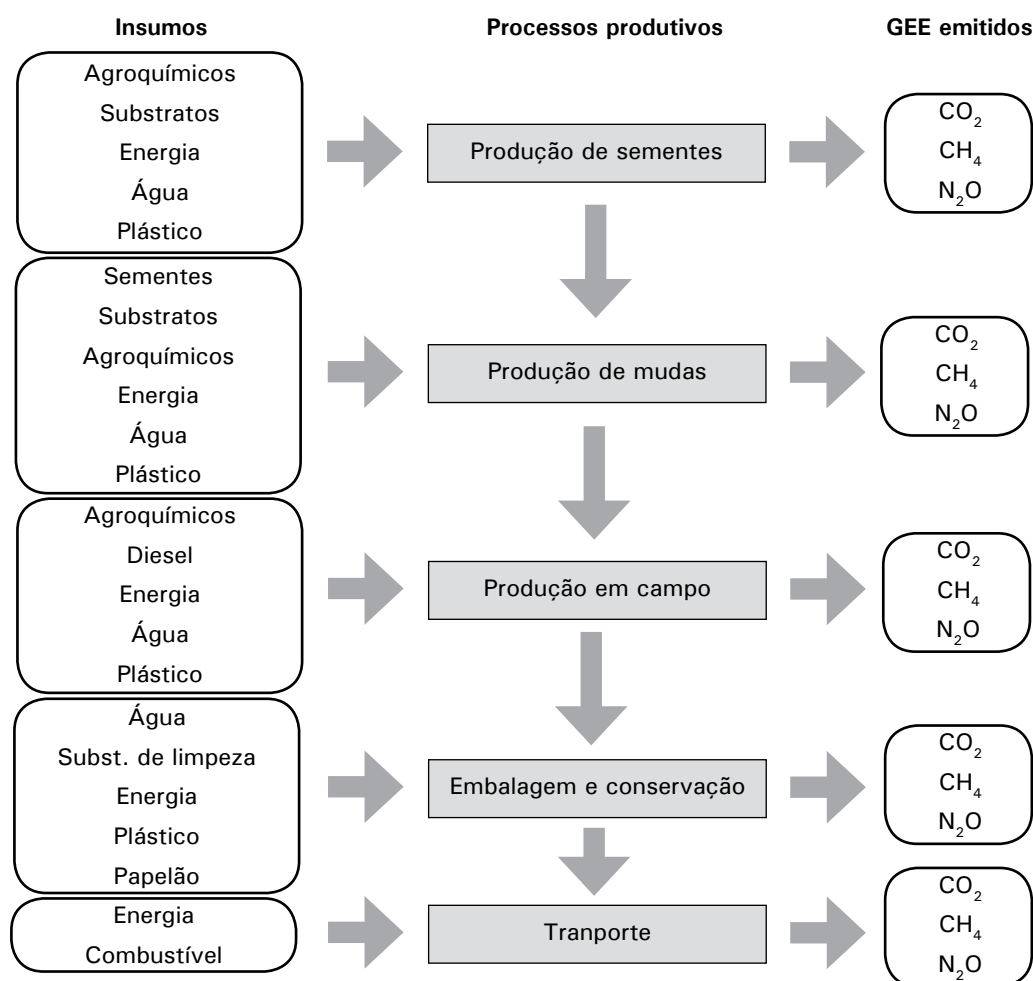
$\text{Processo} - GEE_{g,p}$  é a massa total de GEE (kg) emitida em todo processo.

$PAG_g$  indica o potencial de aquecimento global do GEE  $g$  segundo o IPCC (2006).

## Resultados e discussão

### Inventário dos processos agrícolas e de empacotamento

A Figura 6 traz um resumo dos principais processos ocorridos durante a produção e empacotamento de melão cantaloupe, os insumos e os GGE emitidos em cada etapa.



**Figura 6.** Processos produtivos, insumos utilizados e GEE emitidos.

Os insumos utilizados, resíduos gerados e gases produzidos nos processos de produção de sementes, mudas, melão e empacotamento do melão podem ser observados na Tabela 5. Os valores apresentados são relativos a 1 tonelada exportada de melão cantaloupe.

De forma geral, a etapa de produção de melão em campo aberto é a que requer a utilização de maiores quantidades de insumos por tonelada exportada de melão. Isso acontece porque o processo de produção faz uso intensivo de fertilizantes e agroquímicos, *mulching*, manta têxtil e maquinário.

Comparando os processos agrícolas e de empacotamento (Tabela 5), observa-se que a produção de melão em campo aberto também gera as maiores quantidades de resíduos sólidos, pelo descarte das embalagens de agroquímicos, dos tubos de irrigação, *mulching* e manta têxtil, assim como as maiores emissões de GEE.

Os processos de produção de sementes e de mudas contribuem com menos de 1% das emissões de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O relativas a 1 tonelada de melão exportado. Ressalta-se que foram consideradas apenas quantidades de mudas e sementes para produção e exportação de uma tonelada de melão cantaloupe (3,64 kg de muda e 0,034 kg de semente). Se o levantamento fosse feito para produção de uma tonelada de sementes ou de mudas, os valores seriam maiores.

**Tabela 5.** Inventário de consumos e emissões de GEE para 1 tonelada de melão exportado.

| Entradas e saídas             | Unidade        | Produção de sementes | Produção de mudas | Produção agrícola | Embalagem |
|-------------------------------|----------------|----------------------|-------------------|-------------------|-----------|
| Terra                         | m <sup>2</sup> | 0,3                  | 0,01              | 430,43            | 0,52      |
| Sementes                      | g              | 0,08                 | 33,66             | 0                 | 0         |
| Mudas                         | g              | 9,03                 | 0                 | 2.471,75          | 0         |
| Substrato de coco             | g              | 1.011,11             | 3564              | 0                 | 0         |
| Água                          | L              | 0,09                 | 0,06              | 195,08            | 0,36      |
| Eletricidade                  | kWh            | 11,49                | 0,46              | 44,77             | 507,2     |
| Diesel                        | g              | 0                    | 0                 | 13.110,12         | 0         |
| Produtos de limpeza           | g              | 0                    | 0                 | 0                 | 113,03    |
| Plásticos                     | g              | 73,27                | 519,31            | 23.331,76         | 866,25    |
| Papel                         | g              | 0                    | 0                 | 0                 | 55.202,4  |
| Madeira (pallets)             | g              | 0                    | 0                 | 0                 | 14.256    |
| <b>Fertilizantes</b>          |                |                      |                   |                   |           |
| Composto orgânico             | g              | 0                    | 0                 | 131.670           | 0         |
| N                             | g              | 4,05                 | 1,65              | 2.970             | 0         |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | g              | 0,59                 | 1,65              | 4.950             | 0         |
| K <sub>2</sub> O              | g              | 7,47                 | 0                 | 10.890            | 0         |
| Outros                        | g              | 3,98                 | 0                 | 1.188             | 0         |
| <b>Agroquímicos</b>           |                |                      |                   |                   |           |
| Inseticidas                   | g              | 1,28                 | 0,01              | 410,12            | 0         |
| Fungicida                     | g              | 0,55                 | 0,02              | 308,61            | 400,4     |
| Herbicida                     | g              | 0,46                 | 0                 | 0                 | 0         |
| <b>Resíduos sólidos</b>       |                |                      |                   |                   |           |
| Plásticos                     | g              | 66,01                | 523,47            | 23.331,76         | 0         |
| Embalagem de agroquímicos     | g              | 0,16                 | 0                 | 643,5             | 0,31      |
| <b>GHG</b>                    |                |                      |                   |                   |           |
| CO <sub>2</sub>               | g              | 106,92               | 3,96              | 187.375,32        | 201,96    |
| CH <sub>4</sub>               | g              | 0,1                  | 0,01              | 215,82            | 0,3       |
| N <sub>2</sub> O              | g              | 0,1                  | 0,04              | 217,8             | 0,03      |

Analisando as emissões de GEE por atividade e processo de produção (Tabela 6), pode-se verificar que:

- As maiores emissões de N<sub>2</sub>O ocorrem na atividade de aplicação de fertilizantes sintéticos nitrogenados no processo de produção de melão em campo aberto. A aplicação de fertilizantes gera emissões diretas e indiretas de N<sub>2</sub>O devido aos processos de nitrificação e desnitrificação que ocorrem no solo.
- O CH<sub>4</sub>, assim como o CO<sub>2</sub>, tem maior liberação na atividade de mudança no uso da terra, devido à queima da vegetação para abertura de área de produção agrícola.
- A atividade de queima de combustíveis fósseis contribui para liberação de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O, sendo a liberação de CO<sub>2</sub> em maior quantidade.

Conclui-se dessas observações que a utilização de áreas já desmatadas para produção de melão cantaloupe contribui em larga escala para a redução dos impactos da cultura sobre as mudanças climáticas. Isso acontece porque a atividade de mudança no uso do solo é uma das principais responsáveis pelas emissões de GEE neste estudo. Outro fator que merece consideração é o uso de fertilizante sintético, que precisa ser bem dosado para evitar as emissões desnecessárias de  $N_2O$ .

**Tabela 6.** Emissões de GEE por atividades para exportação de uma tonelada de melão exportado.

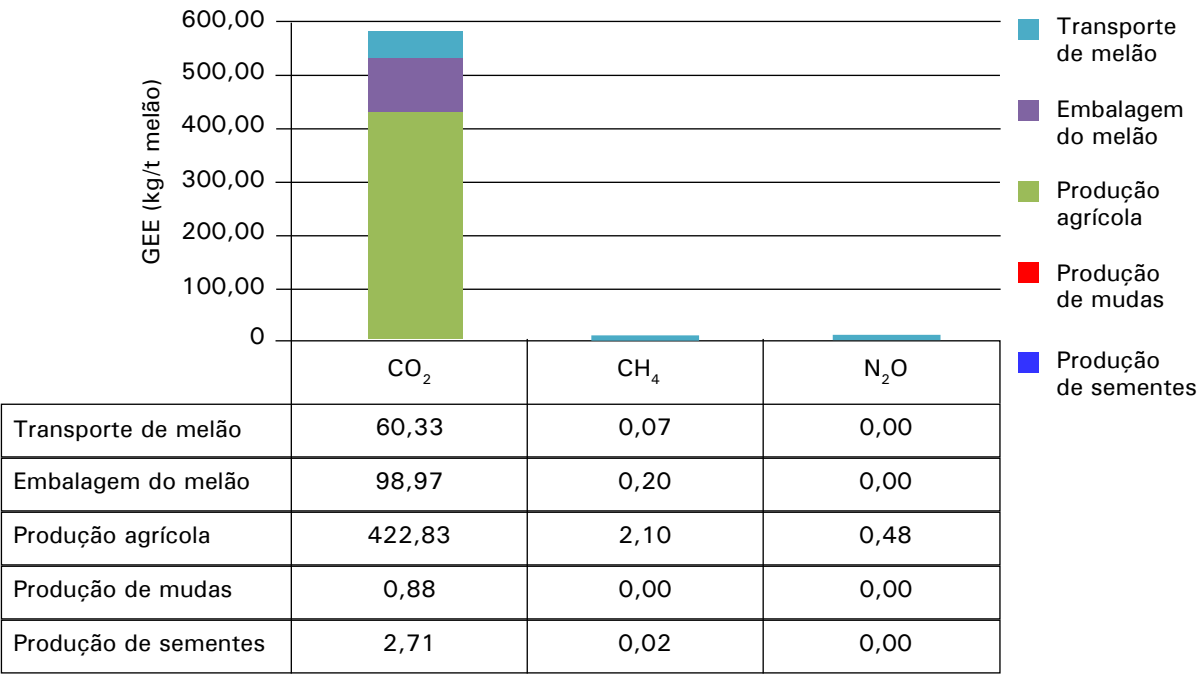
| Atividade                                                                           | Produção de sementes | Produção de mudas | Produção agrícola | Embalagem |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-----------|
| <b>CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono)</b>                                          |                      |                   |                   |           |
| Mudança no uso da terra (floresta para agricultura)                                 |                      |                   |                   |           |
| Perda de biomassa (kg CO <sub>2</sub> /t melão)                                     | 0,104                | 0,004             | 145.194           | 0,189     |
| Mudança do estoque de carbono no solo (kg CO <sub>2</sub> /t produzida)             | 0,004                | 0                 | 7.641             | 0,004     |
| Subtotal (kg CO <sub>2</sub> /t melão)                                              | 0,108                | 0,004             | 152.836           | 0,193     |
| Uso de ureia (kg CO <sub>2</sub> /t melão)                                          | 0                    | 0                 | 0,256             | 0         |
| Queima de combustíveis fósseis (diesel) (kg CO <sub>2</sub> /t melão)               | 0                    | 0                 | 43.889            | 0         |
| Total (kg CO <sub>2</sub> / t melão)                                                | 0,108                | 0,004             | 196.981           | 0,193     |
| <b>N<sub>2</sub>O (óxido nitroso)</b>                                               |                      |                   |                   |           |
| Queima de combustíveis fósseis (diesel) (kg N <sub>2</sub> O/ t melão)              | 0                    | 0                 | 0,017             | 0         |
| Emissões por fertilizantes                                                          |                      |                   |                   |           |
| Emissões diretas (kg N <sub>2</sub> O/t melão)                                      | 0                    | 0                 | 0,103             | 0         |
| Emissões indiretas (volatilização, lixiviação, fuga) (kg N <sub>2</sub> O/ t melão) | 0                    | 0                 | 0,038             | 0         |
| Subtotal (kg N <sub>2</sub> O/t melão)                                              | 0                    | 0                 | 0,141             | 0         |
| Mudança no uso da terra – queima (kg N <sub>2</sub> O/ t melão)                     | 0                    | 0                 | 0,019             | 0         |
| Total (kg N <sub>2</sub> O/t melão)                                                 | 0                    | 0                 | 0,177             | 0         |
| <b>CH<sub>4</sub> (metano)</b>                                                      |                      |                   |                   |           |
| Queima de combustíveis fósseis (diesel)(kg CH <sub>4</sub> /t melão)                | 0                    | 0                 | 0,002             | 0         |
| Mudança no uso da terra – queima (kg CH <sub>4</sub> /t melão)                      | 0,003                | 0                 | 0,211             | 0         |
| Total (kg CH <sub>4</sub> /t melão)                                                 | 0,003                | 0                 | 0,213             | 0         |

**Inventário do ciclo de vida do melão cantaloupe focado nos GEE (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O)**

Neste item, são consideradas as emissões provenientes de todos os processos contemplados no estudo, ou seja, as provenientes das áreas agrícolas e de empacotamento do melão e as oriundas dos processos de produção de insumos, transportes de materiais e de melão e descarte de resíduos. Observa-se que uma tonelada de melão cantaloupe exportado emite em média 586 kg de CO<sub>2</sub>, 2,4 kg de CH<sub>4</sub> e 0,5 kg de N<sub>2</sub>O (Figura 7). Cerca de 72% do CO<sub>2</sub> e 88% do CH<sub>4</sub> são oriundos do processo de produção de melão em campo aberto. Conforme observado anteriormente, essas emissões ocorrem principalmente quando é realizada a mudança no uso da terra, acarretando a perda da biomassa e a mudança no estoque de carbono do solo pela queima da vegetação nativa.

O empacotamento de melão também contribui com emissões de CO<sub>2</sub>, embora em menor quantidade. Essas emissões não ocorrem no galpão de embalagem de melão, mas nos processos de produção dessas embalagens (plástico, papel, madeira, etc.) e da energia utilizada no galpão. O transporte de melão também contribui com as emissões de CO<sub>2</sub> pela queima de combustíveis fósseis.

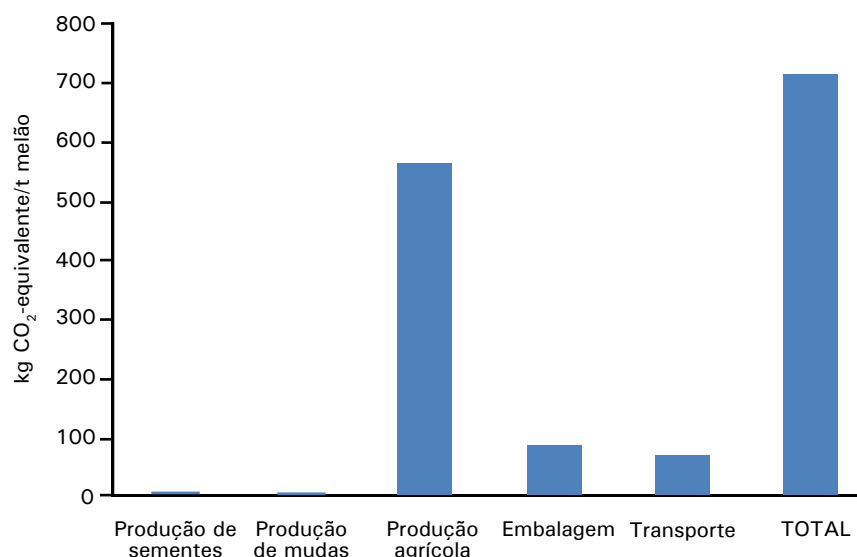
As emissões de N<sub>2</sub>O também são geradas em maior quantidade nos processos de produção agrícola, produção de fertilizantes sintéticos e produção de composto orgânico. Esses três processos respondem pela liberação de 97% do total das emissões de N<sub>2</sub>O geradas no ciclo de vida do produto. As demais etapas de produção contribuem individualmente com menos de 1% do total do N<sub>2</sub>O gerado.



**Figura 7.** Produção de GEE (em kg/t melão) por processo.

**Pegada de carbono do melão cantaloupe**

A pegada de carbono do melão cantaloupe é de 709 kg CO<sub>2</sub>-eq/t melão exportado (Figura 8). Esse valor varia de 633 kg a 797 kg de CO<sub>2</sub>-eq/t, devido, principalmente, às incertezas relacionadas aos fatores de emissão e ao fato de a coleta de dados primários relativos à produção de melão em campo aberto ser relativo a apenas uma unidade produtiva. Os fatores de emissão são elaborados considerando características locais de regiões produtoras, como vegetação, tipo, solo e clima. Os fatores propostos pelo IPCC (2006) se referem a regiões temperadas, o que eleva a incerteza dos resultados para o cálculo da pegada de carbono de produtos ou processos agrícolas tropicais. Embora fatores de emissão estejam disponíveis para alguns produtos tropicais, esse não é o caso da cultura do melão.



**Figura 8.** Pegada de carbono do melão cantaloupe exportado.

De maneira geral, observa-se uma grande semelhança entre os processos produtivos do melão cantaloupe e amarelo. Não há diferenças nos processos de produção de sementes, produção de mudas e transporte de melão. No processo de produção em campo, também há grande similaridade entre as variedades, diferindo apenas em dois itens: o uso das bandejas plásticas, que é indispensável para o cantaloupe e facultativo para o amarelo, e a aplicação da quantidade recomendada de nitrogênio à cultura (4 g de N para cada quilograma produzido), utilizada pelos produtores para o cantaloupe e ultrapassada em 33% na produção do amarelo. No galpão de empacotamento, o processo de lavagem e separação por peso é o mesmo para as duas variedades, observando-se diferença apenas na utilização de sacos plásticos antes do empacotamento e refrigeração dos frutos, somente para o melão cantaloupe. Entretanto, essas diferenças observadas nos sistemas de produção em campo aberto e empacotamento dos melões cantaloupe e amarelo não culminaram em diferença significativa na pegada de carbono.

Figueirêdo et al. (2013) calcularam a pegada de carbono do melão amarelo brasileiro exportado, encontrando o valor médio de 710 Kg CO<sub>2</sub>-eq/t melão amarelo exportado. A diferença entre a pegada de carbono do melão cantaloupe e do amarelo é insignificante, principalmente considerando a faixa de variação encontrada. Entretanto, deve-se considerar que o resultado obtido baseou-se em dados fornecidos por apenas uma fazenda. Assim, os valores encontrados para emissões de GEE pelo uso de fertilizantes nitrogenados, por exemplo, podem ser maiores caso uma amostragem mais ampla de empresas produtoras de melão cantaloupe seja considerada.

Assim como o melão amarelo brasileiro exportado, o melão cantaloupe brasileiro exportado possui pegada de carbono inferior à pegada de carbono do melão produzido na Europa (1.550 kg CO<sub>2</sub>-eq/t melão) e fora da Europa (1.740 kg CO<sub>2</sub>-eq/t melão) (AUDSLEY et al., 2009). Para o melão italiano, produzido no sul da Sicília, estudado por Cellura et al. (2012), a pegada de carbono encontrada foi de 1.427 kg CO<sub>2</sub>-eq/t melão. Possivelmente, a diferença entre esses valores se deva às favoráveis condições climáticas brasileiras que permitem a produção em campos abertos, enquanto na Europa a produção ocorre, em sua maioria, em estufas, o que aumenta a utilização de insumos. O transporte dos melões brasileiros por navios, ao invés de caminhões, também contribui para diminuição das emissões pela queima de combustíveis fósseis. Porém, são necessários mais estudos relacionados ao cálculo da pegada de carbono dos melões europeus para afirmar com maior embasamento a causa dessa diferença de emissões.

## Conclusão

A pegada de carbono encontrada para o melão cantaloupe foi de 709 kg CO<sub>2</sub>-eq/t melão cantaloupe exportado, podendo variar de 633 kg a 797 kg CO<sub>2</sub>-eq/t melão cantaloupe exportado, devido às incertezas relacionadas aos fatores de emissão e ao tamanho da amostragem.

Entre os processos de produção considerados no estudo, o de produção agrícola em campo é o que emite maiores quantidades de gases do efeito estufa, principalmente pela atividade de mudança no uso do solo. Recomenda-se, portanto, a utilização de áreas já plantadas anteriormente, evitando a devastação de novas áreas de vegetação nativa.

O valor de pegada de carbono do melão cantaloupe é muito próximo da pegada do melão amarelo brasileiro exportado, tendo em vista que essas variedades têm processo de produção semelhante. Comparando-se o cantaloupe brasileiro com os melões produzidos na Europa, tem-se que o valor da pegada de carbono do cantaloupe, assim como o amarelo, é menor que o valor dos melões produzidos na Europa, o que torna o produto mais competitivo quando o principal critério avaliado pelo consumidor é a pegada de carbono do produto.

Entretanto, é importante observar que a incerteza presente neste estudo deve ser reduzida em trabalhos futuros para que os resultados encontrados possam ser compreendidos como representantes da realidade da região do Baixo Jaguaribe e Apodi no Brasil. Sugere-se ampliar a amostragem de empresas fornecedoras de dados referentes aos insumos utilizados nas fazendas produtoras de melão em campo aberto, assim como desenvolvimento de pesquisas com monitoramento em campo das emissões de GEE visando à definição de fatores de emissão específicos para a cultura do melão.

# Referências

- ALVES, B. J. R.; CARVALHO, A. M.; JANTALIA, C. P.; MADARI, B.; URQUIAGA, S.; SANTOS, J. C. F.; CARVALHO, C. J. R. Emissões de óxido nitroso e óxido nítrico do solo em sistemas agrícolas. In: LIMA, M. A. de; BODDEY, R. M.; ALVES, B. J. R.; MACHADO, P. L. O. de A.; CABALLERO, S. S. U. (Ed.). **Estoques de carbono e emissões de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira**. Brasília, DF: Embrapa; Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2012. p. 159-191.
- AUDSLEY, E.; BRANDER, M.; CHATTERTON, J.; MURPHY-BOKERN, D.; WEBSTER, C.; WILLIAMS, A. **How low can we go?** an assessment of greenhouse gas emissions from the UK food system and the scope to reduce them by 2050. United Kingdom: FCNR/WWF, 2009.
- BRASIL. Lei n. 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 29 dez. 2009. Disponível em: <[http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/prop\\_mostrarintegra?codteor=841507&filename=LegislacaoCitada+-PL+195/2011](http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=841507&filename=LegislacaoCitada+-PL+195/2011)>. Acesso em: 13 nov 2012.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, 2010. Agricultura de Baixo Carbono. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/desenvolvimento-sustentavel/plano-abc>>. Acesso em: 31 ago. 2012.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Inventário brasileiro de emissões antrópicas por fontes e remoções por sumidouros de gases de efeito estufa não controlados pelo protocolo de Montreal**. Brasília, DF, 2010.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. Brasília, DF, 2013.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. **Sistema de análise das informações de comércio**. Brasília, DF, 2011. Disponível em: <<http://aliceweb2.mdic.gov.br/>>. Acesso em: 29 ago. 2011.
- BSI. BRITISH STANDARDS 2011. PAS 2050:2011 - Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. DEFRA, United Kingdom. Disponível em: <<http://shop.bsigroup.com/en/forms/PASs/PAS-2050/>>. Acesso em: 12 dez. 2012.
- CASINO GROUPE (CASINO). **A pioneer of environmental labeling**. Disponível em: <<http://www.groupe-casino.fr/en/Encouraging-consumption-that.html>>. Acesso em: 16 out. 2013.
- CELLURA, M.; LONGO, S.; MISTRETTA, M. Life cycle assessment (LCA) of protected crops: an Italian case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 28, p. 56-62, 2012.
- COSTA, A. R. da.; MADARI, B. E.; CARVALHO, M. T. de M.; MACHADO, P. L. O. de A.; BERNARDES, T. G.; SILVEIRA, P. M. da. **Uso do nitrogênio na agricultura e suas implicações na emissão do gás de efeito estufa: óxido nitroso N<sub>2</sub>O**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2009. 47 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 249).
- DOLE FOOD COMPANY INC. **Corporate responsibility and sustainability: carbon footprint**. 2011. Disponível em: <<http://dolecrs.com/sustainability/carbon-footprint/>>. Acesso em: 16 out. 2013.
- FIGUEIRÊDO, M. C. B.; CROEZE, C.; POTTING, J.; BARROS, V. B.; ARAGÃO, F. A. S.; GONDIM, R. S.; SANTOS, T. L.; BOER, I. J. M. The carbon footprint of exported brazilian yellow melon. **Journal of Cleaner Production**, v. 47, p. 404-414, 2013.
- FAO. **Agricultural production, primary crops**. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 22 out. 2013.
- FRISCHKNECHT, R.; JUNGBLUTH, N. **Ecoinvent e overview and methodology**. Dübendorf: Swiss Center for Life Cycle Inventories, 2007.
- GOEDKOOP, M.; SCHRYVER, A.; OELE, M., 2008. **Simapro 7: Introduction into LCA**. Pré Consultants, Netherlands.

IBGE. **Produção agrícola municipal**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 22 out. 2013.

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Geneva, 2006. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>>. Acesso em: out. 2013.

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2007: the physical science basis -contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change (2007): Synthesis report**: Contributions of working group I, II and III to the fourth Assessment Report. Geneva, 2007. Disponível em: <[http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_sp.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf)>. Acesso em: 31 ago. 2012.

ISO. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO14040:2006- Environmental management, Life cycle assessment, Principles and framework**. Geneva, 2006a.

ISO. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO14044:2006- Environmental management-Lifecycle assessment-requirements and guidelines**. Geneva, 2006b.

ISO. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14067:2012- Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification and communication**. Geneva, 2012.

MENEZES, J. B.; FILGUEIRAS, H. A. C.; ALVES, R. E.; MAIA, C. E.; ANDRADE, G. G.; ALMEIDA, J. H. S.; VIANA, F. M. P. Características do melão para exportação. In: ALVES, R. E. (Coord.) **Melão: pós-colheita**. Brasília, DF: Embrapa - Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. p. 13-22. (Frutas do Brasil, 10).

PANDEY, D.; AGRAWAL, M.; PANDEY, J. S. Carbon footprint: current methods of estimation. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.178, p. 135-160, 2011.

PES, L. Z. **Fluxo de Gases de Efeito Estufa em sistemas de preparo do solo e rotação de culturas no planalto do Rio Grande do Sul**, 2009. 91 f. UFSM – Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola-Mecanização Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

TESCO INC. **Measuring our carbon footprint**. 2013. Disponível em: <<http://www.tesco.com/climatechange/carbonFootprint.asp>>. Acesso em: 16 out. 2013.

WRI/WBCSD. WORLD RESOURCE INSTITUTE; WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **Product life cycle reporting and standard**. Washington, DC., 2011. Disponível em: <<http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/Product%20Life%20Cycle%20Accounting%20and%20Reporting%20Standard.pdf>>. Acesso em: 27 maio 2012.

## ANEXO A

### Fórmulas usadas para estimar as emissões de GEE

#### Emissões de CO<sub>2</sub> pela mudança de uso do solo (de floresta para agricultura)

##### Mudança de carbono na biomassa (MCT, 2010b)

$$E = \frac{(A * (C - avAgri)) * 44}{20 * 12}$$

em que:

*E* emissão de carbono (t CO<sub>2</sub>/ano kg melão, semente ou muda), considerando um período de 20 anos desde a conversão de uso da terra.

*A* área convertida em área agrícola (ha/ano kg melão, semente ou muda).

*C* estoque de carbono na biomassa e na matéria orgânica morta (t C/ha).

*avAgri* estoque de carbono na área de produção (t C/ha).

De acordo com o Inventário Nacional de Gases do Efeito Estufa (MCT, 2010), os valores de *C* para as fisionomias do bioma Caatinga que ocorrem na região estudada são 14,9 t C/ha (Estepe e Savana – Ta e Tp) e 24,1 t C/ha (parque Savana e Sp). O valor estimado para *avAgri* é 1,28 t C/ha para cultura do melão. Essa estimativa foi feita baseando-se na medida da matéria seca e carbono total de cinco plantas de melão na colheita.

As emissões de CO<sub>2</sub>, pela mudança de carbono na biomassa, foram calculadas para cada fisionomia do bioma Caatinga, e utilizou-se a média dos resultados encontrados. As emissões foram contabilizadas anualmente após a transformação da terra, num tempo de distribuição de 20 anos (IPCC, 2007; WRI; WBSCD, 2011).

##### Mudança de carbono no solo (MCT, 2010)

$$Es = \left( A * C_{solo} * \frac{[fc(t_0) - fc(t_f)]}{20} * \frac{44}{12} \right)$$

$$fc(t) = fUT * fRG * fl$$

em que:

*Es* emissões líquidas de carbono pelo solo (t CO<sub>2</sub>/ano kg melão, semente ou muda).

*A* área (ha/ano kg melão, semente ou muda).

$C_{solo}$  estoque de carbono no solo da área, na associação solo-vegetação (t C/ha).

$fc(t)$  fator de alteração de carbono num tempo  $t$  (adimensional):

- $f_{UT}$  fator de alteração de carbono relacionado à mudança de uso da terra (adimensional).
- $f_{RG}$  fator de alteração de carbono relacionado ao regime de gestão (adimensional).
- $f_l$  fator de alteração de carbono relacionado às entradas de matéria orgânica (adimensional).

De acordo com o Inventário Nacional Brasileiro de emissões de GEE (MCT, 2010), o valor de  $C_{solo}$  varia na região estudada e pode ser: 2,42 kg C/m<sup>2</sup> em solos com alta atividade de argila, 2,58 kg C/m<sup>2</sup> em solos com baixa atividade de argila (latossolos), 2,62 kg C/m<sup>2</sup> em solos com baixa atividade de argila (não latossolos) e 1,51 kg C/m<sup>2</sup> em arenossolos. As emissões de CO<sub>2</sub> pela mudança no solo foram calculadas para cada tipo de solo, e a média dos resultados foi utilizada.

Os fatores  $f_{UT}$ ,  $f_{MG}$ ,  $f$  e  $fc$ , para áreas agrícolas, são, respectivamente, 0,58; 1,16; 0,91 e 0,612. Em áreas florestais,  $fc$  é 1,0.

## Emissões de CO<sub>2</sub> pela mudança de uso do solo (agricultura para agricultura)

Segundo o MCT (2010), quando terras agrícolas de uma safra são utilizadas para plantar outra cultura, não ocorrem mudanças na biomassa nem no carbono do solo.

## Emissões de CO<sub>2</sub> pelo uso de ureia como fertilizante (IPCC, 2006)

$$\text{Emissões } C - CO_2 = (M * EF) * \frac{44}{12}$$

em que:

$\text{Emissões } C - CO_2$  emissões de CO<sub>2</sub> pela aplicação de ureia (t CO<sub>2</sub>/ano kg melão, semente ou muda).

$M$  massa de ureia (t/ano kg melão, semente ou muda).

$EF$  fator de emissão, que corresponde a 0,20.

## Emissões de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O pela queima de combustíveis (para transporte rodoviário) (IPCC, 2006)

$$\text{Emissão}_i = \text{Volume} * \text{densidade} * VCL * EF_i$$

em que:

$\text{Emissão}_i$  emissão de CO<sub>2</sub> (t CO<sub>2</sub>/ano kg melão, semente ou muda).

$i$  GEE (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sub>2</sub>O).

$\text{Volume}$  volume de combustível (L/ano kg melão, semente ou muda).

$\text{Densidade}$  densidade do combustível (kg/L).

$VCL$  valor calórico líquido (TJ/kg).

$EF_i$  fator de emissão para o GEE  $i$ .

Segundo o balanço energético brasileiro (MME, 2012):

- A densidade do diesel do Brasil é: 0,88 kg/L.
- O  $VCL$  é 10,100 Kcal/kg (Kcal = 0,000000041868 TJ).  $VCL$  é 0,00004228668 TJ/kg).

De acordo com o IPCC (2006), o fator de emissão para o diesel usado na agricultura é:

- 74.100 kg/TJ para  $CO_2$ .
- 4,15 kg/TJ para  $CH_4$ .
- 28,6 kg/TJ para  $N_2O$ .

### Emissões de $CH_4$ e $N_2O$ pela queima da biomassa (IPCC, 2006)

$$CH_4 - \text{Emissões} = A * M_b * C_f * G_{ef}$$

em que:

$Emissões-CH_4$  emissões de metano no ano (kg  $CH_4$ /ano kg melão, semente ou muda).

$A$  área queimada (ha/ano kg melão, semente ou muda).

$M_b$  massa de combustível disponível para combustão (kg/ha).

$C_f$  fator de combustão (adimensional).

$G_{ef}$  fator de emissão (g/kg matéria orgânica queimada).

Segundo o IPCC (2006),  $M_b$  e  $C_f$  para Caatinga (Savana) é 0,21. O valor de  $G_{ef}$  para  $CH_4$  é 2,3, e, para o  $N_2O$ , 0,21.

### Emissões de $N_2O$ pelo uso de fertilizantes e resíduos vegetais (IPCC, 2006)

#### Emissões diretas

$$\text{Entradas } N - N_2O - ((F_{SN} + F_{ON} + F_{RV} + F_{SOM}) * EF1) * \frac{44}{28}$$

em que:

$\text{Entradas } N-N_2O$  emissões de  $N_2O$  pelo solo (kg  $N_2O$ /ano kg melão, semente ou muda).

$F_{SN}$  quantidade de N em fertilizantes sintéticos aplicados (kg N/ano kg melão, semente ou muda).

$F_{ON}$  quantidade de N em fertilizantes orgânicos aplicados (kg N/ano kg melão, semente ou muda).

$F_{RV}$  quantidade de N nos resíduos vegetais (kg N/ano kg melão, semente ou muda).

$F_{SOM}$  quantidade de N mineralizado pela mudança de uso da terra (kg N/ano kg melão, semente ou muda).

$EF1$  fator de emissão.

Segundo o IPCC (2006), EF1 é 0,01.

$$F_{RV} = (A * C_f * Frac_{renov}) * [(R_{AcS} * N_{AS} * (1 - Frac_{renov})) + (R_{AbS} * N_{AbS})]$$

em que:

$A$  área plantada (ha/ano kg melão, semente ou muda).

$C_f$  fator de combustão. Não usado no caso do melão.

$Frac_{renov}$  fração do total de área que é anualmente renovada. Para o melão, é igual a 1.

$R_{AcS}$  razão entre a matéria orgânica dos resíduos acima do solo (kg mat. org.) e o rendimento vegetal (kg mat. org.).

$N_{AcS}$  N contido nos resíduos acima do solo (kg N/ kg mat. org.).

$Frac_{renov}$  fração de resíduos acima do solo que foi removida da área. No caso do melão, é igual a zero.

$R_{AbS}$  razão entre a matéria orgânica dos resíduos abaixo do solo (kg mat. org.) e o rendimento vegetal (kg mat. org.).

$N_{AbS}$  N contido nos resíduos abaixo do solo (kg N/ kg mat. org.).

$$F_{SOM} = [(\Delta C_{solo} * \frac{I}{R}) * 1000]$$

$$\Delta C_{solo} = (A * C_{solo} * \frac{[fc(to) - fc(tf)]}{20})$$

$$fc(t) = fUT * fRG * fl$$

em que:

$F_{SOM}$  quantidade de N mineralizado no solo devido à mudança no uso do solo (kg N/ano kg melão, semente ou muda).

$\Delta C_{solo}$  quantidade de C perdida pela mudança no uso do solo (t C).

$A$  área submetida à mudança de uso do solo (de floresta para agricultura, ver item 1.2) (ha/ano kg melão, semente ou muda).

$C_{solo}$  carbono no solo antes da mudança de uso do solo (ver item 1.2) (t C/ha).

$Fc = fc(t)$  fator de alteração de carbono num tempo t (adimensional).

$fUT$  fator de alteração de carbono relacionado à mudança de uso da terra (adimensional).

$fRG$  fator de alteração de carbono relacionado ao regime de gestão (adimensional).

$fl$  fator de alteração de carbono relacionado às entradas de matéria orgânica (adimensional).

$R$  C:N razão da matéria orgânica do solo. Segundo o IPCC (2006), é igual a 15, na mudança de uso do solo de floresta para área agrícola.

## Emissões pela volatilização de $\text{NH}_3$ e $\text{NO}_x$

$$N_2O_{DAT} - N = \{[(F_{SN} * FRAC_{GASF}) + (F_{ON} + F_{PRP}) * FRAC_{GASM}]\} * EF_4 * \frac{44}{28}$$

em que:

$N_2O_{DAT} - N$  quantidade de  $\text{N}_2\text{O}$  produzido pela deposição atmosférica do N volatilizado pelo manejo do solo (kg  $\text{N}_2\text{O}$ /ano kg melão, semente ou muda).

$F_{SN}$  quantidade de N em fertilizantes sintéticos aplicados (kg N/ano kg melão, semente ou muda).

$FRAC_{GASF}$  fração de N em fertilizantes sintéticos que volatilizam  $\text{NH}_3$  e  $\text{NO}_x$ . Esta é igual a 1.

$F_{ON}$  quantidade de N em fertilizantes orgânicos aplicados (kg N/ano kg melão, semente ou muda).

$F_{PRP}$  quantidade de N em urina e fezes depositadas por animais nos pastos (kg N/ano kg melão, semente ou muda). Quantidade não aplicada à cultura do melão.

$FRAC_{GASM}$  fração de N nos fertilizantes orgânicos que volatilizam  $\text{NH}_3$  e  $\text{NO}_x$ . É igual a 0,20, de acordo com o IPCC (2006).

$EF_4$  fator de emissão. Igual a 0,01, de acordo com o IPCC (2006).

## Emissões por fuga e lixiviação

Apesar de a fazenda produtora de melão utilizar irrigação por gotejamento, durante a estação chuvosa, a diferença entre a quantidade de chuva e o potencial de evaporação na área é maior que a capacidade de retenção de água pelo solo (pouco arenoso). Dessa forma, realizou-se o cálculo das emissões indiretas pela fuga e lixiviação.

$$N - N_2O = ((F_{SN} + F_{ON} + F_{RV} + F_{SOM}) * FRAC_{leach-(H)}) * EF_5 + \frac{44}{28}$$

em que:

$N - N_2O$  quantidade de  $\text{N}_2\text{O}$  produzido pela fuga e lixiviação do N adicionado no solo (kg N/ano kg melão, semente ou muda).

$F_{SN}$  quantidade de N em fertilizantes sintéticos aplicados (kg N/ano kg melão, semente ou muda).

$F_{ON}$  quantidade de N em fertilizantes orgânicos aplicados (kg N/ano kg melão, semente ou muda).

$F_{RV}$  quantidade de N nos resíduos vegetais (kg N/ano kg melão, semente ou muda).

$F_{SOM}$  quantidade de N mineralizado pela mudança de uso da terra (kg N/ano kg melão, semente ou muda).

$FRAC_{leach-(H)}$  fração de todo N aplicado que deixa o campo por lixiviação ou escoamento superficial. De acordo com o IPCC (2006), é 0,30.

$EF_5$  fator de emissão. De acordo com o IPCC (2006), é 0,0075.

Os valores e referência bibliográfica das variáveis independentes utilizadas no cálculo dos GEE estão apresentados na Tabela A1. Os valores encontrados para as variáveis dependentes já foram mostrados na Tabela 6.

**Tabela A1.** Resumo das variáveis dependentes necessárias ao cálculo do GEE.

| Item                                                                                            | Subitem                                    | Variável dependente | Valores                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Fonte                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Emissões de CO <sub>2</sub> pela mudança de uso do solo (de floresta para agricultura)       | 1.1 Mudança de carbono na biomassa         | A                   | Produção de sementes: 0,3 m <sup>2</sup> /kg melão; Produção de mudas: 0,01 m <sup>2</sup> /kg melão; Produção de melão em campo aberto: 430,43 m <sup>2</sup> /kg melão; Empacotamento: 0,52 m <sup>2</sup> /kg melão.                                                                                  | Dados coletados junto aos produtores |
|                                                                                                 |                                            | C                   | 14,9 t C/ha (Estepe e Savana – Ta e Tp) e 24,1 t C/ha (parque Savana e Sp)                                                                                                                                                                                                                               | MCT (2010)                           |
|                                                                                                 |                                            | Av_agri             | 1,28 t C/ha                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Análises laboratoriais               |
|                                                                                                 | 1.2 Mudança de carbono no solo (MCT, 2010) | A                   | Produção de sementes: 0,3 m <sup>2</sup> /kg melão; Produção de mudas: 0,01 m <sup>2</sup> /kg melão; Produção de melão em campo aberto: 430,43 m <sup>2</sup> /kg melão; Empacotamento: 0,52 m <sup>2</sup> /kg melão.                                                                                  | Dados coletados junto aos produtores |
|                                                                                                 |                                            | C_solo              | 2,42 kg C/m <sup>2</sup> em solos com alta atividade de argila, 2,58 kg C/m <sup>2</sup> em solos com baixa atividade de argila (latossolos), 2,62 kg C/m <sup>2</sup> em solos com baixa atividade de argila (não latossolos) e 1,51 kg C/m <sup>2</sup> em arenossolos                                 | MCT (2010)                           |
|                                                                                                 |                                            | fUT                 | 0,58                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | IPCC (2006)                          |
|                                                                                                 |                                            | fRG                 | 1,16                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | IPCC (2006)                          |
|                                                                                                 |                                            | fL                  | 0,91                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | IPCC (2006)                          |
| 2. Emissões de CO <sub>2</sub> pelo uso de ureia como fertilizante                              |                                            | M                   | Produção de melão em campo aberto: 0,0003 kg/kg melão                                                                                                                                                                                                                                                    | Dados coletados junto aos produtores |
|                                                                                                 |                                            | EF                  | 0,2                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | IPCC (2006)                          |
| 3. Emissões de CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O pela queima de combustíveis |                                            | Volume              | Produção de melão em campo aberto: 0,016 L/kg melão                                                                                                                                                                                                                                                      | Dados coletados junto aos produtores |
|                                                                                                 |                                            | Densidade           | 0,88 kg/L                                                                                                                                                                                                                                                                                                | MME (2012)                           |
|                                                                                                 |                                            | VCL                 | 10,100 Kcal/kg                                                                                                                                                                                                                                                                                           | MME (2012)                           |
|                                                                                                 |                                            | EFi                 | CO <sub>2</sub> : 74,100 kg/TJ; CH <sub>4</sub> : 4,15 kg/TJ; N <sub>2</sub> O: 28,6 kg/TJ                                                                                                                                                                                                               | IPCC (2006)                          |
| 4. Emissões de CH <sub>4</sub> e N <sub>2</sub> O pela queima da biomassa                       |                                            | A                   | Produção de sementes: 0,3 m <sup>2</sup> /kg melão; Produção de mudas: 0,01 m <sup>2</sup> /kg melão; Produção de melão em campo aberto: 430,43 m <sup>2</sup> /kg melão; Empacotamento: 0,52 m <sup>2</sup> /kg melão                                                                                   | Dados coletados junto aos produtores |
|                                                                                                 |                                            | Mb e Cf             | 0,21                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | IPCC (2006)                          |
|                                                                                                 |                                            | Gef                 | CH <sub>4</sub> : 2,3; N <sub>2</sub> O: 0,21                                                                                                                                                                                                                                                            | IPCC (2006)                          |
| 5. Emissões de N <sub>2</sub> O pelo uso de fertilizantes e resíduos vegetais                   | 5.1 Emissões diretas                       | FSN                 | Produção de melão em campo aberto: 0,003 kg/kg melão                                                                                                                                                                                                                                                     | Dados coletados junto aos produtores |
|                                                                                                 |                                            | FON                 | Produção de melão em campo aberto: 0,0027kg/kg melão                                                                                                                                                                                                                                                     | Dados coletados junto aos produtores |
|                                                                                                 |                                            | FRV                 | Produção de melão em campo aberto: 0,00116 kg/kg melão                                                                                                                                                                                                                                                   | Dados coletados junto aos produtores |
|                                                                                                 |                                            | FSOM                | Produção de melão em campo aberto: 0,00023 kg N/kg de melão em solos com alta atividade de argila; 0,00025 kg N/kg de melão em solos com baixa atividade de argila (latossolos); 0,00025 kg N/kg de melão em solos com baixa atividade de argila (não latossolos) e 0,00014 kg N/kg melão em arenossolos | Dados coletados junto aos produtores |

(Continua...)

Tabela A1 (Continuação).

| Item                                                                          | Subitem                                                                             | Variável dependente | Valores                                                                                                                                                                                                                                                                  | Fonte                                |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 5. Emissões de N <sub>2</sub> O pelo uso de fertilizantes e resíduos vegetais | 5.1 Emissões diretas                                                                | EF1                 | 0,01                                                                                                                                                                                                                                                                     | IPCC (2006)                          |
|                                                                               |                                                                                     | A                   | Produção de sementes: 0,3 m <sup>2</sup> /kg melão; Produção de mudas: 0,01 m <sup>2</sup> /kg melão; Produção de melão em campo aberto: 430,43 m <sup>2</sup> /kg melão; Empacotamento: 0,52 m <sup>2</sup> /kg melão.                                                  | Dados coletados junto aos produtores |
|                                                                               |                                                                                     | Frac_renov          | 1                                                                                                                                                                                                                                                                        | IPCC (2006)                          |
|                                                                               |                                                                                     | R_AcS               | Produção de melão em campo aberto: 0,46 kg matéria orgânica/kg matéria orgânica                                                                                                                                                                                          | Análises laboratoriais               |
|                                                                               |                                                                                     | N_AcS               | Produção de melão em campo aberto: 0,02 kg N/kg matéria orgânica                                                                                                                                                                                                         | Análises laboratoriais               |
|                                                                               |                                                                                     | Frac_remov          | 0                                                                                                                                                                                                                                                                        | Dados coletados junto aos produtores |
|                                                                               |                                                                                     | R_AbS               | Produção de melão em campo aberto: 0,000001 kg matéria orgânica/kg matéria orgânica                                                                                                                                                                                      | Análises laboratoriais               |
|                                                                               |                                                                                     | N_AbS               | Produção de melão em campo aberto: 0,02 kg N/kg matéria orgânica                                                                                                                                                                                                         | Análises laboratoriais               |
|                                                                               |                                                                                     | A                   | Produção de sementes: 0,3 m <sup>2</sup> /kg melão; Produção de mudas: 0,01 m <sup>2</sup> /kg melão; Produção de melão em campo aberto: 430,43 m <sup>2</sup> /kg melão; Empacotamento: 0,52 m <sup>2</sup> /kg melão.                                                  | Dados coletados junto aos produtores |
|                                                                               |                                                                                     | C_solo              | 2,42 kg C/m <sup>2</sup> em solos com alta atividade de argila, 2,58 kg C/m <sup>2</sup> em solos com baixa atividade de argila (latossolos), 2,62 kg C/m <sup>2</sup> em solos com baixa atividade de argila (não latossolos) e 1,51 kg C/m <sup>2</sup> em arenossolos | MCT (2010)                           |
|                                                                               |                                                                                     | fUT                 | 0,58                                                                                                                                                                                                                                                                     | IPCC (2006)                          |
|                                                                               |                                                                                     | fRG                 | 1,16                                                                                                                                                                                                                                                                     | IPCC (2006)                          |
|                                                                               |                                                                                     | fL                  | 0,91                                                                                                                                                                                                                                                                     | IPCC (2006)                          |
|                                                                               |                                                                                     | R                   | 15                                                                                                                                                                                                                                                                       | IPCC (2006)                          |
|                                                                               | 5.2 Emissões indiretas devidas à volatilização de NH <sub>3</sub> e NO <sub>x</sub> | FSN                 | Produção de melão em campo aberto: 0,003 kg/kg melão                                                                                                                                                                                                                     | Dados coletados junto aos produtores |
|                                                                               |                                                                                     | Frac_gasf           | 1                                                                                                                                                                                                                                                                        | IPCC (2006)                          |
|                                                                               |                                                                                     | FON                 | Produção de melão em campo aberto: 0,0027kg/kg melão                                                                                                                                                                                                                     | Dados coletados junto aos produtores |
|                                                                               |                                                                                     | FPRP                | 0                                                                                                                                                                                                                                                                        | Dados coletados junto aos produtores |
|                                                                               |                                                                                     | Frac_gasm           | 0,2                                                                                                                                                                                                                                                                      | IPCC (2006)                          |
|                                                                               |                                                                                     | EF4                 | 0,01                                                                                                                                                                                                                                                                     | IPCC (2006)                          |
|                                                                               | 5.3 Emissões indiretas devidas à lixiviação e escoamento superficial                | Frac_leach(H)       | 0,3                                                                                                                                                                                                                                                                      | IPCC (2006)                          |
|                                                                               |                                                                                     | EF5                 | 0,0075                                                                                                                                                                                                                                                                   | IPCC (2006)                          |



---

## *Agroindústria Tropical*