



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
MESTRADO EM SANEAMENTO AMBIENTAL

TAYANE DE LIMA SANTOS

**AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS DA PRODUÇÃO DE MELÃO EM
SISTEMA CONVENCIONAL E CONSERVACIONISTA NO SUMÉDIO SÃO
FRANCISCO.**

FORTALEZA
2015

TAYANE DE LIMA SANTOS

**AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS DA PRODUÇÃO DE MELÃO EM
SISTEMA CONVENCIONAL E CONSERVACIONISTA NO SUMÉDIO SÃO
FRANCISCO.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Saneamento Ambiental.

Orientadora: Prof. Dra. Ana Bárbara de Araújo Nunes.

Co-Orientadora: Dra. Maria Cléa Brito de Figueirêdo.

FORTALEZA

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Pós-Graduação em Engenharia - BPGE

-
- S239a Santos, Tayane de Lima.
Avaliação de impactos ambientais da produção de melão em sistema convencional e conservacionista no sumédio São Francisco / Tayane de Lima Santos. – 2015.
111 p. : il. color., enc. ; 30 cm.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2015.
Área de Concentração: Saneamento Ambiental.
Orientação: Profa. Dra. Ana Bárbara de Araújo Nunes.
Coorientação: Profa. Dra. Maria Cléa Brito de Figueirêdo.
1. Saneamento. 2. Adubação verde. 3. Agricultura. 4. Melão - Produção. Título.

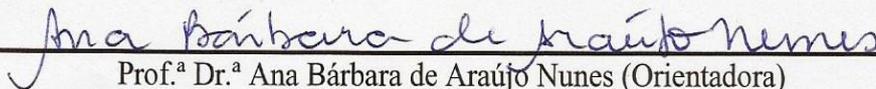
TAYANE DE LIMA SANTOS

**AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS DA PRODUÇÃO DE MELÃO EM
SISTEMA CONVENCIONAL E CONSERVACIONISTA NO SUMÉDIO SÃO
FRANCISCO.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, Área de concentração: Saneamento Ambiental.

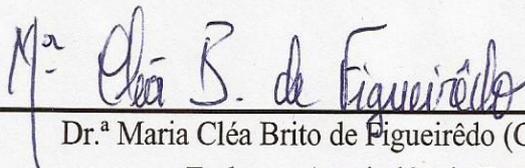
Aprovado em: 20 / 04 / 2015

BANCA EXAMINADORA



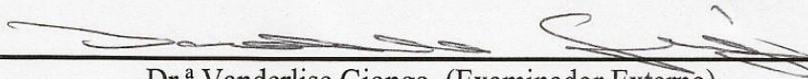
Prof.^a Dr.^a Ana Bárbara de Araújo Nunes (Orientadora)

Universidade Federal do Ceará



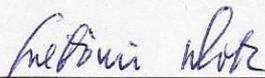
Dr.^a Maria Cléa Brito de Figueirêdo (Co-orientadora)

Embrapa Agroindústria Tropical



Dr.^a Vanderlise Giongo (Examinador Externo)

Embrapa Semiárido



Prof.^a Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota (Examinador Interno)

Universidade Federal do Ceará

A Deus,
À minha família.

AGRADECIMENTOS

Primeiro e eternamente, a Deus. Aquele que me deu a vida e a conduz para o louvor de Sua glória.

Aos meus pais, Josadac e Ana Maria, que não apenas me geraram, mas me constroem todos os dias. Vocês são modelos pra mim. Sempre serei grata por toda dedicação.

À minha “Mi”. Minha amada irmã. Sempre me emocionarei ao tentar descrever o quanto você importa pra mim. Obrigada por tudo! Eu não seria a mesma sem você.

Ao meu noivo, Phylippe. Agradeço o apoio, companheirismo e cuidado de sempre. Me inspiro em você, meu presente!

À minha Lilica, minha companheira nas longas horas de estudo. Sua alegria ao me receber depois de difíceis dias de trabalho me faz mais feliz.

À Professora Ana Bárbara, por decidir me orientar, embora a pesquisa envolvesse algo novo. Agradeço o acompanhamento e os esclarecimentos.

À Dr. Cléa pela orientação desde o início dos meus trabalhos acadêmicos. Obrigada por dividir os conhecimentos e por todo o apoio. Sua dedicação e humildade são espelhos pra mim.

À Vivi, por toda ajuda na coleta de dados, por me acompanhar na dificultosa compreensão do IPCC e, especialmente, por todo apoio nas horas de desânimo.

Às minhas amigas, Jéssica e Patrícia, pela companhia no mestrado. A amizade de vocês é um dos meus melhores resultados obtidos nesses dois anos.

Aos meus amigos da Embrapa, que tenho um carinho singular. A convivência com vocês torna meus dias mais leves.

À Vanderlise, Nivaldo e demais colegas da Embrapa Semiárido, por nos receber tão bem e pela solicitude em contribuir com as informações necessárias ao desenvolvimento deste trabalho.

Ao Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, professores, coordenação e secretaria, pela preciosa contribuição com a minha formação acadêmica.

À equipe do Projeto Salitre, em especial ao Gustavo, pela concessão das informações necessárias ao desenvolvimento da pesquisa.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária pelo fornecimento da estrutura e apoio ao desenvolvimento da pesquisa.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudo e pelo financiamento do “Projeto Repensa Melão”, base para o desenvolvimento dessa pesquisa.

RESUMO

O Submédio São Francisco é um dos principais polos produtores de melão amarelo para o mercado interno brasileiro. Sabendo que as atividades agrícolas impactam o meio ambiente, este estudo objetiva avaliar os impactos ambientais, por meio da avaliação do ciclo de vida, na produção de 1 kg de melão cultivado no Submédio São Francisco, sob dois sistemas de produção: convencional e conservacionista. Os dados referentes ao sistema de produção convencional de melão foram obtidos em campo, com entrevistas conduzidas no Perímetro Irrigado Salitre (Juazeiro-BA), já os dados referentes aos sistemas conservacionistas foram obtidos em uma unidade experimental da Embrapa Semiárido (Petrolina-PE). Realizou-se uma análise de sensibilidade, considerando quatro cenários: C1 (transporte), C2 (embalagem) e C3 (fertilizantes) e C4 (combinação de C1, C2 e C3). O sistema de produto em estudo abrange a produção de sementes e mudas de melão, a produção agrícola dos frutos, a embalagem e transporte do melão, e a produção e transporte dos insumos utilizados nestes processos. Aplicou-se o método *Recipe* na avaliação das categorias: Mudança Climática, Acidificação do Solo, Eutrofização de Águas Doces, Eutrofização Marinha e Escassez Hídrica; e o método *Usetox* para avaliação da Toxicidade. Os resultados indicaram que, em longo prazo, os sistemas conservacionistas apresentam menores impactos ambientais. Mostraram ainda que as categorias avaliadas são afetadas por três principais processos: transporte dos frutos, embalagem dos frutos e produção de fertilizantes. Com base na análise de sensibilidade, observa-se que no cenário 4 (que combina a substituição das caixas de papelão, a utilização de um transporte misto e a supressão do uso de fertilizantes nitrogenados) ocorre a maior redução dos impactos em todas as categorias avaliadas.

Palavras-chave: Avaliação do Ciclo de Vida. Produção de melão. Adubação verde.

ABSTRACT

The Sub-middle São Francisco River is one of the main producing areas of yellow melon for the Brazilian market. Knowing that agricultural activities impact the environment, this study aims to evaluate the environmental impacts, through the life cycle assessment, in the production of 1 kg of melon grown in Sub-middle São Francisco, under two production systems: conventional and conservationist. The data relating to conventional melon production system were obtained in the field, with interviews conducted in the Perímetro Irrigado Salitre (Juazeiro-BA); the data for the conservationist systems were obtained in an experimental unit of Embrapa Semi-Arid (Petrolina-PE). We performed a sensitivity analysis, considering three scenarios: C1 (transportation), C2 (packing), C3 (fertilizers) and C4 (combination of C1, C2 and C3). The product system under study covers the production of seeds and melon seedlings, agricultural production of fruit, packaging and transport of melons, and production and transport of inputs used in these processes. The ReCiPe method was applied in the evaluation of the categories: Climate Change, Soil Acidification, Eutrophication of Freshwater, Marine Eutrophication and Water Scarcity; and was applied the Usetox method to assess toxicity. The results indicated that in the long term, conservationist tillage systems have smaller environmental impacts. They have also shown that three main processes affect all categories assessed: transport of fruit, packaging of fruits and fertilizer production. Based on the sensitivity analysis, it is observed that in the scenario 4 (which combines the replacement of the cartons, the use of a mixed transport and the removal of nitrogen fertilizer use) is the greatest reduction of impacts in all categories evaluated.

Keywords: Life Cycle Assessment. Melon production. Green manuring.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-Fases da Avaliação do Ciclo de Vida	23
Figura 2- Fronteiras do Sistema em Estudo	45
Figura 3- Bacias Hidrográficas do Rio São Francisco	47
Figura 4- Amostra e cultivo do Coquetel Vegetal.....	50
Figura 5- Planta de feijão em crescimento e em estágio de maturidade.....	51
Figura 6- Cultura do milho em desenvolvimento.....	52
Figura 7- Mulching em campo (à esquerda) e planta em desenvolvimento (à direita)	55
Figura 8- Cultura desenvolvida (à esquerda) e colheita do melão (à direita).....	55
Figura 9- Plantio de mudas em sistemas conservacionista.....	56
Figura 10- Resumo das principais etapas de produção dos sistemas avaliados	57
Figura 11 – Impacto ambiental dos sistemas em estudo nas categorias avaliadas	66
Figura 12 - Impactos sobre a mudança climática e principais processos contribuidores	68
Figura 13 - Impactos sobre a acidificação do solo e principais processos contribuidores	70
Figura 14 - Impactos sobre a eutrofização de águas doces e principais processos contribuidores	72
Figura 15- Impactos sobre a eutrofização marinha e principais processos contribuidores	74
Figura 16 - Impactos sobre a depleção hídrica e principais processos contribuidores.....	75

Figura 17- Impactos sobre a toxicidade humana com potencial cancerígeno e principais processos contribuidores	77
Figura 18- Impactos sobre a toxicidade humana com potencial não cancerígeno e principais processos contribuidores	79
Figura 19 - Impactos sobre a ecotoxicidade de águas doces e principais processos contribuidores	80
Figura 20 - Impactos ambientais na situação de referência e cenários alternativos	82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AICV	Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida
ANA	Agência Nacional das Águas (Brasil)
AV	Adubação Verde
BA	Bahia
CH₄	Metano
CO₂	Dióxido de Carbono
CO₂-eq	CO ₂ -equivalente
CI	Com incorporação
GEE	Gases do Efeito Estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ILCD	International Reference Life Cycle Data System
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISO	Internacional Standard Organization
L	Leguminosas
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia (Brasil)
NL	Não-Leguminosas
NO	Óxido de Nitrogênio
N₂O	Óxido Nitroso
ONU	Organização das Nações Unidas
PAG	Potencial de Aquecimento Global
PC	Plantio Convencional
PD	Plantio Direto
PE	Pernambuco
RC	Rotação de culturas
SI	Sem incorporação
SPD	Sistema de Plantio Direto
VE	Vegetação Espontânea

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS	17
2.1	Geral	17
2.2	Específicos	17
3	REVISÃO DE LITERATURA	18
3.1	Desenvolvimento Sustentável.....	18
3.2	Impactos Ambientais	19
3.3	Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).....	20
3.3.1	Origem	21
3.3.2	Conceito	22
3.3.3	Etapas.....	22
3.4	Impactos ambientais associados à produção de melão.....	27
3.4.1	Erosão e compactação do solo, e desertificação.....	28
3.4.2	Salinização do solo	28
3.4.3	Depleção de corpos hídricos.....	29
3.4.4	Contaminação das águas, dos solos e dos seres vivos por agroquímicos.....	30
3.4.5	Poluição do ar	31
3.4.6	Redução da Biodiversidade	31
3.5	Categorias de Impacto Ambiental.....	32

3.6	A cultura do melão.....	35
3.7	Adubação Verde.....	37
3.7.1	Breve histórico da adubação verde no Brasil	37
3.7.2	Benefícios da adubação verde	39
4	METODOLOGIA.....	45
4.1	Unidade Funcional e fronteiras do sistema	45
4.2	Análise de Inventário.....	46
4.2.1	Coleta de Dados.....	47
4.2.2	Etapas do processo produtivo consideradas	49
4.2.2.1	<i>Produção de Biomassa</i>	<i>49</i>
4.2.2.2	<i>Produção de Melão.....</i>	<i>53</i>
4.2.3	Tipo de transporte e cálculo das distâncias.....	58
4.2.4	Estimativa de emissões	58
4.2.4.1	<i>Emissões por processos de produção em campo e embalagem de melão.....</i>	<i>58</i>
4.2.4.2	<i>Emissões por outros processos.....</i>	<i>59</i>
4.3	Avaliação de Impactos.....	60
4.3.1	Análises de incerteza e sensibilidade.....	60
5	RESULTADOS	62
5.1	Comportamento da produtividade de melão ao longo do tempo	62
5.2	Inventários de entradas e saídas nos processos.....	64
5.3	Impactos ambientais dos sistemas em estudo.....	66

5.4	Avaliação ambiental por categorias de impacto	67
5.4.1	Mudanças Climáticas.....	67
5.4.2	Acidificação do Solo.....	70
5.4.3	Eutrofização de Águas Doces	71
5.4.4	Eutrofização Marinha	73
4.4.5	Depleção Hídrica	75
4.4.6	Toxicidade	76
4.4.6.1	<i>Toxicidade Humana-potencial cancerígeno.....</i>	<i>76</i>
4.4.6.3	<i>Toxicidade Humana-potencial não cancerígeno.....</i>	<i>78</i>
4.4.6.3	<i>Ecotoxicidade de águas doces</i>	<i>79</i>
5.5	Impactos ambientais na situação de referência e cenários alternativos	81
6	CONCLUSÕES.....	84
	REFERÊNCIAS	86
	ANEXO	92

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um importante produtor de frutas no mercado mundial. Por sua grande extensão territorial, posição geográfica, condições climáticas e de solo, o Brasil produz diversos tipos de frutas. A produção comercial é dividida em frutas in natura (frescas) e frutas processadas (secas). Segundo Brazilian Fruit (2015), 31% da produção brasileira de frutas frescas e processadas são exportadas para o mundo, tendo como principal consumidor a União Europeia (consumindo cerca de 70% do total exportado).

Entres as frutas de maior expressão para o comércio brasileiro está o melão (*Cucumis melo*). A FAO (Food and Agriculture Organization, 2015), em 2012, classificou o Brasil como o nono maior produtor mundial e, em 2011, como o quinto maior exportador do fruto. No Brasil, a principal região produtora é o Nordeste, envolvendo dois importantes polos: a região produtora que divide os Estados do Ceará e Rio Grande do Norte, e a região do Vale do São Francisco (IBGE, 2015). Na primeira região, a produção é destinada, prioritariamente para exportação, enquanto que na segunda, o destino da produção é o mercado interno.

Sabe-se, no entanto, que a agricultura é responsável por diversos impactos ao meio ambiente. A intensificação dos impactos decorrentes da atividade agrícola ocorreu com a chegada da *Revolução Verde*, a partir da década de 50, nos países desenvolvidos, a qual objetivava o crescimento da produção agrícola em todo mundo. Nesse momento, instaura-se o uso dos pacotes tecnológicos, que se caracterizam por utilizar sementes modificadas, técnicas mecanizadas, altas quantidades de insumos, como água, fertilizantes sintéticos e defensivos agrícolas, consumir energia, etc. A partir da década de 60, essa revolução se espalhou também pelos países em desenvolvimento, sendo conhecida como *Segunda Revolução Verde*, que perdura até os dias de hoje (MILLER, 2012).

A agricultura proveniente da revolução verde é conhecida como agricultura industrial ou agricultura de alto insumo. Como consequência desse intenso modo de produção observa-se a ocorrência de diversos impactos ao meio ambiente, como: erosão, compactação, acidificação e salinização do solo; contaminação de corpos hídricos; redução da

disponibilidade de água; redução da biodiversidade, mudanças climáticas, toxicidade, entre outros.

A crescente preocupação com as questões ambientais levou ao desenvolvimento de sistemas de produção mais sustentáveis em diversos setores. Na agricultura, uma das estratégias elaboradas, nesse sentido, foi o desenvolvimento da adubação verde, como sistema de cultivo capaz de melhorar os aspectos físicos, químicos e biológicos do solo. A adubação verde utiliza dois sistemas de manejo: com incorporação, onde o adubo verde produzido é incorporado ao solo por meio de processos mecânicos; e sem incorporação (também conhecido como sistema de plantio direto), onde a biomassa produzida permanece sobre o solo, formando uma camada na superfície.

Estudos têm sido desenvolvidos para avaliar os efeitos da adubação verde sobre a cultura do melão, como: Faria *et al.* (2004), Pereira *et al.* (2010), Fernandes (2010), Teófilo *et al.* (2012), entre outros. No entanto, esses estudos estão voltados para avaliação dos aspectos físicos e químicos do solo, avaliação da produtividade e qualidade dos frutos, avaliação do controle de plantas daninhas e controle do uso da água, sem que haja ainda um estudo que avalie de forma ampla as questões ambientais da produção de melão, nesses sistemas.

Nesse contexto, o presente trabalho objetivou a avaliação dos impactos ambientais na produção de melão, no Submedio São Francisco, em dois sistemas produtivos: um convencional, desenvolvido em larga escala na região, e um conservacionista que utiliza adubação verde, desenvolvido em escala experimental na Embrapa Semiárido.

O trabalho se inicia com a apresentação dos objetivos. Segue-se com a revisão de literatura, que aborda temas importantes relacionados ao estudo. Apresenta-se em seguida a metodologia do trabalho, depois, a apresentação e discussão dos resultados, e conclusão. Por fim, expõe-se o anexo, contendo as equações utilizadas para o cálculo das emissões.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

- Avaliar os potenciais impactos ambientais na produção de melão, no submédio São Francisco, em sistemas convencional e conservacionista.

2.2 Específicos

- Avaliar os impactos ambientais, por meio da avaliação do ciclo de vida, de sistemas de produção de melão, considerando as categorias: mudança climática, acidificação do solo, eutrofização de águas doces, eutrofização marinha, depleção hídrica e toxicidade;
- Avaliar cenários alternativos para análise de suas contribuições na redução dos impactos ambientais;
- Indicar sistema com menor impacto ambiental.

3 REVISÃO DE LITERATURA

A revisão bibliográfica a seguir contempla importantes temas relacionados ao trabalho, como a compreensão do desenvolvimento sustentável para contextualização do estudo; a discussão sobre o conceito de impacto ambiental; a avaliação do ciclo de vida, como metodologia indicada para avaliação de impactos ambientais de produtos, processos e serviços; e a adubação verde, como sistema de cultivo em desenvolvimento capaz de melhorar a produção agrícola e reduzir os impactos ambientais do mesmo.

3.1 Desenvolvimento Sustentável

As discussões sobre as questões ambientais se intensificaram a partir da década de 70, tendo como importante marco a Conferência de Estocolmo de 1972, intitulada Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano. Nesse momento, ressaltou-se a importância de se relacionar as questões ambientais às políticas socioeconômicas. Surgem, assim, os indícios de sustentabilidade.

A definição concreta de Desenvolvimento Sustentável, no entanto, só apareceu anos mais tarde, em 1987, no Relatório de Brundtland, mais conhecido como: “Our common future”, elaborado pela *World Commission on Environment and Development* que define o Desenvolvimento Sustentável como: “Desenvolvimento econômico e social que atenda às necessidades da geração atual sem comprometer a habilidade das gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades” (BRUNDTLAND, 1987).

Assim, o Desenvolvimento Sustentável propõe um tripé de sustentação dos modelos de desenvolvimento, que seja: socialmente justo, economicamente viável e ambientalmente correto. O equilíbrio entre esses elementos, que só ocorre quando a todos é atribuída a mesma importância, é o princípio do Desenvolvimento Sustentável.

É importante lembrar que a Constituição brasileira de 1988, no artigo 225 do capítulo VI, insere a ideia de Desenvolvimento Sustentável, quando estabelece: “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (BRASIL, 1988).

Nesse contexto, segundo Júnior e Malheiros (2005), é necessária uma reflexão sobre os diferentes modelos de desenvolvimento hoje adotados, e sobre as direções a serem priorizadas, que só são possíveis por meio de estudos e da compreensão das modificações ambientais.

As modificações ambientais acima citadas podem ser consideradas impactos ambientais, conforme observaremos no ponto a seguir. Estabelece-se, portanto, uma relação intrínseca entre a realização de estudos de impactos ambientais para consolidação do desenvolvimento sustentável.

3.2 Impactos Ambientais

Compreender o conceito de impacto ambiental é fundamental para sua avaliação. Essa avaliação é um instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente, onde se identificam os impactos consequentes de uma ação (já em execução ou ainda proposta).

Segundo a resolução nº 001, de 23 de Janeiro de 1986, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 1986), impacto ambiental é:

“qualquer alteração das propriedades físicas químicas e biológicas do Meio Ambiente, causadas por qualquer forma de matéria ou energia, resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

- a) A saúde, a segurança e o bem estar da população;
- b) As atividades sociais e econômicas, a biota;
- c) As condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- d) A qualidade dos recursos ambientais.

Esse conceito gera uma discussão entre autores devido a sua impropriedade, uma vez que, se aproxima da definição do que seria poluição ambiental, e não da definição de impacto ambiental em si. Além disso, imprime-se a ideia de que impacto ambiental seja exclusivamente negativo. Segundo Sánchez (2008), essa é uma ideia incorreta, tendo em vista que: se impacto ambiental é qualquer alteração do meio ambiente provocada pela ação humana, então, obviamente, tal alteração pode ser benéfica ou adversa, ou seja: positiva ou negativa.

Nesse sentido, a definição de impacto ambiental dada pela norma ISO 14001:2004 é melhor aceita, sendo: “Qualquer mudança no ambiente, quer adversa ou benéfica, inteira ou parcialmente resultante das atividades, produtos ou serviços de uma organização” (ISO 14001: 2004). Porém, esse conceito se restringe a organizações.

Sánchez (1998, *apud* SÁNCHEZ, 2008), atento à importância de se considerar a dinâmica dos processos ambientais no conceito de impacto ambiental e a amplitude de ações que podem gerar impacto, o definiu como: “alteração da qualidade ambiental que resulta em modificação de processos naturais ou sociais provocada pela ação humana”.

Para avaliação de impactos ambientais, diversos métodos e técnicas estão disponíveis. Nesse momento, a diferença entre os conceitos de métodos e técnicas deve ser esclarecida: o método está associados aos procedimentos de condução do processo em si; por sua vez, a técnica se associa a uma ferramenta específica (WATHERN, 2004 *apud* ALMEIDA NETO *et al.*, 2013). Assim sendo, avaliação do ciclo de vida é uma técnica de avaliação de impactos ambientais. As normas ISO 14040 (2006), que orientam estudos de ACV, são utilizadas, por empresas, como referência quando do estudo de impactos ambientais de produtos, auxiliando na tomada de decisões sobre quais materiais e processos adotar na geração de um produto (Figueirêdo *et al.*, 2014b).

3.3 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

A seguir serão apresentadas informações importantes para a compreensão da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), como origem, conceito e etapas do estudo.

3.3.1 Origem

A primeira crise do petróleo, ocorrida nas décadas de 60 e 70, por ação dos países membros da OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo), afetou fortemente a economia mundial. A partir de então, o mundo passou a buscar formas alternativas de energia e despertou para necessidade de fazer uma melhor utilização dos recursos naturais. Nessa época surgiram os primeiros estudos que podem ser considerados a forma mais elementar de Avaliação do Ciclo de Vida.

Predominantemente, estes estudos tinham enfoque na questão energética, buscando avaliar os processos produtivos e racionalizar o consumo de fontes de energia esgotáveis. Porém, alguns desses estudos já consideravam, ainda que em pequena escala, aspectos ligados à questão ambiental, como estimativas de emissões sólidas, gasosas ou líquidas (CHEHEBE, 2002).

Em 1965, o MRI (Midwest Research Institute) realizou um estudo, financiado pela Coca-Cola, que comparava os índices de emissão para o meio ambiente das embalagens de refrigerante, buscando avaliar qual delas tinha o melhor desempenho com relação à preservação ambiental. Este estudo ficou conhecido como REPA (Resource and Environmental Profile Analysis), que mais tarde, em 1974, foi aprimorado. Para muitos estudiosos, este modelo é referenciado como um marco para o surgimento da ACV.

O interesse por esses estudos aumentou com a diretiva específica para embalagens criada pela Comunidade Econômica Europeia, em 1985. Essa norma obrigava as empresas a controlarem o consumo de matérias-primas e energia, e a geração de resíduos na produção.

Desde então, os estudos vêm sendo aprimorados, com o desenvolvimento de um sistema de ponderação, agregação e compartilhamento de dados, desenvolvimento de *softwares*; contribuindo, assim, para o aperfeiçoamento da metodologia de ACV.

3.3.2 *Conceito*

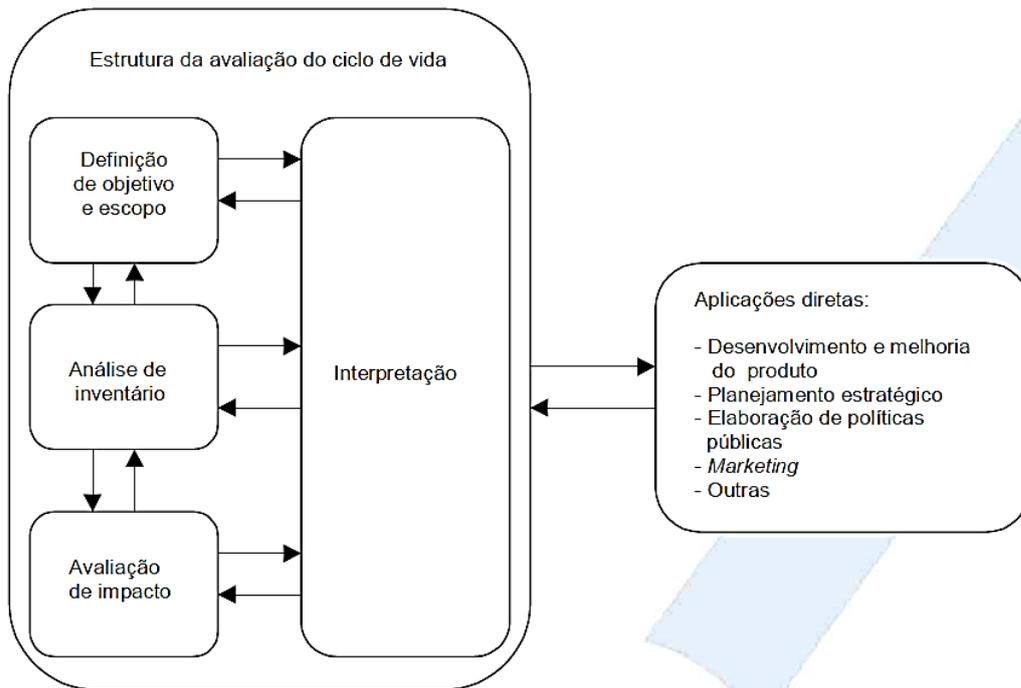
Segundo a norma ISO 14040 (2006), a ACV é uma ferramenta técnica para utilização em avaliação de impactos e aspectos ambientais relacionados a um produto, envolvendo toda vida do produto, desde a extração de matérias-primas para sua produção, até sua disposição final.

As normas ISO 14040 (2006a) e 14044(2006b) foram criadas para orientar trabalhos de avaliação de ciclo de vida, tratam dos princípios e da estrutura a serem aplicados.

3.3.3 *Etapas*

As três etapas estabelecidas pela ISO 14040 e 14044 (2006a e 2006b) (Figura 01) que são seguidas em estudos de ACV são: Definição do Objetivo e do Escopo de trabalho, Análise de Inventário, Avaliação de impactos e Interpretação dos Resultados.

Figura 1-Fases da Avaliação do Ciclo de Vida



Fonte: ISO 14040, 14044 (2006)

A primeira etapa, Definição do Objetivo e Escopo de trabalho, é fundamental para condução do estudo. A definição do objetivo deve ser apresentada de forma clara, deve conter as motivações para a realização do estudo; o autor e a parte interessada; a aplicação pretendida; e o destino dos resultados, se serão utilizados apenas dentro da empresa ou se eles se tornarão públicos.

Nesta etapa também são definidas a função e unidade funcional do estudo. A função define as características do produto a ser estudado e está relacionada ao objetivo e escopo do estudo, e a unidade funcional é a quantificação dessa função. É importante que a definição da função e da unidade funcional seja clara e adequada, permitindo a comparação de resultados de diferentes estudos.

O escopo se refere à abrangência geográfica, técnica e histórica do estudo. Este deve ser definido para garantir que a extensão, profundidade e grau de detalhes do estudo sejam compatíveis e suficientes para alcançar o objetivo estabelecido.

A etapa seguinte é a Análise de Inventário. Nela ocorre a identificação, coleta e quantificação de dados referentes ao produto, processo ou atividade. Consideram-se todas as variáveis, como matéria-prima, energia, água e outros insumos utilizados em cada processo unitário, assim como as emissões para o ar, água e solo.

A ISO 14040 (2006a) destaca que a avaliação de inventário é um processo interativo, ou seja, à medida que se coletam os dados, e que se conhece mais o sistema, podem ser identificados novos requisitos e limites que requerem alterações na coleta dos dados, buscando-se o cumprimento dos objetivos estabelecidos.

A Avaliação de Impactos, terceira etapa da ACV, é onde ocorre o processo técnico, qualitativo/quantitativo de entendimento dos dados obtidos na fase anterior. Avalia-se a magnitude e significância dos impactos ambientais potenciais, causados pelos aspectos ambientais levantados, observados na etapa de Inventário.

A ISO 14044 (2006b) recomenda que esta etapa seja realizada por meio de três importantes passos: seleção das categorias de impacto, dos indicadores e dos modelos de caracterização; a classificação e a caracterização.

A seleção das categorias de impacto, indicadores e modelos de caracterização é feita no sentido de abranger as questões ambientais envolvidas com o sistema de produto, considerando o objetivo e escopo do estudo.

Na classificação estabelece-se uma correlação entre os resultados do Inventário do Ciclo de Vida (entradas e saídas do sistema) e as categorias de impacto que esses resultados podem afetar. É importante observar que a contribuição de alguns elementos não é restrita à uma única categoria, ou seja: certas substâncias têm potencial de impactar diferentes categorias. Como exemplo, podemos mencionar o NO que pode contribuir com os impactos tanto à mudança climática, como à acidificação do solo.

A caracterização é a sub-etapa em que os resultados do inventário são associados a fatores de caracterização (definidos a partir de indicadores ambientais, que permitem calcular a importância de uma substância em relação a uma substância de referência) para

obtenção de resultados com unidades comuns. Posteriormente, esses resultados convertidos são agregados dentro da mesma categoria de impacto.

Assim, de forma mais simplificada, a avaliação de impacto é feita por meio do produto da massa de uma substância por um fator de caracterização. Por exemplo, na categoria mudança climática, a quantidade inventariada de um gás do efeito estufa é multiplicada por seu respectivo potencial de aquecimento global (que é o fator de caracterização, nesse caso), dado em kg de CO₂-equivalente. No fim, soma-se a massa total de CO₂-eq de cada gás do efeito estufa para se obter o impacto total nessa categoria.

Os fatores de caracterização são derivados de modelos de caracterização. No entanto, existem diversos modelos de caracterização para uma mesma categoria de impacto. Logo, têm-se disponível diferentes fatores de caracterização para uma mesma substância, a depender do modelo de caracterização escolhido. Os modelos de caracterização são próprios de cada método de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV).

Os métodos de AICV, da mesma forma, se apresentam em grande variedade. São métodos desenvolvidos, em todo o mundo e consideram as especificidades locais. O International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook: Framework and Requirements for LCIA Models and indicators (documento de referência internacional para os estudos de ACV) avalia os principais métodos: CML 2002, Eco-Indicator 2009, EDIP 1997, EDIP 2003, EPS 2000, IMPACT 2002+, LIME, LUCAS, ReCiPe, Ecological Scarcity Method, TRACI, MEEuP e Usetox (EC- JRC, 2010a).

O método ReCiPe, adotado neste estudo, é uma continuação dos métodos Eco-Indicator 99 e CML 2002. Esse método é um dos mais atuais e se baseou num consenso estabelecido por um grupo de especialistas em ACV, que se reuniram, concluindo que seria desejável ter uma estrutura comum, que pudesse ser usada com indicadores *midpoint* e *endpoint*. Os indicadores *midpoint* refletem impactos intermediários, como: mudança climática, acidificação do solo, eutrofização, etc. Já os indicadores *endpoint* refletem impactos finais, relacionados aos danos sobre: a saúde humana, a qualidade dos ecossistemas e a depleção dos recursos naturais (GOEDKOOPE *et al.*, 2008).

O Usetox é outro método de AICV desenvolvido recentemente e adotado neste estudo. Diversos especialistas de ACV se reuniram para avaliar todos os modelos de toxicidade já desenvolvidos, identificar semelhanças e diferenças, avaliar a estrutura, no sentido de detectar os componentes indispensáveis e construir um modelo de consenso científico (ROSENBAUM *et al.*, 2008). O Usetox é fruto desse trabalho e tido como método mais indicado para avaliação da toxicidade humana e ambiental.

Os elementos: Normalização, Agregação, Ponderação e Análise da Qualidade dos Dados não são obrigatórios, mas contribuem com a organização e confiabilidade dos dados do estudo (ISO 14044, 2006b):

- Normalização: é o cálculo da magnitude de um indicador de categoria resultante, relativo a alguma informação de referência. O objetivo da normalização é entender a magnitude relativa para cada indicador no sistema de produto em estudo, em relação a valores de referência. Em outras palavras: a normalização pode identificar a contribuição de cada categoria numa escala de impacto total. Além disso, pode ser útil para verificar inconsistências, fornecer e comunicar informações sobre a importância relativa dos resultados dos indicadores, e preparar-se para procedimentos adicionais, como o agrupamento, ponderação ou interpretação do ciclo de vida;
- Agregação: ou agrupamento, é a atribuição de categorias de impacto em um ou mais conjuntos, segundo as definições de objetivo e escopo, pode envolver classificação e/ou ranking. A classificação é possível por meio de dois procedimentos: classificação das categorias de impacto em uma base nominal (por exemplo, características tais como: escalas espaciais locais e regionais) ou classificação hierárquica (por exemplo, alta, média e baixa prioridade). A agregação por ranking é baseada no valor-escolhas (que difere entre indivíduos, organizações e sociedades), por isso é possível que diferentes partes cheguem a diferentes resultados de agregação, partindo dos mesmos resultados indicadores ou resultados normalizados;
- Ponderação: Do mesmo modo, a ponderação se baseia no valor-escolha (que diferem entre indivíduos organizações e sociedades), por isso é possível que diferentes partes cheguem a diferentes resultados de ponderação, com base

nos mesmos resultados indicadores ou resultados normalizados. A ponderação gera grandes discussões na ACV (por isso é opcional) e pode ser procedida para: converter os resultados dos indicadores ou resultados normalizados com fatores de ponderação selecionados; ou para agregar esses resultados dos indicadores ou resultados normalizados entre categorias de impacto.

- **Análise da Qualidade dos dados:** algumas informações adicionais podem ser necessárias para entender melhor a significância, incerteza e sensibilidade dos resultados de um estudo de ACV. Essas análises são realizadas a fim de: ajudar a distinguir se há diferenças significativas estão ou não presentes; identificar resultados de ACV insignificantes e para orientar o processo iterativo de AICV. De acordo com a natureza iterativa da ACV, o resultado desta análise da qualidade dos dados do AICV poderá levar a uma revisão da fase de inventário.

Na última fase, Interpretação dos Resultados, o objetivo é chegar a conclusões e recomendações, baseando-se na combinação, de forma consistente, das constatações da análise do inventário e da avaliação de impacto. A ISO 14044 (2006b) aponta que nesta fase deve-se considerar a incerteza nos resultados, devido às incertezas das entradas do processo e à variabilidade dos dados. Logo, para fundamentar e melhor explicar a interpretação dos resultados do ciclo de vida, recomenda-se uma abordagem que caracterize os resultados por faixas e/ou distribuição de probabilidade.

Para estabelecer e aumentar a confiabilidade dos resultados de interpretação do ciclo de vida, aconselha-se uma avaliação final, considerando-se a utilização de técnicas como verificação de conformidade, sensibilidade e consistência dos resultados.

3.4 Impactos ambientais associados à produção de melão

Segundo Figueirêdo *et al.* (2008), diversos impactos ambientais podem estar associados às atividades agrícolas. Esses impactos afetam o solo, a água, o ar e os seres vivos.

A seguir serão descritos os principais impactos e as atividades envolvidas na produção agrícola de melão.

3.4.1 Erosão e compactação do solo, e desertificação

Os processos de alteração da estrutura e qualidade do solo estão associados aos fatores antrópicos, climáticos e edáficos (características de solo, vegetação, topografia da área, entre outras). Atividades agrícolas em geral são degradadoras do solo, gerando processos erosivos (causados pela remoção da cobertura vegetal para implantação do cultivo, deixando o solo desprotegido, e, assim, passível de ações hídricas e eólicas); processos de compactação do solo (que reduzem a drenagem do solo, facilitando o carreamento e perda da camada superior); e processos de desertificação (que estão associados às variações climáticas e intensas atividades antrópicas em áreas susceptíveis à desertificação).

No cultivo de melão esses impactos podem ser observados pois, geralmente, há a substituição da vegetação de áreas nativas pela cultura em produção, tornando o solo menos protegido, e mais passível de processos erosivos. Além disso, pode também ocorrer a compactação do solo devido ao uso de maquinário nas etapas iniciais e de desenvolvimento da cultura, assim como a susceptibilidade aos processos de desertificação pode ser agravada, tendo em vista a ocorrência do desmatamento e de processos erosivos, associados às condições climáticas áridas e semiáridas sob as quais os frutos são cultivados.

3.4.2 Salinização do solo

Esse processo, geralmente, ocorre em áreas de irrigação mal conduzida e em solos com drenagem deficiente. Dessa forma, os sais não removidos por lixiviação e drenagem, devido a evaporação e evapotranspiração da água em que estão dissolvidos, são acumulados

na superfície do solo. Além disso, o uso excessivo de água em processos de irrigação eleva o nível do lençol freático, provocando o deslocamento ascendente dos sais presentes no perfil do próprio solo, acumulando-os, também, na superfície do solo.

É importante observar que grande parte da produção brasileira de melão ocorre em áreas irrigadas, e que, por isso, são bastante susceptíveis à salinização. Figueirêdo *et al.* (2014a) concluiu (em seu estudo para área de produção de melão na região do Baixo Jaguaribe e Apodi) que o consumo de água pela irrigação é pelo menos 39% mais elevado que o necessário, quando a produção ocorre de setembro a novembro. Dessa forma, o uso e excesso de água se apresenta como um importante fator com potencial de causar a salinização do solo em áreas produtoras de melão. Para que esse impacto seja evitado, a prática da irrigação no cultivo deve ser devidamente controlada, considerando os tipos de solo, cultura e as características climáticas da região.

A utilização inadequada dos recursos hídricos em atividades agrícolas, além de contribuir com o processo de salinização, afeta, também, a disponibilidade de água para esta e outras atividades.

3.4.3 Depleção de recursos hídricos

A agricultura é a atividade que se sobressai dentre as consumidoras de água. Segundo a ONU (2012), 70% da água consumida no mundo é direcionada à agricultura. No Brasil, o percentual de água destinado à irrigação chega a 72% do consumo nacional (ANA, 2013).

A crescente demanda pelo uso da água em atividades agrícolas, juntamente com as condições de escassez hídrica e o inadequado manejo da irrigação são fatores que aumentam a pressão sobre os recursos hídricos. Figueirêdo *et al.* (2014a), em seu estudo para área de produção de melão da região do Baixo Jaguaribe e Açu, concluíram que o consumo de água pela irrigação é pelo menos 39% mais elevado que o necessário, quando a produção

ocorre de setembro a novembro. Dessa forma, o uso e excesso de água se apresenta como um importante fator com potencial de causar a escassez hídrica em áreas produtoras de melão.

3.4.4 Contaminação das águas, dos solos e dos seres vivos por agroquímicos

A utilização excessiva de agroquímicos na agricultura, como fertilizantes e defensivos, pode gerar impactos relacionados à contaminação do solo, da água e dos seres vivos. O acúmulo no solo de substâncias químicas, provenientes desse uso, altera suas características naturais, provocando um desequilíbrio nos processos dinâmicos do solo.

Essas substâncias acumuladas no solo também podem afetar a qualidade das águas superficiais e subterrâneas quando transportadas por processos de escoamento superficial e lixiviação, respectivamente.

No caso do acúmulo de nutrientes, observam-se problemas de eutrofização, em águas superficiais, e em corpos de água subterrâneos. Observa-se, principalmente, a contaminação pela presença de nitrato. Além disso, o uso contínuo de fertilizantes sintéticos contribui para acidificação do solo.

A toxicidade decorrente do uso indiscriminado de pesticidas, ricos em metais pesados, afeta não somente a água e o solo, mas também os seres vivos, por meio de processos de bioacumulação ao longo do tempo.

Apesar dos problemas ambientais relacionados ao uso dos agroquímicos, para se obter um satisfatório desenvolvimento da cultura do melão são necessários o fornecimento de nutrientes e a utilização de defensivos. Por isso, deve-se fazer uso controlado dessas substâncias, respeitando a legislação, e, quando possível, substituí-las por agentes naturais de controle biológico, no caso dos defensivos; e utilizar técnicas de adubação verde, no caso da fertilização.

3.4.5 Poluição do ar

Segundo o relatório de Estimativas Anuais de Emissões de Gases do Efeito Estufa no Brasil (MCTI, 2014), o setor agropecuário, em 2012, foi responsável por 37% das emissões totais de gases do efeito estufa (GEE) no Brasil. A atividade agrícola contribui principalmente com a liberação dos gases CO₂, o CH₄ e o N₂O como os principais gases emitidos.

As principais atividades agrícolas responsáveis pelas emissões são: a mudança no uso da terra (onde ocorre retirada, seguida ou não de queima da vegetação nativa); o uso de fertilizantes (principalmente os nitrogenados) e a queima de combustíveis fósseis (utilizados no maquinário e transporte).

Figueirêdo *et al.* (2013) avaliaram a pegada de carbono (que quantifica os gases do efeito estufa envolvidos no ciclo de vida) do melão amarelo produzido na região do Baixo Jaguaribe e Açu, encontrando um valor médio de 710 Kg CO₂-eq liberados para cada tonelada de melão produzida e transportada para Europa. As atividades responsáveis pelas maiores emissões no processo produtivo foram a mudança no uso da terra e a utilização de fertilizantes nitrogenados.

3.4.6 Redução da Biodiversidade

Na agricultura, a redução da biodiversidade é uma consequência da exploração de novas áreas. Quando novos campos agrícolas são instalados, ocorre a remoção da vegetação natural, alterando o ecossistema local, e, conseqüentemente, afetando a fauna e flora nativas.

A crescente produção dos frutos de melão, pelo aumento da demanda, justifica a expansão de áreas plantadas. Segundo o IBGE (2015), de 2003 para 2013 houve um crescimento de 42% da área plantada com melão no nordeste brasileiro. No Brasil, a área plantada com melão em 2013 (dados mais atualizados do IBGE) foi de 22.062 hectares.

3.5 Categorias de Impacto Ambiental

Na avaliação do ciclo de vida, as categorias de impacto são previamente estabelecidas no objetivo e escopo do trabalho. Nesse momento, deve-se observar importantes aspectos para definição dessas categorias: **plenitude** (onde as categorias selecionadas devem cobrir todos os problemas ambientais relevantes); **aspecto prático** (não se deve abordar muitas categorias para que seja possível uma avaliação mais detalhada, segundo o objetivo e escopo definidos); **independência** (as categorias devem ser independentes uma das outras para se evitar duplas contagens); deve-se escolher os métodos de avaliação de impacto (para ligar os parâmetros resultantes do inventário às categorias); deve-se observar a **relevância ambiental** dos indicadores (provenientes dos métodos de caracterização) para a categoria de impacto; e deve-se considerar a utilização de **métodos científicos** (ou seja, que são validados cientificamente) nessas categorias (BAUMANN e TILLMAN, 2004)

A seguir são apresentadas as principais categorias de impacto avaliadas em estudos de ACV:

- a) **Mudanças Climáticas:** fortemente relacionado com as mudanças climáticas, o aquecimento global é resultado da intensificação do efeito estufa na Terra. O acúmulo de gases do efeito estufa (GEE) culmina no aumento da temperatura média do planeta (CERRI, 2007). Cada GEE tem um Potencial de Aquecimento Global (PAG) específico que é calculado segundo suas características moleculares e seu tempo de permanência na atmosfera. Os potenciais de aquecimento global utilizados nos estudos de ACV são dados pelo IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) e são atualizados periodicamente (BAUMANN e TILLMAN, 2004). As principais substâncias que contribuem para essa categoria de impacto são o monóxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e os clorofluorcarbonos (CFC's), entre outros. O indicador desta categoria é o forçamento radioativo infravermelho. A unidade de medida dessa categoria, no método ReCiPe e nos demais métodos de ACV, é o CO₂-equivalente. As atividades de mudança no uso da terra, uso de

fertilizantes e queima de combustíveis fósseis são as principais responsáveis pelas emissões de GEE na produção agrícola.

- b) **Toxicidade:** essa categoria se baseia nos riscos relativos e nas consequências associadas à liberação de produtos químicos no meio ambiente. Por isso, observa-se uma complexidade em sua definição, uma vez que inclui muitos tipos de impactos e, principalmente, muitas substâncias. Assim, várias metodologias, que consideram o destino e a exposição das substâncias tóxicas, foram publicadas (ROSENBAUM *et al.*, 2008). De forma geral, essa categoria foca na contribuição das emissões para o risco de impactos toxicológicos e associa às consequências, considerando toda população e as emissões dispersas (EC- JRC, 2010a). Diversas substâncias estão envolvidas, como solventes orgânicos, metais pesados, pesticidas, entre outros. Essas substâncias têm um potencial de toxicidade específico, definido segundo suas propriedades físicas e químicas, e segundo seus efeitos toxicológicos sobre os animais (testados em laboratório) (ROSENBAUM *et al.*, 2008). Algumas das consequências observadas pelo impacto nessa categoria são: doenças respiratórias, doenças cancerígenas e não cancerígenas e impactos da radiação ionizante. As principais atividades agrícolas envolvidas com impacto sobre esta categoria são o uso de defensivos que libera resíduos tóxicos no meio ambiente e de fertilizantes sintéticos que liberam metais pesados. A unidade de medida no método Usetox, segundo Rosenbaum *et al.* (2008), é CTUh (do inglês: *Comparative Toxic Unit-human toxicity*) para as subcategorias que avaliam os potenciais impactos à saúde humana e CTUe (*Comparative Toxic Unit-ecotoxicity*) para avaliação da ecotoxicidade.
- c) **Acidificação:** esse processo ocorre por meio da dissolução de partículas ácidas (secas ou aerossóis) em uma superfície aquosa, formando ácidos que, posteriormente, também podem ser depositados sobre a superfície terrestre. A caracterização desse impacto considera o potencial de acidificação das substâncias. Algumas substâncias não possuem o íon H^+ em sua estrutura, mas possuem um grande potencial de formá-los. Logo o potencial de acidificação reflete a acidificação máxima que uma substância pode causar. As principais consequências observadas são a mortalidade de peixes em lagos, alterações na composição natural dos solos e das rochas, e danos às florestas, construções e monumentos. As principais substâncias que causam acidificação são: SO_2 , NO_x , HCl e NH_4 . A unidade de medida considerada é o SO_2 -

equivalente, onde todas as substâncias poluentes têm seu potencial de acidificação definido, tomando como referência o potencial do SO₂ (BAUMANN e TILLMAN, 2004). No método Recipe o indicador utilizado é a saturação por bases (GOEDKOOOP *et al.*, 2013) e os principais processos agrícolas contribuidores deste impacto são a queima de combustíveis fósseis e o uso de fertilizantes.

- d) **Eutrofização:** esse fenômeno é resultado da elevação da concentração de nutrientes, principalmente Nitrogênio e Fósforo em corpos d'água superficiais. O excesso desses elementos, muitas vezes também associado à poluição orgânica, gera um desequilíbrio no sistema local. As principais consequências observadas são a alteração na composição do ecossistema local, uma vez que o crescimento de algumas espécies vegetais e algais é acelerado, em detrimento de outras; a redução do nível de oxigênio solúvel disponível no ecossistema; a redução da passagem de luz nos corpos hídricos, devido a formação de uma vegetação superficial (macrófitas), e; o crescimento de algas (EC- JRC, 2010a). As principais fontes de emissão desses nutrientes são fertilizantes agrícolas e efluentes com carga orgânica e/ou nutrientes. O impacto dessa categoria é calculado com base no potencial de eutrofização das substâncias. O fator limitante para eutrofização marinha é o nitrogênio, e para eutrofização de águas doces, o fósforo (BAUMANN e TILLMAN, 2004). Assim, a concentração de nitrogênio é o indicador para eutrofização marinha, enquanto que a concentração de fósforo representa o indicador para eutrofização em águas doces. As unidades de medida são kg N-eq, para eutrofização marinha, e kg P-eq, para eutrofização de águas doces no método Recipe (GOEDKOOOP *et al.*, 2013). As principais substâncias envolvidas nesse processo são NO₂, NO₃, NH₄, NH₃, PO₄, H₃PO₄ e P₂O₅, e a principal atividade agrícola relacionada a esse impacto é o uso de fertilizantes sintéticos.
- e) **Depleção dos recursos hídricos:** essa categoria integra a categoria de depleção de recursos naturais que gera uma grande discussão quanto à sua avaliação, pois trata de diferentes tipos de recursos, que podem ser avaliados considerando diversos aspectos (BAUMANN e TILLMAN, 2004). De forma geral, a depleção dos recursos hídricos considera os impactos consequentes do volume de água consumido e a relação entre a demanda e a disponibilidade de água em uma região (FIGUEIRÊDO *et al.*, 2014a). A irrigação é a principal atividade agrícola contribuidora do impacto nesta categoria. No

método Recipe, essa categoria é avaliada apenas considerando o consumo total de água, não avaliando o impacto em determinada região considerando sua escassez hídrica. A unidade de medida para essa categoria, no Recipe, é m³H₂O e o indicador é a quantidade de água (GOEDKOOOP *et al.*, 2013).

- f) **Mudança no uso da terra:** a avaliação dos impactos nessa categoria refere-se aos impactos sobre a biodiversidade e solo. O estudo desses impactos envolve dois tipos de intervenções: o uso atual da terra (ocupação) e as mudanças decorrentes do uso da terra (transformação) (BAUMANN e TILLMAN, 2004). Há grande discussão sobre as metodologias já desenvolvidas e, devido a multifuncionalidade da terra, propõe-se ainda a consideração dos aspectos funcionais da biodiversidade. Contudo, ainda não há um consenso científico sobre um modelo operacional de ampla aplicabilidade (KOELLNER *et al.* 2013). No método Recipe (GOEDKOOOP *et al.*,2013), o indicador midpoint para uso da terra é a área ocupada ou a transformada, medidas em m².ano e m², respectivamente, segundo a natureza da atividade. Essa avaliação não considera o impacto da transformação ou ocupação do solo na perda da biodiversidade. Na agricultura ocorre transformação da terra cada vez que uma área de vegetação nativa é substituída por uma área de produção agrícola.

Os potenciais impactos sobre as categorias acima relacionados são observados em diversas atividades produtivas. No entanto, esses impactos são evidentes e crescentes em sistemas agrícolas que produzem de forma intensa para comercialização, como é o caso da cultura do melão.

3.6 A cultura do melão

O melão (*Cucumis melo L.*) é um produto tropical de relevante interesse comercial. Segundo Menezes *et al.* (2000), o melão é agrupado segundo a variedade botânica, e as principais espécies comercializáveis podem ser divididas em dois grupos: *Cucumis melo inodorus Naud.* e *Cucumis melo cantaloupensis Naud.*

Os frutos do grupo *Cucumis melo inodorus* Naud. são também chamados melões de inverno, possuem casca com coloração amarelada, branca e verde-escura, textura lisa ou levemente rugosa, a polpa pode ter teores de açúcar com coloração variando entre branco e verde-claro, porém não aromática. Os melões desta variedade têm a vantagem de serem mais resistentes ao transporte. O segundo grupo, *Cucumis melo cantaloupensis* Naud, inclui as variedades anteriormente classificadas em: *C. melo reticulatus* e *C. melo cantaloupensis*. Os melões deste grupo, também chamados de aromáticos, possuem polpa mais doce que os melões do grupo inodorus, aroma acentuado, polpa de cor alaranjada ou salmão, e uma casca com textura reticulada, verrugosa ou escamosa (MENEZES *et al.*, 2000).

A produção mundial de melão tem crescido continuamente nos últimos anos. Segundo a Food and Agriculture Organization (FAO, 2015), de 2002 a 2012 houve um crescimento médio de 20% do total produzido. O maior mercado produtor é a China, respondendo por mais de 50% da produção mundial, com cultivo direcionado, majoritariamente, ao consumo interno. Os maiores exportadores e importadores dos frutos estão localizados na Europa.

Nesse contexto, o Brasil se apresenta hoje entre os principais produtores mundiais. Segundo a FAO (2015), em 2012, o Brasil foi o nono maior produtor mundial (575.386,00 toneladas) e, em 2011, o quinto maior exportador do fruto.

A maior parte da produção brasileira ocorre na região nordeste. Segundo dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2015), em 2013, essa região, respondeu por, aproximadamente, 95% da produção nacional de melão. Dois importantes polos produtores são identificados: o polo dos municípios localizados nas faixas limítrofes do estado do Ceará e Rio Grande do Norte, que produzem para exportação; e o polo do submédio São Francisco que abastece, principalmente, o mercado interno.

Nos últimos anos, tendo em vista o crescimento da preocupação com as questões ambientais, observa-se, em sistemas agrícolas de significativa importância para o comércio mundial (como é o caso do melão), a necessidade de se empregar técnicas mais sustentáveis de produção. Nesse contexto, utiliza-se a adubação verde, como forma de conservação dos solos agrícolas.

3.7 Adubação Verde

Por definição, a adubação verde é o cultivo de várias espécies vegetais com a finalidade precípua de enriquecer o solo com sua massa vegetal, quer produzida no local ou importada (KIEHL, 1979 *apud* AMBROSANO *et al.*, 2005).

A adubação verde é uma antiga prática agrícola (ROSSI e CARLOS, 2014). Diversos povos, desde a Antiguidade, a executavam em busca de melhorias nos sistemas de produção. Ainda hoje os benefícios da adubação verde são observados, principalmente o aumento da fertilidade, e o aumento e manutenção dos teores de matéria orgânica no solo.

As dificuldades para a difusão e consolidação dessa prática, atualmente observadas, se relacionam: ao imediatismo dos agricultores, ao reduzido conhecimento e ao inadequado uso do sistema de produção; e à pouca exploração e utilização de diferentes espécies de cobertura (CALEGARI, 2014).

3.7.1 Breve histórico da adubação verde no Brasil

Segundo Rossi e Carlos (2014), as primeiras informações técnicas sobre a adubação verde foram escritas por Gustavo Rodrigues Pereira D'Utra, em 1919. A obra *Adubos verdes: sua produção e modo de emprego* relatava os principais benefícios dessa milenar técnica agrícola, além de já trabalhar a importância de se considerar a seleção das espécies e sua relação com o clima e a natureza. O autor acreditava que os melhores resultados dessa prática requeriam climas úmidos e terras leves, enxutas e pobres.

Até meados do século XX, os documentos sobre o tema publicados eram, em sua maioria, do tipo boletins. Trabalhavam alguns aspectos das espécies utilizadas como adubo verde, a importância do nitrogênio na fertilidade, a utilização de adubos verde que possuíam valor econômico, a importância da matéria orgânica para o solo, aspectos do sistema radicular, entre outros.

A década de 1950 foi marcada pela publicação de resultados das pesquisas relacionadas à adubação verde (ROSSI e CARLOS, 2014). Muitas pesquisas já vinham sendo

desenvolvidas, no entanto, somente nesta época passaram a ser mais divulgadas, por meio de boletins, técnicos, teses e livros. Nesse período também se discutia o uso da adubação verde em cultivos perenes e temporários; a época de corte das espécies; a definição de práticas que deveriam ser adotadas nesses sistemas, entre outros. Nesse momento, é importante destacar que as pesquisas voltadas para o uso da adubação verde acompanhavam a economia do país, sendo assim, direcionados, principalmente, às culturas da cana-de-açúcar e do café.

Rossi e Carlos (2014) também relatam que entre 1960 e 1970, observou-se uma escassez de trabalhos e um desinteresse, principalmente econômico, relacionado à adubação verde. Isso se deveu à chegada da Revolução Verde no país, que empregava pacotes tecnológicos que incluíam o uso de fertilizantes químicos, sinteticamente produzidos. O governo, no contexto da explosão da cultura da soja, lançou programas de incentivo ao uso desses fertilizantes sintéticos.

A retomada da expansão da adubação verde ocorreu entre as décadas de 80 e 90. Em Junho de 1983, aconteceu no Rio de Janeiro o *I Encontro Nacional sobre Adubação Verde*. Pesquisadores, produtores rurais, técnicos e extensionistas buscavam conhecer as experiências concretas, o diagnóstico atual da área, identificando carências e deficiências; e coletar informações para definição de uma política abrangente para o setor (ROSSI e CARLOS, 2014).

A partir de 1980, então, percebeu-se uma retomada da questão da adubação verde. Diversos boletins foram editados e publicados ao longo desses últimos anos. Dessa vez, instituições de pesquisa, como a Coordenadoria de Assistência Técnica (Cati), o Centro de Pesquisa Agropecuário Oeste (CPAO) e outras, publicavam livros, apostilas e outros documentos.

A discussão agora se voltava também à importância da adubação verde para evitar processos erosivos, onde técnicas de cultivo mínimo e sistemas de plantio direto (SPD) ganhavam ênfase. Nesse mesmo contexto, o conceito de “plantas de cobertura de solo” se torna muito comum na divulgação da adubação verde.

A década de 90 é marcada por duas importantes obras: *Adubação verde no sul do Brasil*, que reuniu pesquisadores do sul e do sudeste brasileiro, resumindo todo conhecimento

desenvolvido pelos institutos de pesquisa, extensão e ensino até aquele momento, e *Adubação verde em citros*, de 1999, que objetivava divulgar a adubação verde entre os produtores agrícolas de citros, a fim de permitir o uso adequado dos solos.

Finalmente, chega-se ao século XXI, onde os modelos de produção surgidos na Revolução Verde passam a não mais serem permitidos, pois não são aceitos como modos de produção econômico e ambientalmente satisfatórios. Desse modo, a adubação verde ganha notoriedade, e é vista hoje como uma ferramenta de aplicação para a sustentabilidade, tendo em vista o conhecimento de seus benefícios físicos, químicos e biológicos ao solo.

3.7.2 Benefícios da adubação verde

A adubação verde é, usualmente, utilizada sob duas formas de manejo: com e sem incorporação dos resíduos vegetais. O manejo desses resíduos depende do objetivo visado (KHATOUNIAN, 2001). No manejo com incorporação, após o material vegetal ser tombado ou fragmentado, é feita a incorporação dos resíduos vegetais ao solo. Este sistema é denominado, por algumas vezes, sistema convencional, pois emprega o manejo convencional de preparo do solo, utilizando operações mecanizadas. Após isso, segue-se o plantio da cultura sucessora.

O segundo tipo de manejo da adubação verde é o que, após o tombamento ou fragmentação do material vegetal, não realiza a incorporação dos resíduos vegetais, deixando-os sobre a superfície do solo. Esse sistema é também conhecido como sistema de plantio direto (SPD), onde a cultura sucessora é plantada diretamente sobre os resíduos da adubação verde, sem que o solo receba qualquer preparo mecanizado.

Diversos benefícios estão associados à utilização da adubação verde, tais como: o fornecimento de nutrientes, o aumento do estoque do carbono no solo, cobertura e proteção do solo, manutenção e melhoria das condições físicas e biológicas do solo, etc. Nesse sentido, diversos estudos vêm sendo desenvolvidos, ao longo dos anos e em todo mundo, para avaliar empiricamente a eficiência da adubação verde.

Hansen *et al.* (2012) avaliaram os resultados da adoção do sistema de plantio direto na cultura do trigo cultivado, sob sequeiro, no semiárido dos Estados Unidos. Os autores constataram que um sistema de produção no inverno que segue: trigo-milho-pousio (plantio direto) teve uma produtividade de trigo 75% maior que um sistema de verão que segue: trigo-pousio (sistema convencional). Esse mesmo estudo avaliou a erosão do solo utilizado, onde observou-se que o sistema de plantio direto reduziu em 25% a erosão, quando comparado ao sistema convencional.

A produtividade do milho cultivado em sucessão à adubação verde foi avaliada por Lázaro *et al.* (2013). Sete tratamentos foram analisados, cinco de adubação verde: milho cultivado sobre a palhada de aveia preta, aveia preta + nabo forrageiro, aveia preta + tremoço branco, tremoço branco, crambe; e dois convencionais: vegetação espontânea e vegetação espontânea + adubação nitrogenada em cobertura. Os resultados indicaram que o tratamento que utiliza adubação verde (na composição palhada de aveia preta + tremoço branco) foi o mais produtivo (10.817 kg ha⁻¹). Constatou-se ainda que o uso dos três primeiros adubos verdes (aveia preta + nabo forrageiro, aveia preta + tremoço branco e tremoço branco) dispensa a fertilização nitrogenada por cobertura.

Objetivando avaliar o sequestro de carbono orgânico (SCO) em sistemas que utilizam plantas de cobertura, Poeplau e Don (2015) realizaram uma meta-análise para derivar uma função de resposta de carbono, que permite identificar as mudanças do estoque de carbono nos solos ao longo do tempo. Foram compilados estudos de estoque de carbono em diversos países do mundo ao longo de diferentes períodos, considerando diferentes fertilizações, diferentes manejos e tipos de coberturas. Por meio de modelagem foi previsto que no estado de equilíbrio, depois de 155 anos de cultivo de cobertura, o acúmulo total médio do estoque SCO seria de $16,7 \pm 1,5$ Mg por hectare, para uma profundidade de solo de 22 cm. Estimou-se ainda um potencial de sequestro global SCO de $0,12 \pm 0,03$ Pg C por ano, o que compensaria em 8% as emissões diretas anuais de gases com efeito de estufa provenientes da agricultura.

No Brasil, Zotarelli *et al.* (2012) avaliaram, em sistemas de produção de soja e outras leguminosas, se a adoção do plantio aumentaria as taxas de fixação biológica de nitrogênio (FBN), e se esse incremento de N traria efeitos positivos sobre o estoque de

carbono no solo. As rotações de culturas foram compostas de soja (cultura principal), milho, trigo, aveia-preta e tremoço branco, sob dois sistemas de preparo: preparo convencional (PC) e plantio direto (PD). O estudo durou 12 anos. Os resultados indicaram que o rendimento dos grãos para cultura principal, soja, foi maior em PD, enquanto que para o milho em rotação com leguminosas, o rendimento foi maior em PC. A dependência de FBN foi maior em PD (76%) para soja, e em PC (68%) para tremoços. O uso desta última espécie proporcionou um incremento de nitrogênio no solo, cerca de 300 kg por hectare, contribuindo para o equilíbrio positivo de N no sistema. Não foram observados significativos ganhos no estoque de carbono orgânico no solo em PD, mas verificou-se perda de C após 12 anos em PC.

Os efeitos da adubação verde sobre a qualidade física dos solos também foram avaliados. Yang *et al.* (2012) avaliaram os efeitos, a longo prazo, do uso de adubos verdes sobre as propriedades físicas de um solo vermelho de cultivo de arroz (Fe-Typic Hapli-Stagnic Anthrosols), sob duplo sistema de produção. Os tratamentos avaliados foram arroz-arroz-pousio, arroz-arroz-violação, arroz-arroz-ervilha chinesa de leite e arroz-arroz-azevém. Todos os adubos foram incorporados 15 dias antes do transplante do arroz. Os resultados indicaram que a porosidade do solo dos tratamentos que utilizaram adubos verde foi significativamente maior que o solo de tratamento com pousio. Os tratamentos com adubos verdes também apresentam maior quantidade de agregados estáveis na camada superior do solo, além de uma maior capacidade de retenção de água e um volume maior de umidade em todos os potenciais matriciais quando comparados ao tratamento com pousio.

Com o objetivo de avaliar as alterações da matéria orgânica no solo e as propriedades da água em sistemas de plantio direto, Jemai *et al.* (2013) instalaram experimentos para comparação de dois sistemas de plantio direto (um com duração de 3 anos-PD3 e outro com duração de 7 anos-PD7) com o sistema convencional de produção de trigo em uma região sub-úmida-seca, no Norte da Tunísia. O sistema PD3 utilizou uma sucessão de feijão fava e trigo, o sistema PD7 utilizou uma sucessão de sula e trigo e o sistema convencional produziu trigo continuamente em solo arado. Como esperado, os resultados apresentaram maiores níveis de matéria orgânica e melhores densidades e porosidades nos solos dos tratamentos de PD quando comparados ao tratamento convencional. Observou-se que essas características encontradas se prolongam nas camadas de até 30 cm nos solos de PD7, enquanto se limitam aos 10 cm de camada em PD3. PD3 e PD7 aumentaram

consideravelmente a microporosidade do solo, aumentando, assim, o conteúdo de água no solo, porém PD7 teve maior macroporosidade, disponibilizando mais água. A umidade do solo cresceu com aumento da profundidade das camadas em tratamentos de PD, reforçando as propriedades de armazenamento de água na zona de enraizamento. Contudo, de forma geral, PD7 se apresenta como o melhor tratamento para disponibilidade de água para as plantas,

Outros estudos também avaliam a eficiência da adubação verde, relacionando-a com aspectos e impactos ambientais decorrentes dos sistemas produtivos. Este é o caso do estudo de Yagioka *et al.* (2015), que compararam dois sistemas de produção, um que utiliza plantio direto (PD) com cobertura de ervas daninhas e outro que utiliza o sistema convencional de preparo (PC) do solo, e em dois modos de aplicação dos fertilizantes: com e sem fertilizante orgânico. Utilizou-se nos dois primeiros anos o cultivo de abóbora e nos dois seguintes, um policultivo de quiabo, pimentão e berinjela. Foram avaliados o fluxo de gases do efeito estufa, o potencial de aquecimento global, o acúmulo de carbono no solo e a lixiviação de nitrato. Os resultados indicaram que PC apresentou bons resultados de captação de metano imediatamente após o preparo do solo, porém seus efeitos não permaneceram em longo prazo. Enquanto que em PD observou-se um aumento linear, ao longo dos anos, da captação de metano do estoque de carbono da camada superficial, indicando uma melhoria nos aspectos físicos do solo. Observou-se ainda que as emissões de N₂O não aumentaram ao longo dos anos em PD e que este sistema teve maior variação entre o estoque de carbono final e inicial, implicando em um menor potencial de aquecimento global líquido, que quando comparados com PC. A lixiviação de nitrato foi cerca de 50% menor em PD que em PC. Com isso, conclui-se que o sistema PD contribui com a preservação do meio ambiente e deve ser adotado em áreas agrícolas abandonadas.

Xue *et al.* (2014), em semelhante raciocínio, avaliaram a sustentabilidade de carbono (emissão de gases do efeito estufa-GEE, a pegada de carbono e os serviços ecossistêmicos por meio do sequestro de carbono) em diferentes sistemas de manejo (plantio direto-PD, rotação de culturas-RC e preparo convencional-PC) de solo, no cultivo (cedo e tardio) de arroz, produzido no sul da China. Os valores da Pegada de Carbono (em kg CO₂-eq/kg de arroz) encontrados para, respectivamente, PD, RC e PC foram: 1,27, 1,85 e 1,40 (quando inclui os valores de carbono orgânico no solo) e 0,54, 1,20 e 0,72 (quando se exclui os valores de carbono orgânico no solo). O valor dos serviços ecossistêmicos em sequestro de

C para todas as estações de crescimento seguiu a ordem do PD > PC > RC. Assim, os autores concluíram que a sustentabilidade de carbono é melhor no sistema PD, quando comparado com RC e PC.

Alguns trabalhos avaliaram a utilização da adubação verde na cultura do melão. Faria *et al.* (2004) avaliaram os efeitos da adubação verde nas características químicas do solo e na produtividade e qualidade da uva e do melão, no Submediterrâneo São Francisco. Para tanto, foi conduzido um experimento, sob cultivo irrigado, em um Argissolo Vermelho-Amarelo, de textura arenosa, em Petrolina-PE. No experimento do meloeiro, os tratamentos constituíram-se dos seguintes adubos verdes: 1) milho como testemunha; 2) mucuna preta; 3) milho + caupi e 4) dois cultivos sucessivos de crotalária júncea no primeiro ano, milheto + caupi no segundo ano e crotalária júncea + caupi no terceiro ano. Utilizou-se também dois subtratamentos: I) 100% da calagem e da adubação recomendadas pela análise do solo e II) 50% da recomendação. Os cultivos dos adubos verdes foram realizados no primeiro semestre, seguidos do cultivo do melão no segundo. O resto da cultura do milho no tratamento 1 foi retirado do local, enquanto a biomassa aérea do milho e dos outros adubos verdes dos demais tratamentos permaneceu no local. Os resultados indicaram que, no experimento do meloeiro: a) a mucuna preta foi o adubo verde que exerceu um efeito positivo na qualidade do fruto do melão; b) todos os adubos verdes proporcionaram uma melhoria nas características químicas (Ca^{2+} , K^+ , CTC e M.O.) do solo; c) a adubação verde pode substituir 50% do adubo (NPK) e calcário aplicados ao solo sem prejuízo para a cultura do melão. Observou-se também que a maior produtividade dos frutos se deu pelo tratamento 4, no último ano de avaliação.

Pereira *et al.* (2010) avaliaram a influência da mecanização agrícola sobre as características físicas de um Cambissolo de uma região produtora de melão, em Quixeré-Ce. Foram avaliados os atributos físicos do solo de um sistema de produção de melão com plantio de milho entressafras, incorporação dos resíduos vegetais e preparo convencional do solo, e os mesmos atributos físicos do solo na vegetação nativa (caatinga), para comparação. Observou-se que o preparo mecanizado dos solos aumentou a densidade do solo, reduziu a porosidade total e a microporosidade do solo nas profundidades de 10-40 cm, aumentou a água disponível na camada de 5-10 cm, e diminuiu a capacidade de campo nas camadas de 15-40 cm e ponto de murcha permanente nas camadas de 5-40 cm.

Fernandes (2010), em sua dissertação, avaliou a interferência de plantas daninhas sobre a produção e a qualidade de frutos de meloeiro cultivado nos sistemas de plantio direto e convencional, sob diferentes estratégias de manejo das plantas infestantes, em Mossoró-RN. As parcelas foram compostas por dois sistemas de plantio (plantio direto e convencional) e as sub-parcelas, sete sistemas de manejo de plantas daninhas, que contemplavam: a cobertura com filme de polietileno; diferentes dias de capina após o transplantio e o tratamento testemunha sem capinas. Avaliou-se número de frutos; massa de frutos; produção de frutos; produtividade comercializável e produtividade total, além de características qualitativas dos frutos. Verificou-se que o sistema de plantio direto reduziu em mais de 80% a densidade e a massa seca de plantas daninhas em relação ao plantio convencional, verificou-se ainda que o uso do filme de polietileno no sistema de plantio direto se destacou em relação aos demais tratamentos para a produção de frutos comercializáveis, e que não houve variação na produção e na qualidade dos frutos de melão entre os sistemas de plantio direto e convencional, sob manejo adequado de plantas daninhas.

Com o objetivo de avaliar o efeito dos sistemas de plantio direto e convencional e estratégias de manejo de plantas daninhas na economia de água de irrigação na cultura do melão, Teófilo *et al.* (2012) conduziram um experimento, em Mossoró-RN. Foram instaladas parcelas com dois sistemas de plantio (plantio direto e convencional) e, nas subparcelas, foram sistematizados três sistemas de manejo de plantas daninhas (cobertura com filme de polietileno, mantido no limpo por meio de capinas e testemunha sem capinas). Os autores avaliaram a densidade e a massa seca das plantas daninhas aos 30 dias após o transplante, a produtividade comercial e total e o consumo diário de água. Os resultados indicaram que o sistema de plantio direto na palha reduziu a densidade populacional e a massa seca acumulada pelas plantas daninhas em 86,7 e 61%, respectivamente, em relação ao plantio convencional. Observou-se ainda que os tratamentos de: cobertura do solo com filme de polietileno no plantio convencional, cobertura do solo com filme de polietileno no plantio direto, e plantio direto com capina reduziram o consumo de água em 23% (388,8 m³ ha⁻¹), 21% (363,0 m³ ha⁻¹) e 13% (215,0 m³ ha⁻¹), respectivamente, em relação ao tratamento com capinas no plantio convencional. Os autores observaram também que a cobertura do solo (com filme de polietileno ou com cobertura morta no plantio direto) aumentou a eficiência no uso da água pela cultura, em relação ao solo sem cobertura.

4 METODOLOGIA

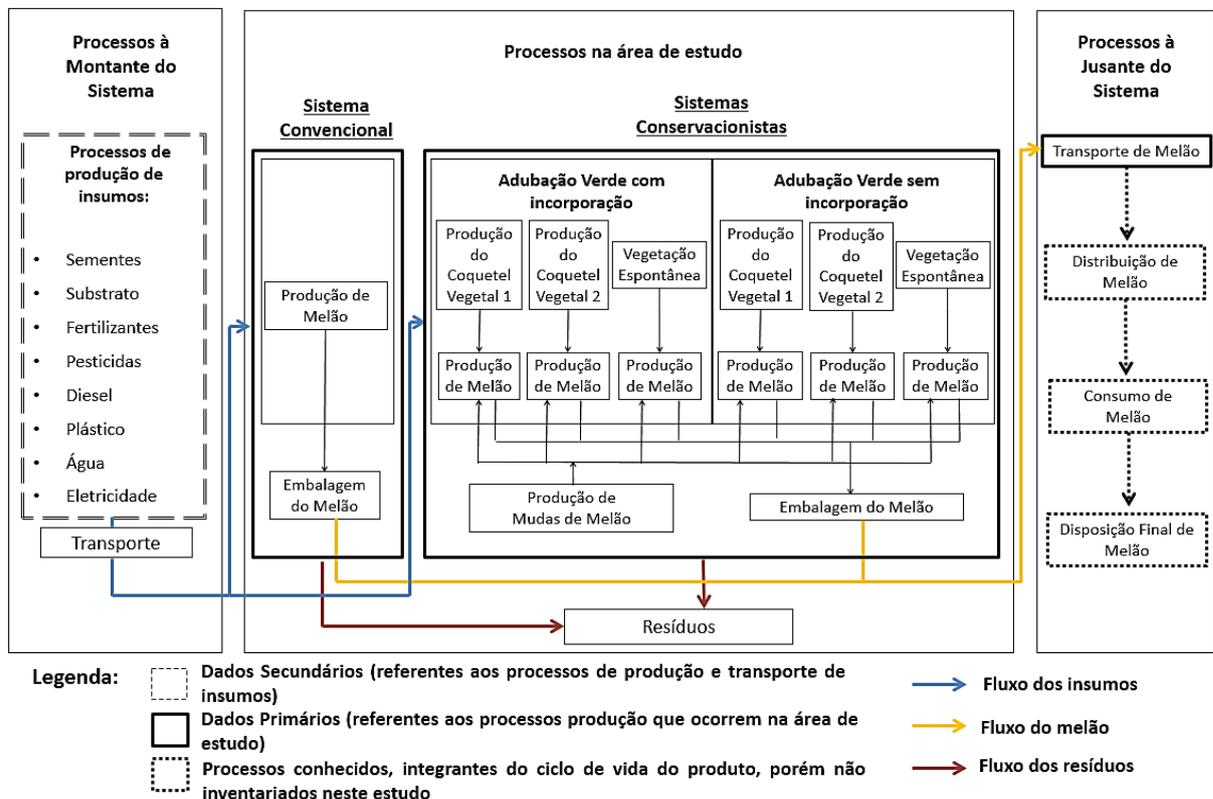
O estudo foi desenvolvido com base na Avaliação do Ciclo de Vida, segundo as normas ISO 14040 e 14044 (2006a e 2006b), com foco em diferentes categorias de impacto, relacionadas ao processo de produção em estudo.

4.1 Unidade Funcional e fronteiras do sistema

A unidade funcional do sistema em estudo é uma tonelada de melão amarelo produzido no Submédio São Francisco e transportado para a CEAGESP, na cidade de São Paulo.

O sistema de avaliação abrange processos a montante, processos da área de estudo e processos a jusante, como se pode observar na Figura 2, a seguir:

Figura 2- Fronteiras do Sistema em Estudo



Fonte: Elaborado pela autora (2015)

Conforme observação da figura anterior, os processos a montante do sistema envolvem a produção e transporte de insumos utilizados nos sistemas de produção em campo de melão, tais como: sementes, fertilizantes, pesticidas, água, plástico, energia, entre outros. Essas informações de produção e transporte dos insumos são consideradas secundárias e são obtidas em banco de dados.

Os processos a jusante do sistema são os processos de transporte, distribuição, consumo e disposição final do produto. Todos esses processos integram o ciclo de vida do melão, mas apenas o transporte dos frutos, que antecede sua distribuição, é considerado neste estudo.

Os processos da área de estudo são os de produção em campo do melão. Nesse compartimento, são observados dois sistemas de produção: i) sistema de produção convencional, praticado, de forma geral, em toda a região que produz para comercialização e o ii) sistema conservacionista com adubação verde desenvolvido em escala experimental. O sistema de adubação verde abrange dois sistemas de manejo: com e sem incorporação da biomassa vegetal; dois coquetéis vegetais. Ainda em escala experimental, observa-se a produção de melão em dois tratamentos que não utilizam coquetéis vegetais, mas manejam (incorporando ou não) a vegetação que cresce espontaneamente na área de cultivo. Totalizam-se, assim, sete tratamentos na área de estudo. As informações da área de estudo são consideradas informações primárias, e foram obtidas de forma direta com os produtores.

Os resíduos contabilizados referem-se aos plásticos dos tubos de irrigação (utilizados em ambos os sistemas) e ao *mulching* (utilizado no sistema convencional). Os resíduos de embalagens de fertilizantes e pesticidas não foram contabilizados. As embalagens de pesticidas são classificadas como perigosas, segundo a Lei 12.305/2010- Política Nacional dos Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010), devendo seguir a logística reversa.

4.2 Análise de Inventário

Na etapa de inventário, todas as informações relacionadas ao processo produtivo de melão foram levantadas, considerando todas as entradas (insumos) e saídas (emissões) do sistema.

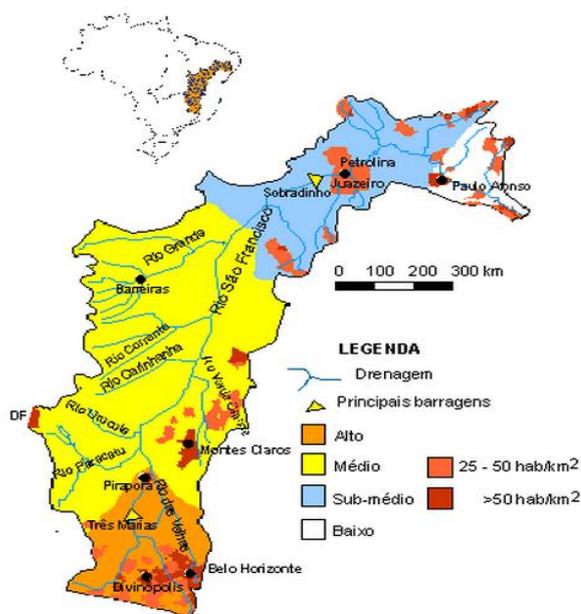
4.2.1 Coleta de Dados

As informações primárias referentes aos processos de produção do melão em campo foram obtidas por meio da aplicação de questionários nas unidades de produção. As informações levantadas se referem ao intervalo dos anos de 2011 a 2013. Para a avaliação inicial dos impactos de todos os sistemas considerados (convencional e conservacionistas), utilizaram-se os valores médios. Já na avaliação dos impactos ambientais por categorias, utilizaram-se os valores do último ano para o sistema conservacionista; e o mesmo valor médio para o sistema convencional, pois, durante o desenvolvimento do estudo, não houveram grandes variações de produtividade neste sistema.

O sistema convencional foi representado pelas áreas de produção localizadas no Perímetro Irrigado do Salitre (latitude: 9° 31' 15" e 9° 52' 30" S e longitude: 40° 15' 00" e 40° 37' 00" W), município de Juazeiro, estado da Bahia (ver Figura 3). Esta unidade respondeu, em 2012, por aproximadamente 15% da área plantada com melão no Submédio vale do rio São Francisco (CONSÓRCIO SALITRE, 2014). Esse Perímetro é gerenciado pela CODEVASF (Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco) e representa uma importante unidade de fruticultura para o mercado brasileiro.

Figura 3- Bacias Hidrográficas do Rio São Francisco

Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco



Fonte: Rede acqua (2015).

Os sistemas conservacionistas avaliados, que apresentam caráter experimental, estão ainda em funcionamento no campo experimental do Bebedouro, pertencente à Embrapa Semiárido, localizada no município de Petrolina, Estado de Pernambuco (ver Figura 3). Considerou-se a adubação verde com rotação de culturas sob dois sistemas de manejo: com incorporação da biomassa vegetal e sem incorporação da biomassa vegetal. Os sistemas também consideram dois tipos de coquetéis vegetais (combinação de espécies vegetais utilizadas na adubação verde): um composto por 25% de espécies leguminosas e 75% de espécies não leguminosas, e outro composto por 75% de espécies leguminosas e 25% de espécies não leguminosas, e vegetação espontânea (crescimento natural de espécies vegetais na área, sem seleção de espécies). A lista dos tratamentos avaliados pode ser visualizada na Tabela 1.

Tabela 1 - Sistemas conservacionistas em estudo

Tratamento	Combinação	Sistema de Manejo
Tratamento 1	Coquetel Veg. 1- 75% leguminosas +25% não-leguminosa	Sem incorporação
Tratamento 2	Coquetel Veg. 2- 25% leguminosas + 75% não-leguminosa	Sem incorporação
Tratamento 3	Vegetação Espontânea	Sem incorporação
Tratamento 4	Coquetel Veg. 1- 75% leguminosas + 25% não-leguminosa	Com incorporação
Tratamento 5	Coquetel Veg. 2 - 25% leguminosas + 75% não-leguminosa	Com incorporação
Tratamento 6	Vegetação Espontânea	Com incorporação

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Os dados secundários, referentes à produção e transporte de insumos (energia, água, fertilizantes, pesticidas, diesel, papelão) foram obtidos do banco de dados do *ecoinvent*[®] 3.01 (FRISCHKNECHT, JUNGBLUTH, 2007). Dados referentes à produção de sementes e mudas de melão foram retirados do estudo de Figueirêdo *et al.* (2013).

Devido à impossibilidade de inventariar a produção de sementes e biomassa de todas as espécies envolvidas na produção do coquetel vegetal, foram selecionadas duas espécies: o feijão guandu (*Cajanus cajan*), para representar o grupo das leguminosas; e o milho (*Zea mays*), representando as não-leguminosas. Os dados referentes à produção de sementes e biomassa de feijão guandu foram retiradas das seguintes publicações: *Produção de sementes de guandu* (SOUZA *et al.*, 2007). Já os dados referentes à produção de milho são de acordo com: *Produção de sementes de milho variedade* (VALENTINI *et al.*, 2009) e *Coleção plantar- Milho-verde* (EMBRAPA, 2008). As espécies da vegetação espontânea não foram inventariadas.

4.2.2 Etapas do processo produtivo consideradas

Dois processos produtivos são considerados no estudo: a produção de melão que ocorre nos dois sistemas produtivos (convencional e conservacionistas), e a produção da biomassa, que antecede a produção de melão, ocorrendo apenas nos sistemas conservacionistas de produção com utilização de coquetéis vegetais.

4.2.2.1 Produção de Biomassa

Cerca de doze espécies leguminosas e não leguminosas (gramíneas + oleaginosas) são utilizadas na composição do coquetel vegetal (Figura 4): Calopogônio (*Calopogonium mucunoide*), mucuna preta (*Mucuna aterrina*), mucuna cinza (*Mucuna conchinchinensis*), *Crotalaria juncea*, *Crotalaria spectabilis*, feijão de porco (*Canavalia ensiformes*), guandu (*Cajanus Cajan L.*), Lab-lab (*Dolichos lablab L.*), gergelim (*Sesamum indicum L.*), milho (*Zea mays*), milheto (*penissetum americanum L.*) e sorgo (*Sorghum vulgare Pers.*).

Figura 4- Amostra e cultivo do Coquetel Vegetal



Fonte: Autora (2014)

É importante observar que a produção de sementes e biomassa (para as duas espécies: feijão guandu e milho) ocorre simultaneamente, ou seja, ao final do processo obtêm-se dois diferentes produtos. Dessa forma, esses sistemas foram inventariados em função da produção das espécies em um hectare. Considerando a massa produzida de biomassa e semente, realizou-se alocação mássica dos impactos. Considerou-se que, em um hectare, cada ciclo da cultura do feijão guandu produz, em média, 600 kg de sementes (SOUZA *et al.*, 2007), e 7000 kg de biomassa seca (SEMEATA, 2015), e a cultura do milho produz 6600 kg de sementes e 19700 kg de biomassa fresca.

➤ Produção de sementes e biomassa de feijão guandu

Segundo Souza *et al.* (2007), a etapa inicial da produção de feijão guandu é a de preparo do solo. Nessa etapa a área sofre processos mecanizados de aração e de gradagem para o revolvimento e destorramento do solo. Com base nas análises de solo, quando necessário, faz-se, em seguida, a correção e adubação inicial.

A etapa seguinte é o plantio, onde é feita a distribuição uniforme das sementes, diretamente no solo. Não foram considerados processos de tratamento das sementes que favorecem a germinação e a emergência das plântulas.

Segue-se com a etapa de crescimento das plantas. Nesse período são realizadas vistorias para acompanhamento do desenvolvimento da cultura. Quando necessário são utilizados agroquímicos para controle de pragas, doenças e invasão de espécies daninhas. Nesse estudo, considerou-se a utilização de um quilo por hectare do ingrediente ativo *prometrina*, funcionando como herbicida (SOUZA *et al.*, 2007).

Entre os dias 150 e 180 do ciclo de produção ocorre o florescimento da espécie e depois a formação das vagens (Figura 5).

Figura 5- Planta de feijão em crescimento e em estágio de maturidade



Fonte: Autora (2014) e Arquivo pessoal de Viviane Silva Barros (2013)

A etapa seguinte, colheita das sementes, é realizada de forma manual. Depois de colhidas, as sementes passam por um beneficiamento, antes de serem embaladas.

Após a colheita, a biomassa pode ser utilizada como adubo verde, mediante a incorporação no solo; ou ser utilizada como forragem, para alimentação de animais. Nesse estudo considerou-se a utilização da biomassa como adubo verde.

➤ Produção de sementes e biomassa de milho

A produção de biomassa e sementes de milho se inicia com o preparo do solo, onde a área de produção sofre processos de gradagem e aração (VALENTINI *et al.*, 2009).

Quando necessário, faz-se a correção do pH e a adubação de fundação, para melhores resultados no desenvolvimento da cultura. No entanto, nesse estudo, esses processos não foram considerados. Segue-se a produção com a etapa de plantio, onde se realiza a semeadura direta no campo.

A etapa seguinte é a de desenvolvimento da cultura, onde ocorre o manejo (Figura 6). Por ser uma cultura exigente, o milho recebe grande quantidade de fertilizante nitrogenado durante seu desenvolvimento. Também no manejo, realiza-se o controle de pragas e doenças, com uso de agentes químicos. Considerou-se, neste estudo, a utilização dos herbicidas: *Sanson* e *Atrazine*, e dos inseticidas: *Cropstar* e *Decis 250 CE*. O fornecimento de água se dá por sistemas de irrigação. Realizam-se inspeções na busca de promover uma uniformidade da cultura, eliminando plantas altas, doentes e de variedades diferentes.

Figura 6- Cultura do milho em desenvolvimento



Fonte: Autora (2014)

Não há um dia definido para o período de colheita. Costuma-se observar a fase em que as palhas estão secas e as espigas podem ser, facilmente, destacadas da planta. O ciclo do milho dura de 70 a 90 dias (EMBRAPA, 2008). Realiza-se a colheita mecânica, e após a colheita as sementes são beneficiadas. Considerou-se que a biomassa é utilizada como adubo verde para a cultura do melão.

4.2.2.2 Produção de Melão

A produção de melão envolve as etapas de produção de sementes, produção de mudas (utilizada somente nos sistemas conservacionistas), produção em campo e embalagem. As informações referentes aos processos de produção de sementes e mudas foram retiradas da literatura. Já as informações referentes à produção em campo de melão foram inventariadas na área de estudo.

✓ 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. O Brasil, porém, não tem produção e comercialização de sementes de melão consideráveis. Portanto, as sementes adquiridas pelos produtores de melão são, na maioria das vezes, importadas de países como: Argentina, Chile, Estados Unidos.

Considerando a mesma origem e espécie de sementes, retiraram-se os dados referentes aos insumos utilizados e emissões de GEE do trabalho de Figueirêdo *et al.* (2013). Esse estudo quantificou essas informações para a produção de sementes de melão em estufa experimental localizada na Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, Ceará. Nesse trabalho a produção ocorreu em estufas não aquecidas, considerando-se que uma área de 0,05 ha produz 1.632 melões com peso individual de aproximadamente 1 kg cada, contendo cada um 400 sementes viáveis, e que cada semente gera uma muda. Considerou-se ainda que quatro ciclos de produção ocorrem em um ano, e que a vida útil do plástico de estrutura da estufa é de três anos; a vida útil dos tabuleiros de mudas, feitos de PET (terefitalato de polietileno); é 900 dias; e a vida útil do substrato de coco, dois anos.

✓ Produção de mudas

O processo de produção de mudas envolve as seguintes etapas: semeadura, germinação em temperatura controlada, e desenvolvimento em estufa. As informações referentes a esta etapa da produção também foram retiradas do trabalho de Figueirêdo *et al.* (2013), que levantaram informações em uma fazenda localizada no Baixo Jaguaribe e região do Açu, localizada na região do Apodi. Para produção de mudas considerou-se que em uma área de 0,12 ha produz-se 110 milhões de mudas por ano, e que a vida útil do plástico da estufa é de três anos, e das bandejas de mudas, 900 dias.

✓ Produção de melão em campo no sistema convencional

A produção convencional de melão se inicia na limpeza do terreno, onde ocorre a retirada da vegetação nativa para dar lugar aos campos de produção. Na área em estudo a vegetação natural é a Caatinga, que possui grande biodiversidade e é bastante resistente ao período de estiagem. Nesta etapa a liberação dos principais gases do efeito estufa (CO₂, N₂O e CH₄) ocorre pela retirada da biomassa. Outros impactos podem ser gerados ao solo nesta etapa, como a erosão, compactação e alterações em sua composição.

O processo de produção em campo segue com a preparação do solo. Nesta etapa o terreno passa por processos de aração e gradagem, e recebe a adubação de fundação (formada por compostos orgânicos) e, se necessário, recebe calcário para correção de pH do solo. São ainda construídos os camalhões (pequenos montes de areia com altura entre 15 e 20 cm), para facilitar a drenagem do solo, instalado o sistema de irrigação, e distribuído o mulching nos camalhões. O mulching (Figura 7) 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; e garantir a integridade do fruto, evitando que partes do melão, em contato com o solo úmido, apodreçam.

Segue-se com o plantio das sementes que são diretamente inseridas nas covas. A partir daí, segue-se o desenvolvimento da cultura com 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, por gotejamento; 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.

Figura 7- Mulching em campo (à esquerda) e planta em desenvolvimento (à direita)



Fonte: Autora (2013)

A etapa seguinte é a colheita (Figura 8), onde os frutos são retirados manualmente das plantas e passam por uma rápida limpeza para retirada de sujidades, no próprio campo.

No processo de produção em campo, consideraram-se os valores de produtividade de 34.000 kg/ha. Considerou-se também que há 11.200 plantas, espaçadas 40 centímetros entre si, e 2 metros entre fileiras e que o mulching e os tubos de irrigação são utilizados em três ciclos de produção.

Figura 8- Cultura desenvolvida (à esquerda) e colheita do melão (à direita).



Fonte: Arquivo pessoal Vanderlise Giongo (2012)

✓ Produção de melão em campo no sistema conservacionista

O processo de produção de melão no sistema conservacionista é semelhante ao convencional, diferindo apenas nos seguintes aspectos:

1. No sistema conservacionista, na etapa de preparo do solo, não se constroem canteiros/ camalhões para o plantio, pois o mulching não é utilizado nesse sistema. Por sua vez, realiza-se o manejo do coquetel vegetal ou vegetação espontâneas, segundo os tratamentos definidos: com ou sem incorporação. Em seguida, é instalado apenas o sistema de irrigação;
2. Na etapa de plantio (Figura 9), ocorre o uso de mudas no sistema conservacionista, ao invés do plantio direto das sementes, como ocorre no sistema convencional.

Figura 9- Plantio de mudas em sistemas conservacionista



Fonte: Arquivo pessoal Vanderlise Giongo (2012)

A Figura 10 representa, de forma resumida, as principais etapas dos sistemas avaliados até a etapa de plantio do melão:

Figura 10- Resumo das principais etapas de produção dos sistemas avaliados



Fonte: Autora (2015)

✓ Embalagem dos frutos

A embalagem é a última etapa do processo de produção de melão e também ocorre de forma idêntica nos sistemas convencional e conservacionista em avaliação. Diferente do que ocorre em regiões que produzem para exportação, a embalagem no submédio São Francisco é feita, no próprio campo, onde os frutos são apenas distribuídos em caixas de papelão, segundo sua classificação por tamanho. Em seguida, as caixas já são organizadas em caminhões fechados com capacidade de 20 t que fazem o transporte do fruto até seu destino. Considerou-se nesta etapa o uso de caixas de papelão com capacidade de armazenar 13 kg do fruto.

4.2.3 Tipo de transporte e cálculo das distâncias

Para o cálculo da distância de transporte de insumos agrícolas para as áreas produtoras, estimou-se a distância entre a origem dos insumos e as áreas de produção. Pela dificuldade de se obter informações de localização dos distribuidores de todos os insumos, considerou-se que o transporte dos insumos é feito diretamente das empresas fornecedoras para as áreas produtoras de melão. Considerou-se que os insumos utilizados foram produzidos no polo industrial de Cubatão, estado de São Paulo, e que estes são transportados em caminhões tipo baú com capacidade para armazenar 24 toneladas. A distância considerada do polo industrial de Cubatão-SP até Juazeiro (BA) foi de 2.209 km.

Para o cálculo da distância de transporte dos frutos, considerou-se que a produção parte Juazeiro (BA) ao mercado de destino (adotou-se 2.168 km); considerou-se o transporte rodoviário em caminhões fechados com capacidade de 20 toneladas. E, apesar de toda produção em estudo não ser destinada somente ao estado de São Paulo, definiu-se a CEAGESP (Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo) como o destino final dos frutos, por ser um importante ponto de distribuição de produtos para o sudeste e sul do Brasil.

4.2.4 Estimativa de emissões

A seguir, descreve-se como se estimaram as emissões por processos de produção e embalagem dos frutos, e outros processos.

4.2.4.1 Emissões por processos de produção em campo e embalagem de melão

As estimativas de emissões de GEE provenientes do processo de produção da biomassa nos sistemas conservacionistas, produção e empacotamento de melão nos dois sistemas em avaliação foram realizadas de acordo com a metodologia proposta pelo IPCC (2006) e MCT (2010).

Dentro do processo de produção de frutos, 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 nativa 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 e orgânicos, mas também o N proveniente da incorporação de resíduos culturais incorporados ao solo).

Além das emissões de GEE, emissões de amônia (NH_3) e de monóxidos de nitrogênio (NO_x) para o ar foram calculadas, segundo Nemecek e Schnetzer (2011), adotando fatores de emissão propostos pelo EEA-EMPA (2013).

As emissões para água de fósforo (P), decorrente de processos erosivos, e as emissões de fosfato, por escoamento e lixiviação, foram estimadas também segundo Nemecek e Schnetzer (2011). Para água, estimaram-se ainda as emissões de nitrato (NO_3^{2-}), segundo Emmenegger (2009).

As emissões de metais pesados (Cd, Cu, Zn, Pb, Ni e Cr) e de pesticidas, baseando-se nos ingredientes ativos dos agrotóxicos utilizados nos processos, foram estimadas segundo metodologia proposta por Nemecek e Schnetzer (2011).

É importante observar que as metodologias acima referidas têm origem em regiões temperadas, com características diferentes do nosso clima tropical. E, apesar de esses métodos estabelecerem alguns fatores para diferentes regiões do planeta, eles ainda têm uma abordagem muito geral, não sendo específicos para as demais regiões diferentes da de origem. Esse fato é gerador de incertezas relacionadas ao estudo.

O Anexo I traz as equações utilizadas para o cálculo das emissões acima citadas, os fatores de emissão adotados e as considerações e observações pertinentes ao desenvolvimento dos cálculos de estimativa deste estudo.

4.2.4.2 Emissões por outros processos

As emissões de GEE nos processos de produção de sementes e de mudas foram estimadas por Figueirêdo *et. al* (2013). As demais emissões para o ar, água e solo,

relacionadas ao processo de produção dos insumos (eletricidade, agroquímicos, diesel, plástico, papelão, entre outros), foram obtidas do banco de dados *ecoinvent* (FRISCHKNECHT, JUNGBLUTH, 2007).

4.3 Avaliação de Impactos

Este estudo avaliou o impacto ambiental da produção de melão, em sistema convencional e conservacionista, sobre seis categorias de impacto: Mudança Climática, Acidificação do Solo, Eutrofização de Águas Doces, Eutrofização Marinha, Escassez Hídrica e Toxicidade. Essas categorias foram selecionadas segundo o possível impacto relacionado às atividades do processo produtivo de melão.

Para avaliação do impacto nas categorias: Mudança Climática, Acidificação do Solo, Eutrofização de Águas Doces, Eutrofização Marinha, Escassez Hídrica, aplicou-se o método Recipe (GOEDKOOOP *et al.*, 2008), versão hierarquizada e abordagem *midpoint* (que considera impactos de nível intermediário). Para a categoria Toxicidade aplicou-se o método Usetox (ROSENBAUM *et al.*, 2008). Esse método expressa a toxicidade em três subcategorias: toxicidade humana-câncer, toxicidade humana-não câncer e ecotoxicidade.

Utilizou-se o software SimaPro (versão 8.03) para simulação dos impactos no ciclo de vida, integrando as cadeias produtivas dos sistemas avaliados, e suas respectivas entradas e saídas.

4.3.1 Análises de incerteza e sensibilidade

Após o cálculo dos impactos, considerando todo o ciclo de vida do melão nos sistemas em avaliação, foi feita uma análise de incerteza pelo método de Monte Carlo, utilizando 1000 ciclos de geração de valores para as variáveis de consumo e emissão. Considerou-se que cada variável possui uma distribuição log-normal de probabilidade. Utilizou-se a matriz Pedigree para o cálculo dos desvios padrões das variáveis (GOEDKOOOP *et al.*, 2014).

Realizou-se ainda uma análise de sensibilidade para avaliar a confiabilidade dos resultados obtidos. Com esse intuito, primeiramente, identificaram-se os principais processos contribuidores dos impactos sobre as categorias analisadas e, em seguida, estabeleceu-se variações nesses processos para avaliar como as mesmas afetam o resultado final.

As variações estabelecidas levaram à definição de três cenários:

- Cenário 1 (transporte): o transporte de melão pode ser feito também por outras vias, além da rodoviária. Considerou-se que os frutos são transportados da área de produção até o Porto de Salvador (BA) por caminhões fechados com capacidade de 20 toneladas, em seguida são transportados até o Porto de Santos (SP) por navios, e do Porto de Santos até a CEAGESP, novamente, por caminhões fechados com capacidade de 20 toneladas;
- Cenário 2 (embalagem): utilizaram-se apenas caixas de plástico, tipo polietileno de alta densidade, com capacidade de 30 kg, para organização e transporte dos frutos. Considerou-se que essas caixas são utilizadas apenas uma vez para esta atividade.
- Cenário 3 (fertilizantes): suspendeu-se a quantidade de fertilizante sintético à base de nitrogênio utilizada no cultivo do melão. Essa variação pôde ser feita, com base nas informações do experimento e em outros estudos, pois acreditava-se que, em um dado período de tempo, a quantidade de nitrogênio fornecida pela adubação verde será suficiente para atender as necessidades da cultura do melão, ao longo do seu ciclo de produção.
- Cenário 4 (transporte + embalagem + fertilizantes): refere-se à combinação dos três cenários descritos acima. Considera um transporte misto (rodoviário e transoceânico), o uso de caixas plásticas para embalagem, e a supressão do uso de fertilizantes nitrogenados, considerando o fornecimento de nutrientes pela adubação verde.

O tratamento que indicou melhor evolução no crescimento da produtividade foi considerado a situação de referência na análise de cenários.

5 RESULTADOS

A seguir são expressos os resultados obtidos: observações dos valores de produtividade, inventário de entradas e saídas, detalhamento dos processos que contribuem com os impactos sobre as categorias em estudo e a avaliação dos cenários.

5.1 Comportamento da produtividade de melão ao longo do tempo

A produtividade considerada para o sistema convencional de produção se baseou em valores médios de dois anos (2011 e 2012) de produção de melão na região do Salitre. O valor encontrado e utilizado foi de aproximadamente 34.000 kg/ha. Durante o desenvolvimento do trabalho não houve grandes variações de produtividade na área em estudo, por isso, apenas um valor de produtividade foi considerado para avaliar os impactos no sistema de produção convencional.

Já nos sistemas conservacionistas, observou-se que as produtividades encontradas sofreram grandes alterações ao longo do tempo (Tabela 2).

Tabela 2 - Produtividades absolutas e taxas de crescimento dos sistemas conservacionistas

<i>Tratamento/ Produtividade.ano (kg/ha)</i>	AV_SI 75%L+ 25%NL	AV_SI 25%L+ 75%NL	AV_SI Veg. Esp.	AV_CI 25%L+7 5%NL	AV_CI 75%L+ 25%NL	AV_CI Veg. Esp.
2011	20.243,1	21.076,4	21.201,4	26.625,0	30.638,9	24.041,6
2012	21.632,5	24.575,0	22.960,0	26.395,0	25.137,5	26.570,0
2013	37.447,9	42.989,6	32.791,7	50.697,9	41.120,8	44.260,4
Média	26.441,2	29.547,0	25.651,0	34.572,6	32.299,1	31.624,0
<u>Taxas de Crescimento</u>						
2011/2012	17%	7%	8%	-1%	-18%	11%
2012/2013	75%	73%	43%	92%	64%	67%
2011/2013	104%	85%	55%	90%	34%	84%

Legenda: **AV**=Adubação Verde

SI=sem incorporação

CI=com incorporação

25%L + 75% NL= 75% de espécies leguminosas e 25% de espécies não-leguminosas

75%L + 25% NL= 25% de espécies leguminosas e 75% de espécies não-leguminosas

Veg. Esp.=Vegetação Espontânea

Fonte: Elaborada pela autora a partir do banco de dados da Embrapa Semiárido.

Nota-se nos primeiros anos (2011 para 2012) que os sistemas de adubação verde com incorporação AV_CI_25%L+75%NL e AV_CI_75%L+25%NL têm um decréscimo de produtividade, apesar de apresentarem valores de produtividade absoluta maiores que os sistemas sem incorporação (AV_SI_25%L+75%NL, AV_SI_75%L+25%NL AV_SI_Veg. Esp.) (Tabela 2). Os sistemas sem incorporação, por sua vez, apresentaram um crescimento na produtividade nesse período.

Esse decréscimo de produtividade pode ser justificado pelo fato de que, nos tratamentos com incorporação, o solo fica exposto, recebendo alta radiação solar. Conseqüentemente, tem-se uma elevação de sua temperatura associada à redução da umidade, prejudicando, assim, o desenvolvimento da cultura. Portanto, embora os tratamentos com incorporação disponibilizem mais rapidamente os nutrientes (por conta da aceleração do processo de mineralização do material vegetal, quando este entra em contato com microrganismos do solo), nos primeiros anos, ele não apresenta condições externas apropriadas para o adequado desenvolvimento da cultura sucessora.

No segundo período (2012 para 2013), ambos os sistemas apresentaram um significativo crescimento de produtividade. Nesse momento, os sistemas conservacionistas que fazem incorporação mostraram o maior percentual de crescimento, pois já apresentam melhores condições de solo (tendo em vista o acúmulo de material vegetal nas camadas superiores, proveniente dos dois anos de adubação verde e dos restos culturais dos meloeiros), além de já acumularem uma quantidade de nutrientes e matéria orgânica superior aos sistemas sem incorporação.

Considerando os valores absolutos de produtividade encontrados no trabalho, observou-se que os sistemas de adubação verde com incorporação mostraram-se mais produtivos nos três anos. Porém, ao considerar a evolução do crescimento da produtividade nos três anos de avaliação, observa-se que os sistemas de adubação verde sem incorporação apresentam melhores resultados.

Acredita-se que os sistemas de adubação verde com incorporação da biomassa apresentem melhor desempenho em curto prazo, pois a incorporação da biomassa permite que os microrganismos do solo entrem em contato com a biomassa mais rapidamente,

intensificando as reações de decomposição e liberação de nutrientes. Enquanto que em sistemas sem incorporação (plantio direto) esse processo é mais lento, ocorrendo em médio e longo prazo (MIYASAKA *et al.*, 1995,1996; AMBROSANO *et al.*, 2003 e CALEGARI *et al.*, 1992 *apud* PECHE FILHO *et al.*, 2014).

Apesar de apresentarem melhores resultados somente em médio e longo prazo, os sistemas de adubação verde sem incorporação geram outros benefícios ao cultivo como: proteção do solo contra processos erosivos, manutenção da umidade e temperatura do solo, entre outros.

5.2 Inventários de entradas e saídas nos processos

Observando-se as informações de entradas, referente ao consumo de insumos, nota-se que o sistema conservacionista “AV_SI_Vegetação Espontânea” demandou maiores quantidades de insumos (Tabela 3). No entanto o sistema convencional se destacou no consumo de água, fertilizantes e plásticos. Os demais sistemas conservacionistas tiveram, na maioria dos itens, valores de entrada menores que os do sistema convencional. A mais baixa produtividade, encontrada no sistema “AV_SI_Vegetação Espontânea”, pode explicar sua diferenciação dos demais sistemas conservacionistas, e seus maiores valores de entrada em relação à produção convencional.

Quanto às saídas, observa-se que o sistema convencional apresenta maiores emissões de resíduos e dos GEE's CH₄, N₂O e NO_x que, neste caso, se relacionam ao intensivo uso de fertilizantes e às elevadas emissões decorrentes do processo de mudança do uso da terra. Nos sistemas conservacionistas também ocorrem emissões pela mudança no uso da terra, porém, nestes sistemas, as perdas são menores devido à quantidade de carbono retornada ao solo por meio da biomassa do adubo verde. As emissões de CO₂ e NH₃ para o ar, foram maiores no sistema “AV_SI_Vegetação Espontânea”, pela sua baixa produtividade. Os sistemas sem incorporação, apresentaram, de forma geral, maiores emissões de metais pesados para o solo, considerando, também, suas menores produtividades. As maiores emissões de pesticidas para o solo se deram pelos sistemas conservacionistas, pois utilizam maiores quantidades de pesticidas que o sistema convencional.

Tabela 3 - Inventários de entradas e saídas nos processos relativos à produção de um quilo de melão

Inventário	Unid.	Convencional	AV_SI	AV_SI	AV_SI	AV_CI	AV_CI	AV_CI
			25%L+ 75%NL	75%L+ 25%NL	Veg. Esp.	25%L+ 75%NL	75%L+ 25%NL	Veg. Esp.
Entradas								
Terra	m ²	0,30	0,38	0,30	0,39	0,29	0,31	0,31
Sementes melão	g	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mudas	g	0,00	1,72	1,54	1,77	1,30	1,40	1,40
Biomassa	g	0,00	285,00	209,00	146,19	106,10	224,00	321,70
Água	l	266,97	142,20	127,25	146,58	108,76	116,41	118,90
Eletricidade	kWh	0,05	0,06	0,05	0,06	0,04	0,05	0,05
Diesel	g	0,25	0,65	0,57	0,65	0,93	0,99	0,10
Gasolina	l	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Plásticos	g	1,90	1,02	0,91	1,04	0,80	0,80	0,80
Papelão	g	54,59	54,59	54,59	54,59	54,59	54,59	54,59
Madeira (Pallets)	g	12,09	12,09	12,09	12,09	12,09	12,09	12,09
Fertilizantes								
Comp. Orgânico	g	198,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N	g	4,30	4,60	3,64	4,19	3,10	3,30	3,40
P	g	3,90	3,40	3,07	3,53	2,60	2,80	2,90
K	g	3,80	2,40	2,12	2,43	1,80	1,90	2,00
Outros	g	2,10	1,07	0,90	2,30	0,80	1,98	1,90
Pesticidas	g	0,53	0,87	0,79	0,90	0,70	0,71	0,70
Saídas								
Resíduos	g	1,90	1,02	0,91	1,04	0,80	0,80	0,80
CO ₂	g	110,90	114,90	106,25	192,00	90,64	97,63	109,00
CH ₄	g	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N ₂ O	g	0,21	0,10	0,09	0,11	0,08	0,09	0,09
NH ₃	g	0,20	0,73	0,65	0,75	0,56	0,59	0,61
NO _x	g	0,50	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
NO ₃ ²⁻	g	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
PO ₄ ³⁻	g	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
P	g	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00
Cd	mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cu	mg	3,54	4,57	4,09	4,71	3,50	3,74	3,82
Zn	mg	5,51	7,12	6,37	7,34	5,44	5,83	5,95
Pb	mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ni	mg	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00
Cr	mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pesticidas	g	0,53	0,87	0,79	0,90	0,70	0,71	0,70

Legenda: AV=Adubação Verde SI=sem incorporação CI=com incorporação
 25%L + 75% NL= 75% de espécies leguminosas e 25% de espécies não-leguminosas
 75%L + 25% NL= 25% de espécies leguminosas e 75% de espécies não-leguminosas
 Veg. Esp.=Vegetação Espontânea

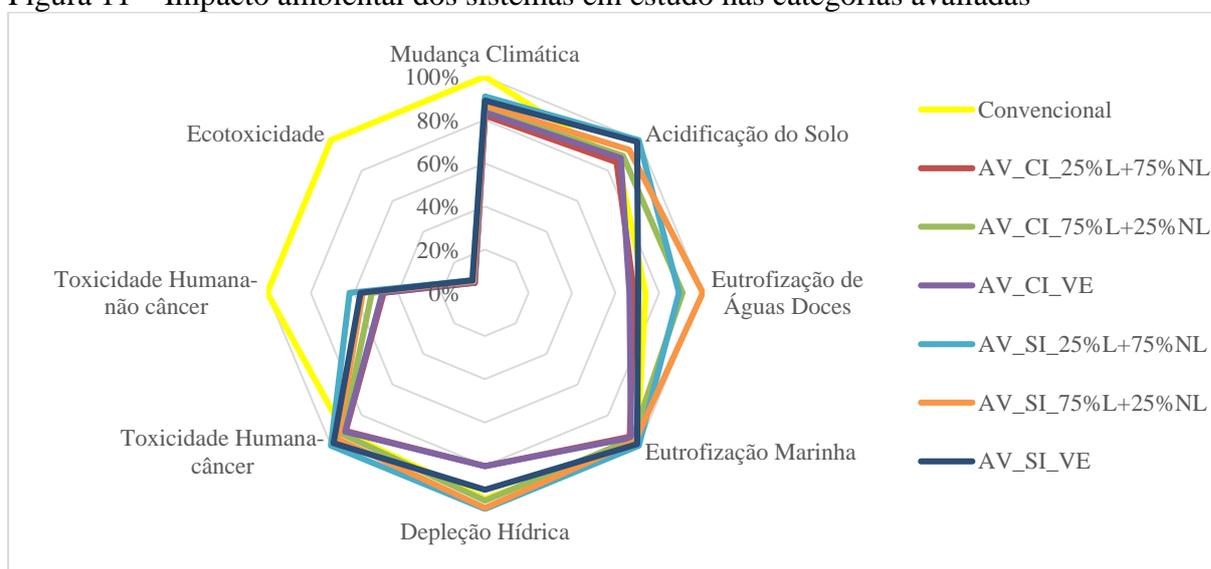
Fonte: Autora (2015)

5.3 Impactos ambientais dos sistemas em estudo

Considerando a média dos valores de inventário dos anos de 2011 a 2013, observa-se que o sistema de produção conservacionista AV_SI_25%L+75%NL apresenta o maior impacto ambiental em 4 (acidificação do solo, eutrofização marinha, depleção dos recursos hídricos, toxicidade humana-câncer) das 8 categorias avaliadas (Figura 11). O menor impacto ambiental é observado no sistema conservacionista AV_CI_25%L+75%NL (possui menores valores de impacto em mudança climática, acidificação do solo, eutrofização marinha, depleção hídrica, toxicidade humana-câncer e toxicidade humana-não câncer e ecotoxicidade). A produção convencional indica valor máximo de impacto na categoria mudança climática, toxicidade humana-não câncer e ecotoxicidade.

Nota-se que nas categorias toxicidade humana-não câncer e ecotoxicidade, o sistema convencional apresenta um impacto significativamente superior, quando comparado ao impacto sobre essas categorias nos sistemas conservacionistas em estudo. O elevado impacto sobre essas categorias relaciona-se à emissão de uma substância química, utilizada como fungicida somente no sistema convencional.

Figura 11 – Impacto ambiental dos sistemas em estudo nas categorias avaliadas



Legenda: AV=Adubação Verde SI=sem incorporação CI=com incorporação
25%L + 75% NL= 75% de espécies leguminosas e 25% de espécies não-leguminosas
75%L + 25% NL= 25% de espécies leguminosas e 75% de espécies não-leguminosas
Veg. Esp.=Vegetação Espontânea

*Nota: Os maiores valores dos impactos encontrados em suas respectivas categorias foram considerados 100%. Dessa forma, os valores de impacto encontrados para os demais sistemas foram expressos em porcentagem, tendo como base o valor máximo.

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Observa-se ainda que os impactos nos sistemas conservacionistas seguem a mesma linha de tendência na maioria das categorias, pois utilizam semelhantes quantidades de insumos. No entanto, apesar de apresentarem comportamento semelhante, possuem diferentes valores de impacto. Essas diferenças nos sistemas conservacionistas estão relacionadas principalmente às diferentes produtividades.

A grande diferença observada entre o sistema convencional e os conservacionistas em duas subcategorias de toxicidade está relacionada a um ingrediente ativo (Cloratolonil), utilizado somente no sistema convencional, que possui elevado potencial de toxicidade

Para refinar o estudo, apenas um tratamento conservacionista foi selecionado para a etapa de avaliação de impactos por categoria e detalhamento da contribuição dos processos unitários integrantes desse sistema de produção em cada categoria. Assim, selecionou-se o tratamento que apresentou melhor evolução no crescimento da produtividade (AV_SI_75%L+25%NL). Segue-se o raciocínio de que esse tratamento, por apresentar melhor desempenho no crescimento da produtividade, apresentará em longo prazo um melhor desempenho ambiental.

5.4 Avaliação ambiental por categorias de impacto

O tratamento conservacionista selecionado (AV_SI_75%L+25%NL) foi comparado com o sistema convencional de produção da região (produção comercial do Salitre). Na discussão que se segue, eles serão chamados *convencional* e *conservacionista*. A seguir, serão apresentados os resultados encontrados para cada categoria de impacto ambiental avaliada nos dois sistemas de produção selecionados.

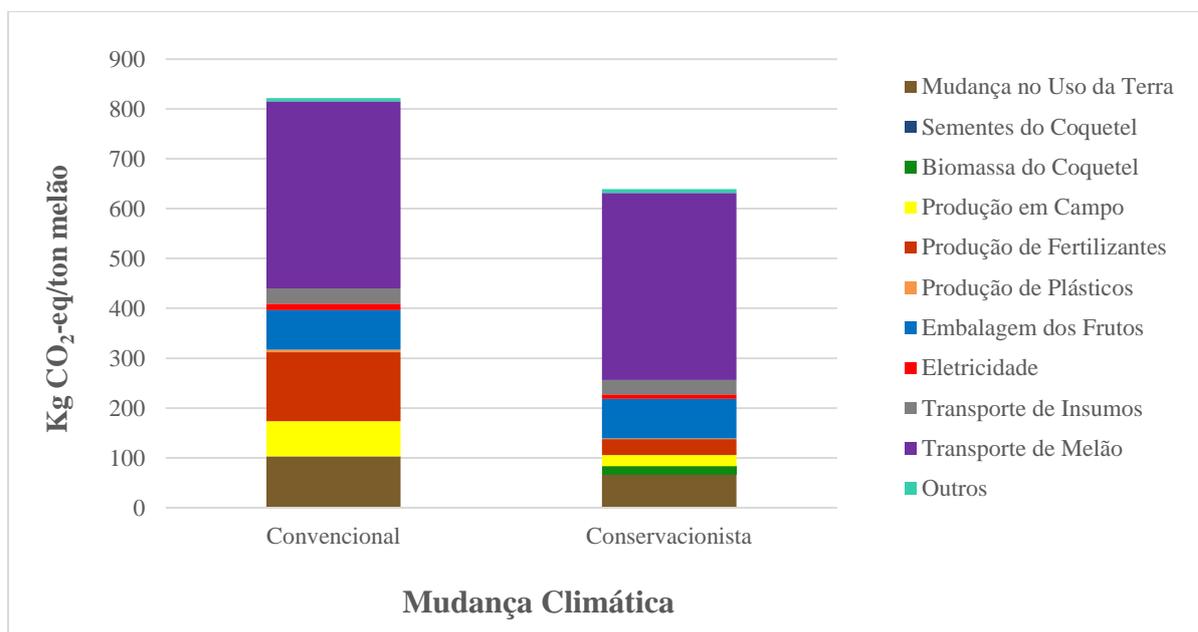
5.4.1 Mudanças Climáticas

O sistema convencional apresenta maior impacto nessa categoria, emitindo cerca de 821 kg CO₂-eq para cada tonelada de melão produzida. A emissão total do sistema conservacionista foi de, aproximadamente, 639 kg CO₂-eq/ t de melão (Figura 12). A análise

de incerteza pelo método de Monte Carlo para esta categoria indicou que o sistema convencional tem maior impacto na categoria mudança climática que o sistema conservacionista em estudo, a um nível de significância de 100%.

Identificam-se quatro principais processos responsáveis pelo impacto nos dois sistemas: o transporte dos frutos, a embalagem dos frutos, a produção de fertilizantes e a mudança no uso da terra.

Figura 12 - Impactos sobre a mudança climática e principais processos contribuidores



Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Observa-se que o processo de transporte de melão tem grande contribuição nos impactos sobre a mudança climática em ambos os sistemas avaliados. No sistema convencional ele responde por cerca de 45% do total das emissões de CO₂-eq, e no sistema conservacionista por quase 59% das emissões totais (Figura 10). Se forem consideradas as emissões decorrentes, também, do transporte de insumos esses percentuais de contribuição se elevam para aproximadamente 49% e 63% para produção convencional e conservacionista, respectivamente. O processo de transporte afeta a categoria mudança climática, principalmente, por utilizar combustíveis fósseis nos veículos. O melão produzido no submédio São Francisco é transportados por caminhão majoritariamente para o sudeste brasileiro.

A produção de fertilizantes orgânicos e inorgânicos gera maior impacto sobre a mudança climática no sistema convencional (17% das emissões de CO₂-eq), quando comparado ao sistema conservacionista (5% das emissões totais de CO₂-eq). Essa diferença se explica nas diferentes quantidades de fertilizantes demandadas por cada sistema. A disponibilização de nutrientes e de matéria orgânica no solo é maior nos sistemas conservacionistas devido à adubação verde que antecede a produção de melão. Dessa forma, o sistema conservacionista demanda menos uso de fertilizantes sintéticos e tem, nesse processo, o impacto reduzido.

O processo de mudança no uso da terra também contribui, significativamente, com a geração de GEE que ocorre, principalmente, devido à perda do carbono estocado na biomassa que é removida, e do carbono do solo. A atividade de mudança do uso da terra pode estar ainda associada à prática da queima de resíduos vegetais. Em muitas áreas onde a vegetação nativa é removida para implantação de uma área agrícola ocorre a queima de total ou parcial da biomassa vegetal nativa para limpeza da área. Nesse caso, mais emissões de NO₂, CH₄ e CO₂ são geradas.

Observa-se, no entanto, uma diferença entre a contribuição do processo de mudança no uso da terra entre os dois sistemas em estudo, onde, mais uma vez, o sistema convencional de produção indica maior contribuição (aproximadamente 12,5% do total de emissões). Esse fato ocorre devido à perda de carbono no sistema conservacionista ser menor, tendo em vista a quantidade de carbono retornada ao solo na biomassa do meloeiro, como no sistema convencional, mas principalmente pela biomassa dos adubos verdes utilizados.

Figueirêdo *et al.* (2013) avaliaram as emissões de gases do efeito estufa na produção convencional de melão no Baixo Jaguaribe e Açu, importante região que produz pra exportação. Nesse estudo, o valor total de CO₂-eq encontrado foi de 710 kgCO₂-eq/ton de melão exportada, menor que o valor das emissões do sistema convencional (aproximadamente 821 kgCO₂-eq/ton de melão transportada), e maior que o sistema conservacionista deste estudo (aproximadamente 639 kgCO₂-eq/ton de melão transportada). As distintas emissões se justificam em algumas diferenças entre os processos produtivos. O principal processo contribuidor das emissões no estudo de Figueirêdo *et al.* (2013) foi a produção em campo (que contempla a mudança no uso da terra), enquanto que nos sistemas em estudo destaca-se a

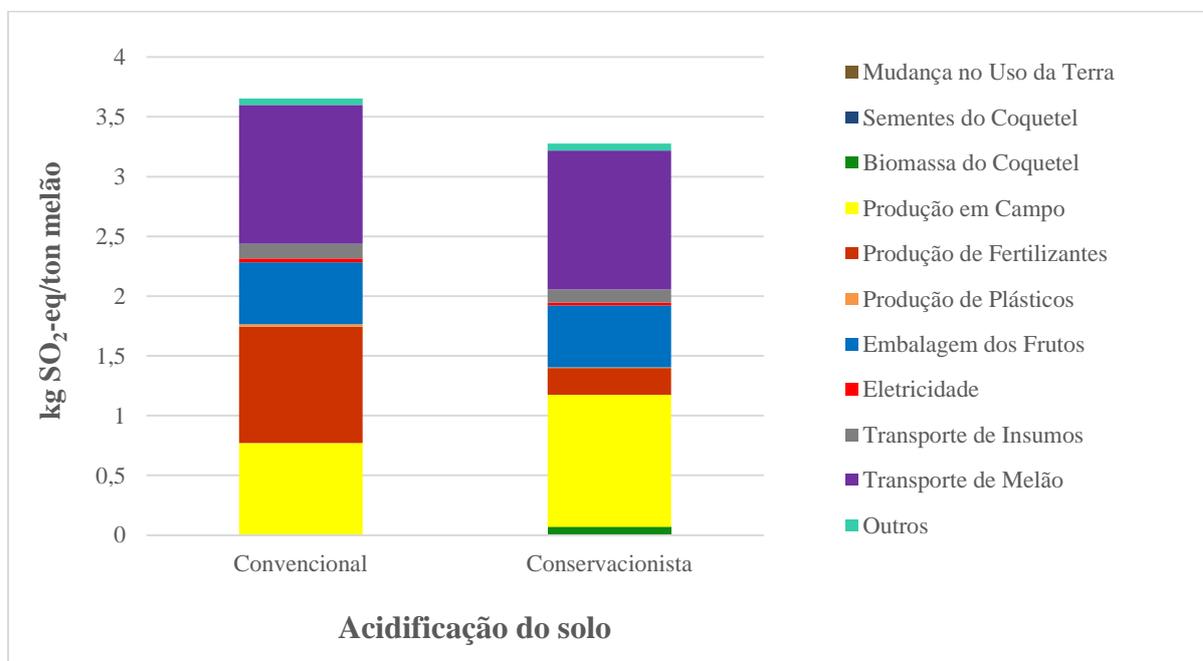
etapa de transporte dos frutos. As emissões decorrentes do transporte do melão produzido no Baixo Jaguaribe e Açu são menores devido este transporte ser feito principalmente por navio, reduzindo, assim, as emissões pela queima de combustíveis, já que navios transportam em uma única viagem uma maior quantidade de produtos.

5.4.2 Acidificação do Solo

Sobre a acidificação do solo, os impactos foram maiores no sistema convencional: 3,67 kg SO₂-eq/t de melão, contra 3,29 kg SO₂-eq/t de melão no sistema conservacionista (Figura 13). A análise de incerteza, segundo o método de Monte Carlo, também indicou (à um nível de significância de 99,9%) que o sistema convencional apresenta maior impacto que o sistema conservacionista.

Destacam-se quatro principais processos contribuidores: o transporte dos frutos, a embalagem dos frutos, a produção de fertilizantes e a produção em campo.

Figura 13 - Impactos sobre a acidificação do solo e principais processos contribuidores



Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Observa-se que, assim como na categoria mudança climática, o processo de transporte de melão é dominante para os impactos analisados sobre a acidificação terrestre. A emissão nessa etapa tem o mesmo valor em ambos os sistemas (1,17 kg SO₂-eq/t de melão). No entanto, na produção convencional esse processo representa cerca de 32% do total, enquanto que no sistema conservacionista de produção essa representação é mais elevada (aproximadamente, 36%). Considerando também o transporte dos insumos, as emissões pelo transporte passam a representar cerca de 35% do total no sistema convencional e 39% no sistema conservacionista. O transporte de insumos contribui com a acidificação do solo pois durante a queima dos combustíveis fósseis há liberação de óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos de enxofre que, em contato com água, formam compostos (como ácidos nítricos e nitratos) que, quando depositados sobre o solo, alteram suas características naturais de pH.

A produção de fertilizantes também tem significativa contribuição em ambos os sistemas. O sistema convencional, por utilizar maior quantidade de fertilizantes sintéticos, além de fertilizante orgânico, possui maior contribuição (cerca de 26,5% do total) contra, aproximadamente, 7% no sistema conservacionista. A produção de fertilizantes também gera compostos que se tornam ácidos em contato com a água, podendo, posteriormente, ser depositados sobre o solo.

Observa-se ainda a contribuição do processo de produção em campo. No sistema convencional essa contribuição representa 21% do total, já no sistema conservacionista, esse percentual chega a 34%. As taxas de emissões nessa etapa se relacionam, principalmente, ao uso de fertilizantes. Nota-se que, apesar de o sistema convencional empregar maior quantidade de fertilizantes, o sistema conservacionista utiliza a ureia como fertilizante nitrogenado. O uso da ureia, quando no processo de nitrificação, libera íons H⁺ para o solo, justificando, assim, a maior contribuição dessa etapa no sistema conservacionista.

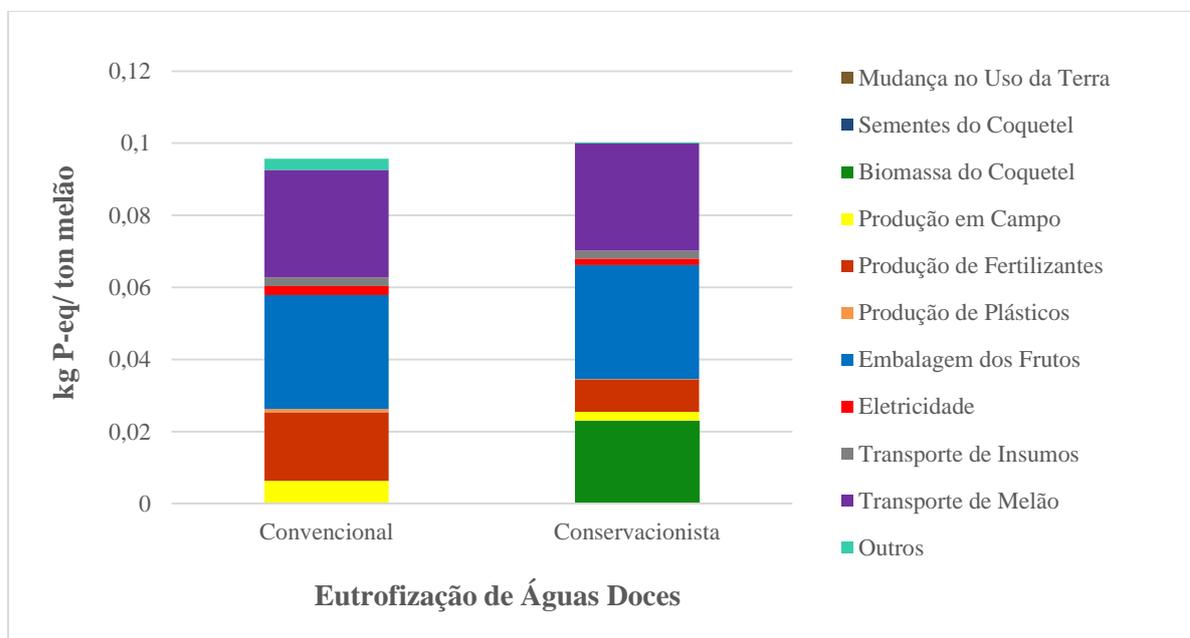
5.4.3 Eutrofização de Águas Doces

O impacto sobre a eutrofização de águas doces foi maior no sistema conservacionista (0,10 Kg P-eq/t de melão) que no sistema convencional (0,09 Kg P-eq/t de

melão) (Figura 14). A análise de incerteza, segundo o método de Monte Carlo, indicou que o sistema conservacionista tem maior impacto na categoria que o sistema convencional, à um nível de significância de 94,50%. Portanto, não se pode afirmar com pertinência que o sistema conservacionista tenha o maior impacto na categoria, uma vez que o intervalo mínimo de confiança indicado é de 95% (GOEDKOOOP *et al.*, 2013b).

Destacam-se quatro processos contribuidores: o transporte dos frutos, a embalagem dos frutos, a produção de fertilizantes e a produção da biomassa vegetal.

Figura 14 - Impactos sobre a eutrofização de águas doces e principais processos contribuidores



Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Inicialmente, observa-se a significativa contribuição do processo de embalagem (cerca de 33% do total no sistema convencional e 31% no sistema conservacionista), que também se justifica na produção de insumos utilizados no processo de embalagem dos frutos, principalmente o papelão; onde também ocorrem emissões de compostos à base de fósforo.

Observa-se também a contribuição do processo de transporte (aproximadamente, 31% no sistema convencional e 30% no sistema conservacionista). A contribuição do transporte no impacto sobre essa categoria se deve à operação dos caminhões, pela queima do

óleo diesel, que emite, dentre outras substâncias, os compostos de fósforo, uma vez que esse combustível é formado de fosfolipídios. As emissões resultantes desse processo podem atingir corpos hídricos, alterando suas características naturais.

A produção de fertilizantes também se destaca entre os principais processos contribuidores, tendo significativo aporte no sistema convencional (aproximadamente 20% do total). Como justificado anteriormente, o sistema de produção convencional utiliza grande quantidade de fertilizantes sintéticos, acumulando, assim, impactos decorrentes de seu sistema produtivo. O mesmo raciocínio explica o diferente impacto na categoria entre os sistemas em estudo: uma vez que o sistema conservacionista utiliza menor quantidade de fertilizantes sintéticos, este apresentará menor impacto decorrente da produção destes fertilizantes.

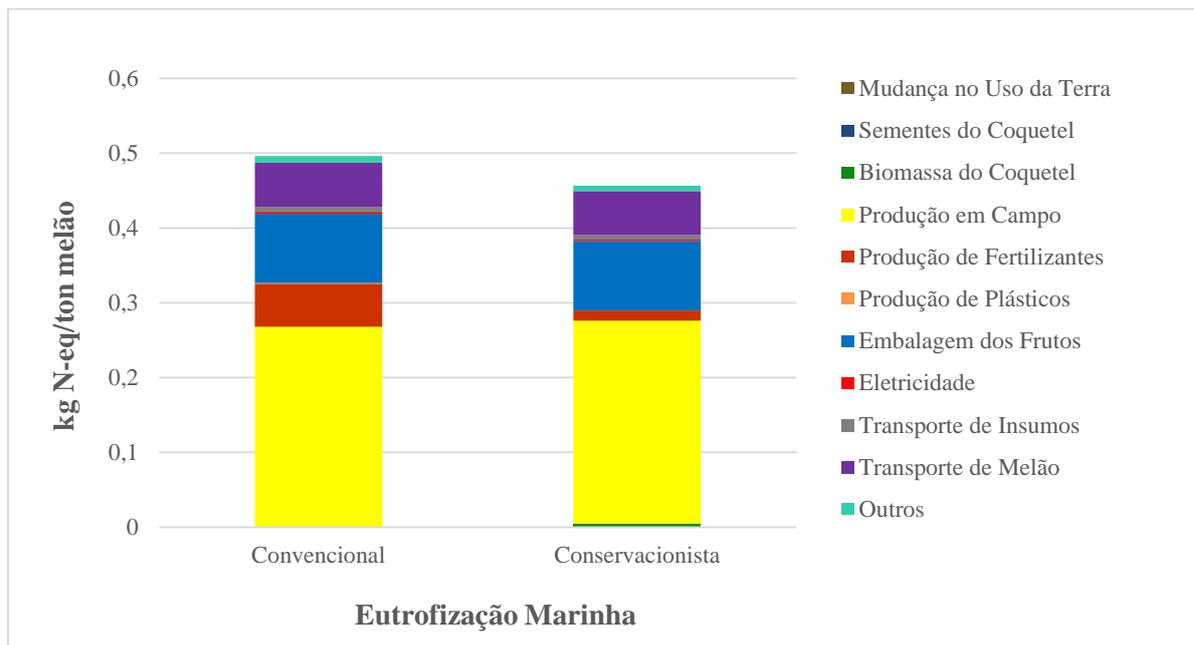
Nessa categoria, observa-se, pela primeira vez, a contribuição de um processo não destacado anteriormente: a produção de biomassa do coquetel vegetal. As emissões deste processo explicam o maior impacto do sistema conservacionista na categoria (cerca de 23% do total no sistema conservacionista contra uma contribuição nula no sistema convencional, já que não utiliza coquetel vegetal). A produção da leguminosa (feijão guandu), utilizado no coquetel vegetal emprega fertilizante à base de fósforo. O excesso de fósforo não absorvido pela cultura pode ser transportado para corpos hídricos, por meio de processos de lixiviação e escoamento superficial.

5.4.4 Eutrofização Marinha

O sistema convencional apresenta maior impacto sobre a categoria, emitindo 0,49 kg N-eq/t de melão, contra 0,45 kg N-eq/t de melão emitidos pelo sistema conservacionista (Figura 15). Segundo a análise de incerteza, avaliada pelo método de Monte Carlo, o sistema convencional tem maior impacto sobre a eutrofização marinha que o sistema conservacionista, à um nível de significância de 97,00%.

Os principais processos contribuidores são: o transporte dos frutos, a embalagem dos frutos e a produção em campo.

Figura 15-Impactos sobre a eutrofização marinha e principais processos contribuidores



Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Representando mais de 50% da contribuição no impacto sobre eutrofização marinha, a etapa de produção em campo se destaca em ambos os sistemas. Durante a produção em campo do melão ocorrem emissões de compostos de nitrogênio pela perda dos fertilizantes utilizados de forma excessiva e pela mineralização do material vegetal da adubação verde. Essas emissões são transportadas de forma indireta para ambientes aquáticos, por meio dos processos de lixiviação e escoamento.

A embalagem dos frutos, como nas categorias anteriores, também se apresenta entre os processos mais significantes nessa categoria. Da mesma maneira, tem contribuições explicadas no processo de produção do papelão utilizado na embalagem, gerando compostos nitrogenados, que podem, posteriormente, ser lançados no meio ambiente. O valor do impacto é o mesmo em ambos os sistemas (0,092 kg N-eq/t de melão), no entanto, o percentual de contribuição dessa etapa é pouco maior no sistema conservacionista, tendo em vista sua proporção no impacto geral.

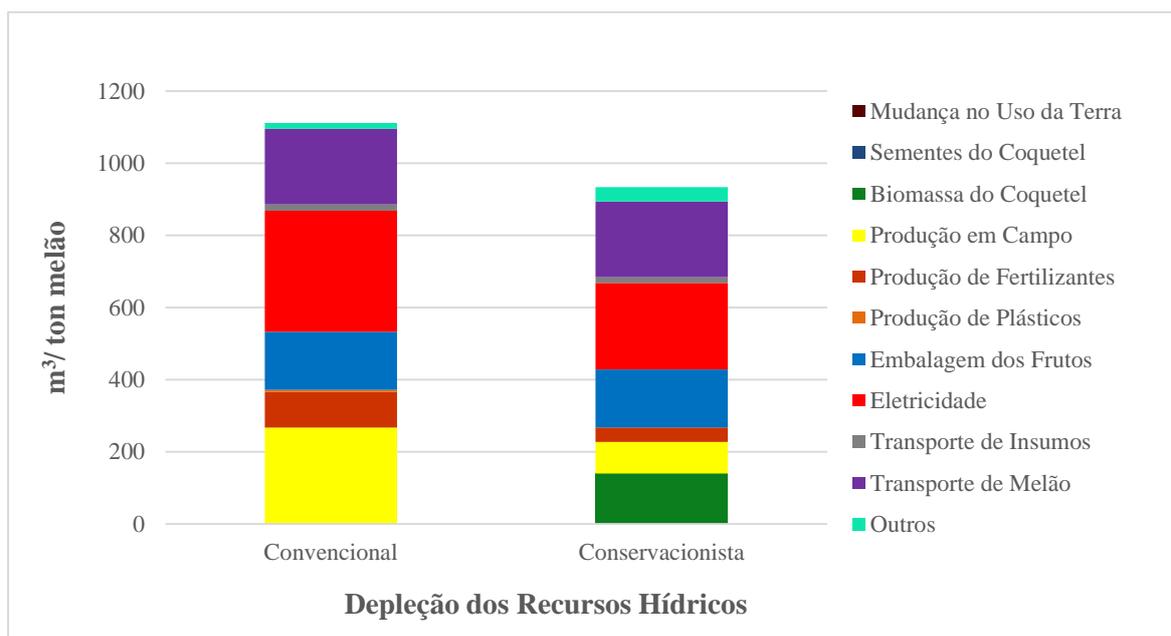
Observa-se que novamente o processo de transporte se apresenta entre os principais processos contribuintes (13% do total no sistema convencional e 14% no sistema conservacionista, considerando as emissões por transporte dos frutos e dos insumos), por

gerar emissões na operação dos caminhões, decorrentes da queima de combustíveis que geram óxido de nitrogênio. Essas emissões podem atingir a água, por meio de processos de lixiviação e/ou escoamento.

4.4.5 Depleção dos Recursos Hídricos

Sobre a depleção hídrica, os impactos foram maiores no sistema convencional: 1114,80 m³/t de melão, contra 937,15 m³/t de melão no sistema conservacionista (Figura 16). Segundo a análise de incerteza, realizada pelo método de Monte Carlo, o sistema convencional apresenta maior impacto que o sistema conservacionista nesta categoria, a um nível de significância de 100%.

Figura 16 - Impactos sobre a depleção dos recursos hídricos e principais processos contribuidores



Fonte: Elaborada pela autora (2015)

O processo de produção de *eletricidade*, necessária ao bombeamento da água nos sistemas de irrigação, é o principal contribuidor na categoria, em ambos os sistemas (30% no sistema convencional e, aproximadamente, 26% no conservacionista). Neste estudo, considera-se que o Brasil tem uma produção de energia mista, envolvendo diferentes processos de produção energética. A água é consumida, principalmente, em fontes

hidroelétricas, onde perde-se grande quantidade por evaporação nos reservatórios e canais de distribuição. Consome-se água também na refrigeração de processos térmicos, nos sistemas de lavagem e nos cultivos para produção de biocombustíveis.

Na etapa de produção em campo observa-se uma notável diferença entre os percentuais de contribuição nos sistemas avaliados (24% do total no sistema convencional, contra, aproximadamente, 9% do total no sistema conservacionista). Esse resultado é explicado no fato de que até o período da coleta dos dados (ano de 2013) o consumo de água na área de estudo do sistema convencional era intensivo, mediante a não cobrança pelo uso da água. Assim, diversos produtores não controlavam seu período de irrigação, fornecendo, muitas vezes, água além da quantidade demandada para o desenvolvimento saudável da cultura do melão. Por sua vez, a irrigação no sistema conservacionista (por se tratar de um experimento conduzido em uma empresa de pesquisa) procurou observar os critérios técnicos de recomendação.

A produção da biomassa do coquetel vegetal, que aparece somente no sistema conservacionista, contribui com, cerca de, 15% do impacto total sobre a categoria, devido à quantidade de água demandada para o desenvolvimento das espécies utilizadas na adubação verde.

4.4.6 Toxicidade

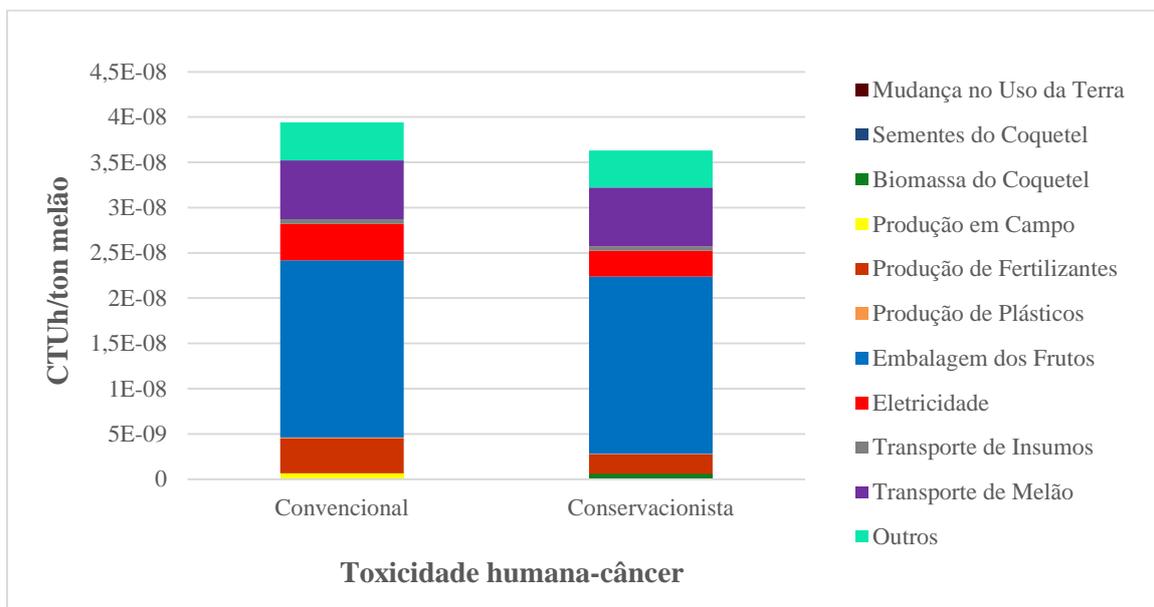
A toxicidade segundo o modelo Usetox (ROSENBAUM *et al.*, 2008) é avaliada em diferentes categorias: toxicidade humana (com potencial cancerígeno e não cancerígeno) e ecotoxicidade de águas doces. As contribuições dessas categorias são expressas a seguir.

4.4.6.1 Toxicidade Humana-potencial cancerígeno

O impacto sobre a toxicidade humana com potencial cancerígeno é maior no sistema convencional ($3,94 \cdot 10^{-8}$ CTUh/t de melão) que no sistema conservacionista ($3,63 \cdot 10^{-8}$ CTUh/t de melão) (Figura 17). A análise de incerteza, segundo o método de Monte Carlo,

indicou que o sistema convencional apresenta maior impacto que o sistema conservacionista, a um nível de significância de 100%.

Figura 17- Impactos sobre a toxicidade humana com potencial cancerígeno e principais processos contribuidores



Fonte: Elaborada pela autora (2015)

Observa-se significativa contribuição do processo de embalagem dos frutos sobre o impacto na categoria (aproximadamente, 50% do aporte no sistema convencional e, aproximadamente, 54% no conservacionista). A contribuição desse processo é referente à produção dos insumos utilizados na embalagem dos frutos. A produção do papelão, que se destacou em diversas categorias anteriormente, nesta categoria se une à produção dos pallets de madeira (utilizados na base de empilhamento das caixas) para justificar a contribuição do processo de embalagem. A produção desses insumos envolve diferentes processos que reciclam compostos, demandam energia, utilizam substâncias químicas, e geram emissões de compostos químicos (como o formaldeído, os compostos à base de fósforo, metais pesados, entre outros) com potencial cancerígeno, que representam risco à saúde humana.

O transporte também se destaca entre os processos, respondendo por, aproximadamente, 17% e 18%, respectivamente nos sistemas convencional e conservacionista (considerando o transporte de frutos e de insumos). Durante o transporte, pela queima de combustíveis e pela produção dos transportes são liberados gases com potencial de toxicidade,

como os óxidos de carbono, óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre, dioxinas, alguns hidrocarbonetos, entre outros.

O processo “Outros” aparece agora com maior percentual em ambos os sistemas. Sua contribuição se justifica no fato de que a produção de pesticidas está incluída no grupo. Diversos pesticidas são utilizados nos processos produtivos do coquetel vegetal e do melão, com o objetivo de controlar a incidência de pragas e doenças. Esses defensivos são ricos em substâncias tóxicas como, por exemplo, metais pesados, ácidos e amônia.

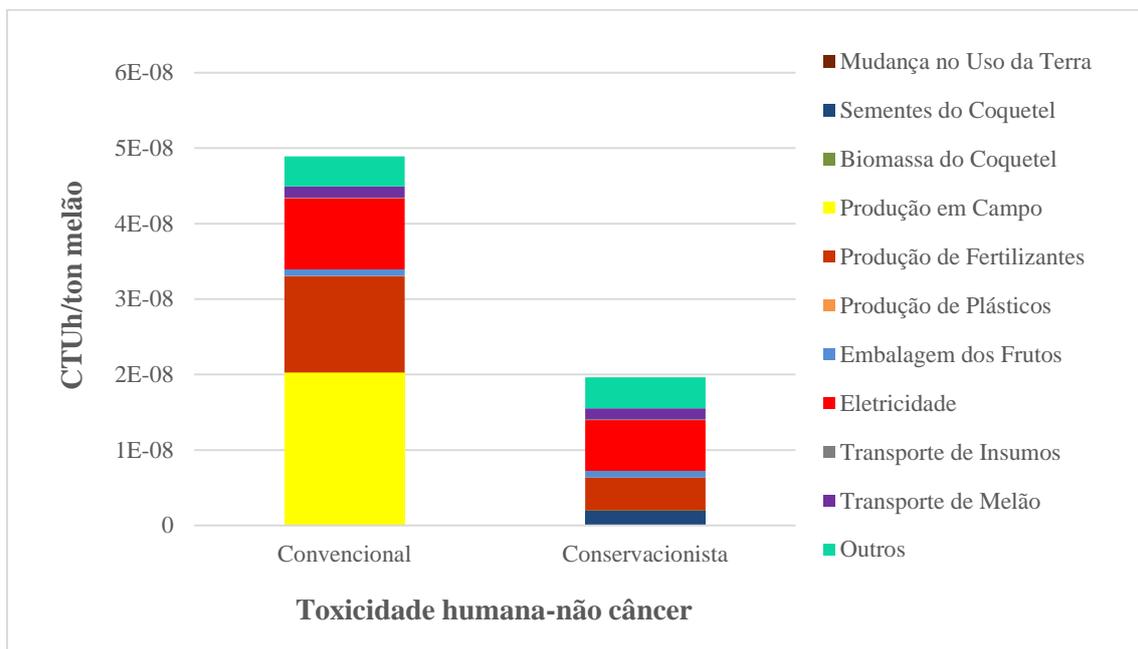
4.4.6.3 Toxicidade Humana-potencial não cancerígeno

O sistema convencional apresenta maior impacto nessa categoria, resultando em, cerca de, $4,89 \cdot 10^{-8}$ CTUh para cada tonelada de melão produzida (Figura 18). O impacto do sistema conservacionista foi de, aproximadamente, $1,97 \cdot 10^{-8}$ CTUh/t de melão. A análise de incerteza, segundo o método de Monte Carlo, indicou que o sistema convencional tem maior impacto na categoria que o sistema conservacionista, a um nível de significância de 99,10%.

Identificam-se três principais processos responsáveis pelo impacto nos sistemas: produção em campo, produção de fertilizantes e produção de eletricidade.

Inicialmente, observa-se a importante contribuição do processo de produção em campo no sistema convencional (Figura 18). Nesse processo ocorre a emissão para o meio ambiente de compostos químicos utilizados como defensivos agrícolas. Os produtos utilizados para controle de pragas e doenças no sistema convencional diferem dos produtos utilizados no sistema conservacionista. Um ingrediente ativo pode ter maior potencial de toxicidade que outro. As emissões decorrentes da utilização de *Clorotalonil* como fungicida no sistema convencional aumentaram o potencial impacto sobre a toxicidade humana- não câncer

Figura 18-Impactos sobre a toxicidade humana com potencial não cancerígeno e principais processos contribuidores



Fonte: Elaborada pela autora (2015)

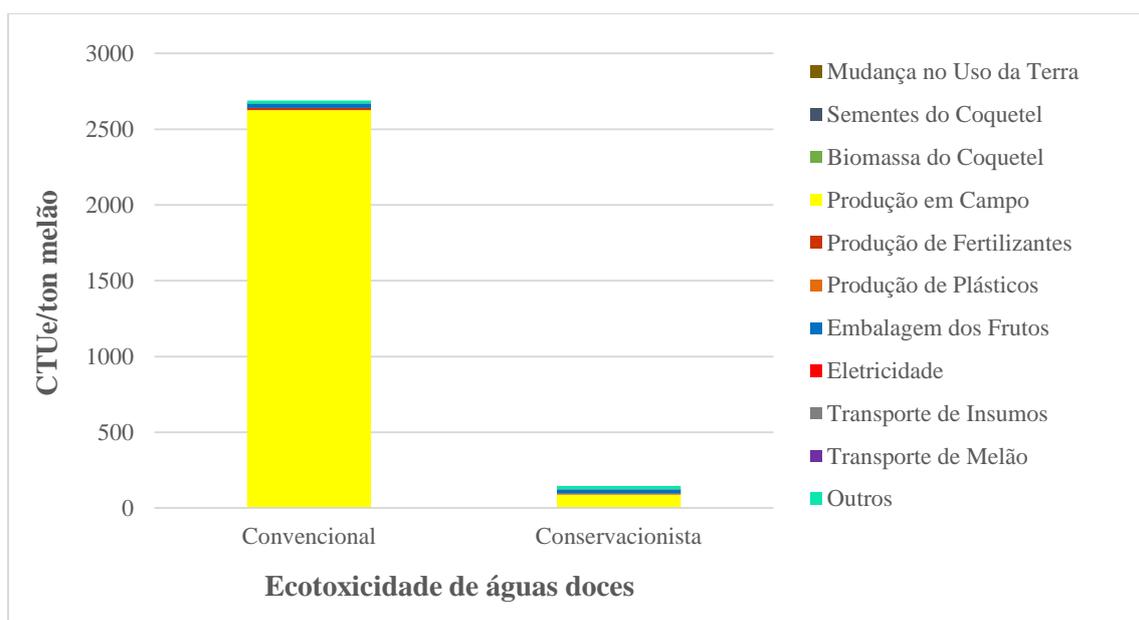
Observa-se ainda a contribuição do processo de produção de fertilizantes (cerca de, 26% do total no sistema convencional e 22% no sistema conservacionista). A produção dos fertilizantes, principalmente à base de nitrogênio e potássio, é responsável pela liberação de substâncias químicas, como o acetato, que apresentam risco à saúde humana.

A eletricidade também se apresenta entre os principais contribuidores (aproximadamente, 20% no sistema convencional e 34% no sistema conservacionista). A contribuição deste processo nesta categoria é explicada da mesma forma que na categoria toxicidade humana com potencial cancerígeno: considerando as fontes mistas da matriz energética brasileira, alguns processos de obtenção de energia, a que provém do biodiesel (incluindo uma longa cadeia de produção de biomassa), a originada em termelétricas, entre outras, apresentam importante risco à saúde humana.

4.4.6.3 Ecotoxicidade de águas doces

O impacto sobre a ecotoxicidade de águas doces foi maior no sistema conservacionista (2688,14 CTUe/t de melão) que no sistema convencional (145,46 CTUe/t de melão) (Figura 19). A análise de incerteza, segundo o método de Monte Carlo, indicou que o sistema convencional tem maior impacto na categoria que o sistema conservacionista, à um nível de significância de 100%.

Figura 19 - Impactos sobre a ecotoxicidade de águas doces e principais processos contribuidores



Fonte: Elaborada pela autora (2015)

O processo de produção em campo é o maior contribuidor do impacto nos dois sistemas (aproximadamente, 98% no sistema convencional e 60% no sistema conservacionista). Nesse processo ocorrem emissões decorrentes do uso de agroquímicos (fertilizantes, defensivos agrícolas, entre outros). O impacto sobre a ecotoxicidade de águas doces considera o potencial de toxicidade de diversas substâncias utilizadas nos sistemas produtivos. No sistema convencional, a utilização (e posterior emissão) do ingrediente ativo *Clorotalonil*, como fungicida, aumenta o impacto sobre a categoria. Essa substância é responsável por pouco mais que 94% do impacto sobre a ecotoxicidade de águas doces no sistema convencional. No sistema conservacionista, a utilização do ingrediente ativo *Metomil*, na produção em campo, é o principal responsável pelo impacto na categoria. No entanto o *Clorotalonil* (2.540,0 CTUe por tonelada de melão produzida) apresenta potencial de toxicidade, cerca de, 32 vezes maior que o *Metomil* (79,5 CTUe por tonelada de melão

produzida), explicando, assim, a significativa diferença entre a contribuição do processo nos dois sistemas. Os sistemas de produção utilizam também outros ingredientes ativos (como o Thiamethoxam, Abamectina, Tetraconazole, Tiofanato-metílico, entre outros, no sistema convencional; e o Tebuconazole, Metalaxyl-M, Thiabendazol, etc, no sistema conservacionista), no entanto eles apresentam potencial de toxicidade inferior, quando comparados ao *Clorotalonil* e o *Metomil*,

Os próximos principais processos contribuidores são “embalagem” e “outros”. Eles respondem, separadamente, por menos de 1% do impacto sobre a categoria no sistema convencional. Já no sistema conservacionista, o processo de “embalagem” responde por, cerca de, 18% das contribuições, e o processo “outros” por, aproximadamente, 15% do total. No processo embalagem, a contribuição se dá pela produção do papelão utilizado nas caixas de embalagem dos frutos. Este processo envolve etapas de reciclagem de fibras, aquecimento, colagem das camadas, entre outros. No processo “outros” destaca-se a produção de pesticidas.

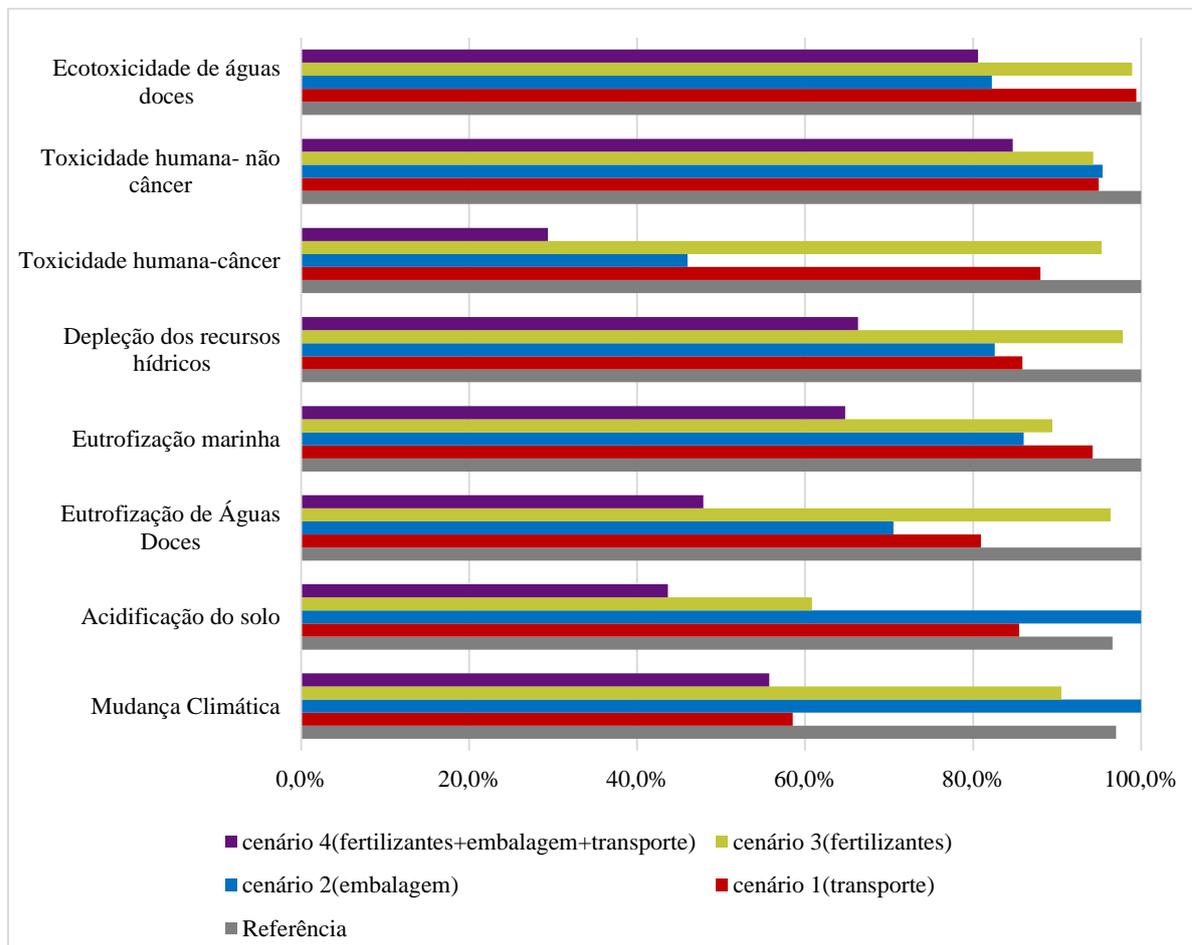
5.5 Impactos ambientais na situação de referência e cenários alternativos

Os cenários estabelecidos apresentaram menor impacto ambiental na maioria das categorias avaliadas quando comparados ao cenário de referência.

Observa-se que o cenário 2 (embalagem) apresentou melhor desempenho (maior redução do impacto da situação de referência) que C1 e C3 em cinco das oito categorias avaliadas: eutrofização de águas doces, eutrofização marinha, depleção hídrica, toxicidade humana-câncer e ecotoxicidade de águas doces (Figura 20). A redução dos impactos se deve aos diferentes processos produtivos dos insumos utilizados na embalagem dos frutos, uma vez que a produção dos insumos utilizados na situação de referência (em especial, o papelão) utiliza mais recursos e gera mais emissões que podem afetar as categorias. Quando se propõe a utilização de caixas plásticas para acondicionamento dos frutos, observa-se uma redução de: 29,5% do impacto sobre a eutrofização de águas doces, 14% do impacto sobre a eutrofização marinha, 17% do impacto sobre a depleção dos recursos hídricos, 54% do impacto sobre a toxicidade humana-câncer e 18% do impacto sobre a ecotoxicidade de águas doces. Observa-se,

no entanto, que este cenário apresenta maior impacto que a situação de referência nas categorias mudança climática e acidificação terrestre.

Figura 20 - Impactos ambientais na situação de referência e cenários alternativos



*Nota: Os maiores valores dos impactos encontrados em suas respectivas categorias foram considerados 100%. Dessa forma, os valores de impacto encontrados para os demais sistemas foram expressos em porcentagem, tendo como base o valor máximo.

Fonte: Elaborada pela autora (2015)

C3 (fertilizantes) teve menor impacto ambiental que a situação de referência em todas as categorias avaliadas. Além disso, C3 apresentou maior percentual de redução de impacto que C1 e C2 em duas categorias: acidificação do solo (reduzindo 36% do impacto da situação de referência) e toxicidade humana-não câncer (reduzindo em 6% o impacto da situação de referência) (ver Figura 20). A supressão do uso de fertilizantes sintéticos nitrogenados, no sistema de produção, reduz as emissões, decorrentes da produção e uso dos mesmos, levando à diminuição do potencial de impacto sobre as categorias. Nota-se que C3,

quando comparado à situação de referência, não se reduz em grandes percentuais de impacto em algumas categorias avaliadas. Este comportamento pode estar relacionado ao fato de que este cenário considera a retirada somente de fertilizantes sintéticos à base de nitrogênio, havendo ainda a utilização de fertilizantes sintéticos de outra natureza para suprir as necessidades de fósforo e potássio na cultura do melão. Logo, havendo também a supressão do uso de outros fertilizantes sintéticos, esse impacto pode ser ainda mais reduzido, pela diminuição dos consumos de recursos e emissões relacionadas aos processos produtivos dos fertilizantes sintéticos.

O C1, que considera o transporte terrestre e marítimo de melão, apresentou, em algumas categorias, consideráveis percentuais de redução do impacto em relação à situação de referência, mas não superou as reduções de impacto de C2. Somente na categoria mudança climática, este cenário teve menor impacto (redução aproximada de 39% do impacto na situação da referência) que nos cenários 2 e 3 avaliados. A inclusão do transporte transoceânico no transporte dos frutos leva à redução das emissões de GEE, por conta da queima de combustíveis fósseis em caminhões, uma vez que navios transportam maiores quantidades de frutos em uma mesma viagem. Assim reduz-se o impacto sobre as mudanças climáticas. Ressalta-se que, apesar de não se destacar entre os cenários avaliados, C1 apresenta menor impacto que a situação de referência em todas as categorias avaliadas.

O cenário 4, que combina os cenários 1 (transporte), cenário 2 (embalagem) e o cenário 3 (fertilizantes) apresentou melhor desempenho (maior redução do impacto da situação de referência) que os demais cenários em todas as categorias, mostrando ser a melhor alternativa para redução dos impactos no sistema de produção, como um todo. Esse cenário reduz em, aproximadamente, 41% o impacto sobre a mudança climática, 53% o impacto sobre a acidificação do solo, 52% o impacto sobre a eutrofização de águas doces, 35% o impacto sobre a eutrofização marinha, 34% o impacto sobre a depleção hídrica, 70% o impacto sobre a toxicidade humana-câncer, 15% o impacto sobre a toxicidade humana- não câncer e 19% o impacto sobre a ecotoxicidade de águas doces.

6 CONCLUSÕES

O trabalho avaliou os impactos ambientais da produção de melão sob dois sistemas de produção: convencional e conservacionista. Na etapa de inventário dos sistemas, notou-se que o sistema conservacionista AV_SI_VE (adubação verde sem incorporação da biomassa, com crescimento de vegetação espontânea) demandou maiores quantidades de insumos (entradas). A mais baixa produtividade média, encontrada neste sistema, pode explicar esses resultados. Assim como, sua diferenciação dos demais sistemas conservacionistas. O sistema convencional destacou-se no consumo de fertilizantes, plásticos e água e emitiu as maiores taxas de CH₄, N₂O e NO_x.

Na avaliação inicial dos impactos ambientais, que contemplou o sistema convencional e todos os sistemas conservacionista de produção, o sistema conservacionista AV_SI_25%L+75%NL (adubação verde sem incorporação da biomassa, composta por 25% de espécies leguminosas e 75% de espécies não-leguminosas) apresentou maior impacto ambiental por conter os valores máximos de impacto em quatro das oito categorias analisadas (acidificação do solo, eutrofização marinha, depleção hídrica e toxicidade humana-câncer). Esse resultado foi atribuído também à baixa produtividade média do sistema nos anos de 2011 a 2013.

Comparando os impactos ambientais, por categorias, dos sistemas convencional e do conservacionista AV_SI_75%L+25%NL, observou-se que o sistema convencional apresenta maior impacto nas categorias: mudança climática, acidificação do solo, eutrofização marinha, depleção hídrica, toxicidade humana-câncer, toxicidade humana-não câncer e ecotoxicidade de águas doces. O sistema conservacionista, por sua vez, indicou maior valor de impacto na categoria eutrofização de águas doces. No entanto, sob análise de incerteza, segundo o método de Monte Carlo, não se pode afirmar com significância >95% que os impactos do sistema conservacionista, nesta categoria, sejam maiores que os impactos do sistema convencional.

Na avaliação da contribuição dos processos por categorias de impacto ambiental, identificaram-se três importantes processos: o transporte dos frutos, a embalagem dos frutos e

a produção de fertilizantes. Esses processos são considerados pontos críticos do sistema de produção de melão, pois todos eles contribuem com os impactos sobre seis das oito categorias contempladas.

A análise de sensibilidade que considerou os cenários C1 (transporte), C2 (embalagem), C3 (fertilizantes) e C4 (transporte + embalagem + fertilizante), revelou que C1 e C3 reduzem os impactos ambientais, em todas as categorias avaliadas, em relação a situação de referência. Notou-se que C2 apresentou maior impacto que a situação de referência em duas categorias. No entanto, este mesmo cenário apresentou resultados que levaram a uma maior redução percentual dos impactos sobre cinco das oito categorias em avaliação, através da substituição dos insumos utilizados na embalagem dos frutos. Entre todos os cenários avaliados, observou-se que C4 apresentou melhor desempenho (maior redução do impacto da situação de referência) em todas as categorias de impacto estudadas.

Assim, a produção de melão sob sistema de adubação verde sem incorporação, utilizando coquetel vegetal, na composição de 75% de espécies leguminosas e 25% de espécies não leguminosas; atrelada ao transporte misto dos frutos (rodoviário + transoceânico), utilização de caixas plásticas para arranjo dos frutos, e supressão do uso de fertilizantes sintéticos nitrogenados, apresenta-se como o melhor sistema de produção de melão, do ponto de vista ambiental, segundo a avaliação feita neste trabalho.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS- ANA (2013). **Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos**: Edição 2013. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/webSite_relatorioConjuntura/projeto/index.html>. Acesso em: 04 Nov. 2014.

ALMEIDA NETO, J. A. A.; OLIVEIRA, L. B.; BRAGA, R. C. S. Avaliação de Impactos Ambientais. In: ADISSI, P. J.; PINHEIRO, F. A.; CARDOSO, R. S. **Gestão Ambiental de Unidades Produtivas**. Rio de Janeiro: Elsevier Editora, 2013. p. 125-164.

AMBROSANO, E. J.; GUIRADO, N.; CANTARELLA, H.; ROSSETTO, R.; DOIMO MENDES, P. C.; ROSSI, F. Plantas para cobertura do solo e adubação verde aplicadas ao plantio direto. **Informações Agronômicas**. Nº112, 2005. Disponível em: <[http://www.ipni.net/PUBLICATION/IA-BRASIL.NSF/0/30D47AFEEFB8D57283257AA1006AD718/\\$FILE/Encarte112.pdf](http://www.ipni.net/PUBLICATION/IA-BRASIL.NSF/0/30D47AFEEFB8D57283257AA1006AD718/$FILE/Encarte112.pdf)>. Acesso em 24. Mar. 2015.

APEX BRASIL. **Perfil Exportador dos Melões Brasileiros 2014**. Agência Brasileira de Promoção de Exportações e Investimentos. Brasília-DF, 2014.

ARAÚJO, J. L. P.; ASSIS, J. S.; COSTA, N. D.; PINTO, J. M.; DIAS, R. C.; SILVA, C. M. J. **Produção Integrada de Melão no Vale do São Francisco: Manejo e Aspectos Socioeconômicos**. In: SOBRINHO, R. B.; GUIMARÃES, J. A.; FREITAS, J. A. D.; TERAPO, D. Produção Integrada de Melão. (Org.) Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2008.

BAUMANN, H.; TILLMAN, AM. **The Hitch Hiker's Guide to LCA**. An orientation in life cycle assessment methodology and application. Lund, Sweden: Studentlitteratur. 2004.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**: promulgada em 5 de outubro de 1988, atualizada até a Emenda Constitucional nº 84, de 02 de Dezembro de 2014. Disponível: <http://www.trtsp.jus.br/geral/tribunal2/LEGIS/CF88/CF88_Ind.html>. Acesso em: 19 Jan. 2015.

BRASIL. Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 02 ago. 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em 11 mar. de 2015.

BRAZILIAN FRUIT. Disponível em: <<http://www.brazilianfruit.org.br/Pbr/Fruticultura>>. Acesso em: 22 Fev. 2015.

BRUNDTLAND. **Our Common Future**. World Commission on Environment and Development, 1987. Disponível em: <<http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>>. Acesso em: 19 Jan. 2015.

CALEGARI, A. **Perspectivas e estratégias para a sustentabilidade e o aumento da biodiversidade dos sistemas agrícolas com uso de adubos verdes**. In: LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil. Fundamentos e Prática. 1ed. Brasília: EMBRAPA, 2014, v. 1, p. 265-305.

CERRI, CC; CERRI, CEP. 2007. **Agricultura e Aquecimento Global**. 2007. Artigo em Hipertexto. Disponível em: <http://www.aquecimento.cnpm.embrapa.br/bibliografia/agr_e_aquec_Cerri_2007.pdf>. Acesso em: 22 Jan. 2015.

CHEHEBE, J. R. **Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial ISO 14000**-Rio de Janeiro: Qualitymak Ed., CNI, 2002. 120 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº1, de 23 de Janeiro de 1986. **Dispõe sobre critérios e diretrizes gerais para o relatório de impacto ambiental-RIMA**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em: 15 Jan. 2015.

CONSÓRCIO SALITRE. **Apresentação**. Disponível em: <<http://www.consorciosalitre.com>>. Acesso em: 04 set. 2014.

EC- JRC- JOINT RESEARCH CENTRE OF THE EUROPEAN COMMISSION (2010a). Analysing of existing Environmental Impact Assessment methodologies for use in Life Cycle Assessment. **ILCD Handbook- INTERNACIONAL REFERENCE LIFE CYCLE DATA SYSTEM**. Disponível em: < <http://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Handbook-LCIA-Background-analysis-online-12March2010.pdf> >. Acesso em: 27 Fev. 2015.

EC- JRC - JOINT RESEARCH CENTRE OF THE EUROPEAN COMMISSION (2010b). Framework and Requirements for LCIA Models and indicators. **ILCD Handbook- INTERNACIONAL REFERENCE LIFE CYCLE DATA SYSTEM**. Disponível em: < <http://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/ILCD-Handbook-LCIA-Framework-Requirements-ONLINE-March-2010-ISBN-fin-v1.0-EN.pdf>>. Acesso em: 22 Jan. 2015.

EEA-EMPA. **Air pollutant emission inventory guidebook 2013**: Technical guidance to prepare national emission inventories. European Environment Agency. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2013.

EMMENEGGER, M.F., REINHARD, J., ZAH, R. SQCB - **Sustainability Quick Check for Biofuels**: Background Report. . Dübendorf, EMPA: 118, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. **Coleção Plantar-Milho-verde**. Embrapa Informação Tecnológica, (Coleção Plantar, 59) 61 p. (Coleção Plantar, 59) Brasília- DF, 2008.

FARIA, C. M. B.; COSTA, N. D.; FARIA, A. F. Atributos químicos de um argissolo e rendimento de melão mediante o uso de adubos verdes, calagem e adubação. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 31. p. 299-307, 2007.

FARIA, C. M. B.; SOARES, J. M.; LEÃO, P. C. de S.; COSTA, N. **Adubação verde em videira e meloeiro no Submédio São Francisco**. Embrapa Semiárido - Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 67. Petrolina-PE, 2004.

FERNANDES, D. **Interferência de plantas daninhas na produção e qualidade de frutos de melão nos sistemas de plantio direto e convencional**. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Mossoró-RN, 2010.

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.

FIGUEIRÊDO, M. C. B.; DE BOER, I. J. M.; KROEZE, C.; BARROS, V. S.; DE SOUSA, J.; A.; DE ARAGÃO, F. A. S.; GONDIM, R. S.; POTTING, J. Reducing the impact of irrigated crops on freshwater availability: the case of Brazilian yellow melons. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 19, p. 437-448, 2014a.

FIGUEIRÊDO, M. C. B.; ROSA, M, F.; GONDIM, R. S.; DE FREITAS, J. A. D. Questões ambientais no cultivo do melão. In: SOBRINHO, R. B.; GUIMARÃES, J. A.; FREITAS, J. A. D.; TERAPO, D. **Produção Integrada de Melão**. (Org.) Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2008.

FIGUEIRÊDO, M. C. B.; ROSA, M, F.; PIRES, A. C.; MOTA, S. Avaliação do Ciclo de Vida de Tecnologias Agroindustriais. In: CASTELLANO, E. G.; ROSSI, A.; CRESTANA, S. **Princípios Gerais do Direito Ambiental**. Brasília-DF: Embrapa. v. 1, s. 1, p. 341-355, 2014b.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). **Agricultural production, primary crops**. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>>. Acesso em: 08 Jan. 2015.

FRISCHKNECHT, R., JUNGBLUTH, N., 2007. **Ecoinvent e Overview and Methodology**. Swiss Center for Life Cycle Inventories, Dubendorf.

GOEDKOOPE, M.; HEIJUNGS, R.; HUIJBREGTS, M.; DE SCHRYVER, A.; STRUIJS, J.; ZELM, R. V. **ReCiPe 2008**: A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. Netherlands, 2013a.

GOEDKOOPE, M.; OELE, M.; LEIJTING, J.; PONSIOEN, T.; MEIJER, E. **Introduction to LCA with SimaPro**. Netherlands: PRé-Consultants, 2013b.

GOEDKOOOP, M.; OELE, M.; VIEIRA, M.; LEIJTING, J.; PONSIOEN, T.; MEIJER, E. **SimaPro Tutorial**. Netherlands: PRé-Consultants, 2014.

GOEDKOOOP, M., SCHRYVER, A., OELE, M. **Simapro 7: introduction to LCA**. Netherlands: PRé-Consultants, 2008.

HANSEN, N. C.; ALLEN, B. L.; BAUMHARDT, R. L.; LYON, D. J. Research achievements and adoption of no-till, dryland cropping in the semi-arid U.S. Great Plains. **Field Crops Research**. v. 132, p. 196-2003, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção agrícola municipal**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 02 Mar. 2015.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC), 2007. **Climate Change (2007): Synthesis report: Contributions of working group I, II and III to the fourth Assessment Report**. IPCC, Geneva. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf> Acesso em: 31 Out. 2013.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 14001:2004- Sistemas da gestão ambiental, Requisitos com orientações para uso**. Rio de Janeiro: ISO, 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 14040:2006- Environmental management, Life cycle assessment, Principles and framework**. Geneva: ISO, 2006a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 14044:2006- Environmental management - Life cycle assessment - requirements and guidelines**. Geneva: ISO, 2006b.

JEMAI, I.; AISSA, N. B.; GUIRAT, S. B.; BEM-HAMMOUDA, M.; GALLALI, T. Impact of three and seven years of no-tillage on the soil water storage, in the plant root zone, under a dry subhumid Tunisian climate. **Soil and Tillage Research**. v. 126, p. 26-33, 2013.

JÚNIOR, A., P.; MALHEIROS, T., F. Saúde Ambiental e Desenvolvimento. *In*: JÚNIOR, A., P.; PELICIONI, M., C. F. **Educação Ambiental e Sustentabilidade**. Barueri, SP: Manole, 2005. p. 61.

KHATOUNIAN, C. A. **A reconstrução ecológica da agricultura**. Instituto Agrônomo do Paraná. Londrina-PR, 2001. p. 217.

KOELLNER, T.; BAAN, L.; BECK, T.; BRANDÃO, M.; CIVI, B.; MARGNI, M.; MILÀ i CANALS, L.; SAAD, R.; SOUZA, D. M.; MULLER-WENK, R. UNEP-SETAC guideline on global land use impact assessment on biodiversity and ecosystem services in LCA. **Life Cycle Impact Assessment' International Journal of Life Cycle Assessment**, vol 18, pp. 1188-1202, 2013.

LÁZARO, R. L.; COSTA, A. C. T.; SILVA, K. F.; SARTO, M. V. M.; JÚNIOR, J. B. D. Produtividade de milho cultivado em sucessão à adubação verde. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. v. 43. p. 10 -17, 2013.

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).

MILLER, T. **Ciência Ambiental**. Tradução- All tasks. 11ª ed. São Paulo: Ed. Cengage Learning, 2012.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA (MCT). **Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas por Fontes e Remoções por Sumidouros de Gases de Efeito Estufa não Controlados pelo Protocolo de Montreal**. Brasília: MCT, 2010.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA e INOVAÇÃO (MCTI). **Estimativas anuais de Gases de Efeito Estufa no Brasil**. Brasília: MCTI, 2014. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/upd_blob/0235/235580.pdf>. Acesso em: Maio, 2015.

NEMECEK, T., SCHNETZER, J., **Methods of assessment of direct field emissions for LCIs of agricultural production systems**. Zurich, 2011.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS-ONU (2012). **Fatos sobre água e saneamento**. In: Rio +20. O futuro que queremos. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/rio20/agua.pdf>>. Acesso em: 04 Nov. 2014.

PECHE FILHO, A.; AMBROSANO, E. J.; LUZ, P. H. C. **Semeadura e manejo da biomassa de adubos verdes**. In: LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil. Fundamentos e Prática. 1ed. Brasília: EMBRAPA, 2014, v. 1, p. 170-189.

PEREIRA, R. G.; SANTOS, M. N.; QUEIROGA, F. M.; LEMOS, M.; LEITE, G. A. Influência do manejo sobre alguns atributos físicos do Solo após cinco anos de cultivo com melão (*Cucumis melo L.*). **Revista Verde**. v.5, n.2, p. 103 – 108, 2010.

POEPLAU, C.; DON, A. Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – A meta-analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v. 200. p 33–41, 2015.

REDE ACQUA. **Bacias hidrográficas do Estado de Sergipe**. Disponível em: <http://www.redeacqua.com.br/2011/03/bacias-hidrograficas-do-estado-de-sergipe/>. Acesso em: Abril, 2015.

ROSENBAUM, R.K.; BACHMANN, T.M.; GOLD, L.S.; HUIJBREGTS, M.A.J.; JOLLIET, O.; JURASKE, R.; KÖHLER, A.; LARSEN, H.F.; MACLEOD, M.; MARGNI, M.; MCKONE, T.E.; PAYET, J.; SCHUHMACHER, M.; VAN DE MEENT, D & HAUSCHILD,

M.Z. 2008. 'USEtox - The UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in **Life Cycle Impact Assessment**' **International Journal of Life Cycle Assessment**, vol 13, no. 7, pp. 532-546., 10.1007/s11367-008-0038-4.

ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. **Histórico da adubação verde no Brasil**. In: LIMA FILHO, O. F.; AMBROSANO, E. J.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil. Fundamentos e Prática. 1ed.Brasília: EMBRAPA, 2014, v. 1, p. 39-58

SÀNCHEZ, L., E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

SEMEATA. **Feijão Guandu**. Disponível em:
<<http://www.semeata.com.br/?sessao=produto&ver&id=33>>. Acesso em: Abr. 2015.

SOUZA, F. H. D.; FRIGERI, T.; MOREIRA, A.; GODOY, R. **Produção de sementes de Guandu**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2007.

TEÓFILO, T. M. S.; FREITAS, F.C.L.; MEDEIROS, J.F.; FERNANDES, D.; GRANGEIRO, L.C.; TOMAZ, H.V.Q.; RODRIGUES, A.P.M.S. Eficiência no uso da água e interferência de plantas daninhas no meloeiro cultivado nos sistemas de plantio direto e convencional. **Plantas Daninhas**. V 30, nº3. P 547-556. Viçosa-MG, 2012.

VALENTINI, I.; OLIVEIRA, L. A. A.; FERREIRA, J. M. **Produção de sementes de milho variedade para uso próprio em propriedades de microbacias hidrográficas**. Programa Rio Rural-Manual Técnico, 15. Niterói- RJ, 2009. ISSN 1983-5671.

XUE, JF.; LIU, SL.; CHEN, ZD.; CHEN, F.; LAL, R.; TANG, HM.; ZHANG, HL. Assessment of carbon sustainability under different tillage systems in a double rice cropping system in Southern China. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 19, p. 1518-1592, 2014.

YAGIOKA, A.; KOMATSUZAKI, M.; KANEKO, M.; UENO, H. Effect of no-tillage with weed cover mulching versus conventional tillage on global warming potential and nitrate leaching. **Agriculture, Ecosystems and Environment**. v. 200. p 42–53, 2015.

YANG, ZP.; XU, MG.; ZHEING, SX.; NIE, J.; GAO, JS.; LIAO, YL.; XIE, J. Effects of Long-Term Winter Planted Green Manure on Physical Properties of Reddish Paddy Soil Under a Double-Rice Cropping System. **Journal of Integrative Agriculture**. v. 11(4), p. 655-664, 2012.

ZOTARELLI, L.; ZATORRE, N. P.; BODDEY, R. M.; URQUIAGA, S.; JANTALIA, C. P.; FRANCHINI, J. C.; ALVES, B. J. R. Influence of no-tillage and frequency of a green manure legume in crop rotations for balancing N outputs and preserving soil organic C stocks. **Field Crop Research**. v. 13, p. 185-195, 2012.

ANEXO

ANEXO A – EQUAÇÕES UTILIZADAS PARA ESTIMAR AS EMISSÕES

1 Emissões de CO₂ pela mudança de uso do solo (de floresta para agricultura)

1.1 Mudança de Biomass (MCT, 2010b)

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

Onde:

- **E**= emissão de carbono (t CO₂. ano⁻¹. Kg melão, ou semente, ou muda⁻¹), considerando um período de 20 anos desde a conversão de uso da terra;
- **A**= área convertida em área agrícola (ha.ano⁻¹kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);
- **C**= estoque de carbono na biomassa e na matéria orgânica morta (t C. ha⁻¹);
- **avAgri**= estoque de carbono na área de produção (t C.ha⁻¹)

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 14,9tC.ha-1 (Estepe e Savana- Ta e Tp) e 24,1 tC/ha (parque Savana e Sp). O valor estimado para **avAgri** é 1,28 tC.ha-1 para cultura do melão. Esta estimativa foi feita, baseando-se na medida da matéria seca e carbono total de cinco plantas de melão na colheita.

As emissões de CO₂, pela mudança de carbono na biomassa, foram calculadas para cada fisionomia do Bioma Caatinga, a média dos resultados encontrados foi utilizada. As emissões foram contabilizadas anualmente após a transformação da terra, num tempo de distribuição de 20 anos (IPCC, 2007; WRI e WBSCD, 2011).

1.2 Mudança de Carbono no solo (MCT, 2010)

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

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

Onde:

- **Es**= emissões líquidas de carbono pelo solo (t CO₂.ano⁻¹.kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);
- **A**= área (ha. ano⁻¹. kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);
- **C solo**= estoque de Carbono no solo da área, na associação solo-vegetação (t C.ha⁻¹);
- **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).
 - **f**= fator de alteração de carbono relacionado às entradas de matéria orgânica (adimensional).

Segundo o Inventário Nacional Brasileiro de emissões de GEE (MCT, 2010), o valor de **C_{solo}** varia na região estudada, e pode ser: 2,42 KgC/m² em solos com alta atividade de argila, 2,58 kgC/m² em solos com baixa atividade de argila (latossolos), 2,62 kg C/m² em solos com baixa atividade de argila (não latossolos) e 1,51 kgC/m² em arenossolos. As

emissões de CO₂ 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 *f_c*, para áreas agrícolas, são, respectivamente, 0,58; 1,16; 0,91 e 0,612. Em áreas florestais, *f_c* é 1,0.

1.3 Emissões de CO₂ 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.

2 Emissões de CO₂ pelo uso de uréia como fertilizante (IPCC, 2006)

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

Onde:

- **Emissões C- CO₂** = emissões de CO₂ pela aplicação de uréia (t CO₂.ano⁻¹.kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);
- **M**= massa de uréia (t.ano⁻¹.kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);
- **EF**= fator de emissão, que corresponde a 0,20.

3 Emissões de CO₂, CH₄ e N₂O pela queima de combustíveis (para transporte rodoviário) (IPCC, 2006).

$$Emiss\tilde{a}o_i = Volume * densidade * VCL * EF_i$$

Onde:

- **Emiss\tilde{a}o_i** = emiss\~ao de CO₂ (t CO₂.ano⁻¹.kg mel\~ao, ou semente, ou muda⁻¹);
- **i** = GEE (CO₂, CH₄ e N₂O);
- **Volume** = volume de combust\~ivel (L.ano⁻¹. kg mel\~ao, ou semente, ou muda⁻¹);
- **Densidade**= densidade do combust\~ivel (Kg.L⁻¹);
- **VCL** = Valor Cal\~orico l\~iquido (TJ.Kg⁻¹);
- **EF_i** = Fator de emiss\~ao para o GEE i.

Segundo o balan\~co energ\~tico brasileiro (MME, 2012):

- A densidade do diesel do Brasil \~: 0,88 Kg.L⁻¹;
- O **VCL** \~ 10,100 Kcal.kg⁻¹ (Kcal=0000000041868 TJ). **VCL** \~ 0,00004228668 TJ.Kg⁻¹).

De acordo com o IPCC (2006), o Fator de Emiss\~ao para o diesel usado na agricultura \~:

- 74,100 kg.TJ⁻¹ para CO₂;
- 4,15 kg.TJ⁻¹ para CH₄;
- 28,6 kg.TJ⁻¹ para N₂O.

4 Emissões de CH₄ e N₂O pela queima da biomassa (IPCC, 2006)

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

Onde:

- **Emissões-CH₄**= emissões de metano no ano (kg CH₄.ano⁻¹. kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);
- **A**= área queimada (ha.ano⁻¹. kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);
- **M_b**= massa de combustível disponível para combustão (kg.ha⁻¹);
- **C_f**= fator de combustão (adimensional);
- **G_{ef}**= fator de emissão (g.kg matéria orgânica queimada⁻¹).

Segundo o IPCC (2006), **M_b** e **C_f** para Caatinga (Savana) é 0,21. O valor de **G_{ef}** para metano é 2,3, e para o N₂O, 0,21.

5 Emissões de N₂O pelo uso de fertilizantes e resíduos vegetais (IPCC, 2006)

5.1 Emissões Diretas

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

Onde:

- **Entradas N-N₂O**= emissões de N₂O pelo solo (kg N₂O. ano⁻¹. kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);
- **F_{SN}**= quantidade de N em fertilizantes sintéticos aplicados (kg N. ano⁻¹. kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);
- **F_{ON}**= quantidade de N em fertilizantes orgânicos aplicados (kg N.ano⁻¹. kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);

- **F_{RV}**= quantidade de n nos resíduos vegetais (kg N.ano⁻¹. kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);
- **F_{SOM}**= quantidade de N mineralizado pela mudança de uso da terra (kg N.ano⁻¹. kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);
- **EF1**= fator de emissão (kg N⁻¹).

Segundo o IPCC (2006), EF1 é 0,01.

$$F_{RV} = (\text{área agrícola} * C_f * \text{Frac}_{renov}) * [(R_{AcS} * N_{AS} * (1 - \text{Frac}_{remov})) + (R_{Abs} * N_{Abs})]$$

Onde:

- **Área agrícola**= matéria orgânica da área agrícola (kg mat.org.ano⁻¹.ha⁻¹)
- **Área**= área plantada (ha. ano⁻¹.kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);
- **Área queimada**= área queimada (ha. ano⁻¹.kg melão, semente, ou muda⁻¹). No caso do melão, é zero;
- **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_{remov}**= 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).

$$F_{SOM} = \left[\left(\Delta C_{solo} * \frac{1}{R} \right) * 1000 \right]$$

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

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

Onde:

- **F_{SOM}**= quantidade de N mineralizado no solo devido a mudança no uso do solo (kg N.ano⁻¹. kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);
- **ΔC_{solo}**= quantidade de C perdida pela mudança no uso do solo (t C);
- **A**= área submetida à mudança de uso do solo (de Floresta pra agricultura, ver item 1.2) (ha. ano⁻¹.kg melão, semente, ou muda⁻¹);
- **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), eta é igual a 15, na mudança de uso do solo de floresta para área agrícola.

5.2 Emissões pela volatilização de NH₃ e NO_x

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

Onde:

- **N₂O_{DAT-N}**= quantidade de N₂O produzida pela deposição atmosférica do N volatilizado pelo manejo do solo (kg N₂O. ano⁻¹.kg melão, semente, ou muda⁻¹);
- **F_{SN}**= quantidade de N em fertilizantes sintéticos aplicados (kg N. ano⁻¹. kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);
- **FRAC_{GASF}**= fração de N em fertilizantes sintéticos que volatilizam NH₃ e NO_x. Esta é igual a 0,1;

- **F_{ON}**= quantidade de N em fertilizantes orgânicos aplicados (kg N.ano⁻¹. kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);
- **F_{PRP}**= quantidade de N da urina, fezes depositadas por animais nos pastos. (kg N. ano⁻¹. kg melão, ou semente, ou muda⁻¹). Quantidade não aplicada à cultura do melão;
- **FRAC_{GASM}**= fração de N nos fertilizantes orgânicos que volatilizam NH₃ e NO_x. Esta é igual a 0,20;
- **EF₄**= Fator de emissão. Igual a 0,01.

5.3 Emissões por fuga e lixiviação

Apesar de as áreas produtoras de melão utilizarem 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.

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

Onde:

- **N-N₂O**= quantidade de N₂O produzida pela fuga se lixiviação das adições de N no solo (kg N. ano⁻¹. kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);
- **F_{SN}**= quantidade de N em fertilizantes sintéticos aplicados (kg N. ano⁻¹. kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);
- **F_{ON}**= quantidade de N em fertilizantes orgânicos aplicados (kg N.ano⁻¹. kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);
- **F_{RV}**= quantidade de n nos resíduos vegetais (kg N.ano⁻¹. kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);
- **F_{SOM}**= quantidade de N mineralizado pela mudança de uso da terra (kg N.ano⁻¹. kg melão, ou semente, ou muda⁻¹);
- **Frac_{leach-(H)}**=
- **EF₅**= Fator de emissão (kg N)⁻¹. De acordo com o IPCC (2006), EF= 0,0075.

7 Emissões de Amônia para o ar

As emissões de amônia para o ar são, em sua maioria, provenientes do uso de fertilizantes nitrogenados. Segundo Nemecek e Schnetzer (2011), o cálculo é feito separadamente para fertilizantes minerais e fertilizantes orgânicos.

6.1 Emissões de NH₃ pelo uso de fertilizantes minerais

$$NH_3 - N_{min} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (m_{fert_{i,j}} * EF_{i,j}) * \frac{17}{14}$$

Onde:

- $NH_3 - N_{min}$ é a quantidade de amônia emitida pelo uso de fertilizantes nitrogenados minerais (kg NH₃. ha⁻¹. ano⁻¹);
- $m_{fert_{i,j}}$ é a massa do fertilizante nitrogenado do tipo i aplicada na região j (kgN. . ha⁻¹. ano⁻¹);
- $EF_{i,j}$ é o fator de emissão para o fertilizante nitrogenado do tipo i na região j (kg NH₃. kgN⁻¹).

Os fatores de emissão são diferentes para cada tipo de fertilizante nitrogenado utilizado. Um estudo recente do EEA-EMPA (2013) traz os valores desses fatores para os principais fertilizantes utilizados na produção agrícola. A emissão total de amônia para o ar pelo uso de fertilizantes minerais será o somatório das emissões pelo uso de cada fertilizante, calculado individualmente.

6.2 Emissões de NH₃ pelo uso de fertilizante orgânico

$$NH_3 - N_{org} = TAN * (er + c_{app}) * c_x$$

Onde:

- $NH_3 - N_{org}$ é a quantidade de amônia emitida pelo uso de fertilizantes orgânicos ($kg NH_3 \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$);
- TAN é o total de nitrogênio amoniacal, que é considerado o mesmo conteúdo de nitrogênio solúvel, e é calculado como um produto da quantidade de fertilizante orgânico (estrupe) e seu conteúdo correspondente de nitrogênio solúvel ($kgN \cdot ha^{-1}$);
- er é taxa de emissão, que é constante para cada tipo de estrume utilizado ($\% / 100 * TAN$);
- c_{app} é o fator de correção que influencia a taxa de emissão, se refere a quantidade de estrume por aplicação e seu grau de diluição; aplicada somente para estrume líquido (adimensional);
- c_x é o fator de correção x , que se refere a vários parâmetros do sistema de produção agrícola (adimensional).

Os valores de TAN foram estabelecidos por Flisch *et al.* (2009, *apud* NEMECEK, 2011), para o estrume caprino, utilizou-se o valor de TAN do estrume bovino ($0,8 kgN$ solúvel/unidade), já que não há valor de TAN especificamente para o esterco proveniente de cabra, e este se assemelha mais, em composição nutricional, com o estrume bovino. Pelo mesmo motivo anteriormente explicado, adotou-se $er = 0,8$, estabelecido por Nemecek e Schnetzer (2011). c_{app} não se aplica a este estudo, pois não se utiliza fertilizantes orgânicos líquidos. c_x varia segundo diversos outros fatores, como a quantidade de esterco aplicada, equipamento utilizado, o horário de aplicação e a estação de aplicação do esterco. O modelo de Agrammon (*apud* NEMECEK, 2011) assume $c_x = 1$, para o sistema básico de produção. A emissão total de amônia para o ar corresponde à soma das emissões pelo uso de fertilizantes minerais e uso de fertilizantes orgânicos.

8 Emissões NO_x para o ar

Segundo Nemecek e Schnetzer (2011), os óxidos de nitrogênio (NO_x) podem ser produzidos a partir dos processos de desnitrificação ocorridos no solo. As emissões desses

óxidos podem ser estimadas com base nas emissões de N_2O , segundo a equação a seguir, que inclui apenas as emissões diretas decorrentes do uso de fertilizantes no solo:

$$NO_x = 0.21 * N_2O$$

Onde:

- NO_x é a quantidade de oxido de nitrogênio emitida ($kg \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$);
- N_2O é a quantidade de óxido nitroso emitida ($kg \cdot ha^{-1} \cdot ano^{-1}$).

9 Emissões de NO_3^{2-} para águas subterrâneas

A equação seguinte é uma adaptação de Emmenegger *et al.* (2009) do modelo desenvolvido por Willigen (2000) para o cálculo do NO_3^{2-} -N lixiviado para águas subterrâneas.

$$NO_3^{2-} - N = \left[21.37 + \frac{P}{c * L} (0,0037 * S + 0,0000601 * N_{org} - 0,00362 * U) \right]$$

Onde:

- $NO_3^{2-} - N$ é o nitrato perdido por meio da lixiviação ($kg_N \cdot Kg_{produto}^{-1}$);
- P é a precipitação anual e irrigação ($mm \cdot yr^{-1}$);
- c é o conteúdo de argila do solo (%);
- L é a profundidade da raiz da cultura (m);
- S é a necessidade de Nitrogênio pela cultura ($Kg_N \cdot ha^{-1}$);
- N_{org} é o conteúdo de nitrogênio orgânico no solo (%);
- U é o nitrogênio captado ($Kg_N \cdot ha^{-1}$).

P é calculado pela soma da precipitação anual com a irrigação aplicada à cultura. O conteúdo médio de argila (c), segundo Emmenegger *et al.* (2009), para o Argissolo, solo da

área de estudo, é de 33,1%. Segundo a Embrapa (2010), a profundidade da raiz do meloeiro em solos profundo e arejados, como o argissolo, é próxima a 1m.

A necessidade de nitrogênio (S) pode ser calculada pela seguinte equação:

$$S = f + s * c_N^s + m * c_N^m$$

Onde

- S é a necessidade de Nitrogênio pela cultura ($\text{Kg}_N.\text{ha}^{-1}$);
- f é o N proveniente de fertilizantes minerais ($\text{Kg}_N.\text{ha}^{-1}$);
- s é a quantidade de fertilizante orgânico líquido (lodo) ($\text{m}^3_{\text{lodo}}.\text{ha}^{-1}$);
- c_N^s é a concentração de nitrogênio no lodo ($\text{kg}_N.\text{m}^3_{\text{lodo}}$);
- m é a quantidade de fertilizante orgânico sólido (estrume) ($\text{Kg}_{\text{estrume}}.\text{ha}^{-1}$);
- c_N^m é a concentração de nitrogênio no estrume ($\text{kg}_N.\text{kg}_{\text{estrume}}^{-1}$).

Relembrando que neste estudo não se aplicam o valores de s e c_N^s , pois não se utilizam fertilizantes orgânicos líquidos.

O nitrogênio orgânico (N_{org}) pode ser calculado pela seguinte equação:

$$N_{org} = \left(\frac{C_{org}}{100} * V * D_b \right) / r_{C/N} * r_{Norg}$$

Onde:

- N_{org} é o conteúdo de nitrogênio orgânico no solo (%);
- C_{org} é o conteúdo de carbono orgânico (%);
- V é o volume de solo ($\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$);
- D_b é a densidade em volume (kg/m^3);
- $r_{C/N}$ é a relação carbono, nitrogênio (adimensional);
- r_{Norg} é a relação de N_{org} para N_{Tot} (adimensional).

Segundo Emmenegger *et al.* (2009), é necessário que se conheça o conteúdo de carbono orgânico (C_{org}) em percentual, para isso, converte-se o conteúdo de carbono orgânico total, geralmente dado para 3000m³ de solo, assumindo uma densidade em volume, média, de 1,3 ton por metro cúbico de solo:

$$C_{org} = C_{org}^{EMPA} * \frac{1}{3000} * \frac{1}{1,3} * 100$$

Onde:

- C_{org} é o conteúdo de carbono orgânico (%);
- C_{org}^{EMPA} é o conteúdo de carbono orgânico dado segundo metodologia do EMPA (ton $C_{org}/3000m^3$).

O valor de C_{org}^{EMPA} para o clima tropical seco é de 34 ton $C_{org}/3000m^3$. (USDA,1999 *apud* EMMENEGGER *et al.* 2009). O valor de V assumido é 5000m³, o que significa que são considerados os 50 cm superiores do solo. D_b é considerado 1300 kg/m³, baseado no *SQB report* (EMMENEGGER *et al.*, 2009). $r_{C/N}$ é considerada igual a 11 (BATJES 2008; SCHEFFER 2002; EGGLESTON *et al.* 2006 *apud* NEMECEK e SCHNETZER, 2011). r_{Norg} expressa a relação de C_{org} e N_{Tot} , assume-se que seu valor seja 0,85 (SCHEFFER, 2002 *apud* NEMECEK e SCHNETZER, 2011).

O nitrogênio captado (U) é calculado pela equação a seguir:

$$U = Unit_uptake * y$$

Onde:

- U é o nitrogênio Captado (Kg_N.ha⁻¹);
- $Unit_uptake$ é a unidade Captada (Kg_N.ton_{produto}⁻¹);
- y é o rendimento da cultura (ton _{produto}.ha⁻¹).

Algumas fontes já expressam o valor total de nitrogênio captado pela cultura em um hectare, como é o caso da Embrapa (em Sistemas de Produção- Melão). Segundo esta, a cultura do melão capta 34 kg N.ha⁻¹.

9 Emissões de Fósforo para água

As emissões de fósforo para água aqui estimadas ocorrem por meio dos processos de lixiviação, escoamento e erosão do solo pela água (NEMECEK E SCHNETZER, 2011):

9.1 Emissões pela lixiviação de fosfato para águas subterrâneas

$$P_{gw} = P_{gwl} * F_{gw}$$

Onde

- P_{gw} é a quantidade de P lixiviado para águas subterrâneas (kg.ha⁻¹);
- P_{gwl} é a quantidade média de P lixiviado para águas subterrâneas pela categoria “Mudança no uso da terra”, cujo valor é:
 - 0,07 kg P.ha⁻¹, para terras aráveis, e
 - 0,06 kg P.ha⁻¹, para pastos e campos permanentes.
- F_{gw} é o fator de correção para fertilização por lodo:

$$F_{gw} = 1 + \frac{0,2}{80 * P_2O_5 \text{ sl}}$$

- Onde:
 - $P_2O_5 \text{ sl}$ = Quantidade de P₂O₅ contida no lodo (kg.ha⁻¹).

A cultura do melão ocorre em terras aráveis, logo: P_{gwl} = 0,07 kg P.ha⁻¹, e F_{gw} = 0, pois não se utiliza lodo como fertilizante.

9.2 Emissões pelo escoamento de fosfato para águas superficiais

$$P_{ro} = P_{rol} * F_{ro}$$

Onde:

- P_{ro} é a quantidade de P perdido por meio do escoamento para rios ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$);
- P_{rol} é a quantidade média de P perdido por meio do escoamento para a categoria “Mudança no uso da terra”, cujo valor é:
 - $0,175 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$, para terras abertas aráveis,
 - $0,25 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$, para pastos e campos permanentes intensivos, e
 - $0,15 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$, para pastos e campos permanentes extensivos.
- F_{ro} é o fator de correção para fertilização com P, calculado pela seguinte equação:

$$F_{ro} = 1 + \frac{0,2}{80 * P_{2O_{5min}}} + \frac{0,7}{80 * P_{2O_{5sl}}} + \frac{0,4}{80 * P_{2O_{5man}}}$$

➤ Onde:

- $P_{2O_{5min}}$ é a quantidade de P_2O_5 contida nos fertilizantes minerais ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$);
- $P_{2O_{5sl}}$ é a quantidade de P_2O_5 contida no lodo ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$);
- $P_{2O_{5man}}$ é a quantidade de P_2O_5 contida no esterco sólido ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$).

Para a cultura do melão (terras abertas aráveis) $P_{rol} = 0,175 \text{ kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$, e $P_{2O_{5sl}}$ não se aplica.

9.3 Emissões de fosfato para águas superficiais por meio da erosão pela água.

$$P_{er} = S_{er} * P_{sc} * F_r * F_{erw}$$

Onde:

- P_{er} é a quantidade de P emitida para rios por meio da erosão ($\text{kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$);
- S_{er} é a quantidade de solo erodido ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$);
- P_{sc} é o conteúdo de fósforo no solo superior ($\text{kg P} \cdot \text{ha}^{-1}$);

- F_r é o fator de enriquecimento para P (-). Este fator considera a ocorrência de que as partículas do solo erodidas contém mais P do que o solo médio;
- F_{erw} é a fração de solo erodido que atinge o rio. Foi usado o valor médio de 0,2.

Adotou-se o valor médio de $P_{sc} = 0.00095 \text{ KgP.kg solo}^{-1}$. O valor médio de 1,86 para F_r foi utilizado (WILKE & SCHAUB 1996 *apud* NEMECEK E SCHNETZER, 2011). Utilizou-se $F_{erw} = 0,2$.

A Quantidade de Solo Erodido ($A=S_{er}$) pode ser calculada pela Equação Universal de Perda de Solo (USLE) (WISCHMEIER e SMITH, 1978 *apud* EMMENEGGER *et al.*, 2009), expressa por:

$$A = R * k * LS * c_1 * c_2 * P_{ra}$$

Onde:

- $A=(S_{er})$ é o potencial perda de solo anual em longo prazo ($t. (ha.ano)^{-1}$);
- R é o fator de erosividade ($MJ \text{ mm } (ha. h.ano)^{-1}$);
- k é o fator de erodibilidade ($t \text{ h } (MJ.mm)^{-1}$);
- LS é o fator de inclinação;
- c_1 é o fator de produção (colheita);
- c_2 é o fator de cultivo;
- P_{ra} é o fator de ação.

Segundo Emmenegger (2009), para as características da cultura, tipo de solo da região de produção, e tipo de cultivo da área em estudo, têm-se: $k = 0,033 \text{ t h } (MJ.mm)^{-1}$, $c_2 = 0,6$, e $P = 1$, pois não há práticas anti-erosão. O valor de c_1 foi obtido de acordo com Ontario Ministry of Agriculture (2013), e é de 0,5 para horticulturas de distribuição sazonal, como o melão.

Segundo Renard and Freimund (1994) *apud* Emmenegger *et al.* (2009), há uma relação entre o fator de erosividade e a média anual pode ser calculado pela equação seguinte (EMMENEGGER *et al.*, 2009):

$$R = \begin{cases} 0.0483 * P^{1.61} & \text{se } P \leq 850 \text{ mm} \\ 587.8 - 1.219 * P + 0.004105 * P^2 & \text{se } P > 850 \text{ mm} \end{cases}$$

Onde:

- R é o fator de erosividade (MJ mm (ha. h.ano)⁻¹);
- P é a precipitação anual (mm.ano⁻¹), que é calculada:

$$P = \text{precipitação} + \text{irrigação} * 0.1$$

Para regiões onde não há uma distribuição da precipitação ao longo do ano (por exemplo: região em que há no mínimo um mês em que a precipitação média corresponde a 15% da precipitação média anual), recomenda-se a correção do fator de erosividade. Logo, pela equação a seguir corrigida têm-se o fator final de erosividade (R'):

$$R' = 0.1 * R$$

Onde:

- R' é o fator final de erosividade (MJ mm (ha. h.ano)⁻¹);
- R é o fator de erosividade calculado (MJ mm (ha. h.ano)⁻¹).

O fator de declive é calculado com base na equação original descrita por Wischmeier e Smith (1978) *apud* Emmeneger *et al.* (2009):

$$LS = \begin{cases} \left(\frac{L * 3.28083}{72.6} \right)^{0.2} * (65.41 * \left(\sin \left(\frac{S}{100} \right) \right)^2 + 4.56 * \left(\sin \left(\frac{S}{100} \right) \right) + 0.065) & \text{se } S < 1\% \\ \left(\frac{L * 3.28083}{72.6} \right)^{0.3} * (65.41 * \left(\sin \left(\frac{S}{100} \right) \right)^2 + 4.56 * \left(\sin \left(\frac{S}{100} \right) \right) + 0.065) & \text{se } 1\% \leq S < 3.5\% \\ \left(\frac{L * 3.28083}{72.6} \right)^{0.4} * (65.41 * \left(\sin \left(\frac{S}{100} \right) \right)^2 + 4.56 * \left(\sin \left(\frac{S}{100} \right) \right) + 0.065) & \text{se } 3.5\% \leq S < 5\% \\ \left(\frac{L * 3.28083}{72.6} \right)^{0.5} * (65.41 * \left(\sin \left(\frac{S}{100} \right) \right)^2 + 4.56 * \left(\sin \left(\frac{S}{100} \right) \right) + 0.065) & \text{se } S > 5\% \end{cases}$$

Onde:

- LS é o fator de declive (adimensional);
- L é o comprimento do declive (m);
- S é o declive (%).

Nesse estudo, considerou-se $L= 100\text{m}$, tendo em vista que a área de estudo é de 1 hectare ($100\text{m}\times 100\text{m}$), e considerou-se $S= 3\%$.

10 Emissões de Metais Pesados

Segundo Nemecek e Schnetzer (2011), três tipos de emissões devem ser consideradas no cálculo das emissões de metais pesados: pela lixiviação, pela erosão e para o solo.

10.1 Emissões pela lixiviação

$$M_{leach\ i} = m_{leach\ i} * A_i$$

Onde:

- $M_{leach\ i}$ são as emissões, relacionadas à agricultura, do metal pesado i ($\text{mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$);
- $m_{leach\ i}$ é a quantidade média emitida do metal pesado i ($\text{mg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$);
- A_i é o fator de alocação para o compartilhamento das entradas totais do metal pesado i pelo uso de insumos agrícolas (adimensional).

Os valores das quantidades médias de metal pesado lixiviado ($m_{leach\ i}$) para águas subterrâneas são expresso no trabalho de Wolfensberger e Dinkel (1997), *apud* Nemecek and Schnetzer (2012).

Já o Fator de Alocação (A_i) pode ser calculado pela seguinte equação:

$$A_i = M_{agro\ i} / (M_{agro\ i} + M_{deposition\ i})$$

Onde:

- A_i é o fator de alocação para o compartilhamento das entradas totais do metal pesado i pelo uso de insumos agrícolas (adimensional);
- $M_{agro\ i}$ corresponde a entrada total do metal pesado pela produção agrícola ($\text{mg} \cdot (\text{ha} \cdot \text{ano})^{-1}$), incluindo fertilizantes, sementes e pesticidas;
- $M_{deposition\ i}$ corresponde a entrada total do metal pesado pela deposição atmosférica ($\text{mg} \cdot (\text{ha} \cdot \text{ano})^{-1}$).

Os valores das quantidades médias de metal pesado depositado ($M_{deposition\ i}$) foram levantados por Freieimuth (2006) *apud* Nemececk and Schnetzer (2012).

10.2 Emissões pela erosão

$$M_{erosion\ i} = c_{tot\ i} * B * a * f_{erosion} * A_i$$

Onde:

- $M_{erosion\ i}$ são as emissões, relacionadas à agricultura, do metal pesado por meio da erosão ($\text{kg} \cdot (\text{ha} \cdot \text{ano})^{-1}$);
- $c_{tot\ i}$ é o conteúdo total de metal pesado no solo (kg/kg);
- B é a quantidade de solo erodido, segundo Oberholzer *et al.* (2006) ($\text{kg} \cdot (\text{ha} \cdot \text{ano})^{-1}$);
- a é o fator de acumulação: 1.86, segundo Prasuhn (2006) (adimensional);
- $f_{erosion}$ é o fator de erosão, com um valor médio de 0,2, considerando a distância de rio ou lagos (pondera apenas a fração do solo que atinge o corpo d'água, o resto é depositado no campo) (adimensional);
- A_i é o fator de alocação para o compartilhamento das entradas totais do metal pesado i pelo uso de insumos agrícolas (adimensional).

Os valores de metais pesados presentes no solo ($c_{tot\ i}$) podem variar segundo o tipo de uso da terra. Keller & Desaules (2001) *apud* Nemececk and Schnetzer (2012) levantou os principais valores para áreas de campos permanentes, terras aráveis e cultivo intensivo.

10.3 Emissões para o solo

As emissões para os solos agrícolas são calculadas por meio do balanço entre todas as entradas (fertilizantes, pesticidas, sementes e deposição) e saídas (biomassa exportada, lixiviação e erosão), multiplicados pelo fator de alocação.

$$M_{soil\ i} = (\sum inputs_i - \sum outputs_i) * A_i$$

Onde:

- $M_{soil\ i}$ são as emissões para o solo;
- $\sum inputs_i$ é o somatório de todas as entradas de metais pesados (kg.(ha.ano)⁻¹);
- $\sum outputs_i$ é o somatório de todas as saídas de metais pesados (kg.(ha.ano)⁻¹);
- A_i é o fator de alocação para o compartilhamento das entradas totais do metal pesado i pelo uso de insumos agrícolas. (adimensional).

11 Emissões de pesticidas para solos agrícolas

Segundo Nemecek and Schnetzer (2012), as emissões de pesticidas para o solo devem ser calculadas considerando todos os produtos utilizados na produção agrícola, e considerando que toda quantidade de produto utilizada torna-se emissão para o solo. Todos os produtos devem ser inventariados segundo seu ingrediente ativo. Caso não haja estudos de ACV para o ingrediente ativo de cada item utilizado, eles devem ser agrupados e inventariados segundo sua classe química que possua estudo de ACV. Para produtos não especificados, entretanto, não se pode atribuir um fluxo de emissão.