

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

ANA RAFAELA FREITAS DOTTO

**EMISSÕES DOS GASES DE EFEITO ESTUFA DO CICLO DE VIDA DA
SOJA CULTIVADA EM UMA LOCALIDADE DE CAÇAPAVA DO SUL-RS**

**Caçapava do Sul
2018**

ANA RAFAELA FREITAS DOTTO

**EMISSÕES DOS GASES DE EFEITO ESTUFA DO CICLO DE VIDA DA
SOJA CULTIVADA EM UMA LOCALIDADE DE CAÇAPAVA DO SUL-RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Orientador: Prof. Dr. Mateus
Guimarães da Silva

**Caçapava do Sul
2018**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pela autora através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão
Unificada de Recursos Institucionais).

D725e Dotto, Ana Rafaela Freitas
Emissões dos Gases de Efeito Estufa do Ciclo de Vida da
Soja Cultivada em uma Localidade de Caçapava do Sul - RS / Ana
Rafaela Freitas Dotto.

58 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Universidade
Federal do Pampa, ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA, 2018.

"Orientação: Mateus Guimarães da Silva".

1. Agricultura. 2. Mudanças Climáticas. 3. Fatores de
emissão. I. Título.

**EMISSÕES DOS GASES DE EFEITO ESTUFA DO CICLO DE VIDA DA
SOJA CULTIVADA EM UMA LOCALIDADE DE CAÇAPAVA DO SUL-RS**

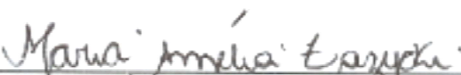
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de
Engenharia Ambiental e Sanitária da
Universidade Federal do Pampa,
como requisito parcial para obtenção
do Título de Engenheira Ambiental e
Sanitarista.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 11/12/2018.

Banca examinadora:



Prof. Dr. Mateus Guimarães da Silva
Orientador
UNIPAMPA



Prof. Me. Maria Amélia Zazycki
UNIPAMPA



Prof. Dr. Rafael Matias Feltrin
UNIPAMPA

Dedico este trabalho à minha mãe,
Lúcia, que nunca mediu esforços para
me ver feliz.

AGRADECIMENTO

À toda minha família pelo apoio, estímulo e amor incondicionais.

A todos os meus amigos, que sempre estiveram ao meu lado tanto em momentos de angústia quanto de felicidade.

Aos meus colegas de faculdade, com quem dividi as mesmas aflições durante a graduação, por toda a parceria e companheirismo.

Ao meu namorado, Luciano, pelo apoio em todos os momentos.

Ao Prof. Dr. Mateus Guimarães da Silva pela orientação.

À banca avaliadora, por ter aceitado fazer parte deste trabalho.

Aos professores, por todos os ensinamentos que me foram transmitidos durante a jornada acadêmica.

A Universidade Federal do Pampa, pela oportunidade.

RESUMO

O crescimento da população mundial tem influenciado o aumento significativo da produção de soja. Isto acaba por ocasionar diversos impactos sociais e ambientais, principalmente relacionados ao aquecimento global, se fazendo necessária a busca por metodologias que auxiliem na identificação e contabilização dos mesmos. A avaliação de ciclo de vida é uma ferramenta estratégica de gestão ambiental que auxilia na identificação, quantificação e avaliação dos impactos ambientais oriundos de todo o ciclo de produção de um determinado produto ou processo, desde a aquisição das matérias-primas, produção, uso, tratamento pós-uso, reciclagem até a disposição final. Neste trabalho foram identificadas e quantificadas as principais etapas e os insumos presentes no cultivo da soja em uma propriedade do município de Caçapava do Sul/RS, para que fosse possível estimar as emissões dos gases de efeito estufa. Concluiu-se que o cultivo de soja contribui para o impacto de aquecimento global, com o valor igual a 0,73 kg CO_{2eq}/kg soja colhida, sendo que as principais fontes de emissão são derivadas da aplicação do calcário no solo, da produção dos insumos, especialmente dos herbicidas e, do transporte dos insumos até a localidade de estudo .

Palavras-chave: agricultura, mudanças climáticas, fatores de emissão

ABSTRACT

The world population growth has influenced the significant increase in soybean production. This results in several social and environmental impacts, mainly related to global warming, being necessary to make a research by methodologies that help in the identification and accounting of them. The life cycle assessment is a strategic environmental management tool that which assists in the identification, quantification and evaluation of the environmental impact of all the production cycle of a product or process, from the purchase of raw materials, production, use, post-use treatment, recycling until final destination. In this work, it was identified and quantified the main stages and the inputs present in the soybean cultivation in a locality in the city of Caçapava do Sul, so that it was possible to estimate the emissions of greenhouse gases. It was concluded that the cultivation of soybean is relevant to the impact of global warming, with the value equal to 0,73 kgCO_{2eq}/kg soybean harvested, being that the main sources of emission are derived from the application of limestone in the soil, production of inputs, especially the herbicides and the transport of the inputs to the place of study.

Keywords: agriculture, climate change, emission factors.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola de 2013 a 2017.....	22
Tabela 2- Fatores de equivalência dos poluentes.....	31
Tabela 3 - Transporte dos insumos.....	35
Tabela 4 - Quantidade de insumos utilizados no preparo do solo.....	36
Tabela 5- Quantidade de insumos utilizados no plantio.....	37
Tabela 6 - Fator de emissão do CO _{2eq} na produção dos insumos.....	38
Tabela 7 - Fatores de emissão para transporte rodoviário.....	39
Tabela 8 - Fatores de emissão da aplicação do fertilizante nitrogenado.....	40
Tabela 9 - Fatores de emissão do consumo do óleo diesel.....	41
Tabela 10 - Parâmetros do modelo de emissões CH ₄ para a palha da soja.....	42
Tabela 11 - Estimativa das emissões indiretas.....	43
Tabela 12 - Estimativa das emissões diretas.....	44
Tabela 13 - Emissões em cada etapa do cultivo.....	45
Tabela A.1 - Fator de oxidação.....	55
Tabela A.2 - Fator de correção de metano.....	56
Tabela A.3 - Fator de carbono orgânico degradável.....	57
Tabela A.4 - Taxa de decaimento da decomposição do resíduo orgânico.....	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Participação dos principais países produtores de soja em grão.	24
Figura 2- Ciclo de vida de um produto.	27
Figura 3 - Etapas da ACV e suas interações ou processo.	28
Figura 4 - Fronteiras da avaliação do ciclo de vida do cultivo da soja.....	33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 Justificativa e motivação	19
1.2 Objetivos	19
1.2.1 Objetivo geral.....	19
1.2.2 Objetivos específicos	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1 Soja	20
2.1.1 Produção de soja no Brasil	21
2.1.2 Produção de soja no Rio Grande do Sul.....	25
2.2 Impacto de aquecimento global	25
2.3 Avaliação do Ciclo de Vida.....	27
2.4 Metodologia de avaliação do ciclo de vida.....	28
2.4.1 Definição do objetivo e do escopo	29
2.4.2 Análise do inventário.....	29
2.4.3 Avaliação do impacto.....	29
2.4.4 Interpretação do ciclo de vida	30
2.4.5 Categorias de impacto e fatores de caracterização	30
2.5 Estudos de avaliação do ciclo de vida da soja	31
3 METODOLOGIA.....	33
4 ANÁLISE GERAL DO PROCESSO	35
4.1 Etapas do ciclo de vida da soja e inventário dos insumos	35
4.1.1 Transporte dos insumos	35
4.1.2 Preparo do solo.....	36
4.1.3 Plantio da soja	36
4.1.4 Colheita.....	37
4.1.5 Palha.....	37

4.1.6 Transporte da soja.....	37
4.2 Emissões indiretas.....	38
4.2.1 Emissões da produção dos insumos.....	38
4.2.2 Emissões do transporte dos insumos.....	39
4.2.3 Emissões do transporte da soja.....	39
4.3 Emissões diretas.....	39
4.3.1 Emissões da aplicação dos fertilizantes nitrogenados sintéticos.....	39
4.3.2 Aplicação do Calcário.....	40
4.3.3 Emissões do consumo de combustível.....	41
4.3.4 Emissões oriundas da decomposição anaeróbica da palha da soja.....	41
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
6 CONCLUSÕES.....	46
REFERÊNCIAS.....	47
APÊNDICE A.....	55

1 INTRODUÇÃO

A agricultura é um dos setores que mais cresce no Brasil devido ao aumento populacional mundial e a necessidade de produção e exportação de alimentos. Porém esse acréscimo é uma das principais questões que ocupam as preocupações no século XXI (FREITAS; MENDONÇA, 2016). Entre as commodities agrícolas, a soja (*Glycinemax l.*) é a principal oleaginosa cultivada no mundo devido ao seu alto valor proteico, muito relevante na alimentação humana e de animais criados para o abate. Além disso, o Brasil possui a segunda maior produção e área plantada dessa commodity, atrás apenas dos Estados Unidos (CARVALHO, 2012).

A soja é produzida em um sistema de agricultura moderna industrial, fundamentado no uso de energia fóssil, insumos industriais, fertilizantes químicos, agrotóxicos, mecanização, pouca mão-de-obra, variedades geneticamente modificadas de alto potencial produtivo além de muitos outros recursos não renováveis (CARVALHO, 2012). Esse modelo agrícola chama a atenção para impactos ambientais associados ao seu cultivo, trazendo relevância para a aplicação de metodologias de avaliação de desempenho ambiental de sua cadeia produtiva (GRILLO et al., 2016).

Dentre os problemas associados à produção da soja, estão as emissões atmosféricas de origem antrópica, onde os gases relacionados a essas emissões são gerados em importantes etapas do cultivo. O uso de fertilizantes nitrogenados e o consumo de combustíveis fósseis são alguns exemplos de fontes de emissões de gases de efeito estufa (GEE), sendo que os principais são o metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) e óxido nitroso (N₂O). Estima-se que o setor agrícola contribua com 20% do aumento da radiação global, ocasionando em um acréscimo na concentração dos GEE na atmosfera e causando assim, um aquecimento além do natural (IPCC, 2006). Esses GEE têm a propriedade de reter uma parte da radiação solar que é transformada em radiação infravermelha (calor) na superfície do planeta. Assim, parte do calor fica retida entre atmosfera e a superfície, o que tem provocado um aumento da temperatura média do planeta, levando a mudanças no clima (IPCC, 2007).

As mudanças climáticas ocasionam severas consequências para os seres vivos, sendo assim necessária a busca por ferramentas, como o inventário de emissões, que sejam capazes de identificar, quantificar e qualificar as emissões

provenientes de fontes específicas em determinadas áreas geográficas. Podendo assim, realizar o desenvolvimento de planos estratégicos para o gerenciamento de qualidade ambiental e controle de emissões.

1.1 Justificativa e motivação

Sabe-se que a produção de soja vem crescendo demasiadamente no Brasil, ocasionando diversos tipos de impactos ao meio ambiente. A contribuição no aumento dos gases do efeito estufa é um deles, os quais são responsáveis por provocar mudanças climáticas no planeta. A estimativa dos gases de efeito estufa no cultivo da soja pode ser essencial no desenvolvimento de ações para reduzir as emissões. Após a obtenção da estimativa proposta neste trabalho, foi possível identificar e avaliar as principais etapas do cultivo e o quanto as mesmas contribuem para o aquecimento global.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo realizar a estimativa dos gases de efeito global provenientes da produção da soja em uma localidade no município de Caçapava do Sul - RS.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar as principais etapas presentes no cultivo da soja;
- Quantificar os insumos utilizados na produção da soja;
- Estimar as emissões dos gases de efeito estufa (CO₂, CH₄ e N₂O) em cada etapa produtiva.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Soja

A soja (*Glycinemax l.*) é uma planta herbácea pertencente à família das leguminosas, possui um ciclo anual (90 a 160 dias) e é originária do extremo oriente. A soja é uma planta subtropical, porém hoje, devido ao seu melhoramento genético, pode ser cultivada em latitudes menores (CAVALETT, 2008). Segundo a FAO (Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura) (2015) a soja é uma das principais fontes de proteína e óleo vegetal do mundo. Além desses produtos principais, uma ampla gama de coprodutos pode ser obtida da soja, especialmente glicerina, lecitina, ácidos carboxílicos e derivados, lubrificantes e biodiesel (MACIEL, 2016).

Considerada um alimento milenar por ser repleta de qualidades nutritivas, a soja está presente na produção de diversos alimentos. O farelo de soja, por exemplo, juntamente com o farelo de milho, compõem 90% da ração destinada para a alimentação animal (ABIOVE, 2018). Por produzir mais proteína por hectare do que qualquer outro grão e devido a sua elevada fonte de calorias, a soja pode ser usada como alimento básico no combate da fome mundial. O consumo de produtos a base de soja torna esta hipótese plausível, o que pode ser fundamental para o suprimento alimentar diário de grande parte da população nas diferentes latitudes (MIYASAKA e MEDINA, 1981).

Além de possuir elevado teor proteico, como um alimento de alto conteúdo de lipídeos se configura como fonte energética, dispondo ainda várias vitaminas e minerais importantes para a alimentação (CAMACHO et al., 1981).

Existem características específicas de manejo e produção para os diversos sistemas existentes de cultivo, na qual o mais comum é o sistema de plantio direto, onde, por meio do uso de maquinário específico é possível realizar a plantação da nova cultura sobre a palhada deixada pela cultura anterior, sem necessidade de gradeamento e/ou outro preparo físico do solo, economizando horas de máquinas, de trabalho e de combustíveis, gerando inúmeros benefícios ao solo (BUFFETT, 2012).

2.1.1 Produção de soja no Brasil

A primeira citação encontrada na literatura sobre o indício de soja no Brasil foi em 1882, quando D'utra descreveu os primeiros testes realizados com algumas variedades no estado da Bahia (VERNETTI, 1977). A partir daí, muitos estudos foram desempenhados em diversas regiões do país, que se mostraram de grande importância para a instalação da cultura no Brasil (EMBRAPA, 1987).

Em 1960, foi construída no Rio Grande do Sul a primeira fábrica de processamento de soja, fato que contribuiu para a implantação definitiva da soja no país (VERNETTI, 1977). Até meados de 1970 a região Sul ficou responsável por concentrar 80% da produção nacional.

Atualmente, a soja é cultivada em quase todo território nacional, desde as altas latitudes gaúchas até as baixas latitudes equatoriais tropicais, demonstrando em muitas regiões, produtividades médias maiores do que a média alcançada pela soja norte-americana. Essa produtividade se tornou viável, devido ao uso de cultivares apropriados à região tropical, a correta elaboração da fertilidade do solo com adubação equilibrada, o avanço do sistema de plantio direto e a utilização de práticas de manejo que objetivam o alcance da alta produtividade (CÂMARA, 2015).

Os interesses gerados na agricultura tornaram-se um suporte fundamental da economia brasileira. O agronegócio é responsável por uma parcela bastante significativa das exportações brasileiras e dos empregos gerados e o setor é fundamental para o Produto Interno Bruto (PIB) do país (CONAB, 2005). Neste panorama, destaca-se como principal produto do agronegócio a produção de soja, sendo que o Brasil ocupa a posição de maior exportador desse grão e como segundo maior produtor (CONAB, 2011).

Totalizando uma participação de mais de 33% do mercado mundial, ficando atrás apenas dos Estados Unidos (EMBRAPA, 2018). A safra 2017/2018 teve uma produção de 116,99 milhões de toneladas em 35,10 milhões de hectares de área plantada, com uma produtividade de 3,33 kg/ha (CONAB, 2018). Neste cenário, o estado do Mato Grosso é responsável por 30% dessa produção, enquanto que Paraná e Rio Grande do Sul ficam responsáveis por 18% e 16% respectivamente, atualmente os três maiores produtores do Brasil. Na qual, dos 20 municípios líderes em soja no Brasil, 13 pertencem ao Mato Grosso.

Ainda assim, vale ressaltar que uma nova fronteira agrícola está ganhando destaque no norte e nordeste brasileiro para produção de soja, a denominada “Mapitoba”, região de Cerrado que compreende o Maranhão, Piauí, Tocantins e Bahia. De acordo com o Ministério da Agricultura, em 2012, a produção do Mapitoba foi responsável por 15 milhões de toneladas de grãos e existem projeções que apontam que em 2022 a produção nessa região vai para mais de 18 milhões de toneladas. Ao passo que a média de crescimento da produção de grãos do país é de 5%, no Mapitoba esse número atinge 20% ao ano.

Segundo o levantamento sistemático da produção agrícola da soja realizado pelo IBGE (2018), a área cultivada no Brasil passou de 27,9 milhões de hectares em 2013 para 33,9 em 2017. No mesmo período, a produção evoluiu de 81,7 milhões de toneladas para 114,5 milhões de toneladas (Tabela 1). A região Centro-oeste ainda se mantém com maior área cultivada e maior produção, porém as outras regiões continuam a crescer.

Tabela 1 - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola de 2013 a 2017.

Grande Região	Variável	Ano				
		2013	2014	2015	2016	2017
Norte	Área plantada (ha)	925707	1191327	1435877	1565306	1666116
	Produção (t)	2692506	3521562	4274638	4096882	5061570
Nordeste	Área plantada (ha)	2327374	2581058	2870256	2883759	3096975
	Produção (t)	5268170	6571222	8386412	5145197	9497022
Sudeste	Área plantada (ha)	1764172	1938167	2120722	2321063	2489328
	Produção (t)	5220641	5054778	5930317	7540290	8579535
Sul	Área plantada (ha)	10011694	10561372	11112942	11579587	11417919
	Produção (t)	30280548	29623128	34929965	35471797	40265242
Centro-Oeste	Área plantada (ha)	12919658	14036307	14666590	14989590	15310367
	Produção (t)	38262612	41989830	43943604	44140654	51195799

Fonte: IBGE, 2018

O avanço da soja nas diversas condições edafoclimáticas do território brasileiro, só foi possível devido à evolução científica em tecnologias para o correto manejo de solos, com técnicas apropriadas de correção da acidez, processo de

inoculação das sementes para a fixação do nitrogênio e a adubação com macro e micronutrientes. O controle de pragas contendo os principais insetos causadores de danos econômicos na cultura e o uso de fungicidas, a partir da década de 90, para o controle de doenças, também foram outros importantes fatores que contribuíram para a expansão da soja no Brasil. Além disso, através do aperfeiçoamento no setor de máquinas e implementos agrícolas para a modernização e eficiência das operações de cultivo (FREITAS, 2011).

De acordo com a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio) a adoção de biotecnologia com sementes transgênicas de soja em 2017 atingiu 82,3% da área cultivada com soja no Brasil. Essa tecnologia facilita o controle de pragas, o que favorece o planejamento das operações dentro de uma propriedade, havendo uma menor necessidade no uso de produtos químicos e outros insumos. Em contrapartida, quando a soja transgênica passou a ser produzida, alguns dos principais consumidores, Ásia e Europa, resistiram em consumir a sementes geneticamente modificadas e preferiam a soja convencional. Hoje em dia, ainda existem países da Europa que não importam produtos derivados de soja transgênica e se dispõem a pagar mais pela soja convencional (FREITAS, 2011).

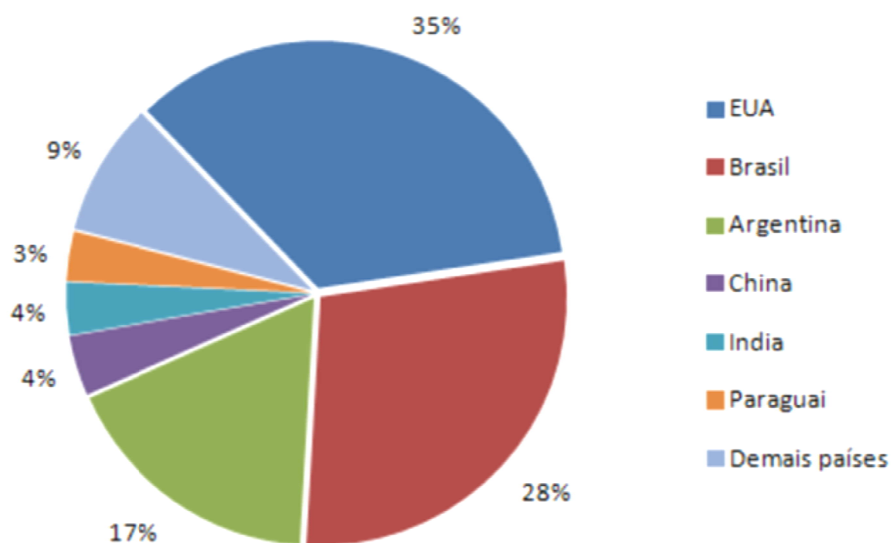
A maior parte da soja colhida no Brasil vai para a indústria esmagadora que a transforma em derivados, como farelo e óleo. O farelo de soja tem grande demanda interna, para elaboração de ração animal, e externa, deste modo, é o principal produto da cadeia produtiva da soja (ESTEVES, 2016). O Brasil possui capacidade instalada para produção de quase sete mil toneladas de óleo de soja por ano, o que o torna o segundo maior produtor mundial de óleo de soja (CAVALETT, 2008). O uso do óleo no Brasil é em 56% para consumo doméstico, em 25% como insumo na produção de biodiesel e em 19% para exportação (CONAB, 2015).

A produção atual de biodiesel, que no ano de 2017 atingiu 4,3 milhões de litros, tem a soja como principal matéria-prima (acima de 80% do total). A mistura obrigatória hoje em dia conta com 8% de biodiesel ao diesel mineral, o que comprova os benefícios do uso desse combustível (ANP, 2018).

Segundo Freitas (2011), o complexo soja brasileiro colabora com a geração de empregos, tanto de forma direta, quanto de forma indireta, por meio do agronegócio. Sendo o responsável pela geração de cerca de 5 milhões de postos de trabalho, o que representa atualmente cerca de 0,21 emprego por hectare de soja cultivado (ROESSING e LAZZARATTO, 2004).

Atualmente, os líderes mundiais na produção de soja, representados na Figura 1 são os Estados Unidos, Brasil, Argentina, China, Índia e Paraguai, sendo que os quatro primeiros respondem por pelo menos 80% da produção mundial (FAO/FAOSTAT, 2014).

Figura 1- Participação dos principais países produtores de soja em grão.



Fonte: FAO/FAOSTAT (2014).

De acordo com a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico e a FAO (2017), a taxa de crescimento da produção mundial de soja da última década era de 4,9% ao ano, presumi-se que ela continuará a expandir, porém a 1,9% ao ano. Em contrapartida, a produção brasileira de soja deverá crescer a 2,6% ao ano, a mais acelerada dos principais produtores. Isso é possível porque o Brasil dispõe de grande potencial de expansão de área cultivada e possível aumento na produtividade, apresentando a maior capacidade de aumentar a atual produção. Estima-se que até 2020, a produção brasileira deve superar a barreira dos 100 milhões de toneladas, tendo grande competência para assumir a liderança mundial na produção do grão (VENCATO et al., 2010).

2.1.2 Produção de soja no Rio Grande do Sul

Em escala comercial, o Rio Grande do Sul foi o estado pioneiro na produção da soja brasileira. Essa produção começou na região das Missões, com o município de Santa Rosa como o centro. No princípio, o cultivo visava a produção de forragem e de grãos para a alimentação de suínos. Até a década de 70, a soja ainda era considerada uma cultura secundária, em comparação ao trigo. Com o interesse dos produtores em buscar tecnologias, cultivares mais adequados ao sistema trigo-soja e a busca por máquinas agrícolas melhores, a soja se tornou em pouco tempo o principal produto na agricultura gaúcha (EMBRAPA, 1987).

De acordo com os dados divulgados pela Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão no Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul (2018), atualmente, a área cultivada no estado é de cerca de 5,71 milhões de hectares, 3,29% a mais em referência à safra anterior. Observando a expansão da cultura nos últimos 10 anos, há um acréscimo de 112,92% na produção (de 8,02 milhões de toneladas, em 2009, para 17,08 milhões de toneladas, em 2018, ao mesmo tempo em que a área cultivada cresceu 49,35%.

2.2 Impacto de aquecimento global

Uma pequena fração da energia oriunda da radiação solar atravessa a atmosfera e atinge a superfície da Terra. O restante é refletido ou irradiado para a atmosfera em forma de calor. Esse calor é obtido através do fenômeno de absorção que consiste na conversão da energia do sol para calor. Em condições normais, a Terra reflete aproximadamente 30% da radiação solar incidente (25% pela atmosfera e 5% pela superfície) e a atmosfera absorve aproximadamente 25%, os outros 45% restantes chegam à superfície do planeta. Os chamados gases de efeito estufa (GEE), sendo os principais: vapor de água, dióxido de carbono, metano, alguns dióxidos de nitrogênio e compostos halogenados, como os clorofluorcarbonos (CFC's), são os melhores absorventes de radiação da atmosfera (CALIJURI et al., 2013). Este fenômeno é conhecido como efeito estufa e sua existência permite que a temperatura média da superfície do Planeta Terra seja de aproximadamente 14°C, permitindo vida no planeta, sem a presença do mesmo, a temperatura seria de -19°C (IPCC, 2007).

O aquecimento global é consequência da intensificação do efeito estufa, causado pelo aumento das emissões de dióxido de carbono (CO₂) e de outros gases como metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e compostos orgânicos voláteis (VOC's), para a atmosfera (VALT, 2004) . O acréscimo da concentração de gases na atmosfera detém maior quantidade de calor, aumentando assim a temperatura média global (MOURAD, 2002).

Desde a Revolução Industrial até 2005, a concentração de CO₂ na atmosfera aumentou de 280ppm para 379ppm (partes por milhão) (IPCC, 2007). Segundo Carvalho (2012) vários pesquisadores afirmam que as consequências desse aumento já estão acontecendo. Algumas consequências podem ser citadas: aumento de secas, chuvas intensas, ondas de calor, inundações; derretimento de geleiras e calotas polares; acidificação dos oceanos e branqueamento de recifes de corais; perda de terras úmidas litorâneas; extinção de espécies de fauna e flora; migração de animais; retração e savanização da floresta amazônica; diminuição da produtividade agrícola; aumento da propagação de doenças infecciosas; impactos econômicos diversos, entre outros (CALIJURI et al., 2013).

Principalmente em novas áreas abertas no Cerrado e Floresta Amazônica, a produção brasileira de soja vem crescendo (CAVALETT, 2008). Esse aumento da área agrícola no Cerrado, acarretou na destruição quase que total deste bioma, cerca de 57% já desapareceram e a parte que resta já está muito alterada, com bastante danos na biodiversidade e nos ecossistemas locais (SCHLESINGER, NORONHA, 2006).

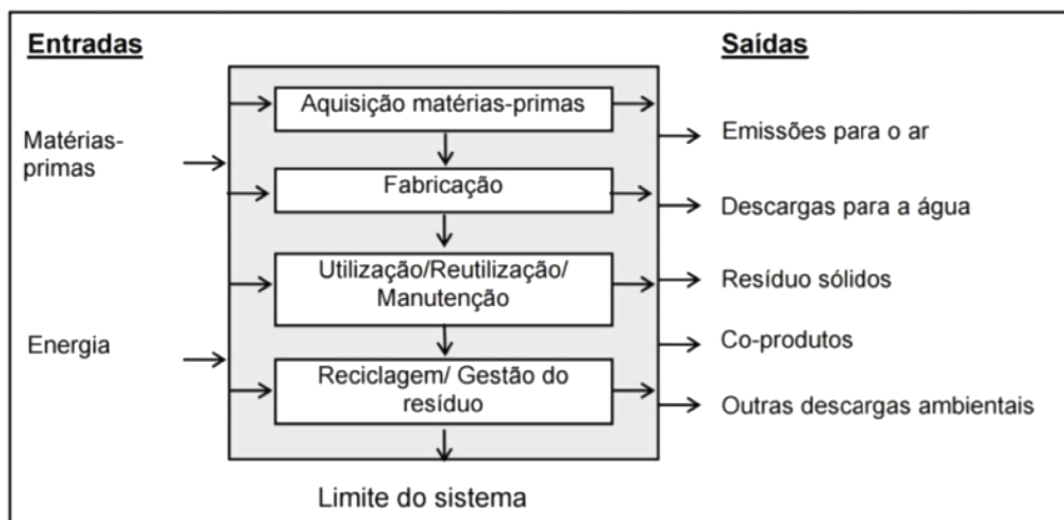
A monocultura como modelo de produção da soja voltado para exportação tem uma grande relação com o processo de desmatamento da Amazônia. Esta que é uma importante responsável pela regulagem de chuvas no Brasil e em algumas outras regiões da América Latina (CAVALETT, 2008). Consequentemente, esse desmatamento acelerado ameaça diminuir o ciclo de chuva nas regiões sul e sudeste, transformar áreas de florestas em savanas e ocasionar mudanças na taxa de umidade registrada no país (NOBRE, 2004). Deste modo, a ampliação da área cultivada para soja na fronteira agrícola brasileira acabará por ocasionar em mudanças climáticas desastrosas e irreparáveis (BICKEL, DROS, 2003).

2.3 Avaliação do Ciclo de Vida

O desenvolvimento da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) começou quando no final da década de 60, durante a crise do petróleo, foi possível observar nitidamente a limitação de uso de alguns recursos naturais. O debate sobre o uso desses recursos, juntamente com a crise influenciaram diretamente os primeiros estudos desta técnica (LIMA, 2007). Na qual, estes estudos foram direcionados para a área energética e ficaram populares como “análise de energia” ou, analisando a entrada de dados de matéria-prima e de combustíveis utilizados para os cálculos, “análise de recursos”, ou ainda foram chamados, “análise de perfil ambiental” (LIMA, 2010).

A ACV é uma técnica que permite, a partir de uma pesquisa detalhada, exemplificada na Figura 2, a identificação, quantificação e avaliação dos impactos ambientais decorrentes do ciclo de vida de um produto, desde a aquisição das matérias-primas, produção, uso, tratamento pós-uso, reciclagem até a disposição final.

Figura 2- Ciclo de vida de um produto.



Fonte: USEPA, 2006.

Esta ferramenta permite ainda quantificar e analisar os aspetos ambientais do produto e, assim, caracterizar o seu desempenho ambiental (ABNT, 2009). Os resultados obtidos contribuem para o desenvolvimento e otimização de produtos e

facilitam a identificação de oportunidades de melhoria no processo de fabrico (DING, 2014).

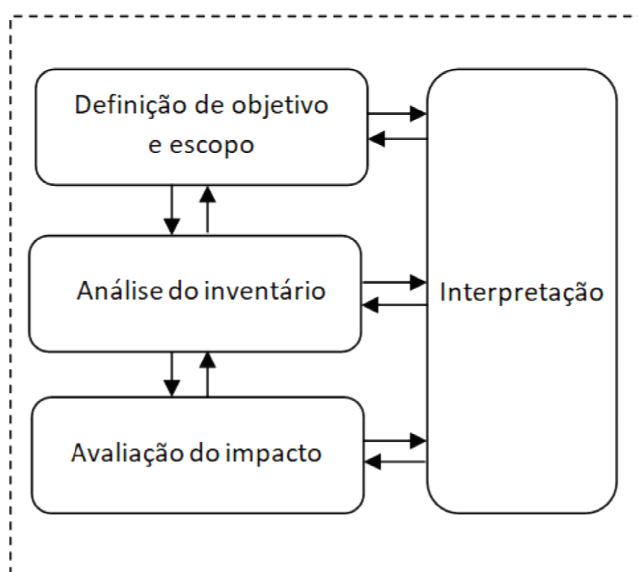
As normas brasileiras que orientam a execução da ACV são:

- ABNT NBR ISO 14.040:2009 (Princípios e estrutura) - Gestão Ambiental - Nesta norma são apresentados os requisitos e estrutura, o método, a função e as aplicações da ACV de um produto.
- ABNT NBR ISO 14.044:2009 (Requisitos e orientações) - Gestão Ambiental – Norma complementar a NBR ISO 14040: 2009, onde são aprofundados os requisitos e orientações para dois tipos de estudo: Estudos de Avaliação do Ciclo de Vida e Estudos de Inventário do Ciclo de Vida.

2.4 Metodologia de avaliação do ciclo de vida

Existem quatro elementos essenciais para a realização de uma ACV, demonstrados na Figura 3 na qual abrangem um conjunto de componentes que garantem o planejamento, desenvolvimento e conclusão da metodologia de ACV (PATO, 2015). Sendo essas estabelecidas pela ABNT ISO 14040 e dividem-se em: 1) definição de objetivo e escopo, 2) análise de inventário, 3) avaliação de impacto e 4) interpretação.

Figura 3 - Etapas da ACV e suas interações ou processo.



Fonte: ABNT NBR ISO 14040, 2009.

2.4.1 Definição do objetivo e do escopo

O objetivo e escopo devem ser claros e consistentes conforme a aplicação pretendida (SAIC, 2006). Nesta primeira etapa são tomadas as decisões gerais de forma que o sistema se desenvolva (ESTEVES, 2016). Incluindo também, os aspectos considerados relevantes e os propósitos pretendidos para orientar as ações que deverão ser desempenhadas (CHEHEBE, 1998).

2.4.2 Análise do inventário

Na análise de inventário são identificados os dados quantitativos das entradas e saídas de cada uma das etapas do processo ou produto (ESTEVES, 2016). É a fase de coleta e estimativa de todas as variáveis (matéria-prima, energia, transporte, emissões atmosféricas, efluentes líquidos, resíduos sólidos etc.) associadas com a análise de vida de um produto ou processo. O desenvolvimento do inventário é um processo iterativo, uma vez que os requisitos de qualidade estabelecidos na primeira fase sejam garantidos, a sequência de eventos deve envolver a checagem de procedimentos (CHEHEBE, 1998).

2.4.3 Avaliação do impacto

Nesta fase, objetiva-se definir o potencial de impactos ambientais através do entendimento e da avaliação de significância, com base nos resultados obtidos na análise de inventário (CHEHEBE, 1998).

Esta parte da ACV é dividida em classificação, caracterização e valoração dos dados obtidos (VALT, 2004). Na etapa de classificação, os dados são separados e agrupados de acordo com as categorias apontadas de impacto, como por exemplo, o esgotamento de recursos naturais, o aquecimento global e o efeito fotoquímico. Na etapa de caracterização, os dados que colaboram para a mesma categoria de impacto são normalizados de acordo com a consequência relativa que cada um implica. E, por último, na etapa de valoração as categorias de impacto são reunidas de acordo com uma grandeza de importância anteriormente definida, alcançando um indicador único de desempenho ambiental para o produto (KROZER, 1998).

2.4.4 Interpretação do ciclo de vida

A fase de interpretação compreende na identificação e análise dos resultados determinados nas duas fases anteriores, de acordo com o objetivo e escopo previamente estabelecidos pelo estudo (CHEHEBE, 1998).

Os resultados obtidos nesta fase, após uma análise, transformam-se em conclusões que permitem o reconhecimento de pontos críticos do ciclo de vida do produto na qual necessitam de melhorias, possibilitando a realização de estratégias de produção, como a substituição e recuperação de materiais e a reformulação ou substituição de processos, tendo em vista a preservação ambiental (VALT, 2004).

2.4.5 Categorias de impacto e fatores de caracterização

Existem diferentes categorias de impacto, na qual são atribuídas dependendo da avaliação de impacto realizada para cada emissão/resíduo gerado. Dentre elas estão: aquecimento global, depleção de ozônio, smog, acidificação, eutrofização, toxicidade humana, ecotoxicidade, uso da terra e consumo de recursos (ESTEVES, 2016).

O Potencial de Aquecimento Global (GWP - Global Warming Potential) destaca-se nas principais categorias de impacto avaliadas, na qual está associado às emissões de gases que colaboram para absorção da radiação e, conseqüentemente acabam por provocar o efeito estufa. Entre os gases mais importantes estão: CO, CO₂, CH₄ e N₂O, todos estes determinados em termos de CO₂ equivalente (BARBOSA et al., 2012). O IPCC, através de tabelas internacionais, determina o GWP para avaliação de impacto do ciclo de vida (FERREIRA, 2014). Deste modo, o método estabelecido pelo IPCC possui apenas uma categoria de impacto: potencial de aquecimento global. A partir de horizontes temporais de 20, 100 e 500 anos, o método demonstra a implicação de cada um dos gases na atmosfera (KALBUSCH, 2011).

Os fatores de caracterização indicam o quanto um GEE específico contribui para o aquecimento global em comparação com o CO₂ (substância de referência). Pode-se observar através dos dados da Tabela 2 que os gases CO₂, CH₄ e N₂O contribuem 1, 34 e 298 vezes mais que o CO₂, respectivamente, para o aquecimento global em termos de CO₂ equivalente. Desta maneira, quanto maior o fator de

caracterização, maior a contribuição de um poluente para o respectivo impacto global (VALT, 2004).

Tabela 2- Fatores de equivalência dos poluentes.

Emissão	Fator de equivalência	Categoria de Impacto
CO ₂	1	Aquecimento global (CO ₂ equivalente)
CH ₄	34	Aquecimento global
N ₂ O	298	Aquecimento global

Fonte: BRENTRUP, 2001; IPCC, 2007.

Deste modo, é possível expressar todos os gases com base em CO_{2eq}, conforme a Equação 1:

$$E_{GEE} = \sum_j GWP_j \cdot m_j \quad (1)$$

Em que E_{GEE} é o indicador de emissão dos GEE (kg CO_{2eq}); GWP_j é o fator de caracterização do GEE (kg CO_{2eq}/kg GEE) e m_j é a quantidade do GEE (kg).

2.5 Estudos de avaliação do ciclo de vida da soja

Para Castanheira e Freire (2013) os diferentes sistemas de cultivo e mudança direta no uso do solo implicam diretamente nas emissões de GEE. Apresentaram a soja produzida na América Latina com uma ACV das emissões de GEE, mostrando os diferentes sistemas de cultivo e mudança direta no uso do solo e o que eles implicam. Seus resultados demonstraram a importância da mudança do uso do solo no balanço de GEE e que Sistemas de Plantio Direto, na qual não possuem manejo do solo, possuem menores emissões de GEE do que sistemas onde o manejo do solo ocorre.

O estudo de Maciel et al. (2016) apresentou variáveis como tipo de máquinas, distância percorrida, número de intervenções e da influência temporal de cada intervenção, facilitando um cálculo das emissões de GEE durante a colheita da soja

mais próximo da realidade brasileira. Realizando assim, um inventário do ciclo de vida da etapa agrícola de produção de soja no Estado do Rio Grande do Sul.

Já no trabalho de Raucci et al. (2015) foi avaliado as emissões de GEE na produção de soja no Estado do Mato Grosso, usando também a ACV como ferramenta. Os resultados demonstraram que as principais fontes de GEE na produção de soja são a decomposição de resíduos agrícolas, 36% do total, seguida pelo uso de combustíveis (19%) e pela aplicação de fertilizantes (16%).

Prudêncio da Silva et al. (2010) demonstraram a magnitude dos impactos ambientais dos transportes de insumos e produtos em diferentes setores produtivos, especialmente no Brasil, local onde o transporte é, em sua maioria, rodoviário.

O estudo de Cavalett (2008) mostrou que a soja produzida em sistemas alternativos é mais sustentável em comparação à produção agrícola convencional, pois a produção agrícola é a etapa que necessita uma maior quantidade de insumos, sendo eles mássicos e energéticos, no ciclo de vida do biodiesel de soja. Portanto esta etapa requer maiores cuidados na tomada de decisão para um ciclo de vida da soja mais sustentável.

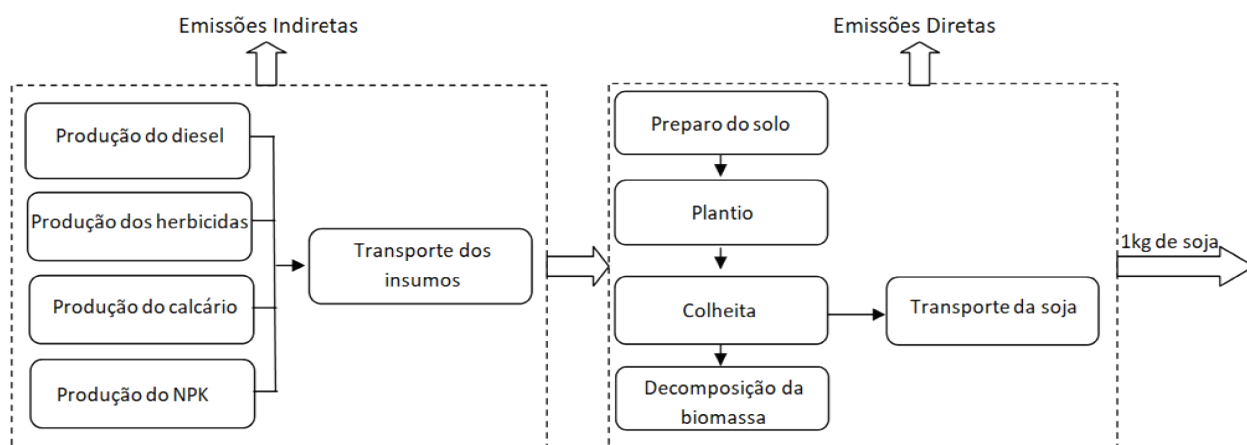
3 METODOLOGIA

Neste trabalho foram investigadas as emissões dos GEE e o potencial impacto de aquecimento global do cultivo da soja utilizando a metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida. A aplicação desta metodologia possibilita a identificação, quantificação e avaliação dos impactos ambientais decorrentes do ciclo de vida de um produto, desde a aquisição das matérias-primas, produção, uso, tratamento pós-uso, reciclagem até a disposição final (ABNT, 2009).

O estudo foi baseado nos dados coletados do cultivo da soja em uma propriedade rural do município de Caçapava do Sul, localizada na região sul do estado do Rio Grande do Sul, cujas coordenadas geográficas são 30°39'25.75" Latitude Sul e 53°14'19.98" Longitude Oeste. A propriedade possui 750 hectares de área plantada e a produtividade da soja é aproximadamente 2,99 t/ha.

O escopo do estudo de avaliação do ciclo de vida compreende as principais etapas do cultivo da soja, desde o preparo do solo, plantio até a colheita. Além disso, foi realizada a análise das emissões diretas e indiretas em um quilograma de soja, sendo que as emissões indiretas abrangem as emissões oriundas da produção dos insumos e o transporte dos mesmos até a localidade. Já as emissões diretas, abrangem as emissões procedentes da aplicação ou consumo desses insumos nas etapas do cultivo e, também, a decomposição da biomassa da soja e o transporte da soja colhida, conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Fronteiras da avaliação do ciclo de vida do cultivo da soja.



Fonte: Autora (2018).

Para estimar tanto as emissões diretas quanto indiretas, foram utilizados fatores de emissões estabelecidos pelo IPCC e publicados por pesquisadores que retratam os cenários brasileiros. As emissões da produção e transporte das sementes não foram consideradas.

O potencial impacto do aquecimento global foi estimado pela metodologia e fatores de caracterização (*global warming potential*, GWP) estabelecidos pelo IPCC (2014). Os GEE analisados foram o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) para um horizonte de 100 anos (GWP-100).

4 ANÁLISE GERAL DO PROCESSO

4.1 Etapas do ciclo de vida da soja e inventário dos insumos

4.1.1 Transporte dos insumos

O transporte dos insumos dos municípios fornecedores até a localidade do estudo ocorre via rodovia através de caminhão a diesel. A distância média, de ida e de volta dos caminhões, percorrida no transporte de cada insumo, o número de viagens realizadas, assim como consumo de combustível por viagem e a quantidade total dos insumos são mostrados na Tabela 3.

O cálculo do consumo de combustível por viagem foi estimado através da Equação 2.

$$C_v = C_c \cdot (Carga + P_c) \cdot d + C_c \cdot P_c \cdot d \quad (2)$$

Em que C_v é consumo de combustível por viagem (L), C_c equivale ao consumo específico de combustível no transporte pelo caminhão (L/t.km), $Carga$ é a carga transportada (t), d é a distância percorrida (Km) e P_c é o peso do caminhão vazio (t).

Tabela 3 - Transporte dos insumos.

Insumo	Distância ida e volta (Km)	Município de produção	Nº de viagens (ida e volta)	Consumo de diesel por viagem (t)	Quantidade total de insumo (t)
Calcário	56	Caçapava do Sul	163	$73,69 \times 10^{-3}$	1875,00
Óleo diesel	464	Rio Grande	4	$63,68 \times 10^{-2}$	40,29
Fertilizante (NPK)	450	Rio Grande	18	$79,86 \times 10^{-2}$	225,00

Nota: Os valores para consumo do diesel foram transformados de litros para toneladas, considerando que a densidade do óleo diesel é em torno de $0,85 \text{ kg/dm}^3$.

O calcário utilizado vem do próprio município de Caçapava do Sul e seu transporte é feito por caminhão do tipo carreta, com capacidade de carga (*Carga*) de 23t e peso líquido (*Pc*) de 10t. O óleo diesel consumido nas máquinas agrícolas é oriundo da refinaria de petróleo do município de Rio Grande e seu transporte é feito por caminhão do tipo tanque com capacidade de (*Carga*) 25000L, equivalente a 21,25t, e, peso líquido (*Pc*) de 11,8t. O fertilizante é originado do porto também da cidade de Rio Grande e é transportado através de carreta com capacidade de carga (*Carga*) de 25t e peso líquido (*Pc*) de 16,5t. O consumo de combustível por viagem (*Cc*) foi utilizado para todos os cálculos com o valor de 0,036 L/t.km (XIAO et al., 2009). A emissão no transporte dos herbicidas não será estimada, pois a quantidade utilizada é bastante baixa.

4.1.2 Preparo do solo

Primeiramente é realizado o preparo do solo com a aplicação dos herbicidas 2-4D Aminol e Glifosato, e, do calcário dolomítico. Essas aplicações são feitas com trator pulverizador autopropelido (motor a cilindro) e as quantidades de insumos utilizados estão demonstradas na Tabela 4.

Tabela 4 - Quantidade de insumos utilizados no preparo do solo.

Insumo	Quantidade	Unidade
2-4D aminol	2	L/ha
Glifosato	2	L/ha
Calcário	2,5	t/ha
Diesel	1,6	L/ha

Fonte: Autora (2018).

4.1.3 Plantio da soja

Na etapa do plantio é utilizado 60 kg de semente por hectare. Posteriormente, é realizada a aplicação do fertilizante NPK (nitrogênio, potássio e fósforo) e uma segunda aplicação do herbicida Glifosato. Se caso houver necessidade, de acordo

com o monitoramento das pragas durante esta etapa, são aplicados inseticidas e fungicidas, mas estes não foram considerados no estudo. O plantio da soja e a aplicação do fertilizante são realizados por meio de dois tratores agrícolas (motor - 140HP) acompanhados por plantadeiras. A segunda aplicação do herbicida Glifosato é feita por trator pulverizador autopropelido. As quantidades dos insumos utilizados estão demonstradas na Tabela 5.

Tabela 5- Quantidade de insumos utilizados no plantio.

Insumo	Quantidade	Unidade
Glifosato	2	L/ha
NPK	300	kg/ha
Diesel	21,60	L/ha

Fonte: Autora (2018).

4.1.4 Colheita

A colheita da soja é realizada por meio de duas máquinas colheitadeiras (motor - 360HP). A quantidade de diesel utilizado nesta etapa é igual a 40 L/ha.

4.1.5 Palha

No sistema de plantio direto, onde não há revolvimento do solo, são deixados os restos culturais da safra após a colheita, seja de soja ou de alguma cultura entre safra. A palha da soja se incorpora ao solo e através da sua decomposição anaeróbica acaba por emitir metano (YE, 2015). Segundo Nogueira et al (2000) para cada hectare de soja estima-se que se é produzido em torno de 3,0 a 4,0 toneladas de resíduos da biomassa vegetal.

4.1.6 Transporte da soja

A soja colhida é transportada por meio de caminhões do tipo carreta até o porto de Rio Grande. A distância média percorrida, de ida e de volta, é igual a 450

km. A capacidade de carga *Carga* do caminhão é de 23t e o peso do caminhão (*Pc*) corresponde a 10t. O número de viagens dos caminhões para transportar toda a soja colhida é de 196, O consumo de diesel por viagem (ida e volta) no transporte da soja, foi estimado pela Equação 2, admitindo-se um valor de consumo de combustível por viagem (*Cc*) de 0,036 L/t.km (XIAO et al., 2009). Obtendo assim, um consumo de $59,21 \times 10^{-2}$ t de diesel por viagem (ida e volta).

4.2 Emissões indiretas

4.2.1 Emissões da produção dos insumos

Para estimar as emissões dos gases de efeito estufa da produção dos insumos químicos e energéticos do ciclo de vida do cultivo da soja foi utilizada a Equação 3 e os fatores de emissões relativos aos dados obtidos na literatura, conforme apresentado na Tabela 6.

$$E_{pi} = Q_{ins} \cdot FE_{ins} \quad (3)$$

Em que E_{pi} corresponde a emissão oriunda da produção do insumo, Q_{ins} é a quantidade do insumo consumo, FE_{ins} é o fator de emissão da produção do insumo.

Tabela 6 - Fator de emissão do CO_{2eq} na produção dos insumos.

Insumo	Fator de emissão (kg CO _{2eq} /kg)	Fonte
Calcário	0,01	Macedo et al. (2008)
Herbicida	25,00	Macedo et al. (2008)
Óleo diesel	0,33	Viana (2008)
Fertilizante - Nitrogênio (N)	3,97	Macedo et al. (2008)
Fertilizante - Fósforo (P ₂ O ₅)	0,33	Carvalho (2012)
Fertilizante - Potássio (K ₂ O)	0,40	UNFCCC (2010)

Fonte: Autora (2018).

4.2.2 Emissões do transporte dos insumos

As emissões associadas ao consumo de óleo diesel pelos caminhões foram estimadas através da Equação 4, utilizando os fatores de emissão para os GEE recomendados pelo IPCC (2006), demonstrados na Tabela 7.

$$E = \sum(fuel_i \cdot EF_i) \quad (4)$$

Em que E é a emissão dos GEE (Kg), $fuel_i$ é o tipo de combustível i consumido (Kg), EF_i é o fator de emissão do tipo de combustível i (kg GEE/Kg).

Tabela 7 - Fatores de emissão para transporte rodoviário.

GEE	Padrão
(Kg GEE/Kg diesel)	
CO ₂	3,10
CH ₄	1,73 x 10 ⁻⁰⁴
N ₂ O	1,20 x 10 ⁻⁰³

Fonte: IPCC (2006).

4.2.3 Emissões do transporte da soja

As emissões oriundas da etapa de transporte da soja foram estimas por meio dos fatores de emissão apresentados na Tabela 7 e pela equação 4.

4.3 Emissões diretas

4.3.1 Emissões da aplicação dos fertilizantes nitrogenados sintéticos

A principal forma de reposição do nitrogênio no solo é por meio do uso de fertilizantes nitrogenados. Por outro lado, sua utilização implica no aumento das emissões de gases de efeito estufa, principalmente o óxido nitroso (N₂O) (DOBBIE; SMITH, 2003). Os principais processos envolvidos nas emissões de N₂O em solos

agrícolas são os de nitrificação e de desnitrificação. Estima-se que aproximadamente 1,0% do nitrogênio aplicado como fertilizante nitrogenado é perdido como N₂O (IPCC, 2006). A Equação 5 e os fatores de emissões apresentados na Tabela 8 foram utilizadas para calcular as emissões de óxido nitroso proveniente do uso de fertilizantes sintéticos.

$$N_2O_{Fert} = N_{Fert} \cdot (1 - Frac_{Gasf}) \cdot FE \quad (5)$$

Em que, N_2O_{Fert} é a emissão de óxido nitroso associado à aplicação de fertilizantes nitrogenados sintéticos (Kg N₂O-N/kg de adubo aplicado); N_{Fert} é a quantidade de N aplicado como fertilizante nitrogenado (kg); $Frac_{Gasf}$ é a fração do N aplicado que volatiliza na forma de NH₃ e NO_x(%); FE é o fator de emissão (%).

Tabela 8 - Fatores de emissão da aplicação do fertilizante nitrogenado.

Parâmetro	Valor (%)
FE	0,3
$Frac_{Gasf}$	10

Fonte: IPCC (2007)

4.3.2 Aplicação do Calcário

A emissão de CO₂ na calagem foi calculada utilizando-se a Equação 6 e o fator de emissão igual a 0,13 kg CO_{2eq}, estabelecido pelo IPCC (2006).

$$CO_{2cal} = \left(\frac{44}{12} \cdot Q_{Cal} \cdot FE_{cal} \right) \quad (6)$$

Em que, CO_{2cal} é a emissão de CO₂ associada à aplicação de calcário no solo (kg CO₂); Q_{Cal} é a quantidade de calcário dolomítico (CaMg (CO₃)₂) aplicado em kg/ha; FE_{cal} é o fator de emissão (kg CO_{2eq}/kg calcário); (44/12) é o fator de conversão do carbono em gás carbônico.

4.3.3 Emissões do consumo de combustível

Para o cálculo das emissões associadas ao consumo de óleo diesel no ciclo de vida da soja utilizou-se a Equação 7 e os fatores de emissão apresentados na Tabela 9.

$$CO_{2Diesel} = (Q_{Diesel} \cdot FE_{Diesel}) \quad (7)$$

Em que, $CO_{2Diesel}$ é a emissão de CO_2 associada ao consumo de óleo diesel ($KgCO_{2eq}$); Q_{Diesel} é a quantidade de óleo diesel consumida (L); FE_{Diesel} é o fator de emissão do óleo diesel ($kg CO_{2eq}/L$).

Tabela 9 - Fatores de emissão do consumo do óleo diesel.

GEE	Fator de emissão (kg/L de diesel)
CO_2	2,68
CH_4	$3,00 \times 10^{-4}$
N_2O	$2,00 \times 10^{-5}$

Fonte: IPCC (2006).

4.3.4 Emissões oriundas da decomposição anaeróbica da palha da soja

As emissões de CH_4 da decomposição da palha foram estimadas por meio da Equação 8, na qual é definida pelo método de decaimento de 1° ordem estabelecido pelo IPCC (2006). A Tabela 10 representa os valores dos parâmetros aplicados na equação e os critérios utilizados para definição desses valores são demonstrados no Apêndice A.

$$BE_{CH_4,y} = GWP_{CH_4} \cdot \varphi \cdot (1 - OX) \cdot \frac{16}{12} \cdot F \cdot DOC_f \cdot MCF \cdot \sum_{x=1}^y \sum_j W_{j,x} DOC_j \cdot e^{-k_j \cdot (y-1)} \cdot (1 - e^{-k_j}) \quad (8)$$

Em que $BE_{CH_4,y}$ é a quantidade de emissões de metano da decomposição da biomassa pelo período y ($kg CO_{2eq}$), GWP_{CH_4} é o potencial de aquecimento global do

metano (34 kg CO₂/kg CH₄ estabelecido pelo IPCC), φ é o fator de correção devido as incertezas do modelo, OX é fator de oxidação do metano no local em que está disposto (-), F é a fração volumétrica de metano no gás gerado na decomposição (-), DOC_f é a fração do carbono orgânico degradável que se decompõe em condições anaeróbicas (-), MCF é fator de correção do metano para decomposição aeróbica (-), $W_{j,x}$ é a quantidade da biomassa j (kg), DOC_j corresponde a fração de carbono orgânico degradável (fração mássica) da biomassa j , k_j é a taxa de decaimento da biomassa j (1/ano), j corresponde ao tipo de resíduo/biomassa e y é o período para o qual as emissões de metano são calculadas (ano).

Tabela 10 - Parâmetros do modelo de emissões CH₄ para a palha da soja.

Parâmetro	Palha	Unidade
GWP_{CH_4}	34,00	Kg CO _{2eq} /Kg CH ₄
φ	0,90	-
OX	0	-
F	0,50	-
DOC_f	0,50	-
MCF	0,40	--
$W_{j,x}$	3,00 x 10 ⁶	Kg
DOC_j	0,49	-
k_j	0,03	1/ano
y	1	ano

Fonte: Autora (2018).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O somatório das emissões indiretas atingiu um valor total de $16,52 \times 10^{-2} \text{kg CO}_{2\text{eq}}/\text{kg}$ soja colhida, equivalentes da produção dos insumos utilizados e do transporte dos mesmos até a localidade de estudo, demonstrado na Tabela 11.

Sendo que o transporte dos insumos foi responsável pelo maior percentual de emissões, igual a 40,25%, seguida da produção dos herbicidas 30,27% devido ao elevado fator de emissão comparado com os outros insumos (Tabela 6); seguida da produção do fertilizante nitrogenado (9,63%), produção do fertilizante potássico (6,05%), produção do calcário (5,05%), produção do fertilizante fosfatado (4,45%) e, por último, da produção do diesel (4,30%).

Tabela 11 - Estimativa das emissões indiretas.

Etapa	Emissões (kg $\text{CO}_{2\text{eq}}/\text{kg}$ soja)	Percentual de emissões (%)
Calcário (produção)	$8,35 \times 10^{-3}$	5,05
N (produção)	$1,59 \times 10^{-2}$	9,63
P_2O_5 (produção)	$7,35 \times 10^{-3}$	4,45
K_2O (produção)	$1,00 \times 10^{-2}$	6,05
Herbicidas (produção)	$5,00 \times 10^{-2}$	30,27
Diesel (produção)	$7,11 \times 10^{-3}$	4,30
Transporte do calcário	$5,56 \times 10^{-3}$	3,36
Transporte do Fertilizante	$5,55 \times 10^{-2}$	33,57
Transporte do diesel	$5,49 \times 10^{-3}$	3,32
Total	$16,52 \times 10^{-2}$	-

Analisando os dados da Tabela 12, verifica-se que a contribuição total das emissões diretas corresponde a $56,48 \times 10^{-2} \text{kg CO}_{2\text{eq}}/\text{kg}$ soja colhida, sendo que 69,05% são provenientes da etapa de aplicação do calcário, seguido do consumo do diesel nos equipamentos agrícolas (11,24%), decomposição da biomassa (11,20%), transporte da soja (7,94%) e aplicação do fertilizante nitrogenado (0,57%).

Tabela 12 - Estimativa das emissões diretas.

Etapa	Emissões (kg CO _{2eq} /kg soja)	Percentual de emissões (%)
Consumo de diesel	$6,35 \times 10^{-2}$	11,24
Aplicação de calcário	$39,00 \times 10^{-2}$	69,05
Aplicação do fertilizante nitrogenado	$3,22 \times 10^{-3}$	0,57
Decomposição da biomassa	$6,33 \times 10^{-2}$	11,20
Transporte da soja	$4,48 \times 10^{-2}$	7,94
Total	$56,48 \times 10^{-2}$	-

A fim de identificar a etapa mais poluidora do ciclo de vida do cultivo da soja, as emissões foram analisadas por etapa, conforme apresentado na Tabela 13. A etapa de preparo do solo contribuiu para o maior percentual de emissões, isso está associado predominantemente as emissões oriundas da aplicação do calcário, insumo utilizado para corrigir a acidez do solo. Importante salientar que a aplicação do calcário depende da qualidade do solo, e não é utilizado necessariamente em todas as safras em quantidade informada na Tabela 4. A segunda fonte mais poluidora é a etapa de produção dos insumos, seguida do transporte dos insumos, decomposição da biomassa, transporte de soja, colheita e plantio. Somando todas as emissões de todas as etapas foi possível encontrar o indicador do potencial impacto do aquecimento global do ciclo de vida do cultivo da soja igual a 0,73kg CO_{2eq} por kg soja colhida, valor na mesma ordem de grandeza de outros trabalhos sobre ciclo de vida da soja encontrados na literatura 0,352 kg CO_{2eq} por kg de soja colhida (MACIEL et al., 2016), embora os escopos sejam diferentes.

Tabela 13 - Emissões em cada etapa do cultivo.

Etapa	Emissões (kg CO ₂ eq/kg soja)	Percentual de emissões (%)
Produção dos insumos	$9,87 \times 10^{-2}$	13,48
Transporte dos insumos	$6,65 \times 10^{-2}$	9,08
Preparo do solo	4×10^{-1}	54,77
Plantio	$2,49 \times 10^{-2}$	3,39
Colheita	4×10^{-2}	5,45
Decomposição da biomassa	$6,33 \times 10^{-2}$	8,65
Transporte da soja	$4,48 \times 10^{-2}$	6,11
Total	0,73	-

6. CONCLUSÕES

Um inventário dos principais insumos utilizados no cultivo da soja no sul do estado do Rio Grande do Sul foi desenvolvido com base em dados coletados in situ, o qual é uma importante contribuição deste trabalho. A partir dos resultados das emissões dos gases de efeito estufa, concluiu-se que o cultivo da soja contribui para o impacto de aquecimento global, com o valor igual a 0,73kg CO_{2eq}/kg soja. Na qual, as emissões diretas são responsáveis por 77,37% das emissões totais, sendo a aplicação do calcário (53,42%) a maior fonte de emissão. Seguida das emissões indiretas, na qual as principais fontes de emissão consistem na produção dos insumos (13,48%), especialmente dos herbicidas (6,85%) e, do transporte dos insumos até a localidade de estudo (9,08%). Desta forma, deve ser dada atenção especial a essas fontes e desenvolver ações para mitigar as suas emissões.

REFERÊNCIAS

ABIOVE – Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. Disponível em: < <http://www.abiove.org.br/site> > Acesso em: 04 de novembro de 2018.

ABNT - Associação Brasileira de Norma Técnicas. NBR ISO 14040:2009: Gestão ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009. 27 p.

ABNT - Associação Brasileira de Norma Técnicas. NBR ISO 14044:2009: - Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida - Requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009.

ANP - Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em: < <http://www.anp.gov.br/producao-de-biocombustiveis> > Acesso em: 04 de novembro de 2018.

BARBOSA, P. P.; DA SILVA, T. L.; GALASSI, C.; LUZ, S.; ANGELIS NETO, G. A. Análise dos Impactos Ambientais da Produção de blocos cerâmicos. 3º Simpósio de Pós Graduação em Engenharia Urbana. 2012.

BICKEL, U.; DROS J. M. **The Impacts of Soybean Cultivation on Brazilian Ecosystems**. Commissioned by the WWF Forest Conversion Initiative, 2003.

BRENTROP, F.; KUSTEUS, J.; KUHLMANN, H.; LAMMIL, J; **Application of the life cycle assessment methodology to agricultural production: na example of sugar beet production with different forms of nitrogen fertilizer**. European Journal of Agronomy, Duermen, 2001.

BUFFETT, H. G. 2012. **Conservation: Reaping the benefit sof no-tillage farming**. **Nature**. 2012.

CAMACHO, L.H.M. **Origen y características agronômicas de la soya**. Instituto Colombiano Agropecuario. Cali. Colombia. Cali, 1981.

CÂMARA, G.M.S. **Soja: tecnologia da produção**. Piracicaba, 2015.

CALIJURI, M. C.; CUNHA, D. G. F.; MOCCELLIN, J.; OLIVEIRA, M. J.; VECCHIA, F. A. S. Engenharia ambiental. Conceitos, Tecnologia e Gestão. Rio de Janeiro – RJ: Ed. Elsevier, 2013.

CARVALHO, P. T. **Balço de emissões de gases de efeito estufa de biodiesel produzido a partir de soja e dendê no Brasil**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2012.

CAVALETT, O. **Análise do Ciclo de Vida da Soja**. Tese de doutorado da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas. 2008.

CASTANHEIRA, E. G.; FREIRE, F. **Greenhouse gas assessment of soybean production: implication so fland use change and different cultivation systems**. Journal of Cleaner Production, 2013.

CHEHEBE, J.R.B. **Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro, 1998.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Indicadores da Agropecuária**, 2005. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/download/indicadores/pubindicadores.pdf>> Acesso em: 7 de maio de 2018.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Central de Informações Agropecuárias**, 2011. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb>> Acesso em: 07 de maio de 2018.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos**, 2018. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>> Acesso em: 07 de maio de 2018

CTNBio - Comissão Técnica Nacional de Biossegurança. Disponível em: <<http://ctnbio.mcti.gov.br>> Acesso em: 8 de novembro de 2018.

DOBBIE, K.E.; SMITH, K.A. **The effects of temperature, water-filled pore space and land use on N₂O emissions from an imperfectly drained gleysol.** European Journal of Soil Scienc, 2001.

DING, G. **Life Cycle Assessment (LCA) of sustainable building materials: an overview.** 2014.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **A soja no Brasil: História e estatística.** Londrina, PR, 1987.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1/dados-economicos>> Acesso em: 07 de maio de 2018.

ESTEVES, E.M. M ., **Análise do ciclo de vida do biodiesel de soja: O impacto do sistema de integração lavoura pecuária (SILP).**Dissertação de Mestrado, UFRJ, 2016.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Major Commodity Aggregates Now Available.** Disponível em: <<http://faostat.fao.org>> Acesso em: 07 de maio de 2018.

FAOSTAT-FAO. 2014. Disponível em <http://www.faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. Acesso em: 20 de outubro de 2018.

FERREIRA, H. **Aplicação da metodologia de avaliação do ciclo de vida na produção de polpa de concentrado de minério de ferro.** Dissertação de mestrado do Programa de PósGraduação em Sustentabilidade Sócioeconômica Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto, 2014.

FREITAS, R. E.; MENDONÇA, M. A. A. **Expansão Agrícola e a Participação da Soja: 20 anos.** Revista de Economia e Sociologia Rural. Brasília – DF, 2016.

GRILLO, I. B.; MACIEL, V.G.; ZORTEA, R. B.; SEFERIN, M. **Avaliação Estatística dos Inventários do ciclo de vida da produção de soja no Brasil.** 2016

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/default.shtm>> Acesso em: 10 de novembro de 2018.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, IGES.** Japão, 2006.

IPCC Report. 2006 **Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme.** Volume 5: Waste - chapter 3: solidwastedisposal. Institute for Global Environmental Strategies, Japan, 2006c.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Fourth Assessment Report: Climate Change.** 2007. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/en/spm.html> Acesso em: 07 de maio de 2018.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2014: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. The Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** 2014. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf> Acesso em: 29 de maio de 2018.

KALBUSCH, A. **Método para avaliação do impacto ambiental da substituição de equipamentos convencionais por equipamentos economizadores de água a partir da avaliação do ciclo de vida.** Dissertação de Mestrado do Programa de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

KROZER, J.; VID, J.C. **How to get LCA in the right direction?** Journal of cleaner production, 1998.

LIMA, A. M. F. **Avaliação do ciclo de vida no Brasil: Inserção e Perspectivas.** Dissertação (Mestre) - Departamento de Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007.

LIMA, D. S.; GODOY, M. R. B.; SILVA, G. A. **A avaliação do ciclo de vida na gestão ambiental.** Rio Claro, SP, 2010.

LYRA, D. G. P. **Modelo Integrado de Gestão da Qualidade do Ar da Região Metropolitana de Salvador.** Campinas –SP: Universidade Estadual de Campinas, 2008.

MACEDO, I. C.; SEABRA, J. E. A.; SILVA, J. E. A. R. **Green house gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020.** 2008.

MACIEL, V. G.; ZORTEA, R. B.; GRILLO, I. B.; UGAYA, C. M. L.; EINLOFT, S.; SEFERIN, M. **Greenhouse gases assessment of soybean cultivation steps in southern Brazil,** 2016.

MARZULLO, R.C.M. **Análise da Ecoeficiência dos Óleos Vegetais Oriundos da Soja e da Palma, Visando a Produção de Biodiesel.** Dissertação de M., Escola Politécnica, USP, São Paulo, SP, Brasil, 2007.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2012. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>> Acesso em 5 de novembro de 2018.

MIYASAKA, S.; MEDINA, J. C. **A soja no Brasil**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos. 1981.

MOURAD, A. L.; GARCIA, E. E. C.; VILHENA, A. **Avaliação do ciclo de vida: princípios e aplicações**. Campinas: CETEA/CEMPRE, 2002.

NOBRE, C.A. **Mudanças climáticas globais**, 2004.

NOGUEIRA, L. U. H.; SILVA LORA, E. E. e TROSSERO, M. A. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. Brasília: ANEEL, 2000.

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. Disponível em: <<http://www.oecd.org/brazil/>> Acesso em: 10 de novembro de 2018.

PATO, P. A. M. O. **Análise do Ciclo de Vida do Cimento.Caso de Estudo: Fábrica da Secil-Outão**. Dissertação de mestrado Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, 2015.

PRUDÊNCIO DA SILVA, V.; VAN DER WERF, H. M. G.; SPIES, A.; SOARES, S. R. **Variability in environmental impacts of Brazilian soybean according to crop production and transport scenarios**. Journal of Environmental Management, 2010.

RAUCCI, G. S.; MOREIRA, C. S.; ALVES, P. A.; MELLO, F. F. C.; FRAZAO, L. A.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C. 2015. **Greenhouse gas assessment of Brazilian soybean production: a case study of Mato Grosso State**. Journal of Cleaner Production, 2015.

ROESSING, A. C.; LAZZAROTTO, J.J. **Criação de empregos pelo complexo agroindustrial da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2004.

SAIC – Scientific Applications International. **Life Cycle Assessment: Principles And Practice**. Cincinnati: EPA, 2006.

SCHLESINGER, S., NORINHA, S. **O Brasil está nu! O avanço da monocultura de soja, o grão que cresceu demais**, 2006.

Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão. **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do sul**. Disponível em: <<https://atlassocioeconomico.rs.gov.br>> Acesso em: 10 de novembro de 2018.

UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change. **Approved consolidated baseline and monitoring methodology ACM0017: Production of biodiesel for use as fuel**.2010. Disponível em: <<http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAMethodologies/approved>> Acesso em junho de 2018.

USEPA - United States Environmental Protection Agency - US EPA **Life Cycle Assessment: Principles and Practice**. Disponível em: <<http://nepis.epa.gov>> Acesso em: 04 de novembro de 2018.

VALT, R. B. G. **Análise do ciclo de vida de embalagens PET, de alumínio e de vidro para refrigerantes no Brasil variando a taxa de reciclagem dos materiais**. Universidade Federal do Paraná, 2004.

VERNETTI, F. J. História e importância da soja no Brasil. Revista a Lavoura, Rio de Janeiro, 1977.

VENCATO, A. Z., et al. **Anuário Brasileiro da Soja 2010**. Santa Cruz do Sul: Ed. Gazeta Santa Cruz, 2010.

VIANA, M.M. **Inventário do Ciclo de Vida do Biodiesel Etilico do Óleo de Girassol**. Dissertação de M.Sc., Escola Politécnica, USP, São Paulo, SP, Brasil, 2008.

XIAO, J. et al. **Integrated analysis of energy, economic, and environmental performance of biomethanol from rice straw in China** Industrial & Engineering Chemistry Research, 2009.

YE, R. et al. **The effect of rice straw on the priming of soil organic matter and methane production in peat soils.** Soil Biology and Biochemistry, 2015.

APÊNDICE A – PARÂMETROS DO MODELO DE EMISSÕES DA DECOMPOSIÇÃO DA BIOMASSA

Para a escolha dos valores para estimar as emissões de CH₄, são definidos resumidamente os parâmetros da decomposição da biomassa, de acordo com o IPCC (2006c).

Fator de correção do modelo (φ)

Levando em conta as incertezas associadas ao modelo e a fim de estimar as emissões de forma conservadora, uma redução de 10% é aplicada ao modelo. Portanto, é utilizado um fator igual a 0,9.

Fator de oxidação (OX)

O presente fator reflete a oxidação do metano presente ainda no solo ou por outro material, por exemplo, se existe algum tipo de cobertura do local de eliminação da biomassa.

Tabela A. 1 - Fator de oxidação.

Fator de oxidação	Tipo de local
0	Local sem gerenciamento de resíduos
0,1	Locais de descarte de resíduos sólidos orgânicos que recebem cobertura com material oxidante, como solo ou composto

Fonte: IPCC (2006c)

No modelo foi utilizado o fator igual a zero para a biomassa.

Fração volumétrica do metano no gás (F)

Esse parâmetro representa a fração de carbono orgânico degradável que não se degrada ou se degrada muito lentamente em condições anaeróbicas no local de descarte do resíduo. O valor padrão recomendado pelo IPCC (2006) é 0,5.

Fração de carbono orgânico degradável em condições anaeróbicas (DOC_f)

O valor padrão recomendado pelo IPCC (2006c) é 0,5, visto que este parâmetro é a fração de carbono orgânico degradável que se decompõe em condições anaeróbicas.

Fator de correção de metano (*MCF*)

O fator de correção de metano (*MCF*) explica o fato de que os locais de descarte não gerenciados produzem menos metano a partir de uma determinada quantidade de resíduos do que os gerenciados, porque uma maior fração de lixo se decompõe aerobicamente nas camadas superiores.

Tabela A. 2 - Fator de correção de metano.

Fator	Tipo de local
1,0	Para locais em que ocorre gerenciamento dos resíduos sólidos orgânicos, incluindo controle de liberação de gases, controle do material de cobertura, compactação mecânica e nivelamento.
0,5	Para locais de eliminação de resíduos sólidos gerenciados parcialmente aeróbicos. Estes devem ter uma disposição controlada e incluir pelo menos as seguintes estruturas para a introdução de camadas de ar: (i) material de cobertura permeável; (ii) sistema de drenagem de lixiviação e (iii) controle da coleta de gases.
0,8	Para locais de descarte de resíduos sólidos orgânicos não gerenciados - profundos e/ou com altos níveis de água. Isso compreende todos os locais que não atendem aos critérios descritos acima e que têm profundidades superiores ou iguais a 5 metros e/ou a água ao nível próximo do solo.
0,4	Para locais de descarte de resíduos sólidos não gerenciados. Isso inclui todos os locais que não atendem aos critérios acima e que têm profundidades menores que 5 metros.

Fonte: IPCC (2006c)

No modelo foi utilizado o fator igual a 0,4 para a palha da soja.

Fração de carbono orgânico degradável (*DOC_j*)

Esse parâmetro está associado a fração de carbono orgânico degradável do resíduo sólido.

Tabela A. 3 - Fator de carbônico orgânico degradável.

Tipo de resíduo	Resíduo úmido (%)	Resíduo seco (%)
Madeira e produtos de madeira	43	50
Celulose, papel	40	44
Alimentos, desperdícios de alimentos, bebidas e tabaco (com exceção de lodo)	15	38
Têxteis	24	30
Desperdícios de jardim, quintal e parques	20	49
Vidro, plástico, metal, outros resíduos inertes	0	0

Se o resíduo não pode ser claramente atribuído a um dos tipos de resíduos na Tabela A.3, deve-se escolher aquele que possua característica semelhante e um fator que resulte em uma estimativa conservadora (baixas emissores), segundo o IPCC (2006).

Para utilização no modelo o fator escolhido o fator foi igual a 49% para a palha da soja, pois a mesma possui baixa umidade.

Taxa de decaimento (*k_j*)

A taxa de decaimento muda com o tipo de resíduo e com as condições climáticas, como temperatura média anual (TMA), precipitação média anual (PMA) e potencial de evapotranspiração médio anual (PET) da região.

Tabela A. 4 - Taxa de decaimento da decomposição do resíduo orgânico

Tipo de resíduo	Temperatura anual média ($\leq 20^{\circ}\text{C}$)		Tropical (TMA $>20^{\circ}\text{C}$)	
	Seco (PMA/PET <1)	Úmido (PMA/PET >1)	Seco (PMA < 1000 mm)	Úmido (PMA > 1000mm)
Polpa, papel, papelão (exceto lamas), têxteis	0,04	0,06	0,045	0,07
Madeira, produtos de madeira e palha	0,02	0,03	0,025	0,035
Moderadamente degradante, resíduos de jardim e parque putrescíveis orgânicos (não alimentares)	0,05	0,10	0,065	0,17
Rapidamente degradante, resíduos alimentares, lamas de esgoto, bebidas e tabaco	0,06	0,185	0,085	0,40

Fonte: IPCC (2006c)

A TMA da região do Rio Grande do Sul no qual está realizando-se o estudo é igual a $15,9^{\circ}\text{C}$; e a razão de PMA/PET é igual a 1,85 (WREGGE, 2012); desta forma, as taxas de decaimento escolhidas para aplicação no modelo para a biomassa foi de 0,03.

Período de cálculo das emissões (y)

O período para estimativa das emissões de CH_4 foi de 1 ano, porque os cenários para produção de metanol foram desenvolvidos com dados referentes ao período de um ano. Assim, a mitigação das emissões refere-se apenas este período.