



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Marina Weyl Costa

Biodiesel brasileiro: Avaliação de Ciclo de Vida sob as óticas ambiental e social

Florianópolis
2021

Marina Weyl Costa

Biodiesel brasileiro: Avaliação de Ciclo de Vida sob as óticas ambiental e social

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de doutora em engenharia mecânica.

Orientador: Prof. Amir Antônio Martins de Oliveira Júnior, Ph.D.

Florianópolis

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Costa, Marina Weyl

Biodiesel brasileiro: avaliação de ciclo de vida sob as
ópticas ambiental e social / Marina Weyl Costa ; orientador,
Amir Antônio Martins de Oliveira Junior, 2021.

182 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Mecânica, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Engenharia Mecânica. 2. Biocombustíveis. 3. Potencial
de Aquecimento Global. 4. Direitos de trabalhadores
rurais. 5. RenovaBio. I. Oliveira Junior, Amir Antônio
Martins de. II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. III. Título.

Marina Weyl Costa

Biodiesel brasileiro: Avaliação de Ciclo de Vida sob as óticas ambiental e social

O presente trabalho em nível de doutorado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Marcelo Risso Errera, Ph.D.
Universidade Federal do Paraná

Kátia Cilene Rodrigues Madruga, Dra.
Universidade Federal de Santa Catarina

Sebastião Roberto Soares, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Edson Bazzo, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de doutora em engenharia mecânica.

Prof. Paulo de Tarso Rocha de Mendonça,
Ph.D.
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação

Prof. Amir Antônio Martins de Oliveira
Júnior, Ph.D.
Orientador

Florianópolis, 2021.

Para minha família: mamãe, papai,
Dorinha (*in memoriam*), Lívia, David e Vivi.

AGRADECIMENTOS

Esta tese não existiria sem o apoio de muitas pessoas e instituições.

Primeiramente, gostaria de agradecer ao CNPq e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da UFSC, pela bolsa de estudos e outros recursos físicos necessários à realização do trabalho. Em seguida, ao meu orientador, prof. Dr. Amir Oliveira, por ter me dado total liberdade de pesquisa e por sua animação contagiante. Também aos membros da banca, por terem aceitado avaliar a tese e contribuir com suas críticas e sugestões; e ao IBGE, por disponibilizar publicamente bases de dados tão completas, sobre as quais a maior parte desta pesquisa foi construída. É com muita preocupação que observo a redução de verbas do instituto e a possibilidade de um apagão de dados a nossa frente.

No segundo bloco de agradecimentos, quero dizer muito obrigada aos coletivos que me fortaleceram durante o período do doutorado. Para começar, agradeço ao Coletivo Feminista Mulheres na Engenharia UFSC e a todas as mulheres maravilhosas que tive a honra e o prazer de conhecer por conta dele e do nosso grupo de estudos. Nossas leituras, discussões, eventos e trocas foram parte fundamental da minha formação durante estes 4 anos; e um lugar de segurança, risadas, acolhimento, desabafos e construção de sonhos. Eu poderia escrever páginas e páginas apenas citando todas vocês nominalmente e dizendo porque cada uma foi importante, mas em nome da concisão resolvi escolher três nomes representativos para agradecimentos especiais: Júlia, pelo afeto, pelo debate e engajamento político e por ter topado criar o grupo de estudos comigo; Pri, pelas indicações de livros e podcasts, por ser tão divertida, inspiradora e organizada e por sempre saber puxar o debate; e Ray, por trazer tanta teoria às discussões, por ter convencido a gente a escrever um artigo sobre o Coletivo, por ser uma excelente anfitriã e pelo seu coração gigantesco.

Em seguida, ainda no bloco dos coletivos que fortaleceram a alma, outro enorme muito obrigada ao Projeto de Educação Comunitária Integrar e todas as pessoas incríveis que o compõe. Aprendi imensamente na sala de aula e nas nossas formações e atividades; e me engajar com ações concretas foi fundamental para não perder o contato com a realidade ou sucumbir à desesperança num contexto de isolamento devido à pós-graduação e à pandemia. Fazer parte desse time me motiva a continuar na luta pela construção de uma educação mais questionadora, de uma universidade mais voltada aos interesses povo e de um mundo mais justo.

Tendo passado mais de um ano deste doutorado em casa por conta da pandemia, não posso deixar de agradecer também aos amigos a quem eu sabia que podia recorrer digitalmente - seja nos dias em que a pós-graduação estava mais difícil, seja para dividir as vitórias. Em especial, mas não apenas, agradeço à Nat P., por seus ouvidos sempre gentis - adoro nossos áudios longos! - ; à Le e nossas indagações

compartilhadas; ao Bruno e as fotos da Cissa; a Nat T., Bueno e Anderson e nossas videochamadas.

Por fim, e também mais importante, gostaria de agradecer àqueles que me apoiaram em todos os momentos desta jornada: mamãe, papai e Lívia, que, mesmo fisicamente longe, sempre se fizeram presentes, sendo meu sustentáculo e nutrindo meu coração como boas raízes; Dorinha, que cuidou de mim desde sempre e foi para outro plano antes de me ver virar doutora; Vivi, com sua presença constante e tranquilizadora e motivação para passeios; e David, meu companheiro de vida, que de tanto me ouvir falar deste trabalho já deve saber tanto sobre ele quanto eu própria e que me deu o suporte emocional e físico do cotidiano e dos sonhos de futuro.

Muito obrigada.

Infelizmente, a preocupação com as origens e as prioridades em ciência ou com as políticas públicas raramente adaptam-se comodamente à ciência de laboratório em tempo integral. Outras mulheres bem sucedidas saem porque ficam insatisfeitas com as implicações sociais de suas pesquisas.

(SCHIBINGER, Londa *in*: "O feminismo mudou a ciência?", 2001)

RESUMO

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de biodiesel. O principal interesse na utilização deste combustível é reduzir a emissão de gases geradores de efeito estufa. No Brasil, existem tanto políticas públicas voltadas para o aspecto ambiental quanto para o aspecto social da produção de biodiesel. O objetivo deste trabalho é utilizar a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) para mensurar os impactos ambientais (focando no Potencial de Aquecimento Global); e sociais (focando nos direitos trabalhistas) do biodiesel produzido no Brasil a partir de soja e sebo bovino. O trabalho está dividido em duas etapas: ACV ambiental (ACV-A) e ACV social (ACV-S). Na ACV-A, foi avaliado o Potencial de Aquecimento Global em 100 anos, segundo a metodologia do Intergovernmental Panel on Climate Change. Foram utilizados dados do Censo Agropecuário (2006-2019), da Agência Nacional de Petróleo e da base de dados Ecoinvent 3.7.1. A unidade funcional foi MJ de biodiesel, e a alocação foi feita por massa e energia. Seis processos foram avaliados para cada matéria-prima: mudança do uso da terra, agricultura, transporte de soja, extração de óleo, refino e transesterificação (para soja); e mudança de uso da terra, pecuária, transporte para o abate, abate, transporte do sebo e transesterificação (para sebo). Para a ACV-S, um método próprio foi proposto baseado no Subcategory Assessment Method. Um código na linguagem de programação R foi desenvolvido para processar dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (2015-2019). A parte interessada avaliada foram os trabalhadores, e os impactos avaliados foram liberdade de associação e acordos trabalhistas, horas trabalhadas, trabalho forçado, igualdade de oportunidades e salário justo. Como resultado, observou-se que em todas as regiões e métodos de alocação utilizados, as emissões do biodiesel de soja foram da mesma ordem de grandeza da intensidade de carbono do diesel fóssil. As emissões encontradas para o biodiesel de sebo bovino foram várias vezes superiores às encontradas para o biodiesel de soja e, em todas as regiões e independente do método de alocação utilizado, superiores à intensidade de carbono do diesel. Os processos rurais (mudança de uso da terra e agricultura/criação de gado) apresentaram maior intensidade de carbono, e a região Norte apresentou as maiores emissões. A avaliação de impactos sociais revelou que tanto na criação de gado quanto no cultivo de soja existem trabalhadores que não têm seus direitos básicos atendidos. Em comparação com os trabalhadores da criação de gado, os trabalhadores do cultivo de soja possuem maior liberdade de associação e menor incidência de trabalho forçado. Não houve diferença significativa na subcategoria horas trabalhadas. Por fim, a criação de gado obteve nota superior à soja no quesito igualdade de oportunidades, o que deve ser encarado com cautela porque mostra que mais mulheres e pessoas negras estão incluídas em um tipo de trabalho que tem outros indicadores sociais piores. A análise de disparidades regionais revelou que os trabalhadores dos estados do Norte e Nordeste possuem menores índices de associação à cooperativas e, no caso da criação de gado, possuem mais frequentemente salários abaixo do mínimo.

Palavras-chave: Biocombustíveis. Potencial de aquecimento global. Direitos de trabalhadores rurais. RenovaBio.

ABSTRACT

Brazil is the world's second-largest producer of biodiesel. The reduction of greenhouse gases emissions is the main interest of the use of this fuel. In Brazil, there are both public policies focused on the environmental aspect and the social aspect of biodiesel production. This work evaluates the environmental and social impacts of Brazilian biodiesel. The environmental aspect analyzed is Global Warming Potential (GWP). The social aspect evaluated is field worker's rights. Two feedstocks were evaluated: soybean and beef tallow. The thesis is divided into environmental LCA (E-LCA) and social LCA (S-LCA). In E-LCA, the Global Warming Potential in 100 years was evaluated, according to the Intergovernmental Panel on Climate Change. Data from the Agricultural Census (2006-2019), the National Petroleum Agency and the Ecoinvent 3.7.1 database were used. The functional unit was MJ of biodiesel, and the allocation was made by mass and energy. Six processes were evaluated for each feedstock. Soybean biodiesel E-LCA evaluated land-use change, agriculture, soybean transportation, oil extraction, refining and transesterification. Beef tallow biodiesel E-LCA evaluated land-use change, cattle farming, transport to slaughter, slaughter, transport of tallow and transesterification. Equations were proposed and an R code was developed to perform the S-LCA. It was based on the Subcategory Assessment Method. The stakeholders assessed were workers. The impacts assessed were freedom of association and collective bargaining, working hours, forced labor, equal opportunities/discrimination, and fair salary. In all regions and allocation methods used, emissions of soybean biodiesel were lower than the ones of fossil diesel. The emissions of beef tallow biodiesel emissions were several times higher than the emissions of soybean biodiesel. Beef tallow biodiesel had higher carbon intensity than fossil diesel in all regions and regardless of the allocation method used. Rural processes (land-use change and agriculture /cattle farming) were those with the highest carbon intensity. The North region had the highest emissions for both feedstocks evaluated. The S-LCA revealed the existence of workers who do not have their fundamental rights met in cattle raising and soybean cultivation. Compared with livestock workers, soybean workers have greater freedom of association and a lower incidence of forced labor and unfair salary. There were no significant difference in the working hours subcategory. Finally, livestock scored higher than soybeans in terms of equal opportunities, but it shows that more women and black people are included in a type of work with other worse social indicators. The analysis of regional disparities revealed that workers in the North and Northeast states have lower association rates with cooperatives. Livestock workers of those regions earn salaries below the minimum wage more often.

Keywords: Biofuels. Global Warming Potential. Field workers' rights. RenovaBio.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matérias-primas utilizadas para produção de biodiesel e regiões onde o biodiesel era produzido × Quantidade de artigos avaliados - ACV-A	32
Figura 2 – Unidades funcionais usadas nos artigos avaliados.	34
Figura 3 – Fronteiras das ACVs de biodiesel de soja.	35
Figura 4 – Fronteiras das ACVs de biodiesel de algas.	36
Figura 5 – Fronteiras das ACVs de biodiesel de sebo bovino.	36
Figura 6 – Fronteiras das ACVs de biodiesel de óleo de palma.	36
Figura 7 – Fronteiras das ACVs de biodiesel de óleo de macaúba.	37
Figura 8 – Tipos de alocação feitas pelas ACVs avaliados.	37
Figura 9 – Impactos avaliados pelas ACVs.	38
Figura 10 – Matérias-primas utilizadas para produção de biodiesel e regiões onde o biodiesel era produzido × Quantidade de artigos avaliados - ACV-S	51
Figura 11 – Emissões de CO ₂ eq geradas na produção de biodiesel de soja e sebo bovino no Brasil.	102
Figura 12 – Diferença entre emissões devido a MUT observadas em [1] este trabalho e [2] Castanheira <i>et al.</i> (2015) (gCO ₂ eq/MJ de biodiesel)	104
Figura 13 – Comparação entre emissões do processo agricultura observados neste estudo e na literatura (gCO ₂ eq/MJ de biodiesel)	106
Figura 14 – Emissões devido a transporte de soja, extração de óleo, refino e transesterificação (gCO ₂ eq/MJ de biodiesel).	108
Figura 15 – Emissões devido a transporte para o abate, abate, transporte de sebo e transesterificação (gCO ₂ eq/MJ de biodiesel).	111
Figura 16 – Pessoas envolvidas com o cultivo de soja e com a criação de gado entre 2015 e 2019 no Brasil	112
Figura 17 – Comparação entre as notas obtidas pelas matérias-primas nas subcategorias de ACV-S avaliadas	113
Figura 18 – Notas médias para a produção de soja e gado no Brasil	114
Figura 19 – Notas médias para S ₁ : liberdade de associação e negociação trabalhista	114
Figura 20 – Notas para S ₂ : Horas trabalhadas	115
Figura 21 – Notas para S ₃ : Trabalho forçado	115
Figura 22 – Notas para S ₄ : Igualdade de oportunidades/ discriminação	116
Figura 23 – Notas para S ₅ : Salário Justo	116
Figura 24 – Frequência relativa de pessoas em cada atividade.	117
Figura 25 – Notas obtidas para as subcategorias 2 e 5 divididas por raça e sexo	118

Figura 26 – Notas obtidas por estado nas subcategorias S_2 e S_5 para criação de gado separadas por raça e sexo, incluindo trabalhadores(as) familiares não remunerados	119
Figura 27 – Notas obtidas por estado nas subcategorias S_2 e S_5 para cultivo de soja separadas por raça e sexo	120
Figura 28 – Massa de óleo de soja e sebo bovino utilizados para produção de biodiesel no Brasil em 2019: Formato da tabela fornecida pela ANP	155
Figura 29 – Formato de tabela excel do SIDRA	155
Figura 30 – Formato dos dados da PNADC	155
Figura 31 – Formato do dicionário da PNADC	156
Figura 32 – Formato dos dados apresentados na Lista Suja do Trabalho Escravo	156

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Partes interessadas e subcategorias avaliadas em ACV-S.	46
Quadro 2 – Definições das partes interessadas avaliadas em ACV-S.	47
Quadro 3 – Subcategorias avaliadas	47
Quadro 4 – Estados e regiões avaliados na produção de biodiesel de soja. . .	67
Quadro 5 – Valores de C_{veg} utilizados para calcular emissões devido a MUT. .	69
Quadro 6 – Valores de SOC_{ST} utilizados para calcular emissões devido a MUT.	69
Quadro 7 – Valores de F_{LU} , F_{MG} e F_i (adimensionais) utilizados para calcular emissões devido a MUT.	70
Quadro 8 – Valores de CS_{LU} utilizados para calcular emissões devido a MUT em áreas que originalmente eram florestas naturais.	71
Quadro 9 – Estados e regiões avaliados na produção de biodiesel de sebo bovino.	77
Quadro 10 – Fator de emissão $EF_{So,Prod}$ (gCH ₄ /kg VS) para emissões diretas de CH ₄ em sistema produtivo <i>Prod</i> sofrendo manejo <i>So</i>	81
Quadro 11 – Subcategorias, divisões geográficas e desigualdades avaliadas em ACV-S.	84
Quadro 12 – Estados avaliados na ACV-S.	84
Quadro 13 – Classificação dos artigos de ACV-A avaliados na revisão	143
Quadro 14 – Impactos avaliados pelos ACVs.	150
Quadro 15 – Lista de artigos que abordam aspectos sociais da produção de biodiesel no Brasil.	153

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais gorduras utilizadas na produção de biodiesel no Brasil, separadas por região onde a usina se localiza	22
Tabela 2 – Valores utilizados para converter os resultados dos estudos em gCO ₂ eq/MJ de biodiesel	31
Tabela 3 – Potencial de aquecimento global em 100 anos das ACVs de biodiesel de soja avaliados (gCO ₂ eq/MJ de biodiesel)	40
Tabela 4 – Potencial de aquecimento global em 100 anos das ACVs de biodiesel de sebo bovino avaliados (gCO ₂ eq/MJ de biodiesel)	42
Tabela 5 – Potencial de aquecimento global em 100 anos da ACV de biodiesel de algodão avaliados (gCO ₂ eq/MJ de biodiesel)	43
Tabela 6 – Potencial de aquecimento global em 100 anos da ACV de biodiesel de óleo usado avaliado (gCO ₂ eq/MJ de biodiesel)	43
Tabela 7 – Fatores de alocação utilizados para o biodiesel de soja	67
Tabela 8 – Massa e energia dos co-produtos do abate	78
Tabela 9 – Massa e energia dos co-produtos da transesterificação	78
Tabela 10 – Fatores de alocação utilizados para o biodiesel de sebo bovino	78
Tabela 11 – Inventário: mudança de uso da terra entre 2006 e 2017 para cultura de soja no Brasil	92
Tabela 12 – Inventário: Cultivo de soja na região Norte	93
Tabela 13 – Inventário: Cultivo de soja na região Centro-Oeste	94
Tabela 14 – Inventário: Cultivo de soja na região Sudeste	94
Tabela 15 – Inventário: Cultivo de soja na região Sul	95
Tabela 16 – Inventário: Transporte de soja para a produção de biodiesel no Brasil	96
Tabela 17 – Inventário: Extração de óleo de soja para a produção de biodiesel no Brasil	96
Tabela 18 – Inventário: Refino do óleo de soja para a produção de biodiesel no Brasil	97
Tabela 19 – Inventário: Transesterificação de biodiesel de soja no Brasil	97
Tabela 20 – Inventário: mudança de uso da terra entre 2006 e 2017 para criação de gado no Brasil	98
Tabela 21 – Inventário: criação de gado no Brasil	99
Tabela 22 – Inventário: Transporte para o abate - quantidade necessária para a produção atual de biodiesel de sebo bovino no Brasil	100
Tabela 23 – Inventário: Abate de gado no Brasil	100
Tabela 24 – Inventário: Transporte de sebo bovino para a produção de biodiesel	101

Tabela 25 – Inventário: Transesterificação de biodiesel feito de sebo bovino no Brasil	101
Tabela 26 – Emissões de gCO ₂ eq geradas pela mudança de uso da terra para cultivo de soja para produção de biodiesel no Brasil (resultados alocados por tempo de rotação com outra cultura)	105
Tabela 27 – Emissões (gCO ₂ eq/MJ de biodiesel) geradas pela agricultura de soja para produção de biodiesel no Brasil	107
Tabela 28 – Emissões de gCO ₂ eq geradas pela mudança de uso da terra para criação de gado	109
Tabela 29 – Emissões de gCO ₂ eq geradas pela criação de gado	110
Tabela 30 – Notas encontradas no ACV-S do cultivo de soja.	181
Tabela 31 – Notas encontradas no ACV-S da criação de gado	182

LISTA DE SIGLAS

AC	Acre
ACV	Avaliação de Ciclo de Vida
ACV-A	Avaliação de Ciclo de Vida Ambiental
ACV-S	Avaliação de Ciclo de Vida Social
AM	Amazonas
ANP	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
APOS	Alocação no ponto de substituição
BA	Bahia
CBIO	Crédito de descarbonização do RenovaBio
CE	Ceará
ES	Espírito Santo
GO	Goiás
GEE	Gases geradores de efeito estufa
GWP 100y	Global Warming Potential 100 years
IBGE	Instituto Brasileiro de Pesquisa e Estatística
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MA	Maranhão
MG	Minas Gerais
MS	Mato Grosso do Sul
MT	Mato Grosso
MUT	Mudança de Uso da Terra
OIT	Organização Internacional do Trabalho
PA	Pará
PB	Paraíba
PE	Pernambuco
PI	Piauí
PNADC	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua
PNPB	Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PR	Paraná
PROCONVE	Programa de Controle de Emissões Veiculares
SAM	Subcategory Assessment Method
SC	Santa Catarina
SCS	Selo de combustível social
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
SP	São Paulo
RJ	Rio de Janeiro
RO	Rondônia
RS	Rio Grande do Sul
UE	União Europeia

LISTA DE SÍMBOLOS

AG_{DM}	Massa de matéria seca sobre o solo
AGR	Massa de resíduos sobre o solo
$\Delta Area_{fn}$	Variação na área de florestas naturais
$\Delta Area_{LU}$	Variação na área no uso LU
$\Delta Area_{pb}$	Variação na área de pastos plantados em bom estado
$\Delta Area_{pd}$	Variação na área de pastos degradados
$\Delta Area_{pn}$	Variação na área de pastos naturais
$\Delta Area_s$	Variação na área do cultivo de soja
$AWMS_{S,Prod}$	Fração do estrume que sofre manejo do tipo S no sistema produtivo $Prod$
$AWMS_{PRP}$	Fração do estrume depositada do solo
BGR	Massa de resíduos sob o solo
c	Dado da PNADC
C	Carbono
$C_{biodiesel,PR}$	total de cabeças de gado necessárias para suprir a produção de biodiesel de sebo bovino no Paraná
$C_{biodiesel,RS}$	total de cabeças de gado necessárias para suprir a produção de biodiesel de sebo bovino no Rio Grande do Sul
C_{PR}	total de cabeças de gado no Paraná
C_{SC}	total de cabeças de gado em Santa Catarina
C_{RS}	total de cabeças de gado no Rio Grande do Sul
CH_4	Metano
CH_{4mm}	emissões de metano devido ao manejo da terra
CO_2eq	Gás carbônico equivalente
CS	Estoque de Carbono
C_{veg}	Carbono da vegetação sobre e abaixo do solo
D	Dependência em relação ao tempo dos fatores de mudança de estoque de carbono mineral do solo
D_i	Diferença entre a frequência relativa de raças e sexo na população local e nas atividades
$Dist_{med,estado}$	Distância média ponderada para o estado entre as cidades produtoras de soja ou gado e as usinas produtoras de biodiesel
$Dist_{med,usina}$	Distância média ponderada entre as cidades produtoras de soja ou gado e a usina produtora de biodiesel
DRY	Fração seca da massa de matéria colhida
E_c	Erro de extrapolação de dados da PNADC
E_{gas}	Emissão de cada gás gerador de efeito estufa
E_P	Erro da frequência relativa
E_{PR}	Emissões do Paraná
E_S	Erro da subcategoria
E_{SC}	Emissões de Santa Catarina
$E_{reg,transp}$	Emissões regionais devido ao transporte
E_{RS}	Emissões do Rio Grande do Sul
E_{sul}	Emissões da região Sul
EF_1	Fator de emissão de N_2O por adição de nitrogênio

$EF_{3,S}$	Fator de emissão para emissões diretas de nitrogênio por manejo de esterco
$EF_{3,PRP}$	Fator de emissão para N_2O depositado no solo devido a fezes e urina
EF_{CO_2}	Fator de emissão do CO_2
EF_{gas}	Fator de emissão para cada gás gerador de efeito estufa
EF_{Prod}	Fator de emissão para a população de animais de corte em dado sistema produtivo
$EF_{S,Prod}$	Fator de emissão direta de metano para dado método de manejo de estrume e sistema produtivo
E_T	Emissão de metano por fermentação entérica
F_{CR}	Massa de nitrogênio dos resíduos da colheita no solo
F_i	Fator ligado ao carbono adicionado ao solo
F_{LU}	Fator para o uso da terra
F_{MG}	Fator para o manejo do solo
F_{ON}	Massa de fertilizante orgânico adicionado ao solo
F_{PRP}	Quantidade de Nitrogênio depositado no solo devido a urina e fezes de animais
F_{race}	Fator de correção para raça
F_{sex}	Fator de correção para sexo
F_{SN}	Massa de fertilizante inorgânico adicionado ao solo
F_{SOM}	Quantidade anual de nitrogênio que é mineralizada devido a mudança no uso da terra
$Frac_{Renew}$	Fração da área renovada anualmente
h_{week}	Horas trabalhadas por semana
ha	Hectare
m_h	Número de unidades primárias de amostragem no local analisado
$M_{s,biodiesel}$	Massa de soja necessária para produzir 1 MJ de biodiesel
N	Nitrogênio
N_2O	Óxido Nitroso
$N_2O - N$	Emissões diretas de nitrogênio
$N_2O - N_{N_i,inputs}$	Nitrogênio adicionado ao solo
$N_2O - N_{OS}$	Nitrogênio devido ao manejo do solo
$N_2O - N_{PRP}$	Nitrogênio devido a dejetos de animais para áreas de pasto
N_{AG}	Conteúdo de nitrogênio na matéria sobre o solo
N_{BG}	Conteúdo de nitrogênio na matéria sob o solo
N_{cdg}	Adição anual de nitrogênio via co-digestão anaeróbica
N_{Prod}	Número de animais de dada espécie em dado sistema produtivo
$N_{rate,Prod}$	Taxa de excreção de nitrogênio
N_{exProd}	Excreção média de nitrogênio por cabeça em dado sistema produtivo
P	Frequência relativa
$P_{\leq 44h}$	Frequência relativa de trabalhadores que trabalham menos de 44h por semana
$P_{44hto48h}$	Frequência relativa de trabalhadores que trabalham entre 44h e 48h por semana
$P_{>48h}$	Frequência relativa de trabalhadores que trabalham mais de 48h por semana
$P_{<min}$	Frequência relativa de trabalhadores que ganham menos que o salário mínimo por hora

P_{min}	Frequência relativa de trabalhadores que ganham o salário mínimo por hora ou mais
$P_{activity}$	Frequência relativa de pessoas trabalhando na atividade
P_{local}	Frequência relativa na comunidade local
$P_{local,female}$	Frequência relativa de mulheres na comunidade local
$P_{local,male}$	Frequência relativa de homens na comunidade local
$P_{local,other}$	Frequência relativa de pessoas não brancas na comunidade local
$P_{local,white}$	Frequência relativa de pessoas brancas na comunidade local
$P_{mp,biodiesel,reg}$	Produção de biodiesel de determinada matéria prima (soja ou sebo bovino) na região
$P_{mp,biodiesel,usina}$	Produção de biodiesel de determinada matéria prima (soja ou sebo bovino) na usina
$P_{mp,cidade}$	Produção de matéria prima (soja ou gado) da cidade
P_{no}	Frequência relativa de estabelecimentos não associados a cooperativas
P_{yes}	Frequência relativa de estabelecimentos associados a cooperativas
$Prod$	Sistema produtivo (criação de gado)
R	Razão C:N da matéria orgânica do solo
R_{sul}	Fator de ponderação da região Sul
R_{AG}	Razão entre os resíduos e os rendimentos da colheita
RS	Proporção entre a biomassa sob o solo e sobre o solo
S	Nota de subcategoria
S_1	Subcategoria 1: Liberdade de associação e negociação trabalhista
S_2	Subcategoria 2: Horas trabalhadas
S_3	Subcategoria 3: Trabalho forçado
S_4	Subcategoria 4: Igualdade de oportunidades/discriminação
S_5	Subcategoria 5: Salário Justo
So	Tipo de manejo do solo
SOC	Carbono orgânico do solo
SOC_{ST}	Valor padrão para o carbono na camada superior do solo
TAM_p	Massa média dos animais em todas as fases da vida em dado sistema produtivo
VS_{Prod}	Excreção anual de um animal em dado sistema produtivo
$VS_{rate,Prod}$	Excreção dada em kg de excreção/(kg animal × dia)
W_{hour}	Valor ganho por hora (R\$)
W_{month}	Valor ganho por mês (R\$)
Z_{hi}	Ponderação trimestral com correção de não entrevista com pós-estratificação por projeção populacional

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	22
1.1	OBJETIVOS	24
1.2	TESE DEFENDIDA E PRINCIPAIS HIPÓTESES ADOTADAS	25
1.3	CONTRIBUIÇÕES ORIGINAIS	25
1.4	ESTRUTURA DA TESE	27
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
2.1	LITERATURA SOBRE AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA AMBIENTAL DE BIODIESEL BRASILEIRO	29
2.1.1	Crériterios de pesquisa e classificação de artigos	29
2.1.2	Classificação de artigos	31
2.1.2.1	Definição de escopo e objetivo	32
2.1.2.2	Análise de inventário	33
2.1.2.3	Avaliação de impacto	37
2.1.3	Comparação entre potencial de aquecimento global	39
2.2	EMISSÕES DE CO ₂ EQ DE DIESEL DE ORIGEM FÓSSIL	43
2.3	LITERATURA SOBRE IMPACTOS SOCIAIS DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL NO BRASIL	44
2.3.1	Crériterios de pesquisa	45
2.3.2	Definição de partes interessadas e subcategorias	45
2.3.3	Artigos encontrados	51
2.3.4	Lista de impactos relatados na literatura classificados por subcategorias de ACV-S	52
2.3.4.1	Parte interessada: Trabalhadores	52
2.3.4.2	Parte interessada: Comunidade local	55
2.3.4.3	Parte interessada: Sociedade	59
2.3.4.4	Parte interessada: Atores da Cadeia de valor	61
2.3.5	Considerações sobre os impactos relatados pelos artigos	62
2.4	LACUNAS DO CONHECIMENTO ABORDADAS NESTA TESE	63
3	MÉTODOS	65
3.1	AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA AMBIENTAL	65
3.1.1	Biodiesel de soja	65
3.1.1.1	Mudança de Uso da Terra	67
3.1.1.2	Agricultura	73
3.1.1.3	Transporte de soja	75
3.1.1.4	Extração, Refino e Transesterificação	76
3.1.2	Biodiesel de sebo bovino	76
3.1.2.1	Mudança de Uso da Terra	78

3.1.2.2	Criação de gado	79
3.1.2.3	Transporte de animais para abate	82
3.1.2.4	Abate	83
3.1.2.5	Transporte de sebo	83
3.1.2.6	Transesterificação	83
3.2	AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA SOCIAL	83
3.2.1	Definição de escopo e objetivo	84
3.2.2	Análise de inventário	85
3.2.3	Avaliação de impacto	86
3.2.3.1	S ₁ : Liberdade de associação e negociação trabalhista	87
3.2.3.2	S ₂ : Horas trabalhadas	87
3.2.3.3	S ₃ : Trabalho forçado	88
3.2.3.4	S ₄ : Igualdade de oportunidades/discriminação	88
3.2.3.5	S ₅ : Salário justo	89
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	91
4.1	AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA AMBIENTAL	91
4.1.1	Inventários	91
4.1.1.1	Biodiesel de soja	91
4.1.1.2	Biodiesel de sebo bovino	97
4.1.2	Potencial de aquecimento global	102
4.1.2.1	Comparação entre matéria primas	102
4.1.2.2	Emissões devido a mudança de uso da terra para cultivo de soja	104
4.1.2.3	Emissões devido à agricultura	106
4.1.2.4	Emissões devido ao transporte de soja, extração de óleo, refino e transesterificação	107
4.1.2.5	Emissões devido a mudança de uso da terra para criação de gado	109
4.1.2.6	Emissões devido a criação de gado	110
4.1.2.7	Emissões devido a transporte, abate e transesterificação	111
4.2	AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA SOCIAL	112
5	CONCLUSÃO	121
	REFERÊNCIAS	124
	APÊNDICE A – ARTIGOS DE ACV-A ENCONTRADOS NA REVISÃO	143
	APÊNDICE B – ARTIGOS ENCONTRADOS NA REVISÃO QUE ABORDAM ASPECTOS SOCIAIS DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL NO BRASIL	153
	APÊNDICE C – FORMATO DOS DADOS DE ENTRADA UTILIZADOS	155
	APÊNDICE D – CÓDIGO EM R USADO PARA A ACV-S	157

APÊNDICE E – NOTAS ENCONTRADAS NAS SUBCATEGORIAS DE ACV-S	181
--	------------

1 INTRODUÇÃO

Devido a preocupações com segurança energética, poluição ambiental e mudanças climáticas, o uso mundial de biodiesel aumentou quase nove vezes entre 2005 a 2018. O Brasil é o segundo maior produtor de biodiesel (MURDOCK *et al.*, 2019). Desde 2002, esse combustível é adicionada ao diesel rodoviário no país. A percentagem começou em 2% (EPE, 2019), chegou a 13% e atualmente está em 10%, tendo sua redução justificada pelo aumento do preço do óleo de soja no mercado internacional (VILELA, 2021).

O óleo de soja é a principal gordura usada para produção de biodiesel no Brasil, seguida pelo sebo bovino. A maior parte do biodiesel brasileiro é produzido nas regiões Centro-Oeste e Sul (ANP, 2019). A Tabela 1 apresenta as matérias-primas utilizadas para produção do biodiesel em 2019.

Tabela 1 – Principais gorduras utilizadas na produção de biodiesel no Brasil, separadas por região onde a usina se localiza

Região	Óleo de soja	Sebo bovino	Óleo de algodão	Outros materiais graxos ⁽¹⁾	Óleo usado	Gordura de porco	Gordura de frango	Óleo de palma	Óleo de milho	Óleo de colza	Total da região
N	74,56%	18,93%	0,83%	3,53%	0,00%	0,00%	0,00%	2,15%	0,00%	0,00%	1,84%
NE	34,27%	26,19%	3,37%	17,09%	0,27%	0,00%	0,00%	18,81%	0,00%	0,00%	7,70%
CO	76,02%	5,29%	1,56%	11,94%	0,06%	0,20%	0,23%	0,89%	3,81%	0,00%	41,36%
SE	23,02%	30,60%	1,15%	9,35%	16,75%	13,04%	3,64%	2,05%	0,40%	0,00%	8,47%
S	75,61%	10,73%	0,18%	10,68%	0,28%	1,93%	0,44%	0,00%	0,02%	0,13%	40,64%
BR	68,12%	11,51%	1,09%	11,45%	1,58%	1,97%	0,58%	2,03%	1,62%	0,05%	100%

Fonte: Elaborada pela autora usando dados da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2019).

Legenda: N = Norte; NE = Nordeste; CO = Centro-Oeste; SE = Sudeste; S= Sul, BR = Brasil.

Observação: ⁽¹⁾ Mistura de ácidos graxos não identificados.

A adição de biodiesel ao diesel rodoviário foi estabelecida pelo Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) (STATTMAN; MOL, 2014). Os objetivos do PNPB são: promover a inclusão da agricultura familiar na cadeia produtiva, de modo a tornar o programa sustentável; garantir suprimentos de qualidade para a cadeia de biodiesel a preços mínimos; e fortalecer potencialidades regionais, produzindo biodiesel a partir de diferentes matérias-primas (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E DESENVOLVIMENTO, 2019). Com o PNPB, o Brasil foi o primeiro país a criar uma política de incentivo ao biodiesel que, além de aumentar o uso deste biocombustível, também visava promover a inclusão social (STATTMAN; MOL, 2014). O PNPB instituiu

o Selo Combustível Social (SCS), que oferece benefícios financeiros aos produtores de biodiesel que atendam a determinados requisitos: devem adquirir percentuais mínimos de matéria-prima de agricultores familiares, e prestar assistência técnica a esses agricultores. Ao obter o Selo, os produtores de biodiesel ganham incentivos fiscais, acesso a serviços financeiros e prioridade na comercialização de seus combustíveis. Pequenos agricultores também podem requisitar incentivos fiscais (DE OLIVEIRA *et al.*, 2019).

Outra política pública que visa o aumento da participação de biodiesel (e outros biocombustíveis) na matriz energética brasileira é o RenovaBio (PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2017). Criado em 2017 para contribuir com o cumprimento dos compromissos de redução de gases geradores do efeito estufa (GEE) assinados pelo país no Acordo de Paris (ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS, 2015), o RenovaBio tem entre seus objetivos o estabelecimento de metas de descarbonização para os combustíveis no Brasil. As metas nacionais são transferidas às distribuidoras de combustíveis na forma de metas individuais compulsórias, que devem ser atendidas pela mitigação das emissões geradas pelos combustíveis fósseis através da compra de créditos de descarbonização (CBIOS) (ANP, 2020). Empresas produtoras de biocombustíveis podem obter certificações para emitir CBIOS. Para isso, elas devem fornecer dados do seu sistema produtivo à RenovaCalc, a calculadora de Avaliação de Ciclo de Vida do Renovabio (MATSUURA *et al.*, 2018).

A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta utilizada para avaliar os impactos de determinado produto ou processo desde a extração/produção de suas matérias-primas até seu descarte final. Ela usa uma abordagem holística para evitar que um problema seja "resolvido" transferindo seus impactos negativos para outra etapa produtiva (GUINÉE *et al.*, 2002). Uma ACV consiste em quatro fases:

1. Definição de escopo e objetivo, quando a questão exata a ser respondida é definida;
2. Análise de inventário, quando o sistema a ser estudado é delimitado e dados são coletados para produzir um inventário (uma tabela contendo todas as entradas e saídas de todos os processos avaliados);
3. Avaliação de impacto; quando o inventário é processado para avaliar os impactos gerados durante o ciclo de vida do produto avaliado; e
4. Interpretação, quando os resultados do estudo são avaliados e recomendações são feitas (GUINÉE *et al.*, 2002).

Apesar de ser mais comumente utilizada para impactos ambientais, a ACV também pode ser usada para avaliar os impactos sociais de um produto ou processo, embora estes sejam mais difíceis de quantificar do que aqueles (ANDREWS, 2009).

O impacto ambiental avaliado pela RenovaCalc é o Potencial de Aquecimento Global, contabilizado pelas emissões de CO₂eq. As emissões geradas da fase agrícola ao transporte do biodiesel são comparadas à intensidade de carbono do diesel fóssil, certificando-se assim as emissões evitadas ao se substituir o diesel pelo biodiesel. Sebo bovino é considerado um rejeito, e portanto não são atribuídas emissões de GEE referentes à sua geração - são contabilizadas apenas aquelas que ocorrem a partir de seu recolhimento e transporte à usina (MATSUURA *et al.*, 2018).

A participação das usinas produtoras de biodiesel no RenovaBio é facultativa (MATSUURA *et al.*, 2018). Por isso, são avaliadas apenas as usinas que estão fazendo os ajustes necessários para que a intensidade de carbono de seus produtos seja inferior à do diesel fóssil; não existindo uma estimativa geral das emissões geradas pelo biodiesel brasileiro. A comparação entre as emissões do biodiesel relatadas em estudos de caso anteriores (CASTANHEIRA *et al.*, 2015; ESTEVES, V. P. P. *et al.*, 2017) com a intensidade de carbono do diesel fóssil utilizada pela RenovaCalc (MATSUURA *et al.*, 2018) mostra que a intensidade de carbono do biodiesel pode ser superior a do diesel, especialmente devido a transformação de terras de floresta nativa para cultura de soja ou pasto para gado. Assim, torna-se importante descobrir qual o impacto médio do biodiesel nas emissões do país, para aprimorar políticas de descarbonização.

Embora as políticas públicas que estimulem a produção e uso de biodiesel também tenham metas sociais que visam o estímulo a pequenos produtores, a RenovaCalc realiza apenas o ACV ambiental. Os impactos sociais da produção de biodiesel não são considerados para as emissões de créditos de descarbonização.

Neste trabalho, foram realizados ACVs de todo o biodiesel produzido a partir de soja e sebo bovino no Brasil, para gerar um panorama geral deste biocombustível. O aspecto ambiental avaliado foi o Potencial de Aquecimento Global (PAG). Optou-se por contabilizar as emissões da pecuária no biodiesel de sebo bovino, devidamente alocadas, para descobrir qual impacto elas têm no produto final. Um método para a realização de ACV social (ACV-S) foi proposto. O aspecto social avaliado foi o impacto sobre os trabalhadores da produção de matérias-primas para a produção de biodiesel.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é avaliar as emissões de gases geradores de efeito-estufa (GEE) e os impactos sociais sobre os trabalhadores da produção de biodiesel a partir de soja e sebo bovino no Brasil.

- Objetivos específicos:

1. Realizar uma revisão extensiva da literatura publicada entre 2015 e 2020 sobre ACV-A e ACV-S de biodiesel no Brasil;

2. Propor uma metodologia para ACV-social de biodiesel focada nos trabalhadores do cultivo da soja e criação de gado;
3. Sistematizar dados de diferentes fontes governamentais e da literatura para gerar inventários das duas matérias primas mais utilizadas para a produção de biodiesel no Brasil: soja e sebo bovino, separado por regiões do país;
4. Avaliar o Potencial de Aquecimento Global da produção de biodiesel de soja e sebo bovino nas diferentes regiões do Brasil;
5. Avaliar os impactos sociais da produção de soja e gado sobre os trabalhadores entre 2015 e 2019 em cada região brasileira.

1.2 TESE DEFENDIDA E PRINCIPAIS HIPÓTESES ADOTADAS

A tese defendida neste trabalho é que existem diferenças entre o Potencial de Aquecimento Global (PAG) e os impactos sobre os trabalhadores da produção de biodiesel de soja e sebo bovino no Brasil. As principais hipóteses adotadas são:

1. Os dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2020a), da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (IBGE, 2020c) e de artigos anteriores publicados na literatura são representativos da produção de soja e gado no Brasil. Portanto, podem ser utilizados para a análise desenvolvida neste trabalho;
2. O *tier 1* do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2019a, 2019c) pode ser utilizado para o cálculo do Potencial de Aquecimento Global da produção de soja e gado no Brasil;
3. A base de dados Ecoinvent 3.7.1 (2016) pode ser utilizada para o cálculo do Potencial de Aquecimento Global dos processos de transporte, extração e refino de óleo de soja, abate e renderização de sebo bovino; e transesterificação de biodiesel de soja e sebo bovino no Brasil;
4. Quando não há dados locais disponíveis, pode-se extrapolar dados de localidades próximas, utilizar dados regionais ou globais, ou criar estimativas para o valor ausente;
5. É possível quantificar o efeito da produção de soja e gado no Brasil sobre os trabalhadores, desde que se selecione critérios de interesse específicos e se proponha equações próprias para tal.

1.3 CONTRIBUIÇÕES ORIGINAIS

As contribuições originais apresentadas por este trabalho são:

1. Uma revisão bibliográfica dos artigos publicados entre 2015 e 2020 com ACV-ambiental (ACV-A) de biodiesel produzido no Brasil. As revisões anteriormente publicadas na literatura não focavam apenas neste combustível nem abrangiam este espaço de tempo, sendo a mais recente encontrada pela autora desta tese publicada em 2015 e apresentando dados referentes a oito artigos sobre biodiesel brasileiro (SHONNARD *et al.*, 2015). Nesta tese, foram sistematizados 36 artigos, comparando as opções metodológicas utilizadas e ressaltando lacunas no conhecimento. Foram comparadas as emissões de gases geradores de efeito estufa relatadas convertendo todos os resultados apresentados pelos artigos em $\text{gCO}_2\text{eq/MJ}$ de biodiesel, que é a unidade utilizada pela RenovaCalc. Isto permite avaliar e comparar os impactos relatados para diferentes matérias-primas em cada processo.
2. Uma sistematização de impactos sociais reportados na literatura decorrentes da produção de biodiesel no Brasil nas subcategorias propostas pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente/*Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (PNUMA/SETAC) (ANDREWS, 2009). As subcategorias foram transformadas em uma série de perguntas que podem ser utilizadas como guia para trabalhos futuros. Foram sistematizados 32 artigos que reportavam impactos sociais porém não realizavam ACV-S, e os resultados encontrados podem ser usados como guia para incluir análise social na Avaliação de Ciclo de Vida de biodiesel.
3. Avaliação de Ciclo de Vida ambiental de todo o biodiesel de soja e sebo bovino produzido no Brasil, focada no Potencial de Aquecimento Global. Todos os trabalhos anteriores encontrados pela autora focavam em municípios ou estados específicos, não existindo dados gerais sistematizados para o país. Neste trabalho, dados públicos foram utilizados para gerar um panorama geral das emissões decorrentes da produção de biodiesel de soja e sebo bovino no país. No conhecimento da autora, trata-se também do primeiro trabalho a avaliar as emissões decorrentes da produção de biodiesel de soja nas regiões Norte e Nordeste; e o primeiro a avaliar as emissões decorrentes da produção de biodiesel de sebo bovino em outros estados brasileiros além do Mato Grosso do Sul. Também não foi encontrado um trabalho anterior que levasse em consideração as emissões de N_2O decorrentes da criação de gado na produção de biodiesel de sebo bovino no Brasil.
4. Avaliação de Ciclo de vida social do biodiesel de soja e sebo bovino produzido no Brasil, focada nos trabalhadores. Segundo a revisão realizada, este é o primeiro trabalho a aplicar a ACV-S em escala nacional para estes combustíveis, identificando quais impactos são mais ou menos danosos em quais estados brasileiros.

Para processar dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNADC), foi desenvolvido um código na linguagem de programação R que está disponibilizado no Apêndice C e pode ser adaptado para avaliação de outras atividades além das estudadas nesta tese. O método proposto permite quantificar impactos sociais da produção de matérias-primas para os trabalhadores.

1.4 ESTRUTURA DA TESE

Além desta introdução, esta tese tem outros quatro capítulos.

O capítulo 2, Revisão Bibliográfica, apresenta o primeiro objetivo específico: uma revisão extensiva da literatura publicada entre 2015 e 2020 sobre ACV-A e ACV-S de biodiesel no Brasil. O capítulo é dividido em três seções. Na primeira delas (seção 2.1), a revisão sobre ACV-A é discutida. São apresentados os critérios de busca, e os artigos encontrados são classificados de acordo com a matéria-prima utilizada, o local de produção do biodiesel, a unidade funcional utilizada, as fronteiras do sistema, os processos considerados, a fonte de dados do inventário, o método de alocação e os impactos avaliados. Os artigos que avaliaram o potencial de aquecimento global do biodiesel tiveram suas emissões convertidas em $\text{gCO}_2\text{eq/MJ}$ de biodiesel, e os valores reportados são comparados, divididos por matéria-prima, local onde o biodiesel foi produzido e processo avaliado. Na segunda seção (2.2), é apresentada uma breve revisão de trabalhos que discutem as emissões de diesel fóssil. Na última seção do capítulo (seção 2.3), impactos sociais causados pelo biodiesel no Brasil relatados na literatura são classificados de acordo com subcategorias de ACV-S propostas por Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente/*Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (PNUMA/SETAC) (ANDREWS, 2009). Embora o restante da tese foque apenas no aspecto trabalhista dos impactos sociais, nesta seção de revisão são considerados também impactos sobre a comunidade local, a sociedade e demais atores da cadeia de valor. São apresentadas listas de impactos negativos e positivos, e os impactos observados são comentados.

No capítulo 3, Métodos, são apresentadas as premissas, modelos, fontes de dados para inventário e equacionamento utilizado na tese. Este capítulo é dividido em duas seções. A seção 3.1 aborda o método utilizado para o cálculo ACV-A. Nela são apresentadas e justificadas as opções de espaço de tempo, divisão geográfica, unidade funcional e critérios de alocação adotados. Cada um dos processos avaliados para cada matéria-prima é discutido. Dados tabelados são expostos, assim como as equações tradicionais do modelo do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) e as modeladas neste trabalho. A seção 3.2 apresenta objetivo específico 2: a metodologia proposta para ACV-social de biodiesel focada nos trabalhadores do cultivo da soja e criação de gado. São apresentadas as definições das subcategorias qualitativas do *Subcategory Assessment Method* proposto por Ramirez *et al.* (2014) e como elas

foram adaptadas para gerar as subcategorias quantitativas usadas neste trabalho.

O capítulo 4, Resultados e Discussão, é dividido em duas seções. Na primeira delas (seção 4.1), são apresentados os resultados do ACV-A. Os resultados do objetivo específico 3 estão apresentados na subseção 4.1.1: inventários gerados através da sistematização de dados de diferentes fontes governamentais, separados por matéria-prima (soja e sebo bovino) e região do país. A subseção 4.1.2 contém os resultados do objetivo específico 4. São apresentadas as emissões de GEE geradas por cada matéria-prima, separada por região do país e processo avaliado. As emissões encontradas neste trabalho são comparadas com aquelas relatadas na literatura, e com a do diesel fóssil. Disparidades entre resultados são discutidas, e processos e fluxos com maior intensidade de carbono são identificados. A segunda parte do capítulo (seção 4.2) apresenta os resultados do objetivo específico 5, que trata do ACV-S. São avaliados os impactos sociais da produção de soja e gado sobre os trabalhadores. Compara-se os impactos sofridos nas subcategorias liberdade de associação e negociação trabalhista, horas trabalhadas, trabalho forçado, igualdade de oportunidades/discriminação e salário justo em cada estado. Notas unificadas são apresentadas para identificar quais as subcategorias mais críticas.

Por fim, no capítulo 5, Conclusão, é feito um fechamento da tese, sistematizando os principais resultados encontrados e dando sugerindo trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentado o resultado do primeiro objetivo específico desta tese: Realizar uma revisão extensiva da literatura publicada entre 2015 e 2020 sobre ACV-A e ACV-S de biodiesel no Brasil. A seção 2.1 discute a literatura sobre ACV-A de biodiesel. Para comparação, a seção 2.2 apresenta alguns estudos sobre ACV-A de diesel fóssil. Por fim, a seção 2.3 sistematiza nas subcategorias de ACV-S os impactos sociais relacionados à produção de biodiesel relatados na literatura.

2.1 LITERATURA SOBRE AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA AMBIENTAL DE BIODIESEL BRASILEIRO

Apesar de terem por objetivo ser ecologicamente corretos, os biocombustíveis podem causar uma série de impactos ambientais negativos. Por exemplo: terras utilizadas para o plantio de matérias-primas podem ser provenientes de desmatamento; fertilizantes e agrotóxicos utilizados podem conter substâncias que causam danos a solos e rios; o transporte para a usina pode envolver longas distâncias; as etapas industriais podem consumir muita energia. Todas as etapas da produção e consumo dos biocombustíveis devem ser avaliadas para mensurar os impactos ambientais por eles causados (SHONNARD *et al.*, 2015).

Nesta seção é apresentada uma comparação entre artigos existentes sobre ACV ambiental (ACV-A) de biodiesel produzido no Brasil publicados entre 2015 e 2020. Para comparação entre artigos publicados anteriormente, sugere-se a leitura dos trabalhos de Rocha *et al.* (2014) e Shonnard *et al.* (2015). Rocha *et al.* (2014) realizaram uma meta-análise de dez artigos sobre biodiesel (cinco sobre biodiesel de soja e cinco artigos sobre biodiesel de dendê), sendo quatro deles relativos a biodiesel brasileiro. Shonnard *et al.* (2015) compararam as ACVs de biocombustíveis das Américas, incluindo oito artigos sobre biodiesel do Brasil (cinco sobre biodiesel de dendê e três sobre biodiesel de soja). A sistematização exposta nesta seção foi previamente apresentada pela autora em dois artigos de congresso (COSTA; OLIVEIRA, A., 2021a, 2021b).

2.1.1 Critérios de pesquisa e classificação de artigos

As palavras "*life cycle biodiesel Brazil*" foram pesquisadas em todos os campos de duas bases de dados científicas (SCOPUS, 2021; WEB OF SCIENCE, 2021). O período avaliado foi entre 2015 e 2020. Os títulos e resumos dos artigos encontrados foram lidos. Artigos que não apresentaram dados ambientais sobre biodiesel brasileiro ou matérias-primas utilizadas para produção de biodiesel no Brasil foram descartados. Os artigos restantes foram lidos, e aqueles que traziam dados ambientais sobre

biodiesel brasileiro ou suas matérias-primas foram separados em quatro categorias:

1. Artigos de revisão;
2. Artigos apresentando ACV de biodiesel brasileiro;
3. Artigos apresentando ACV de matéria-prima utilizada para produzir biodiesel no Brasil;
4. Artigos apresentando impacto ambiental de algum processo da produção de biodiesel no Brasil.

Os artigos de revisão foram lidos em busca de possíveis artigos de interesse que não tivessem sido previamente localizados na busca realizada nas bases de dados. Todos os artigos foram classificados de acordo com:

1. Matéria-prima (ácido graxo) avaliado;
2. Local de produção do biodiesel;
3. Unidade funcional;
4. Fronteiras do sistema;
5. Processos considerados;
6. Fonte dos dados do inventário;
7. Método(s) de alocação;
8. Impactos avaliados.

As etapas definição de escopo e objetivo, análise de inventário e avaliação de impacto das ACVs foram comparadas, em busca de métodos consolidados e identificando lacunas no conhecimento. Por fim, o potencial de aquecimento global reportado para cada processo dos artigos avaliados foi comparado, dividido por matéria-prima e região onde a ACV foi realizado. Para permitir a comparação entre estudos, a unidade funcional 1 MJ de biodiesel foi escolhida para unificar os resultados, pois ela representa a funcionalidade do produto estudado, é a mais comumente utilizada em estudos de ACV de biocombustíveis na América (SHONNARD *et al.*, 2015), é a utilizada pela RenovaCalc (2018) e é a utilizada neste trabalho, conforme apresentado nos capítulos 3 e 4. Os valores encontrados por cada estudo foram convertidos em gCO₂eq/MJ de biodiesel usando os dados apresentados na Tabela 2. Assumiu-se que o poder calorífico do biodiesel de óleo de cozinha usado era o mesmo do biodiesel de soja. É importante destacar que a conversão de unidades é uma aproximação, tendo em vista que os rendimentos de cada trabalho podem ter sido diferentes dos reportados na literatura.

Tabela 2 – Valores utilizados para converter os resultados dos estudos em gCO₂eq/MJ de biodiesel

Rendimento		Referência
1 kg de soja	0,18 kg de óleo de soja	[1]
1 kg de óleo de soja	0,897 kg de biodiesel de soja	[1]
1 hectare	3018 kg de soja/ano	[2] ⁽¹⁾
1 hectare	1,06 cabeças de gado	[3] ⁽¹⁾
1 cabeça de gado	20,25 kg de sebo	[4]
0,0323 kg de sebo	1 MJ de biodiesel	[5]
Poder calorífico		Referência
1 kg de biodiesel de soja	39,0 MJ	[1]
1 kg de biodiesel de algodão	44,43 MJ	[6]
Densidade		Referência
1 kg de biodiesel de soja	913,8m ³	[6]

Fontes: [1]Esteves, E. E. M. *et al.* (2018); [2] IBGE (2020); [3] IBGE (2020); [4] Esteves, V. P. P. *et al.* (2017); [5] Sousa *et al.* (2017); [6] Atabani *et al.* (2012) .

Observação: ⁽¹⁾ dados relativos ao Mato Grosso do Sul, 2017.

2.1.2 Classificação de artigos

A busca no Scopus retornou 28 resultados, e a busca no Web of Science retornou 102 resultados. 41 artigos foram selecionados depois de remover artigos fora do escopo e duplicados e adicionar um artigo mencionado por uma revisão e não encontrado nas pesquisas anteriores. Artigos que abordavam apenas a produção de matérias-primas foram selecionados quando especificaram que a matéria-prima seria utilizada para produção de biodiesel. A lista com todos os artigos e suas classificações está no Quadro 13, no Apêndice A.

Dentre os artigos encontrados, cinco eram revisões. Dois deles avaliaram a disponibilidade de ACVs no Brasil e não compararam estudos sobre biodiesel (ZANGHELINI *et al.*, 2016; BODUNRIN *et al.*, 2018). Zanghelini *et al.* (2016) realizaram análises bibliométricas e não apresentaram a lista dos artigos avaliados. Bodunrin *et al.* (2018) reportaram a existência de 3 artigos sobre biodiesel brasileiro publicados a partir de 2015. Um deles (MATSUURA *et al.*, 2017) não havia sido encontrado na pesquisa feita nas bases de dados e foi adicionado à lista de artigos selecionados. Medeiros *et al.* (2015) e Carneiro *et al.* (2017) compararam ACVs sobre algas e não mencionaram nenhum artigo sobre matérias-primas brasileiras publicado depois de 2015. Por fim, Shonnard *et al.* (2015) compararam ACVs de biocombustíveis na América. Eles reportam a existência de 8 ACVs de biodiesel brasileiro, sendo 5 deles sobre biodiesel de dendê e o restante sobre biodiesel de soja. Os artigos foram publicados entre 2004 e 2012, portanto estão fora do escopo deste trabalho. Não foi encontrada nenhuma revisão sobre ACVs de biodiesel brasileiro publicado depois de 2015.

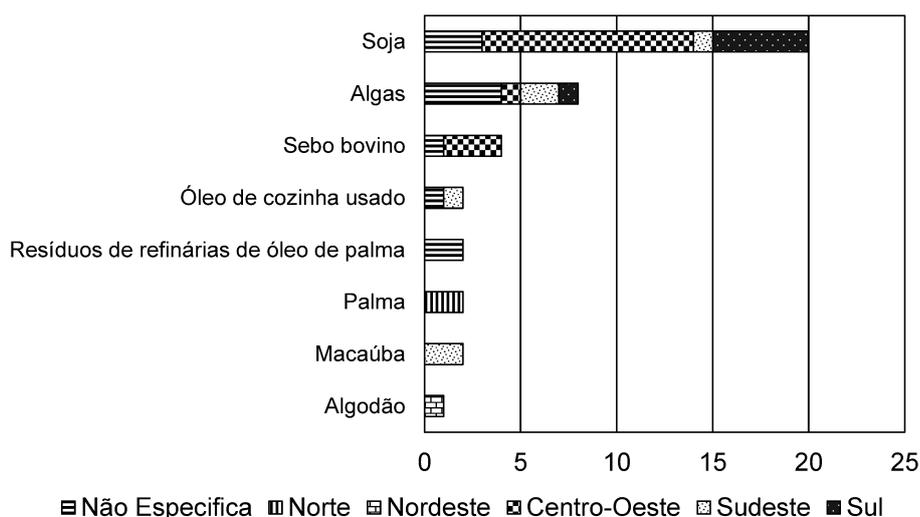
Os trinta e seis artigos restantes abordavam estudos de caso de ACVs de biodiesel brasileiro ou suas matérias primas, cujas etapas estão discutidas nas subseções 2.1.2.1, 2.1.2.2 e 2.1.2.3.

2.1.2.1 Definição de escopo e objetivo

A primeira etapa de uma ACV é a definição de escopo e objetivo, onde o trabalho é delimitado e são tomadas as decisões que irão nortear as fases futuras. O produto analisado, o público-alvo e a aplicação pretendida da ACV, sua abrangência geográfica e tecnológica e a unidade funcional são especificados (GUINÉE *et al.*, 2002).

A Figura 1 apresenta as matérias-primas utilizadas pelos artigos avaliados e a região brasileira onde o estudo foi localizado. Alguns estudos avaliaram mais de uma matéria-prima ou local. A(s) matéria(s)-prima(s) e locais avaliados por cada estudo estão detalhados no Quadro 13 (Apêndice A).

Figura 1 – Matérias-primas utilizadas para produção de biodiesel e regiões onde o biodiesel era produzido × Quantidade de artigos avaliados - ACV-A



Fonte: Elaborada pela autora.

Conforme pode ser visto na Figura 1, a soja, matéria-prima mais utilizada para a produção de biodiesel no Brasil, também foi a matéria-prima mais frequentemente avaliada pelas ACVs encontrados. As ACVs sobre biodiesel de soja avaliaram diferentes sistemas de cultivo e métodos de transesterificação: Esteves, V. P. P. *et al.* (2018) compararam o cultivo tradicional com um método de integração lavoura-pecuária, e Matsuura *et al.* (2017) avaliaram os impactos da alternância da cultura da soja com a cultura do girassol. Interlenghi *et al.* (2017), de Mello *et al.* (2017) e Altamirano *et al.* (2016) compararam a transesterificação usando as vias metílica e etílica. Esteves; Pereira (2017) avaliaram apenas a rota etílica, e Carvalho *et al.* (2016) propuseram uma transesterificação em duas etapas.

Algas, apesar de não serem utilizadas em escala industrial para a produção de biodiesel no Brasil (ANP, 2019), foram a segunda matéria-prima mais estudada. Diferentes espécies e condições de cultura foram avaliados. A terceira matéria-prima mais avaliada foi o sebo bovino, e então outras plantas e resíduo responsáveis por uma pequena parcela da produção de biodiesel no Brasil (dendê, algodão, óleo de cozinha usado) ou não aproveitados comercialmente (macaúba, resíduos das refinarias de dendê). Não foram encontradas ACVs de biodiesel feito de gordura de porco ou de frango, tampouco de biodiesel de milho ou colza.

A comparação entre as localizações revela disparidades regionais entre os estudos encontrados. A maioria das ACVs diz respeito a biodiesel produzido na região Centro-Oeste, que é também a maior produtora de biodiesel no país. A região Sul é a segunda maior produtora de biodiesel no Brasil e é a região que mais utiliza sebo bovino para tal. No entanto, não foi localizada nenhuma ACV sobre o biodiesel produzido a partir dessa matéria-prima nesta região. Sudeste e Nordeste produzem parcelas semelhantes do biodiesel, mas foi encontrada apenas uma ACV sobre o biodiesel produzido na região Nordeste, enquanto seis resultados concentraram-se no Sudeste. A região Norte é a que menos produz biodiesel e sua produção é baseada principalmente em biodiesel de soja, mas apenas estudos sobre biodiesel de dendê foram encontrados.

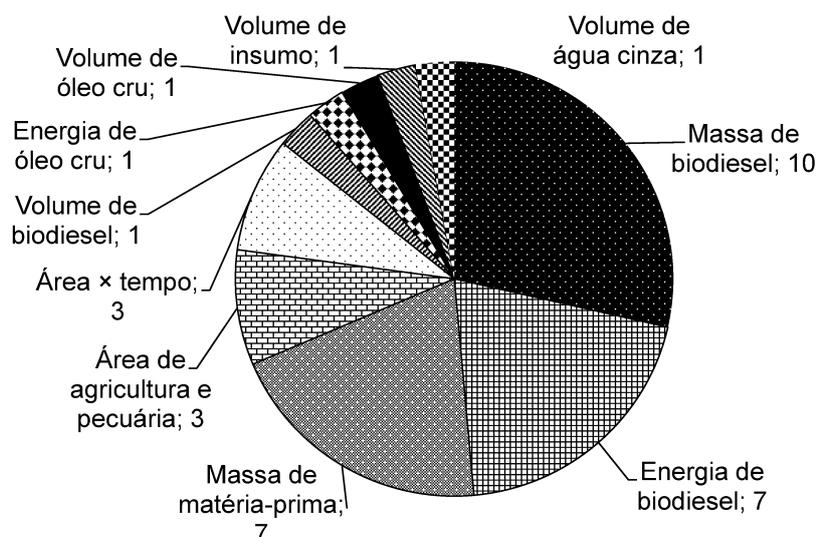
A unidade funcional é a unidade cuja quantidade é referência no desenvolvimento da ACV. Ela deve descrever a função primária do produto estudado (GUINÉE *et al.*, 2002). A Figura 2 mostra as unidades funcionais utilizadas pelos artigos avaliados. Várias unidades funcionais diferentes foram utilizadas, o que torna a comparação entre os diferentes estudos menos precisa. Massa de biodiesel foi a escolha mais comum, o que difere da revisão de Shonnard *et al.* (2015), que encontraram energia de biodiesel como a unidade funcional mais comum nas ACVs de biocombustíveis fabricados nas Américas.

2.1.2.2 Análise de inventário

Na análise de inventário delimita-se as fronteiras do sistema e os processos a serem avaliados, coleta-se os dados do inventário e faz-se a alocação (GUINÉE *et al.*, 2002). As Figuras 3, 4, 5, 6, 7 apresentam as fronteiras dos sistemas e os processos avaliados pelas ACVs.

A maioria das ACVs de biodiesel de soja avaliou os processos entre a agricultura e a transesterificação do biodiesel. O transporte e o uso do biodiesel não são comumente avaliados. Apenas quatro estudos com soja avaliaram os efeitos da mudança no uso da terra (MUT) (CASTANHEIRA *et al.*, 2015; ESTEVES, V. P. P. *et al.*, 2016, 2020a; ZORTEA *et al.*, 2019). A exclusão da avaliação deste processo é justificada nas ACVs pela dificuldade de obtenção de dados de MUT, mas pode resultar na subestimação

Figura 2 – Unidades funcionais usadas nos artigos avaliados.



Fonte: Elaborada pela autora.

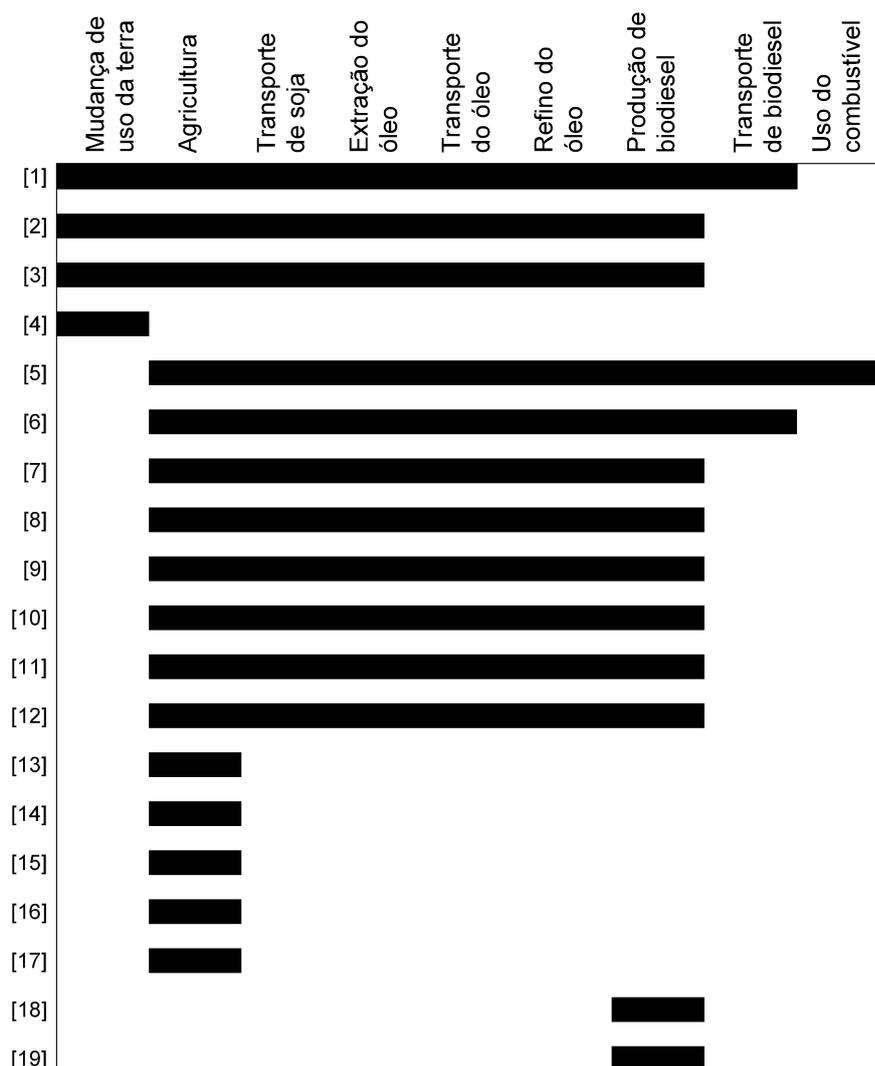
das emissões de gases geradores de efeito estufa (GEE). Castanheira *et al.* (2015) relatam que MUT é o processo com a maior intensidade de GEE, independente do método de alocação usado (massa, energia ou preço). Esteves, V. P. P. *et al.* (ESTEVES, V. P. P. *et al.*, 2016) também reforçam a ampla influência da MUT nas emissões de GEE. A exclusão da MUT também é observada em ACVs de biodiesel de algodão (LIMA *et al.*, 2017); e em alguns estudos sobre biodiesel de sebo bovino e dendê.

Ambos os estudos sobre óleo de cozinha usado avaliaram os processos coleta de óleo e transesterificação (FERNANDEZ *et al.*, 2017; MOECKE *et al.*, 2016). As ACVs de biodiesel feito de resíduos da indústria do dendê abrangem os processos da agricultura à transesterificação do biodiesel (KERMANI *et al.*, 2017; BATLLE *et al.*, 2020). Esses também são os processos acessados pela ACV do biodiesel de algodão (LIMA *et al.*, 2017). Quatro das sete ACVs de algas não exploram o processo de transesterificação, nem as ACVs de macaúba. Isto pode ser justificado porque esses estudos são exploratórios, e essas matérias-primas não são utilizadas comercialmente no Brasil (ANP, 2019).

O principal resultado da etapa análise de inventário é a tabela de inventário, a ser usada como entrada para a avaliação de impacto (GUINÉE *et al.*, 2002). Dos artigos de pesquisa selecionados, 22 apresentaram dados primários complementados por dados secundários em sua tabela de inventário, enquanto 14 usaram apenas dados secundários de bancos de dados, estudos anteriores ou dados públicos governamentais. O tipo de dado usado por cada artigo é detalhado no Quadro 13 (Apêndice A).

Alguns dos processos utilizados para a produção de biodiesel também originam outros produtos. Por exemplo, o esmagamento da soja produz óleo e farelo; e o sebo bovino vem da indústria de carne (ESTEVES, R. A.; PEREIRA, 2017). A alocação pode

Figura 3 – Fronteiras das ACVs de biodiesel de soja.



Fonte: Elaborada pela autora. Referências: [1] Castanheira *et al.* (2015); [2] Esteves, V. P. P *et al.* (2016); [3] Esteves, V. P. P *et al.* (2020); [4] Zortea *et al.* (2019); [5] Altamirano *et al.* (2016); [6] Cerri *et al.* (2017); [7] Brondani *et al.* (2015); [8] Interlenghi *et al.* (2017); [9] Esteves R. A.; Pereira (2017); [10] Fernandez *et al.* (2017); [11] Knoope *et al.* (2019); [12] Esteves, E. E. M (2018); [13] Maciel *et al.* (2015); [14] Raucci *et al.* (2015); [15] Matsuura *et al.* (2017); [16] Zortea *et al.* (2018); [17] Winter *et al.* (2019); [18] Carvalho *et al.* (2016); [19] de Mello *et al.* (2017).

Observação: Alguns processos estão mesclados em alguns estudos.

determinar quais impactos ambientais estão relacionados ao produto de interesse do sistema estudado e quais não são (GUINÉE *et al.*, 2002). A Figura 8 mostra os métodos de alocação utilizados pelos artigos avaliados. Alguns estudos usaram mais de um método de alocação para comparar o impacto do tipo de alocação no resultado da ACV (ESTEVES, E. M. M. *et al.*, 2018; ESTEVES, V. P. P. *et al.*, 2017; CASTANHEIRA *et al.*, 2015; CERRI *et al.*, 2017; KNOOPE *et al.*, 2019; MARANDUBA *et al.*, 2015, 2016).

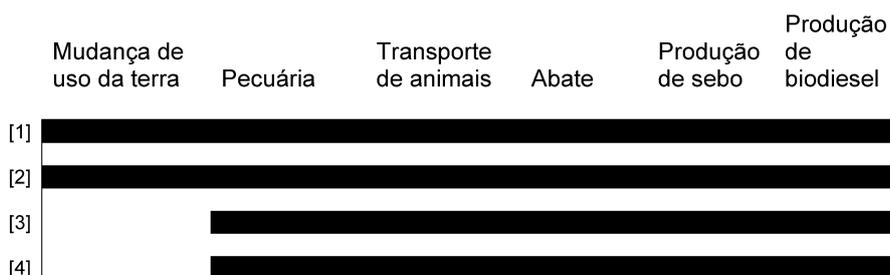
Massa e energia foram os métodos de alocação mais usados. Este resultado

Figura 4 – Fronteiras das ACVs de biodiesel de algas.



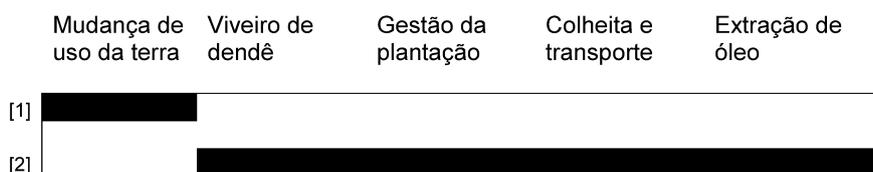
Fonte: Elaborada pela autora. Referências: [1] Scherer *et al.* (2017); [2] Diniz *et al.* (2017); [3] Souza *et al.* (2015); [4] Maranduba *et al.* (2015); [5] Maranduba *et al.* (2016); [6] Patel *et al.* (2016); [7] de Souza *et al.* (2018).

Figura 5 – Fronteiras das ACVs de biodiesel de sebo bovino.



Fonte: Elaborada pela autora. Referências: [1] Esteves, V. P. P. *et al.* (2020); [2] Esteves, V. P. P. *et al.* (2017); [3] Esteves R. A.; Pereira (2017); [4] Sousa *et al.* (2017).

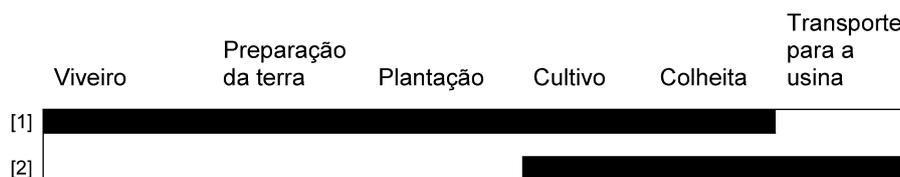
Figura 6 – Fronteiras das ACVs de biodiesel de óleo de palma.



Fonte: Elaborada pela autora. Referências: [1] Bicalho *et al.* (2016) e [2] Munasinghe *et al.* (2019).

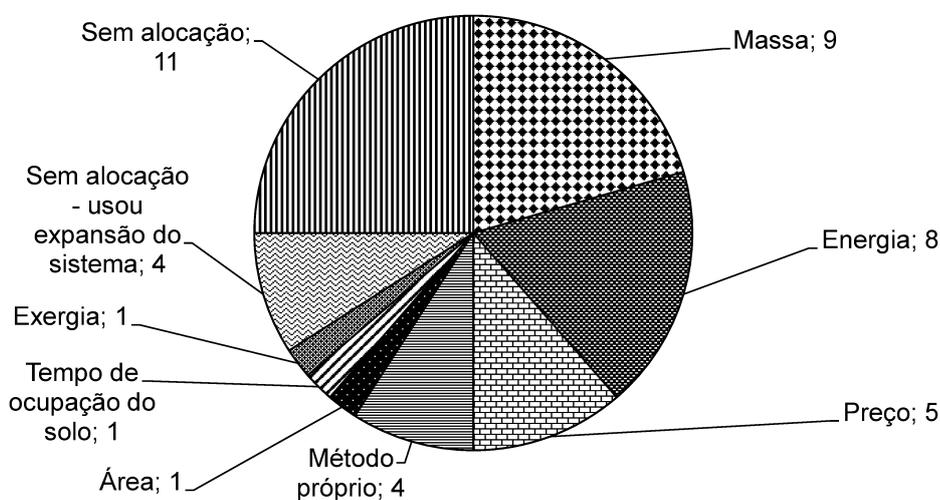
também é diferente do encontrado por Shonnard *et al.* (2015), onde a expansão do sistema foi o método mais comum. Um número significativo de estudos não utilizou nenhum tipo de alocação. O tipo de alocação usado por cada estudo pode ser encontrado no Quadro 13 (Apêndice A).

Figura 7 – Fronteiras das ACVs de biodiesel de óleo de macaúba.



Fonte: Elaborada pela autora. Referências: [1] Barbosa-Evaristo *et al.* (2018) e [2] Fernández-Coppel *et al.* (2017).

Figura 8 – Tipos de alocação feitas pelas ACVs avaliados.



Fonte: Elaborada pela autora.

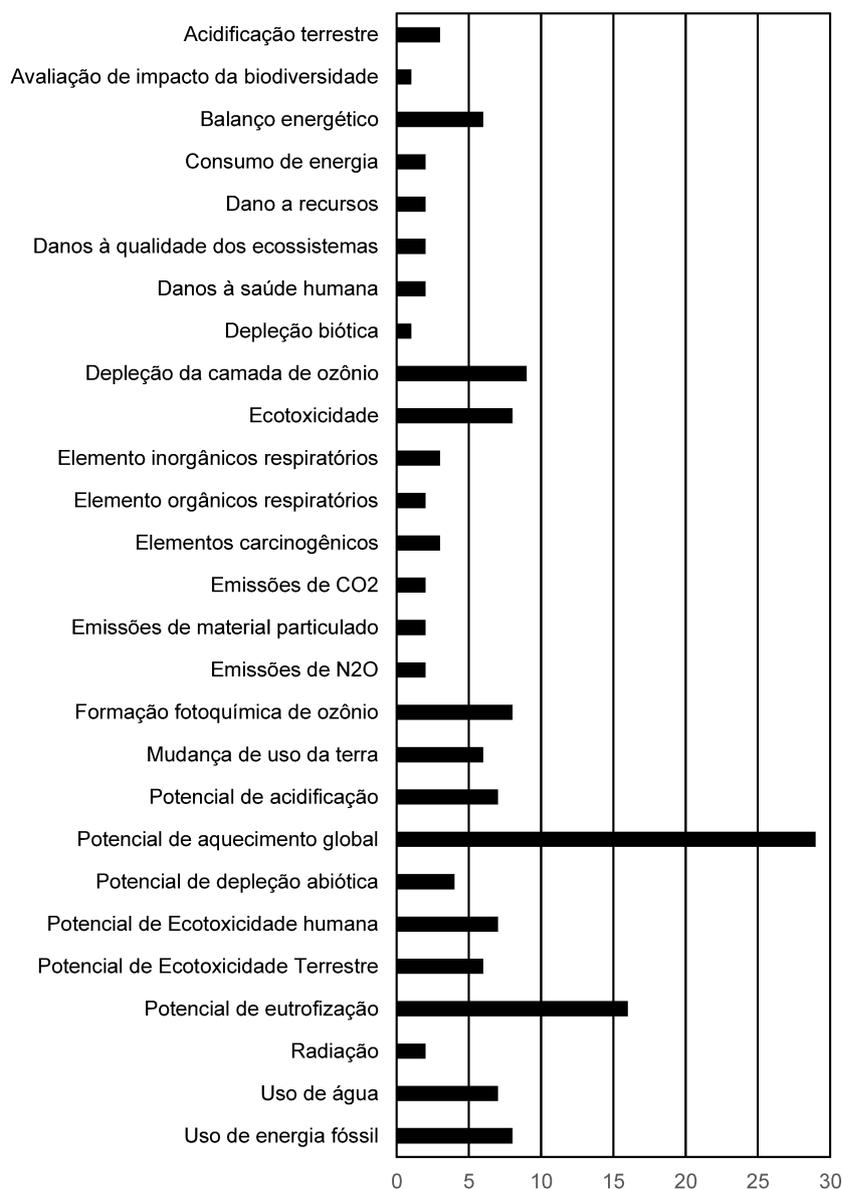
2.1.2.3 Avaliação de impacto

Na avaliação de impacto, a tabela de inventário é processada e traduzida em uma ou mais categorias de impacto escolhidas (GUINÉE *et al.*, 2002). Softwares e bases de dados podem ser utilizados para esta fase. A base de dados mais utilizada nos artigos avaliados foi o Ecoinvent, citada por 16 estudos (ESTEVES, E. M. M. *et al.*, 2018; ESTEVES, R. A.; PEREIRA, 2017; CARVALHO *et al.*, 2016; ESTEVES, V. P. P. *et al.*, 2020a; FERNANDEZ *et al.*, 2017; ZORTEA *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2017; KERMANI *et al.*, 2017; BATLLE *et al.*, 2020; SCHERER *et al.*, 2017; MARANDUBA *et al.*, 2015; PATEL *et al.*, 2016; SOUZA SCHNEIDER *et al.*, 2018; FERNÁNDEZ-COPPEL *et al.*, 2018). O software mais utilizado foi o Simapro[®], referenciado por 16 trabalhos (ESTEVES, E. M. M. *et al.*, 2018; ESTEVES, V. P. P. *et al.*, 2017; MATSUURA *et al.*, 2017; ESTEVES, R. A.; PEREIRA, 2017; CARVALHO *et al.*, 2016; ESTEVES, V. P. P. *et al.*, 2016, 2020a; BRONDANI *et al.*, 2015; ZORTEA *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2017; BATLLE *et al.*, 2020; SCHERER *et al.*, 2017; PATEL *et al.*, 2016; SOUZA SCHNEIDER *et al.*, 2018; FERNÁNDEZ-COPPEL *et al.*, 2018; MOECKE *et al.*, 2016). GaBi[®] foi

citado por dois trabalhos (SOUSA *et al.*, 2017; FERNANDEZ *et al.*, 2017), e um estudo usou planilhas (WINTER *et al.*, 2019).

A Figura 9 apresenta os impactos analisados pelos artigos avaliados. O Quadro 14 (Apêndice A) apresenta quais categorias de impacto foram utilizadas em cada artigo avaliado. O potencial de aquecimento global foi o impacto mais avaliado. O mesmo foi observado por Shonnard *et al.* (SHONNARD *et al.*, 2015), o que era esperado porque os biocombustíveis visam reduzir as emissões de GEE (SHONNARD *et al.*, 2015).

Figura 9 – Impactos avaliados pelas ACVs.



Fonte: Elaborada pela autora.

2.1.3 Comparação entre potencial de aquecimento global

A Tabela 3 apresenta uma comparação entre o potencial de aquecimento global reportado por cada ACV de biodiesel de soja avaliada. É fundamental destacar que os estudos foram realizados com metodologias distintas; portanto, a comparação entre eles deve ser feita com cautela. Estudos que apresentam resultados como porcentagem do impacto total não foram incluídos.

A análise da Tabela 3 mostra que, quando avaliada, a mudança do uso da terra é o processo responsável pela maior parte das emissões de GEE na produção do biodiesel de soja. A exceção é o Rio Grande do Sul no trabalho de Castanheira *et al.* (2015), onde nenhuma mudança no uso da terra foi relatada. Maciel *et al.* (2015) avaliaram diferentes cenários de mudança de uso da terra no Rio Grande do Sul e encontraram emissões de GEE variando de próximo a zero quando se assumiu que a área de soja era pastagem, e mais de 400 gCO₂eq/MJ de biodiesel quando a área de soja era anteriormente ocupada por florestas. A emissão média observada na região Centro-Oeste (73,8 gCO₂eq/MJ de biodiesel) foi 20% maior que a emissão média observada na região Sul (60,9 gCO₂eq/MJ de biodiesel). A média brasileira foi de 69,6 gCO₂eq/MJ de biodiesel.

As emissões relatadas para a fase agrícola variam de -67,91 gCO₂eq/MJ de biodiesel a 45,62 gCO₂eq/MJ de biodiesel. O valor negativo relatado por Altamirano *et al.* (2016) é justificado no trabalho pelo CO₂ capturado pela fotossíntese; o que não é considerado significativo nos outros modelos. No modelo do IPCC (2006) utilizado nesta tese, considera-se que, dada a sua natureza cíclica de plantação e consumo, culturas anuais, como a soja, não alteram estoques de carbono.

Carvalho *et al.* (2016) apresentam apenas a transesterificação, mas as altas emissões do óleo de soja consideradas no inventário fazem com que este estudo de caso tenha uma alta intensidade de GEE. Por fim, o uso de combustível é avaliado apenas por Altamirano *et al.* (2016), e este processo possui alta intensidade de GEE. O valor médio, 72,5 gCO₂eq/MJ de biodiesel está próximo da emissão média devido à MUT observada por Castanheira *et al.* (2015) na região Centro-Oeste. Um estudo comparando o mesmo sistema seria necessário para avaliar qual fase é responsável pela maior intensidade de GEE.

A comparação entre massa, preço e alocação de energia feita por Castanheira *et al.* (2015) revelou que a alocação de preços resulta em maior intensidade de GEE para o biodiesel, enquanto a alocação de massa resulta em menor intensidade de GEE. A expansão do sistema adotada por Esteves, V. P. P. *et al.*, (2020) resultou em menores emissões de GEE do que a abordagem de subprocesso, onde os dados são coletados exclusivamente para os processos do sistema estudados. Altamirano *et al.* (2016) compararam a transesterificação etílica e metílica e descobriram que a intensidade de GEE da rota etílica é maior do que a metílica.

Tabela 3 – Potencial de aquecimento global em 100 anos das ACVs de biodiesel de soja avaliados (gCO₂eq/MJ de biodiesel)

Estado	Ref.	Alocação	MUT	Agricul- tura	Trans- porte de soja	Extração do óleo	Trans- porte do óleo	Refino	Transex- terifica- ção	Distribui- ção de bodie- sel	Uso do com- bustí- vel	Total
GO	[1]	energia	78,0	14,0	N.D.	1,0	N.D.	1,0	4,0	F.E	N.A.	98,0
		massa	48,0	8,0	N.D.	1,0	N.D.	0,0	4,0	F.E	N.A.	61,0
		preço	87,0	15,0	N.D.	1,0	N.D.	1,0	5,0	F.E	N.A.	109,0
MT	[1]	energia	89,0	14,0	N.D.	0,0	N.D.	1,0	5,0	F.E	N.A.	109,0
		massa	40,0	7,0	N.D.	1,0	N.D.	0,0	4,0	F.E	N.A.	52,0
		preço	101,0	14,0	N.D.	2,0	N.D.	0,0	5,0	F.E	N.A.	122,0
MT	[2]	área	N.A.	29,6	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	29,6
MT	[3]	energia	N.A.	14,0	F.E.	4,0	N.D.	N.D.	6,0	N.A.	N.A.	37,0
MT	[4] ⁽¹⁾	massa	N.A.	8,0	N.D.	16,3	N.D.	N.D.	4,2	F.E	N.A.	24,3
MT	[4] ⁽²⁾	massa	N.A.	8,0	N.D.	17,8	N.D.	N.D.	12,8	F.E	N.A.	25,8
MS	[5] ⁽³⁾	valor médio	N.A.	-22,1	19,4	6,5	1,3	N.D.	6,0	N.A.	N.A.	11,1
MS	[6] ^(3,4)	divisão em sub- processos	N.A.	8,0	0,7	1,8	0,0	N.D.	6,3	N.A.	N.A.	17,0
MS	[6] ^(3,4)	expansão do sistema	N.A.	-14,1	0,7	1,8	0,0	N.D.	6,4	N.A.	N.A.	-5,2
MS	[7]	valor médio	N.D.	-6,2	5,4	1,6	1,3	N.D.	5,1	N.A.	N.A.	7,2
MS	[8]	massa	N.A.	-67,9	N.D.	5,3	N.D.	N.D.	5,1	1,8	71,9	16,3
MS	[8] ⁽⁵⁾	massa	N.A.	-64,9	N.D.	5,1	N.D.	N.D.	11,3	1,8	72,2	25,5
SP	[9]	nenhuma	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	110,4	N.A.	N.A.	110,4

PR	[1]	energia	33,0	12,0	N.D.	1,0	N.D.	0,0	5,0	F.E	N.A.	51,0
		massa	17,0	6,0	N.D.	1,0	N.D.	0,0	4,0	F.E	N.A.	28,0
		preço	36,0	12,0	N.D.	1,0	N.D.	2,0	4,0	F.E	N.A.	55,0
RS	[10] ⁽⁶⁾	nenhuma	55,1	N.D.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	55,1
RS	[10] ⁽⁷⁾	nenhuma	25,2	N.D.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	25,2
	[10] ⁽⁸⁾	nenhuma	1,4	N.D.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	1,4
	[10] ⁽⁹⁾	nenhuma	431,9	N.D.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	431,9
RS	[11]	nenhuma	71,1	45,6	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	116,7
RS	[1]	energia	0,0	15,0	N.D.	1,0	N.D.	1,0	5,0	F.E	N.A.	22,0
		massa	0,0	13,0	N.D.	0,0	N.D.	0,0	5,0	F.E	N.A.	18,0
		preço	0,0	8,0	N.D.	1,0	N.D.	1,0	5,0	F.E	N.A.	15,0

Fonte: Elaborada pela autora. Referências: [1] Castanheira *et al.*, (2015); [2] Raucci *et al.*, (2015); [3] Knoope *et al.*, (2019); [4] Cerri *et al.*, (2017); [5] Esteves, V. P. P. *et al.*, (2020); [6] Esteves, E. E. M. *et al.*, (2018); [7] Esteves V. P. P. *et al.*, (2016); [8] Altamirano *et al.*, (2016); [9] Carvalho *et al.*, (2016); [10] Maciel *et al.*, (2015); [11] Zortea *et al.*, (2018).

Legenda: N.D. - Não disponível - quando os dados de qualquer processo são apresentados mesclados com dados de outro processo. N.A. - Não avaliado. F.E. - Fora do escopo (Castanheira *et al.*, (2015) avaliaram o transporte de biodiesel para a Europa. Knoope *et al.* (2019) usou o inventário de Castanheira *et al.*, (2015)).

Observações: ⁽¹⁾ - Produção industrial integrada. ⁽²⁾ Produção industrial não integrada. ⁽³⁾ Considerou potencial de aquecimento global em 20 anos, portanto não foi comparado numericamente com os outros resultados. ⁽⁴⁾ Média. ⁽⁵⁾ Transesterificação pela rota etílica. ⁽⁶⁾ Áreas de plantio de soja previamente ocupadas por pasto com alto estoque de carbono. ⁽⁷⁾ Áreas de plantio de soja previamente ocupadas por pasto com estoque de carbono intermediário. ⁽⁸⁾ Áreas de plantio de soja previamente ocupadas por pasto com baixo estoque de carbono. ⁽⁹⁾ Áreas de plantio de soja previamente ocupadas por florestas.

Unidades originais: [1] gCO₂eq/MJ de biodiesel; [2] kgCO₂eq/kg de soja; [3] gCO₂eq/MJ de biodiesel; [4] gCO₂eq/kg de biodiesel; [5] kgCO₂eq/ha.ano; [6] kgCO₂eq/kg de biodiesel; [7] kgCO₂eq/ha; [8] kgCO₂eq/100kg de biodiesel; [9] kgCO₂eq/24000L de biodiesel ; [10] tonCO₂eq/2969,95kg de soja; [11] gCO₂eq/kg de soja.

Os valores totais de emissões observados nos trabalhos que avaliaram pelo menos os processos entre agricultura e transesterificação variaram entre 7,2 gCO₂eq/MJ de biodiesel (ESTEVES, V. P. P. *et al.*, 2016) - biodiesel feito no Mato Grosso do Sul, alocação por valor médio entre massa, preço e energia - e 122,0 gCO₂eq/MJ de biodiesel (CASTANHEIRA *et al.*, 2015) - biodiesel feito no Mato Grosso, alocação por energia. Estes valores são superiores aos relatados nos trabalhos brasileiros revisados por Rocha *et al.*, que reportam valores entre 8 gCO₂eq/MJ de biodiesel e 22 gCO₂eq/MJ de biodiesel. Shonnard *et al.* encontrou como média para biodiesel de soja produzido nas Américas emissões de 20 gCO₂eq/MJ de biodiesel.

A Tabela 4 apresenta o potencial de aquecimento global relatado por ACVs de biodiesel de sebo bovino. Ambos estudos apresentados foram sobre biodiesel produzido no Mato Grosso do Sul. Assim como observado para a soja, a mudança no uso da terra é o processo de impacto mais relevante. Além disso, a alocação por preço resulta em menor intensidade de GEE e a alocação de massa em maior intensidade de GEE. As emissões variaram entre 9,7 gCO₂eq/MJ de biodiesel, quando a alocação é feita por preço; e 567,9 gCO₂eq/MJ de biodiesel, quando não é feita alocação.

Tabela 4 – Potencial de aquecimento global em 100 anos das ACVs de biodiesel de sebo bovino avaliados (gCO₂eq/MJ de biodiesel)

Ref.	Alocação	MUT	Criação de gado	Transporte de animais	Abate	Transporte de sebo	Produção de biodiesel	Total
[1]	valor médio - preço, massa e energia	N.D.	87,7	1,5	0,5	0,5	1,4	91,5
[2]	sem alocação	550,2	17,3	0,2	0,1	0,0	0,0	567,9
	massa	29,2	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	30,4
	preço	9,36	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	9,7
	energia	150,34	4,7	0,1	0,0	0,0	0,0	155,2
	valor médio - preço, massa e energia	62,96	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	65,0

Fonte: Elaborada pela autora. Referências: [1] Esteves, V. P. P. *et al.*, (2020); [2] Esteves, V. P. P. *et al.*, (2017).

Legenda: N.D. - Não disponível (Esteves, V. P. P. *et al.*, (2020) apresenta os dados de MUT e agricultura agrupados).

Observação: Estudos sobre biodiesel feito no Mato Grosso do Sul. Unidade original: kgCO₂eq/ha.ano.

As Tabelas 5 e 6 apresentam o potencial de aquecimento global reportado pelas ACVs de biodiesel feito de algodão e óleo de cozinha usado. Elas evidenciam a impor-

tância da agricultura e da etapa de coleta de óleo desperdiçado na intensidade de GEE do biodiesel de algodão e do biodiesel de óleo desperdiçado, respectivamente. Outras matérias-primas não são discutidas porque não avaliam o processo de produção do biodiesel, portanto não foi possível converter seus resultados para a unidade funcional utilizada.

Tabela 5 – Potencial de aquecimento global em 100 anos da ACV de biodiesel de algodão avaliados (gCO₂eq/MJ de biodiesel)

Alocação	Agricultura	Extração de óleo	Refino	Transesterificação	Total
Massa	17,6	2,0	2,3	11,0	33,2

Fonte: Lima *et al.* (2017).

Observação: Estudo sobre biodiesel feito na Bahia.

Unidade original: kg CO₂eq/1000 kg de biodiesel.

Tabela 6 – Potencial de aquecimento global em 100 anos da ACV de biodiesel de óleo usado avaliado (gCO₂eq/MJ de biodiesel)

Alocação	Coleta de óleo	Produção de biodiesel	Total
Nenhuma	51,7	4,5	56,2
Espaço no transporte	38,8	4,5	43,3

Fonte: Moecke *et al.*(2016).

Observação: Estudo sobre biodiesel feito em Santa Catarina, sem alocação.

Unidade original: ton CO₂eq/2028 kg de biodiesel.

A comparação entre biodiesel feito de diferentes matérias-primas mostra que as maiores emissões foram encontradas para biodiesel de sebo bovino. Porém, faz-se necessários estudos utilizando a mesma metodologia para comparar diferentes matérias-primas para confirmar esta premissa.

2.2 EMISSÕES DE CO₂EQ DE DIESEL DE ORIGEM FÓSSIL

Assim como ocorre com o biodiesel, o impacto da produção do diesel de origem fóssil varia de acordo com a matéria prima, o transporte de insumos e os processos produtivos utilizados (ABELLA; BERGERSON, 2012; DI LULLO *et al.*, 2016). Uma revisão aprofundada das emissões decorrentes da produção e uso do diesel está fora do escopo deste trabalho. Entretanto, para comparação, alguns valores da literatura serão discutidos nesta seção.

O *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2006a) apresenta metodologias para o cálculo de emissões diretas decorrentes da combustão. Para o diesel utilizado em transporte por rodovias, assumindo combustão completa, as emissões padrão são 74100 kg CO₂/TJ, 3,9 kg CH₄/TJ e 3,9 kg N₂O / TJ (IPCC, 2006a). Esta

metodologia não foi alterada na atualização mais recente (IPCC, 2019b). Para avaliar o potencial de aquecimento global em 100 anos, que é o impacto ambiental avaliado neste trabalho, deve-se converter CH₄ e N₂O em CO₂eq, o que é feito multiplicando as emissões de CH₄ pelo fator de emissão 25 e as emissões de N₂O pelo fator de emissão 298 (HIRAISHI *et al.*, 2014). Chega-se então ao valor 75,36 gCO₂eq/MJ. Vale ressaltar que este valor inclui apenas as emissões devido à combustão, excluindo a produção e transporte do diesel antes de seu uso; e que as emissões de CH₄ e N₂O variam com o tipo de veículo e as tecnologias utilizadas para controle de emissões (IPCC, 2006a).

As emissões de gases geradores de efeito estufa decorrentes da produção do diesel foram avaliadas por Abella & Bergerson (2012). Elas apresentam um modelo para contabilizar de emissões de GEE de usinas produtoras de diesel na América do Norte, comparam diferentes cenários e mostram que as emissões da produção de diesel ficam entre 5 e 26 gCO₂eq/MJ de óleo cru.

Di Lullo, Zhang & Kumar (2016) avaliaram as emissões da produção e combustão de diesel produzido na Venezuela, Irã e Arábia Saudita. Do poço à refinaria, as emissões ficaram entre 6 g CO₂eq/MJ de óleo cru e 15 gCO₂eq/MJ de óleo cru - ambos resultados obtidos na Venezuela. Quando a análise vai do poço à combustão, os valores oscilaram entre 97,5 gCO₂eq/MJ de óleo cru (na Arábia Saudita) e 15 gCO₂eq/MJ de óleo cru (na Venezuela).

A fração do óleo cru que pode ser convertida em diesel varia com a composição química do óleo em questão e o processo utilizado; e o restante do óleo pode ser transformado em gasolina ou óleo combustível. Assim, a relação entre as unidades gCO₂eq/MJ de óleo cru e gCO₂eq/MJ varia com a composição do óleo cru, com o processo usado na usina e com o destino das outras frações dele. Apesar dessa dificuldade na conversão de unidades, a comparação entre as análises do IPCC (IPCC, 2006a), de Abella & Bergerson (2012) e de Di Lullo, Zhang & Kumar (2016) indica que as emissões de GEE ligadas ao uso de diesel devem-se principalmente à etapa de combustão e são da ordem de 10² gCO₂eq/MJ. A RenovaCalc utiliza o valor 86,5 gCO₂eq/MJ na comparação com o biodiesel (MATSUURA *et al.*, 2018).

2.3 LITERATURA SOBRE IMPACTOS SOCIAIS DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL NO BRASIL

A Avaliação de Ciclo de Vida também pode ser realizada para avaliar impactos sociais, embora estes sejam mais difíceis de quantificar do que os impactos ambientais (ANDREWS, 2009). O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente/*Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (PNUMA/SETAC) (ANDREWS, 2009) apresenta um método para realizar Avaliação de Ciclo de Vida Social (ACV-S) baseado na classificação dos impactos ambientais em subcategorias. Ramirez *et al.* (2014)

desenvolveram o *Subcategory Assessment Method* (SAM), que propõe critérios objetivos para atribuir notas para o desempenho de uma companhia nas subcategorias de Andrews *et al.* (2009). Nesta seção, é apresentada uma adaptação do SAM para avaliar os impactos da produção de biodiesel no Brasil. Impactos sociais relatados por artigos publicados entre 2015 e 2020 foram classificados de acordo com os critérios apresentados. A sistematização aqui apresentada é parte de um artigo submetido pela autora da tese e seu orientador (COSTA; OLIVEIRA, A., 2021c).

2.3.1 Critérios de pesquisa

As palavras *biodiesel + Brazil + social* foram pesquisadas em duas bases de dados (SCOPUS, 2021; WEB OF SCIENCE, 2021), restringindo o tempo de publicação entre 2015 e 2020 e as pesquisas a títulos, palavras-chave e resumos. Os títulos e resumos foram lidos, e artigos que focavam apenas em outros lugares que não o Brasil ou se referiam apenas a aspectos técnicos e não abordavam aspectos sociais do biodiesel foram descartados. Quando o artigo utilizou dados secundários, novas pesquisas foram realizadas nas referências mencionados, se publicadas no período de 2010 a 2020. Dados secundários anteriores a 2010 não foram considerados. Os estudos analisados foram divididos de acordo com a matéria-prima estudada e onde ela foi produzida.

2.3.2 Definição de partes interessadas e subcategorias

Os impactos sociais mencionados nos artigos selecionados foram classificados nas subcategorias de ACV-S apresentadas pelo PNUMA/SETAC (ANDREWS, 2009), conforme apresentado no Quadro 1. As definições das partes interessadas e subcategorias estão apresentadas nos Quadros 2 e 3. A parte interessada consumidor não foi considerada porque o consumidor da fase de produção da matéria-prima é a planta de refino, e o consumidor final de biodiesel está fora do escopo deste estudo. Zortea *et al.* (ZORTEA *et al.*, 2018) também usaram esta abordagem.

Quadro 1 – Partes interessadas e subcategorias avaliadas em ACV-S.

Parte interessada	Subcategorias
Trabalhadores	<ul style="list-style-type: none"> • Liberdade de associação e acordos trabalhistas • Trabalho infantil • Horas trabalhadas • Trabalho forçado • Igualdade de oportunidades/ discriminação • Saúde e segurança • Salário Justo • Benefícios Sociais / Previdência Social
Comunidade local	<ul style="list-style-type: none"> • Acesso a recursos materiais • Acesso a recursos imateriais • Deslocalização e migração • Patrimônio cultural • Condições de vida seguras e saudáveis • Respeito aos direitos indígenas • Envolvimento da comunidade • Emprego local • Condições de vida seguras
Sociedade	<ul style="list-style-type: none"> • Compromissos públicos com sustentabilidade • Contribuição para o desenvolvimento econômico • Prevenção e mitigação de conflitos armados • Desenvolvimento tecnológico • Corrupção
Atores da cadeia de valor	<ul style="list-style-type: none"> • Concorrência justa • Promoção de responsabilidade social • Relações com fornecedores • Respeito aos direitos de propriedade intelectual

Fonte: PNUMA/SETAC (ANDREWS, 2009)

Observação: Neste trabalho a parte interessada consumidores não foi avaliada, por isso ela não consta no quadro.

Quadro 2 – Definições das partes interessadas avaliadas em ACV-S.

Parte interessada	Definição
Trabalhadores	Agricultura e criação de gado: pequenos agricultores e trabalhadores rurais contratados. Óleo de fritura usado: trabalhadores responsáveis pela coleta do óleo.
Comunidade local	Moradores da cidade onde ocorre o plantio, criação de gado ou coleta de óleo; e das cidades vizinhas.
Sociedade	Sociedade em geral (não apenas a comunidade local).
Atores da cadeia de valor	Relação entre as partes interessadas: agricultores, cooperativas e indústrias de biodiesel.

Fonte: Elaborado pela autora, baseado em Andrews (2009).

Quadro 3 – Subcategorias avaliadas

Parte interessada	Trabalhadores
Subcategoria	Definição
Liberdade de associação e acordos trabalhistas	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidade de cooperativa: existe cooperativa à qual o trabalhador pode se associar? • Possibilidade de se associar a uma cooperativa: os trabalhadores podem se associar a uma cooperativa? • Vantagens de ser associado a uma cooperativa: Fazer parte de uma cooperativa traz benefícios aos trabalhadores? • Influência política da cooperativa: A associação de trabalhadores tem influência política para alcançar melhores condições de vida?

Trabalho infantil	<ul style="list-style-type: none"> • Existe algum relato de trabalho infantil?
Horas trabalhadas	<ul style="list-style-type: none"> • Há relato de pessoas trabalhando mais de 8h por dia, ou mais de 44h por semana?
Trabalho forçado	<ul style="list-style-type: none"> • Existe algum relato de trabalho forçado?
Igualdade de oportunidades/discriminação	<ul style="list-style-type: none"> • Existe algum relato de discriminação por raça, gênero, orientação sexual ou outro?
Saúde e Segurança	<ul style="list-style-type: none"> • O trabalho oferece algum risco ao trabalhador? • Os trabalhadores têm acesso a equipamentos de proteção individual, quando necessário?
Salário Justo	<ul style="list-style-type: none"> • Há relato de pessoas ganhando menos que o salário mínimo brasileiro? • Como a produção de biodiesel afetou a renda dos trabalhadores?
Benefícios e previdência Social	<ul style="list-style-type: none"> • Os trabalhadores têm acesso a benefícios sociais e previdência social?
Parte interessada	Comunidade local
Subcategoria	Definição
Acesso a recursos materiais	<ul style="list-style-type: none"> • Segundo o PNUMA, recursos materiais são aqueles cujo uso pode eliminar pelo menos algumas das qualidades que os tornam úteis (PANEL <i>et al.</i>, 2011) Como a produção de biodiesel afeta o acesso da comunidade local aos recursos materiais, como alimentos e água? A produção de biodiesel causa poluição?
Acesso a recursos imateriais	<ul style="list-style-type: none"> • Segundo o PNUMA, recursos imateriais são aqueles cujo uso não tem efeito sobre as qualidades que os tornam úteis; nem podem facilmente ter seu valor econômico mensurado (PANEL <i>et al.</i>, 2011). Como a produção de biodiesel afeta o acesso da comunidade local a recursos materiais, como educação e serviços comunitários?

Deslocalização e migração	<ul style="list-style-type: none"> • Existe algum relato de deslocalização (quando uma empresa transnacional muda a linha de produção de um país desenvolvido que tem custos operacionais mais elevados para um país em desenvolvimento que permite à corporação reduzir os custos (CÂRSTEA, 2013))? • Existe algum relato de migração devido ao biodiesel? • O biodiesel alterou a configuração territorial das habitações? • Como esses fenômenos estão afetando a comunidade local?
Patrimônio Cultural	<ul style="list-style-type: none"> • Como a produção de biodiesel está afetando as comunidades tradicionais e o patrimônio cultural?
Condições de vida seguras e saudáveis	<ul style="list-style-type: none"> • Como a produção de biodiesel está afetando a saúde da comunidade?
Respeito aos direitos indígenas	<ul style="list-style-type: none"> • A produção de biodiesel está afetando os direitos indígenas?
Envolvimento com a comunidade	<ul style="list-style-type: none"> • A comunidade local está ciente dos impactos causados pela produção de matéria-prima para a produção de biodiesel? • A comunidade local está sendo consultada para decisões? • Os trabalhadores estão envolvidos em atividades voltadas para a comunidade?
Emprego local	<ul style="list-style-type: none"> • Os empregos estão sendo criados ou destruídos (direta e indiretamente) devido à produção de biodiesel?
Condições de vida seguras	<ul style="list-style-type: none"> • A produção de biodiesel afeta o acesso da comunidade local a condições de vida seguras? • Houve impactos na violência causados pelo biodiesel?
Parte interessada	Sociedade
Subcategoria	Definição

Compromissos públicos com sustentabilidade	<ul style="list-style-type: none"> • A produção de biodiesel afeta o compromisso da sociedade com as questões de sustentabilidade?
Contribuição para o desenvolvimento econômico	<ul style="list-style-type: none"> • Como a produção de biodiesel está afetando as desigualdades econômicas, o bem-estar das pessoas e o crescimento econômico?
Prevenção e mitigação de conflitos armados	<ul style="list-style-type: none"> • Como a produção de biodiesel está afetando os conflitos armados?
Desenvolvimento tecnológico	<ul style="list-style-type: none"> • Como a produção de biodiesel está afetando o desenvolvimento de tecnologia?
Corrupção	<ul style="list-style-type: none"> • Existem casos de corrupção na produção da matéria-prima do biodiesel?
Parte interessada	Atores da cadeia de valor
Subcategoria	Definição
Concorrência justa	<ul style="list-style-type: none"> • Como a produção de biodiesel está afetando a concorrência econômica?
Promoção de responsabilidade social	<ul style="list-style-type: none"> • A produção de biodiesel está promovendo a responsabilidade social?
Relacionamento com fornecedores	<ul style="list-style-type: none"> • Os contratos entre fornecedores estão sendo respeitados?
Respeito aos direitos de propriedade intelectual	<ul style="list-style-type: none"> • Os direitos de propriedade intelectual estão sendo respeitados?

Fonte: Elaborado pela autora baseado em Andrews *et al.* (2009) e Ramirez *et al.* (2014).

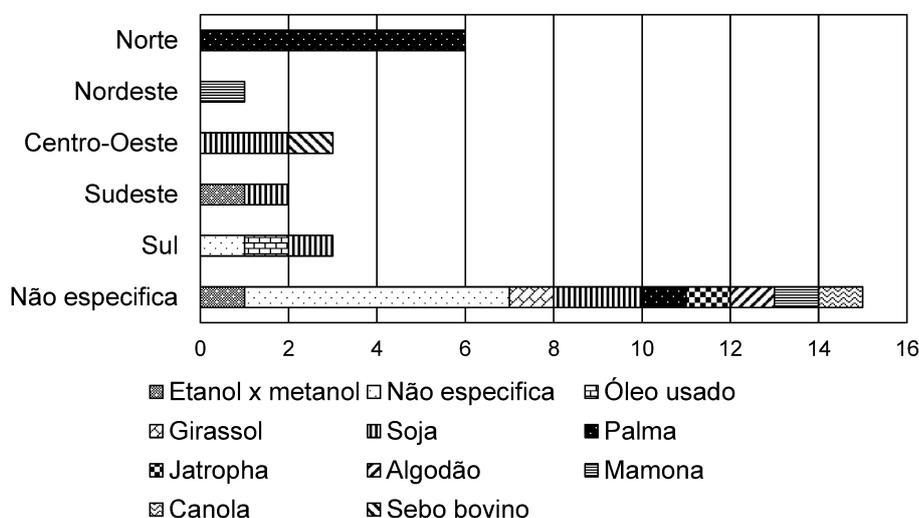
2.3.3 Artigos encontrados

A pesquisa na Scopus encontrou 36 resultados, e a pesquisa na Web of Science encontrou 42 resultados. Como comparação, uma busca pelas palavras *biodiesel + Brazil* entre 2015 e 2020 retornou 336 resultados na Scopus e 366 resultados na Web of Science, indicando que o termo *social* não é comum em títulos, palavras-chave e resumos de publicações sobre biodiesel no Brasil indexadas nestas bases de dados. Apenas dois artigos fizeram ACV-S: Zortea *et al.* (2018) avaliaram soja no Rio Grande do Sul, e Esteves *et al.* (2020) avaliaram soja e sebo bovino no Mato Grosso do Sul. Ambos são estudos de caso.

Após eliminação de resultados duplicados, estudos não relacionados ao Brasil e estudos não focados nos aspectos sociais da produção de biodiesel, foram selecionados 32 artigos. A lista completa pode ser encontrada no Quadro 15 (Apêndice B). Onze deles não abordaram o impacto nas subcategorias do PNUMA/SETAC. Em vez disso, eles apresentaram metodologias para avaliar a sustentabilidade do biodiesel (CAVALCANTE DE OLIVEIRA *et al.*, 2015; SILVA CÉSAR *et al.*, 2015), perspectivas para usos futuros do biodiesel (SILVA CÉSAR *et al.*, 2015; CREMONEZ *et al.*, 2015; SILVA CÉSAR *et al.*, 2016, 2017; ZENTOU *et al.*, 2019), ou aspectos sociais discutidos que afetam o biodiesel, mas não são causados por ele (OLIVEIRA, G. L. T. *et al.*, 2017; STATTMAN; GUPTA, 2015; CASTELLANELLI; CUNHA, 2015).

A Figura 10 mostra a distribuição dos 21 artigos selecionados que relataram impactos sociais nas subcategorias de interesse, separados de acordo com as matérias-primas utilizadas para produção de biodiesel e a região do país onde o estudo foi feito.

Figura 10 – Matérias-primas utilizadas para produção de biodiesel e regiões onde o biodiesel era produzido × Quantidade de artigos avaliados - ACV-S



Fonte: Elaborada pela autora.

Alguns artigos estudados avaliaram mais de uma matéria-prima/região. Óleo de mamona, que era considerado uma alternativa para o desenvolvimento da região Nordeste do Brasil nos primeiros anos do PNPB (DE OLIVEIRA *et al.*, 2019), mas que não tem sido usado como matéria-prima do biodiesel desde 2009 (EPE, 2019), foi objeto de estudo de dois artigos. Apesar de ser responsável por uma média de 0,48% do total das matérias-primas para ácidos graxos usado na produção de biodiesel no Brasil entre 2009 e 2018 (EPE, 2019), o dendê foi a matéria-prima mais frequentemente abordada nos os estudos analisados, sendo o foco de 7 estudos. O mesmo número de artigos discutiu os impactos do biodiesel sem mencionando uma matéria-prima específica. Seis estudos focaram na soja, a matéria-prima mais comumente usada, e apenas um focado em sebo bovino. A maioria dos estudos avaliou todo o país e não uma região específica.

2.3.4 Lista de impactos relatados na literatura classificados por subcategorias de ACV-S

A abordagem mais comumente usada para avaliar os impactos sociais foi a realização de entrevistas com as partes interessadas. Nas subseções 2.3.4.1, 2.3.4.2, 2.3.4.3 e 2.3.4.4 são apresentadas listas dos impactos positivos e negativos do biodiesel citados nos documentos, classificados de acordo com sua correspondência às subcategorias. A seção 2.3.5 apresenta considerações sobre os impactos listados nas subseções 2.3.4.1, 2.3.4.2, 2.3.4.3 e 2.3.4.4. Faz-se a ressalva que cada estudo usou uma metodologia diferente e avaliou diferentes categorias de impacto. Assim, as listas resumem os impactos relatados, mas não os classificam por importância tampouco excluem a existência de impactos não mencionados. Quando o estudo as especifica, são apresentadas entre parênteses as matérias-primas utilizadas para produção do biodiesel e as regiões do país estudadas.

2.3.4.1 Parte interessada: Trabalhadores

Subcategoria : Liberdade de associação e negociação trabalhista

- Lista de impactos negativos:
 - Disponibilidade de cooperativa: São poucas as cooperativas nas regiões Norte e Nordeste (MARCOSI; MORENO-PÉREZ, 2018; DE OLIVEIRA *et al.*, 2019). Alguns agricultores familiares não participam de cooperativas porque vivem em locais remotos (Nordeste, soja, palma, girassol e mamona) (STATTMAN; MOL, 2014).
 - Possibilidade de adesão a uma cooperativa: Pequenos agricultores familiares das regiões Norte e Nordeste geralmente não são membros de nenhuma

cooperativa (STATTMAN; MOL, 2014). Alguns trabalhadores não participam de uma cooperativa porque eles não entendem como uma cooperativa funciona (Nordeste, soja, palma, girassol e mamona) (STATTMAN; MOL, 2014). Alguns agricultores não têm dinheiro para pagar a adesão à uma cooperativa (Nordeste, soja, dendê, mamona e girassol) (STATTMAN; MOL, 2014).

- Vantagens de ser cooperado: produtores dizem que as cooperativas beneficiam às empresas em detrimento de si mesmas (soja, Centro-Oeste) (RESENDE *et al.*, 2017).
 - Influência política da cooperativa: Famílias de pequenos agricultores das regiões Norte e Nordeste são associados de cooperativas com pouca influência (STATTMAN; MOL, 2014). Cooperativas com poucos associados pode não ser capazes de se manter (DE OLIVEIRA *et al.*, 2019). Algumas cooperativas estão tendo dificuldades financeiras porque suas taxas de adesão são muito baixas. No entanto, eles têm medo de aumentar as taxas porque isto pode desencorajar a associação de outros agricultores familiares (Nordeste, soja, dendê, mamona e girassol) (STATTMAN; MOL, 2014). As cooperativas tornaram-se dependentes do PNPB e estão vulnerável a mudanças nesta política (Nordeste, soja, dendê, mamona e girassol) (STATTMAN; MOL, 2014).
- Lista de impactos positivos:
 - Disponibilidade de uma cooperativa: PNPB estimulou a criação e o crescimento das cooperativas devido à segurança de renda, melhores preços para produtos agrícolas, novas oportunidades de mercado, assistência técnica e sementes (Nordeste, soja, dendê, mamona e girassol) (STATTMAN; MOL, 2014).
 - Possibilidade de adesão a cooperativa: todos os agricultores entrevistados faziam parte de uma cooperativa (soja, Centro-Oeste) (RESENDE *et al.*, 2017).
 - Vantagens de estar associado a uma cooperativa: A maioria dos agricultores acha que é importante estar associado a uma cooperativa e têm discussões diárias sobre questões de interesse (soja, Sul) (ZORTEA *et al.*, 2018). CONTAG, um sindicato rural, afirmou que eles treinam líderes agrícolas locais para melhor negociar com o agronegócio (dendê, Norte) (dendê, Norte) (CÓRDOBA *et al.*, 2018). Os fazendeiros dizem que fazer parte de uma cooperativa aumenta sua habilidade de negociação (DE OLIVEIRA *et al.*, 2019); (mamona, Nordeste) (MORENDE; RAIMUNDO, 2016); (soja, Sudeste) (CASTELLANELLI, 2016); (dendê, Norte) (BRANDÃO *et al.*, 2019).

- Influência política da cooperativa: Os produtores rurais são estimulados a vender seus produtos diretamente para a cooperativa, sem intermediários. Isto reduz o custo do óleo e dá mais poder à cooperativa (mamona, Nordeste) (STATTMAN; MOL, 2014). Cooperativas são capazes de dismantelar cartéis de dendê e aumentar o preço recebido por agricultores que vendem óleo de dendê (dendê, Nordeste) (STATTMAN; MOL, 2014).

Subcategoria: Horas trabalhadas

- Impacto negativo:
 - Algumas pessoas trabalham mais de oito horas por dia em culturas de soja (soja, Sul) (ZORTEA *et al.*, 2018).
- Impacto positivo:
 - A maioria dos trabalhadores entrevistados trabalha \leq oito horas por dia na cultura da soja (soja, Sul) (ZORTEA *et al.*, 2018).

Subcategoria: Igualdade de oportunidades/ discriminação

- Impacto negativo:
 - O trabalho na agricultura de dendê pode ser muito pesado e apenas os homens são considerados capazes de fazê-lo. (dendê, Norte) (MUNASINGHE *et al.*, 2019)

Subcategoria: Salário justo

- Impacto negativo:
 - O rendimento dos agricultores se tornou dependente do preço do produto utilizado para a produção de biodiesel. Se o preço cair, então o rendimento deles também cai (dendê, Norte) (BRANDÃO *et al.*, 2019).
- Impacto positivo:
 - O aumento na venda de matéria-prima para a produção de biodiesel aumentou os rendimentos dos trabalhadores (DE OLIVEIRA *et al.*, 2019) (mamona, Nordeste) (MORENDE; RAIMUNDO, 2016); (dendê, Norte) (BRANDÃO *et al.*, 2019); (soja, Centro-Oeste) (RESENDE *et al.*, 2017); (soja, Sul) (RIBEIRO *et al.*, 2018); (soja, Sudeste) (MARCOSI; MORENO-PÉREZ, 2018); (óleo usado, Sul) (MOECKE *et al.*, 2016).

Subcategoria: Benefícios e previdência social

- Lista de impactos negativos:
 - Os agricultores não têm seguro em caso de perdas na colheita devido a fatores climáticos (mamona, Nordeste) (MORENDE; RAIMUNDO, 2016); (soja, Sul) (MARCOSI; MORENO-PÉREZ, 2018).
 - O descumprimento da legislação trabalhista pelas empresas fez com que agências de advogados procurassem trabalhadores rurais para processar as empresas (dendê, Norte) (BRANDÃO *et al.*, 2019).
 - O crescimento populacional devido à cultura de dendê aumentou a pressão sobre os serviços sociais (dendê, Norte) (SELFA *et al.*, 2015). O orçamento municipal tornou-se insuficiente para prestar serviços sociais à população (dendê, Norte) (BRANDÃO *et al.*, 2019).

Não foram relatados impactos relacionados às subcategorias trabalho infantil, trabalho forçado e saúde e segurança.

2.3.4.2 Parte interessada: Comunidade local**Subcategoria: Acesso a recursos materiais**

- Lista de impactos negativos:
 - As plantações causam poluição do solo (dendê, Norte) (BACKHOUSE; LEHMANN, 2019; BRANDÃO *et al.*, 2019) e degradação do solo (mamona, Nordeste) (MORENDE; RAIMUNDO, 2016).
 - As plantações afetam a água. O uso de agrotóxicos polui rios (dendê, Norte) (BACKHOUSE; LEHMANN, 2019; BRANDÃO *et al.*, 2019). Foi constatado que alguns pesticidas poluem as águas subterrâneas mesmo anos depois de seu uso ter sido banido (algodão e soja, Centro-Oeste) (ROCHA, G. O. D. *et al.*, 2015; NOGUEIRA *et al.*, 2016). Alterações nos cursos de água para irrigação afetam o acesso da população local à água (dendê, Norte) (BACKHOUSE; LEHMANN, 2019)
 - Fertilizantes e processos de tratamento de resíduos emitem GEE (dendê, Norte) (MUNASINGHE *et al.*, 2019).
- Impacto positivo:
 - Uma usina que produz biodiesel a partir de óleo usado também reaproveita resíduos da produção de biodiesel (óleo usado, Sul). (MOECKE *et al.*, 2016)

Subcategoria: Acesso a recursos imateriais

- Impacto negativo:
 - Os agricultores não têm assistência técnica suficiente (soja, Sul) (ZORTEA *et al.*, 2018). A falta de assistência técnica fez com que alguns trabalhadores perdessem suas lavouras (mamona, Nordeste) (MORENDE; RAIMUNDO, 2016).
- Lista de impactos positivos:
 - A maioria dos produtores recebeu assistência técnica de cooperativas ou empresas. (soja, Centro-Oeste) (RESENDE *et al.*, 2017).
 - A taxa de escolaridade aumentou entre 2003 e 2013 nas cidades onde o cultivo de soja e a criação de gado eram as principais atividades econômicas (gado e soja, Centro-Oeste) (ESTEVES, V. P. P. *et al.*, 2020b).
 - Um projeto de coleta e aproveitamento de óleo usado para produção de biodiesel promoveu eventos escolares e oficinas sobre destinação de resíduos e sustentabilidade. A usina de biodiesel se tornou um ambiente de aprendizado para estudantes de engenharia (óleo residual, Sul) (MOECKE *et al.*, 2016).

Subcategoria: Deslocalização e migração

- Lista de impactos negativos:
 - Vários pequenos agricultores venderam suas terras e se mudaram para cidades próximas. Alguns não conseguiam encontrar habitação facilmente (dendê, Norte) (SELFA *et al.*, 2015; BACKHOUSE; LEHMANN, 2019).
 - A compra de terras por uma companhia de dendê gerou disputas de terra (dendê, Norte) (BRANDÃO *et al.*, 2019).
- Lista de impactos positivos:
 - O biodiesel incentivou as pessoas a continuarem morando no mesmo lugar e a de manterem na mesma atividade. Observou-se uma diminuição do número de pessoas que saíram da zona rural (mamona, Nordeste) (MORENDE; RAIMUNDO, 2016).
 - Os pescadores artesanais que eram os usuários finais do biodiesel feito de óleo usado em uma pequena refinaria eram incentivados a manter sua atividade tradicional no mesmo local (Santa Catarina, óleo usado) (MOECKE *et al.*, 2016).

Subcategoria: Patrimônio cultural

- Impacto negativo:
 - Quilombolas tiveram seu direito a territórios contestados e foram pressionados a vender suas terras para empresas de dendê. (palma, Norte) (BRANDÃO *et al.*, 2019; BACKHOUSE; LEHMANN, 2019).

Subcategoria: Condições de vida seguras e saudáveis

- Lista de impactos negativos:
 - A produção de dendê está afetando a segurança alimentar. Os agricultores que trabalham com dendê não têm tempo para produzir os alimentos que costumavam cultivar (SELFA *et al.*, 2015). Os incentivos financeiros são maiores para o cultivo do dendê do que para as culturas alimentares tradicionais (palma, Norte) (ÁVILA-ROMERO; ALBUQUERQUE, 2018)

Subcategorias; Respeito aos direitos indígenas

- Impacto negativo:
 - Uma comunidade indígena exigiu indenização pela contaminação de um rio causada pelo cultivo de dendê (palma, Norte) (BRANDÃO *et al.*, 2019).

Subcategoria: Envolvimento com a comunidade

- Lista de impactos negativos:
 - Alguns agricultores que produziam soja para a produção de biodiesel não entendiam como funciona o PNPB e seus benefícios. Alguns deles não sabiam que faziam parte do programa, nem que a soja era destinada à produção de biodiesel (soja, Centro-Oeste) (RESENDE *et al.*, 2017)
 - A legislação brasileira determina que as audiências públicas devem anteceder a implantação de grandes projetos, mas não foram realizadas audiências públicas antes da implantação de um projeto relativo ao uso de dendê. Trabalhadores rurais e quilombolas que eram contra a cultura da palma foram marginalizados (palma, Norte) (BACKHOUSE; LEHMANN, 2019). Estrangeiros foram escolhidos como responsáveis pelos projetos, ao invés de moradores locais (palma, Norte) (BRANDÃO *et al.*, 2019)
- Lista de impactos positivos:

1. Em (MOECKE *et al.*, 2016) é relatada uma experiência de uma usina de biodiesel de óleo usado que envolveu a comunidade na coleta de óleo: 1.800 pessoas foram envolvidas e 110 pessoas foram beneficiadas (óleo usado, Sul).
2. A maioria dos agricultores está envolvida em ações voluntárias voltadas para a comunidade, como feiras, festivais e apresentações (soja, Sul) (ZORTEA *et al.*, 2018).

Subcategoria: Emprego local

- Lista de impactos negativos:
 - Vários pequenos proprietários venderam suas terras para empresas de dendê e depois se tornaram funcionários dessas empresas. Outros mudaram-se para cidades próximas e não conseguiram encontrar emprego (palma, Norte) (SELFA *et al.*, 2015). Metade dos trabalhadores migrantes do sexo masculino de palma trouxe suas esposas com eles. Apenas 7 % das esposas conseguiram encontrar um emprego registrado (palma, Norte) (BRANDÃO *et al.*, 2019).
 - Os entrevistados acreditam que a cultura da soja reduz os empregos relacionados às lavouras tradicionais (soja, Sudeste) (CASTELLANELLI, 2016). O número de trabalhadores na cultura da soja é considerado pequeno (soja, Sul) (ZORTEA *et al.*, 2018).
 - Há instabilidade no número de empregos disponíveis, e dependendo da safra anual as pessoas podem perder seus empregos (palma, Norte) (BACKHOUSE; LEHMANN, 2019)
- Lista de impactos positivos:
 - Os entrevistados acreditam que as culturas geram empregos diretos (soja, Sudeste) (CASTELLANELLI, 2016), (dendê, Norte) (SELFA *et al.*, 2015; BACKHOUSE; LEHMANN, 2019) e indiretos (palma, Norte) (SELFA *et al.*, 2015; BACKHOUSE; LEHMANN, 2019).
 - A mecanização de a fazenda e o aumento da renda do município geram empregos que demandam mão de obra qualificada (mamona, Nordeste) (MORENDE; RAIMUNDO, 2016).

Subcategoria: Condições de vida seguras

- Lista de impactos negativos:

- As pessoas entrevistadas relacionam a mudança demográfica devido à implantação da cultura do dendê à disrupção social: aumento da violência, alcoolismo, prostituição e doenças sexualmente transmissíveis (palma, Norte) (BRANDÃO *et al.*, 2019).

2.3.4.3 Parte interessada: Sociedade

Subcategoria: Contribuição para o desenvolvimento econômico

- Lista de impactos negativos:
 - Poucos agricultores familiares foram beneficiados pelo PNPB - apenas aqueles que já produziam as matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel antes da implementação do programa (Nordeste, soja, palma, mamona e girassol) (STATTMAN; MOL, 2014).
 - O governo transferiu para as empresas a responsabilidade de investir na agricultura familiar, e as empresas investiam na soja porque era mais barato (CASTELLANELLI, 2016).
 - Os incentivos fiscais não eram socialmente inclusivos e não favoreciam a diversificação de matérias-primas, os pequenos agricultores e as regiões Nordeste e Norte (todos, Brasil) (CASTELLANELLI, 2016; JUNIOR; YOUNG, 2013; NOGUEIRA *et al.*, 2016; LEONETI *et al.*, 2017; RATHMANN *et al.*, 2012; OLIVEIRA, G. L. T. *et al.*, 2017; MARCOSSI; MORENO-PÉREZ, 2018; DE OLIVEIRA *et al.*, 2019) ; (palma, Norte) (MUNASINGHE *et al.*, 2019).
 - O metanol é importado para produção de biodiesel (todo, Brasil) (LEONETI *et al.*, 2017; RATHMANN *et al.*, 2012).
 - O cultivo de lavouras para produção de biodiesel favoreceu a concentração fundiária (todas, Brasil) (OLIVEIRA, G. L. T. *et al.*, 2017), (palma, Norte) (SILVA; FREITAS NAVEGANTES-ALVES, 2017; ÁVILA-ROMERO; ALBUQUERQUE, 2018).
- Lista de impactos positivos:
 - Outros setores foram estimulados pelo crescimento econômico que ocorreu devido à produção de insumos para biodiesel (mamona, Nordeste) (MORENDE; RAIMUNDO, 2016); (palma, Norte) (SELFA *et al.*, 2015; BRANDÃO *et al.*, 2019), (todos, Brasil) (ESTEVES, R. A.; PEREIRA, 2016).
 - Os incentivos fiscais beneficiaram os produtores de soja que possuíam estrutura pré-estabelecida, e as plantas industriais, principalmente nas regiões Sul e Centro-Oeste (soja, Brasil) (CASTELLANELLI, 2016; JUNIOR;

YOUNG, 2013; NOGUEIRA *et al.*, 2016; MARCOSSI; MORENO-PÉREZ, 2018; DE OLIVEIRA *et al.*, 2019).

- A produção local de biodiesel reduziu a importação brasileira de diesel (ESTEVES, R. A.; PEREIRA, 2016; DE OLIVEIRA *et al.*, 2019).

Subcategoria: Desenvolvimento tecnológico

- Lista de impactos negativos:

- O setor brasileiro de biodiesel não utiliza tecnologia avançada (CARDOSO *et al.*, 2017). O Brasil usa a mesma tecnologia para produzir biodiesel há vários anos. Não houve melhorias para reduzir os custos de produção (NOGUEIRA *et al.*, 2016).
- A falta de investimento em desenvolvimento tecnológico para outras culturas que não a soja representa uma barreira à sua produção (CASTELLANELLI, 2016). A tecnologia necessária para a cultura da palma ainda não está totalmente desenvolvida (palma, Norte) (DE OLIVEIRA *et al.*, 2019).
- O Brasil possui poucas patentes relacionadas ao processo de transesterificação (LEONETI *et al.*, 2017).

- Lista de impactos positivos:

- Um estudo que avaliou publicações científicas até 2011 detectou que a maior parte publicações científicas sobre biodiesel tinha sido produzida no Brasil (ANDRADE *et al.*, 2016).
- A proteção legal criada pelo PNPB estimulou empresas privadas a investirem em pesquisa e desenvolvimento associado ao biodiesel (ESTEVES, R. A.; PEREIRA, 2016). Em (LEONETI *et al.*, 2017), é relatado um estudo de caso envolvendo uma empresa que investe em pesquisa e desenvolvimento em transesterificação pela rota etílica.
- Em (MOECKE *et al.*, 2016), o foco é uma usina de biodiesel desenvolvida por uma universidade que se tornou um ambiente de aprendizagem para estudantes de engenharia (óleo usado, Sul).
- Uma das vantagens mais significativas da soja em relação a outras culturas são as novas cepas desenvolvidas para se adaptar a diferentes climas e a tecnologia utilizada nas fazendas (soja, Brasil) (SILVA CÉSAR *et al.*, 2019).

Subcategoria: Corrupção

- Lista de impactos negativos

- Há relatos de agricultores que não cumprem os requisitos e falsificam dados para obter os benefícios do PNPB (soja, Sudeste) (MARCOSI; MORENO-PÉREZ, 2018).
- Suspeita-se que algumas refinarias comprem diferentes matérias-primas de cooperativas para obter o selo de combustível social, mas utilizem apenas a soja para a produção de biodiesel e revendam os demais óleos vegetais no mercado internacional a preços mais elevados (Nordeste, soja, palma, mamona e girassol) (STATTMAN; MOL, 2014).

Não foram relatados impactos nas subcategorias compromissos públicos com sustentabilidade e prevenção e mitigação de conflitos armados.

2.3.4.4 Parte interessada: Atores da Cadeia de valor

Subcategoria: Promoção de responsabilidade social

1. Impacto positivo:

- A implantação de uma refinaria de biodiesel que utilizava óleo usado como matéria-prima envolveu toda a comunidade e disseminou a importância da preservação da natureza (óleo usado, Sul) (MOECKE *et al.*, 2016).

Subcategoria: Relacionamento com fornecedores

- Lista de impactos negativos:

- Os agricultores familiares entrevistados disseram que muitas vezes as empresas tentam alterar o preço previamente acordado no contrato. Dois agricultores familiares entrevistados disseram que as empresas não cumpriram o contrato. Dois agricultores familiares entrevistados disseram que as empresas estavam atrasando o pagamento. Alguns agricultores familiares entrevistados relataram que não foram informados de todos os termos contratuais e que o contrato visava beneficiar apenas as empresas e as cooperativas. (soja, Centro-Oeste) (RESENDE *et al.*, 2017).
- As empresas entrevistadas relataram que as cooperativas deixam de entregar o volume contratual de soja (soja, Sul) (RIBEIRO *et al.*, 2018).
- Empresas entrevistadas relataram infidelidade dos produtores (quando assinam contrato com uma empresa e vendem seus produtos para outra empresa que oferece preços mais elevados) (soja, Sudeste) (MARCOSI; MORENO-PÉREZ, 2018).

- Lista de impactos positivos:

- Agricultores familiares disseram em entrevistas que as empresas geralmente cumprem os termos do contrato. Cooperativas entrevistadas disseram que o índice de inadimplência e infidelidade dos produtores é baixo (soja, Centro-Oeste) (RESENDE *et al.*, 2017).

Impactos nas subcategorias concorrência justa e respeito aos direitos de propriedade intelectual não foram mencionados nos artigos analisados.

2.3.5 Considerações sobre os impactos relatados pelos artigos

A maior parte dos impactos sociais negativos relatados para a categoria trabalhadores ocorreu nas regiões Norte e Nordeste. Trabalhadores destas regiões têm dificuldade de participar de cooperativas (MARCOSI; MORENO-PÉREZ, 2018; DE OLIVEIRA *et al.*, 2019; STATTMAN; MOL, 2014), tornam-se dependentes da flutuação dos preços das safras que são persuadidos a produzir (BRANDÃO *et al.*, 2019) e sofrem com o descumprimento da legislação trabalhista por parte das empresas (BRANDÃO *et al.*, 2019). Também carecem de benefícios sociais e previdência (MORENDE; RAIMUNDO, 2016; MARCOSI; MORENO-PÉREZ, 2018; SELFA *et al.*, 2015; BRANDÃO *et al.*, 2019). Em contraste, os impactos sociais positivos relatados são mais igualmente distribuídos por todo o país. Os impactos positivos observados para os trabalhadores foram devido principalmente às cooperativas (STATTMAN; MOL, 2014; RESENDE *et al.*, 2017; CÓRDOBA *et al.*, 2018; DE OLIVEIRA *et al.*, 2019; MORENDE; RAIMUNDO, 2016; CASTELLANELLI, 2016; BRANDÃO *et al.*, 2019), o que reforça a importância de pertencer a este tipo de organização. O aumento da renda dos trabalhadores devido à produção de biodiesel também foi citado em diversos estudos (DE OLIVEIRA *et al.*, 2019; MORENDE; RAIMUNDO, 2016; BRANDÃO *et al.*, 2019; RESENDE *et al.*, 2017; RIBEIRO *et al.*, 2018; MARCOSI; MORENO-PÉREZ, 2018; MOECKE *et al.*, 2016).

Os impactos sociais negativos mencionados para a categoria Comunidade Local foram decorrentes principalmente da cultura da palma na região Norte. Existem relatos de poluição do solo (BACKHOUSE; LEHMANN, 2019; BRANDÃO *et al.*, 2019); interferência no acesso dos habitantes locais à água (BACKHOUSE; LEHMANN, 2019); disputas de terra (BRANDÃO *et al.*, 2019); migração (SELFA *et al.*, 2015; BACKHOUSE; LEHMANN, 2019); ameaças a quilombolas e indígenas (BRANDÃO *et al.*, 2019; BACKHOUSE; LEHMANN, 2019); ameaças a segurança alimentar (SELFA *et al.*, 2015; ÁVILA-ROMERO; ALBUQUERQUE, 2018); desemprego (BRANDÃO *et al.*, 2019; BACKHOUSE; LEHMANN, 2019) e ruptura social (BRANDÃO *et al.*, 2019) causada pelo cultivo de dendê. A mamona, o algodão e a soja também são responsáveis por impactos ambientais negativos (MORENDE; RAIMUNDO, 2016; ROCHA, G. O. D. *et al.*, 2015; NOGUEIRA *et al.*, 2016); e mamona e soja sofreram com

a falta de assistência técnica (ZORTEA *et al.*, 2018; MORENDE; RAIMUNDO, 2016). Relatos de desemprego causado pela expansão de cultivos, e de agricultores que fazem parte do PNPB mas não têm conhecimento dele também foram reportados em um estudo que enfoca a cultura da soja (RESENDE *et al.*, 2017). Em contrapartida, a geração de empregos diretos e indiretos foi o impacto social positivo mais mencionado do biodiesel (CASTELLANELLI, 2016; SELFA *et al.*, 2015; BACKHOUSE; LEHMANN, 2019; MORENDE; RAIMUNDO, 2016). Um estudo de caso realizado em uma usina de biodiesel que utiliza óleo de cozinha usado como matéria-prima foi destaque pelos impactos sociais positivos para a comunidade local. Ele envolveu a população de uma cidade na coleta do óleo usado e promoveu de oficinas e visitas a escolas para ensinar sustentabilidade. O biodiesel produzido foi utilizado por pescadores artesanais locais (MOECKE *et al.*, 2016).

O fracasso da PNPB na diversificação da matriz brasileira de biodiesel e em beneficiar agricultores das regiões Norte e Nordeste foi o efeito negativo mais frequentemente relatados para a sociedade (STATTMAN; MOL, 2014; CASTELLANELLI, 2016; JUNIOR; YOUNG, 2013; NOGUEIRA *et al.*, 2016; LEONETI *et al.*, 2017; RATHMANN *et al.*, 2012; OLIVEIRA, G. L. T. *et al.*, 2017; MARCOSSI; MORENO-PÉREZ, 2018; DE OLIVEIRA *et al.*, 2019; MUNASINGHE *et al.*, 2019). A falta de investimentos em tecnologia (CARDOSO *et al.*, 2017; NOGUEIRA *et al.*, 2016; CASTELLANELLI, 2016; DE OLIVEIRA *et al.*, 2019; LEONETI *et al.*, 2017), e a corrupção de agricultores (MARCOSI; MORENO-PÉREZ, 2018) e empresas (STATTMAN; MOL, 2014) também foram relatados. Como impactos positivos, relatou-se as vantagens obtidas por agricultores que já possuíam alguma infraestrutura (CASTELLANELLI, 2016; JUNIOR; YOUNG, 2013; NOGUEIRA *et al.*, 2016; MARCOSSI; MORENO-PÉREZ, 2018; DE OLIVEIRA *et al.*, 2019); crescimento econômico (MORENDE; RAIMUNDO, 2016; SELFA *et al.*, 2015; BRANDÃO *et al.*, 2019; ESTEVES, R. A.; PEREIRA, 2016); e desenvolvimento tecnológico (LEONETI *et al.*, 2017; MOECKE *et al.*, 2016).

Por fim, os impactos mencionados na relação entre os atores da cadeia de valor incidiram sobre os problemas no cumprimento dos contratos entre sojicultores, cooperativas e empresas (RESENDE *et al.*, 2017; RIBEIRO *et al.*, 2018; MARCOSSI; MORENO-PÉREZ, 2018).

2.4 LACUNAS DO CONHECIMENTO ABORDADAS NESTA TESE

Conforme apresentado na seção 2.1, apesar de existirem vários trabalhos que realizaram ACVs de biodiesel produzido no Brasil, as diferentes premissas, unidades e outras opções metodológicas utilizadas tornam a comparação entre os resultados de diferentes estudos menos precisa. Além disso, poucos trabalhos avaliam a mudança do uso da terra; não foram encontrados trabalhos que avaliam as emissões decorrentes da produção do biodiesel de soja nas regiões Norte e Nordeste; e as emissões

decorrentes da produção do biodiesel de sebo bovino foram avaliados apenas no Mato Grosso do Sul. Nos capítulos seguintes desta tese, é realizada ACV-A de todo o biodiesel de soja e sebo bovino produzido no Brasil, levando em consideração todos os estados que produzem biodiesel. O impacto ambiental avaliado é o Potencial de Aquecimento Global. Ao realizar o trabalho de forma unificada, é possível comparar diferentes processos em diferentes localidades. Além disso, a análise inclui desde a mudança de uso da terra até a transesterificação. Os valores de emissões encontrados decorrentes da produção de biodiesel são comparados com a intensidade de carbono do diesel fóssil utilizada pela RenovaCalc, discutido na seção 2.2.

A seção 2.3 sistematizou nas subcategorias de ACV-S os impactos sociais reportados pela literatura. Conforme apresentado nela, há poucos estudos que realizam ACV-S de biodiesel brasileiro, e, segundo os critérios de busca utilizados, nenhum ACV-S anterior que compare diferentes matérias-primas ou que abranja todo o país. Assim, esta tese inova ao realizar um ACV-S para o trabalhadores do cultivo de soja e criação de gado no Brasil.

3 MÉTODOS

Este capítulo expõe a fonte dos dados, o detalhamento das hipóteses adotadas e as equações utilizadas no desenvolvimento desta tese. Para o ACV-A, o Potencial de Aquecimento Global foi calculado seguindo o método do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2019a, 2019c), conforme descrito na seção 3.1. Para o ACV-S, foi proposta uma metodologia própria, focada nos trabalhadores. Ela está exposta na seção 3.2, e é o resultado do objetivo específico 2: Propor uma metodologia para ACV-social de biodiesel focada nos trabalhadores do cultivo da soja e criação de gado. Em ambas análises (ambiental e social) foram avaliados biodiesel de soja e sebo bovino. Estas duas matérias-primas são responsáveis por cerca de 80% dos ácidos graxos utilizados para a produção de biodiesel no Brasil (ANP, 2019), e dados relativos ao cultivo de soja e à criação de gado são amplamente disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

3.1 AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA AMBIENTAL

O impacto avaliado na Avaliação de Ciclo de Vida Ambiental (ACV-A) foi o Potencial de Aquecimento Global em 100 anos - em inglês, *Global Warming Potential 100 years* (GWP 100y), conforme definido pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2019a, 2019c). Optou-se pelo GWP 100y por ser o mais frequentemente utilizado internacionalmente. O IPCC (2019; 2019) apresenta três níveis de análise (*tier 1*, *tier 2* e *tier 3*), sendo o *tier 1* o menos complexo e o *tier 3* o mais complexo. Nesta tese, devido a disponibilidade de dados, utilizou-se o *tier 1*. Tal opção metodológica permitiu a realização de uma avaliação a nível nacional; entretanto, fez com que os resultados fossem menos precisos. O grande número de simplificações e estimativas realizados para o cálculo de emissões não permitiu que o erro relacionado ao ACV-A fosse calculado numericamente. Em vez disso, a origem e confiabilidade de cada um dos dados utilizados é descrita nesta seção, e os resultados da seção 4.1 são discutidos tendo em vista estas imprecisões.

A unidade funcional utilizada foi 1 MJ de biodiesel, escolhida por ser aquela que descreve a função do produto e, por ser uma base energética, poder ser facilmente convertida para outras unidades e aplicações. Os dados atuais são referentes ao ano de 2019, ou, quando este não estava disponível, 2017. Os dados antigos (usados para avaliar mudança do uso da terra) são referentes a 2006.

3.1.1 Biodiesel de soja

A massa de soja empregada para a produção de biodiesel foi calculada utilizando o volume de óleo de soja usado para biodiesel em 2019, fornecido pela Agência

Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biodiesel (ANP, 2019). Utilizou-se a densidade do óleo de soja $\approx 916 \text{ kg/m}^3$ (SAJJADI *et al.*, 2016) e a produção de 0,18kg de óleo para cada kg de soja (ESTEVEES, E. M. M. *et al.*, 2018). A Figura 28, no Apêndice C, apresenta o formato da tabela fornecida pela ANP. O valor do volume de óleo de soja usado para a produção de biodiesel é exato. A densidade do óleo de soja varia com a temperatura, e o rendimento de óleo por kg de soja varia com a semente e o processo de extração; portanto, a massa de soja adotada neste trabalho é uma estimativa.

A massa de soja utilizada para biodiesel em cada estado foi comparada com a produção estadual de soja no mesmo ano (IBGE, 2020f). Os dados referentes à colheita de soja também são reais, obtidos no Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). Este sistema permite o download de diversas tabelas. O formato da tabela utilizada é mostrado na Figura 29. Foi verificado que cada estado produtor de biodiesel colhia quantidades suficientes de soja para suprir suas necessidades de ácidos graxos. A partir deste dado, assumiu-se que todo o óleo de soja utilizado pelas usinas provinha dos estados onde elas se localizam. Esta hipótese foi importante para delimitar geograficamente os impactos da mudança do uso da terra, agricultura e transporte. Resultados diferentes poderiam ser encontrados caso se dispusesse de dados reais da origem da soja utilizada em cada usina.

O Quadro 4 apresenta os estados que produziram biodiesel de soja (ANP, 2019) e portanto foram avaliados em cada região. Os processos avaliados foram:

1. Mudança de Uso da Terra (MUT);
2. Agricultura;
3. Transporte;
4. Extração de óleo;
5. Refino;
6. Transesterificação.

O estado do Rio de Janeiro não produz soja (IBGE, 2020g), portanto os processos 1 e 2 não foram avaliados nele.

A produção de biodiesel de soja origina também vários outros produtos. Por isso, as emissões totais de cada processo foram alocadas, ou seja: separadas entre os co-produtos através da multiplicação por um fator de proporcionalidade. A soja é uma planta anual rotacionada com outra cultura, por isso, as emissões no processo MUT foram alocadas por tempo, e as emissões da agricultura foram calculadas tendo em vista o tempo da ocupação da terra pela soja. Na extração do óleo, farelo de soja também é produzido; então as emissões dos processos MUT, agricultura e transporte

de soja foram alocados por massa e energia para estes dois co-produtos. Por fim, a transesterificação gera biodiesel e glicerina, e as emissões de todas as etapas foram alocadas por massa e energia para estes co-produtos. Os fatores de alocação utilizados estão apresentados na Tabela 7. (CASTANHEIRA *et al.*, 2015).

Quadro 4 – Estados e regiões avaliados na produção de biodiesel de soja.

Regiões	Estados
Norte	Tocantins (TO)
Nordeste	Bahia (BA)
Centro-Oeste	Goiás (GO) Mato Grosso (MT) Mato Grosso do Sul (MS)
Sudeste	Minas Gerais (MG) São Paulo (SP) Rio de Janeiro (RJ)
Sul	Paraná (PR) Santa Catarina (SC) Rio Grande do Sul (RS)

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 7 – Fatores de alocação utilizados para o biodiesel de soja

	Soja	Outra cultura	Óleo	Farelo	Biodiesel	Glicerina
Massa	-	-	0,20	0,80	0,89	0,11
Energia	-	-	0,36	0,64	0,95	0,05
Tempo	0,5	0,5	-	-	-	-

Fonte: Castanheira *et al.* (2015)

3.1.1.1 Mudança de Uso da Terra

O inventário foi feito comparando dados de área colhida de soja (IBGE, 2020g) e área dos estabelecimentos agropecuários separados por tipo de uso em 2006 (IBGE, 2020e) e 2017 (IBGE, 2020i) para cada um dos estados utilizados. Novamente, os dados são provenientes das tabelas do SIDRA, cujo formato está apresentado na Figura 29. Adotou-se a hipótese de que a área de expansão da soja ($\Delta Area_s$) deveu-se primeiramente às reduções observadas nas áreas de pastos degradados ($\Delta Area_{pd}$), depois às reduções nas áreas de pastos plantados em bom estado ($\Delta Area_{pb}$), então às reduções em pastos naturais ($\Delta Area_{pn}$), e por fim a avanços sobre áreas de floresta

nativa ($\Delta Area_{fn}$) fora das áreas originais das propriedades rurais, de modo a atender a equação 1. Esta hipótese é considerada conservadora por minimizar $\Delta Area_{fn}$ ao considerar primeiramente que as novas áreas ocupadas pela soja foram realocações nos estabelecimentos já existentes. Foram calculadas emissões para toda a cultura de soja nos lugares estudados e para a fração da soja utilizada para a produção de biodiesel. Valores regionais foram calculados através de médias ponderadas pela produção de biodiesel de cada estado. As emissões do país foram calculadas por média ponderada pela produção de biodiesel das regiões.

$$\Delta Area_s + \Delta Area_{pd} + \Delta Area_{pb} + \Delta Area_{fn} = 0 \quad (1)$$

As emissões foram calculadas usando a metodologia descrita pelo IPCC (2019), *tier 1*. Foram avaliadas as mudanças no estoque de carbono devido a MUT e as emissões de nitrogênio (na forma de óxido nitroso, N_2O) associadas.

A equação 2 foi utilizada para calcular as mudanças nos estoques de carbono. (IPCC, 2019c)

$$\Delta CS = \frac{\sum CS_{LU,t_2} - \sum CS_{LU,t_1}}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

onde ΔCS é a variação dos estoques de carbono e t_1 e t_2 são os tempos iniciais e finais, respectivamente (no caso desta pesquisa, 2006 e 2017).

Para pasto e plantações de soja, os estoques de carbono (CS_{LU}) foram calculados pela equação 3 (UE, 2009).

$$CS_{LU} = (SOC + C_{veg}) \times \Delta Area_{LU} \quad (3)$$

Onde SOC é o carbono orgânico do solo (massa de carbono por hectare), C_{veg} é o carbono da vegetação sobre e abaixo do solo (massa de carbono por hectare) e $Area_{LU}$ é a área ocupada pelo uso LU .

A equação 4 foi utilizada para calcular SOC (UE, 2009).

$$SOC = SOC_{ST} + F_{LU} + F_{MG} + F_i \quad (4)$$

Onde SOC_{ST} é o valor padrão para o carbono na camada superior do solo (entre 0 e 30cm), F_{LU} é o fator para o uso da terra, F_{MG} é o fator para o manejo da terra e F_i é o fator ligado ao carbono adicionado ao solo.

Foram utilizados valores tabelados para C_{veg} , SOC_{ST} , F_{LU} , F_{MG} e F_i , conforme apresentados em Quadro 5, Quadro 6 e Quadro 7. Estes valores foram usados tanto para MUT devido a avanço da cultura de soja quanto para MUT devido a criação de gado, portanto, dados referentes a Rondônia (RO), estado avaliado apenas para a produção de biodiesel de sebo bovino, estão presentes. As regiões climáticas e os tipos de solo do país foram classificadas de acordo com o *Third national communication of*

Brazil to the United Nations framework convention on climate change. (BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, 2016). Os valores de F_{LU} , F_{MG} e F_i para terra cultivada são referentes a semeadura direta (*no till*), com manejo médio (CASTANHEIRA *et al.*, 2015), ou seja: manejo de culturas anuais cujos resíduos são retornados ao solo, precisando de rotação de culturas ou fertilização mineral para fixação de nitrogênio (UE, 2009).

Quadro 5 – Valores de C_{veg} utilizados para calcular emissões devido a MUT.

Uso da Terra (IBGE, 2020i, 2020g)	Estado(s)	Descrição (UE, 2009; BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, 2016)	C_{veg} (ton de carbono/hectare) (UE, 2009)
Área de colheita de soja	Todos	Terra cultivada (geral)	0
Pastagens	BA	Pastagem, clima tropical seco	4,4
Pastagens	TO, RO, GO, MT, MS, MG e SP	Pastagem, clima tropical quente e úmido	8,1
Pastagens	PR, SC e RS	Pastagem, clima quente temperado	6,8

Fonte: Elaborado pela autora usando dados de IBGE (2020; 2020), União Europeia (UE, 2009) e Brasil, Ministério da ciência (2016).

Quadro 6 – Valores de SOC_{ST} utilizados para calcular emissões devido a MUT.

Estado(s)	Tipo de solo e clima (UE, 2009; BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, 2016)	SOC_{ST} (ton de carbono/hectare) (UE, 2009)
BA	Solo argiloso de baixa atividade, clima tropical seco	35
TO, RO, GO, MT, MS, MG, SP	Solo argiloso de baixa atividade, clima tropical úmido	47
PR, SC e RS	Solo argiloso de baixa atividade, clima quente temperado	63

Fonte: Elaborado pela autora usando dados de UE (2009) e Brasil, Ministério da Ciência (2016).

Quadro 7 – Valores de F_{LU} , F_{MG} e F_i (adimensionais) utilizados para calcular emissões devido a MUT.

Uso da Terra (IBGE, 2020i, 2020g)	Estado(s)	Descrição (UE, 2009; BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, 2016)	F_{LU} (UE, 2009)	F_{MG} (UE, 2009)	F_i (UE, 2009)
Área de colheita de soja	BA	Terra cultivada, clima quente e seco	0,58	1,17	1
Área de colheita de soja	TO, GO, MT, MS, MG, SP	Terra cultivada, clima tropical úmido	0,48	1,22	1
Área de colheita de soja	PR, SC e RS	Terra cultivada, clima temperado úmido	0,69	1,15	1
Pasto natural	Todos	Pasto ou savana naturais, em bom estado, sem melhorias feitas por manejo, clima tropical ou temperado	1	1	1
Pasto degradado	TO, RO, MT, MS, GO, SP e PR	Pasto severamente degradado, clima quente e úmido ou temperado	1	0,7	1
Pasto plantado em boas condições	BA, TO, RO, GO, MS, MG	Pasto manejado de maneira sustentável e que recebeu alguma melhoria, clima tropical	1	1,17	1
Pasto plantado em boas condições	PR e RS	Pasto manejado de maneira sustentável e que recebeu alguma melhoria, clima temperado	1	1,14	1

Fonte: Elaborado pela autora usando dados de IBGE (2020; 2020), UE (2009) e e Brasil, Ministério da Ciência (2016).

Para florestas naturais, foi utilizado o valor de CS_{LU} apresentado por Brasil, Ministério da Ciência (2016). Considerou-se apenas o valor para a vegetação predominante em cada estado avaliado. Os valores utilizados estão apresentados no Quadro 8.

Quadro 8 – Valores de CS_{LU} utilizados para calcular emissões devido a MUT em áreas que originalmente eram florestas naturais.

Estado(s)	Bioma	CS_{LU} (ton de carbono/hectare)
TO	Cerrado, Savana florestada	49,76
RO	Floresta ombrófila aberta submontana	146,94
MS	Savana florestada (cerradão)	103,45
MG	Floresta Estacional Semidecídua Montana	106,88
PR e SC	Floresta ombrófila mista alto-montana	142,66
RS	Floresta estacional decidual submontana	128,83

Fonte: Elaborado pela autora usando dados de Brasil, Ministério da Ciência (2016).

Os valores de mudança de estoque de carbono foram convertidos em emissões de gás carbônico equivalentes (CO_2eq) através da equação 5 (ESTEVES, V. P. P. *et al.*, 2017).

$$CO_2 = CS \times 44/12 \quad (5)$$

As emissões de N_2O em solos manejados podem ser separadas em emissões diretas (devido à adição de nitrogênio no solo e à mineralização) e indiretas (devido à volatilização de amônia e óxidos nitrosos devido a queima de combustíveis fósseis e de biomassa, ou devido a lixiviação e escoamento de nitrogênio de solos manejados) (IPCC, 2019c). Neste trabalho foram avaliadas apenas as emissões diretas.

As emissões diretas de nitrogênio de solos manejados (N_2O-N) são calculadas levando em consideração o nitrogênio adicionado ao solo ($N_2O - N_{N_{inputs}}$), a variação de nitrogênio devido ao manejo de solos orgânicos ($N_2O - N_{OS}$) e as emissões devido a dejetos de animais para áreas de pasto ($N_2O - N_{PRP}$), conforme apresentado na equação 6 (IPCC, 2019c). No Brasil, $N_2O - N_{OS} = 0$, pois o solo do país é argiloso, e não orgânico (BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, 2016).

$$N_2O - N = N_2O - N_{N_{inputs}} + N_2O - N_{OS} + N_2O - N_{PRP} \quad (6)$$

Nesta etapa (MUT), foram avaliadas apenas as emissões de nitrogênio adicionado ao solo, que são calculadas pela equação 7 (IPCC, 2019c).

$$N_2O - N_{N_{inputs}} = (F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM}) \times EF_1 \quad (7)$$

Onde F_{SN} é a massa de fertilizante inorgânico adicionado ao solo, F_{ON} é a massa adicionada de nitrogênio orgânico na forma de esterco ou outros compostos, F_{CR} é a quantidade de nitrogênio nos resíduos da colheita, F_{SOM} é a massa de nitrogênio mineralizado associado a perdas no estoque de carbono e EF_1 é o fator de emissão de N_2O por adição de nitrogênio (IPCC, 2019c). Nesta etapa (MUT), considerou-se apenas o nitrogênio devido à mineralização (F_{SOM}), calculado pela equação 8. Para mineralização de nitrogênio em solos de clima seco (neste trabalho, na Bahia), $EF_1 = 0,005$ (kg N_2O-N)/(kg N). Para climas úmidos (neste trabalho, todos os outros estados), $EF_1 = 0,006$ (kg N_2O-N /kg N) (IPCC, 2019c).

$$F_{SOM} = \sum_{LU} \left(\Delta CS_{mineral,LU} \times \Delta Area_{LU} \times \frac{1}{R} \right) \times 1000 \quad (8)$$

$\Delta CS_{mineral,LU}$ é a variação de carbono devido ao uso da terra LU , calculado pela equação 9. R é a razão C:N da matéria orgânica do solo. O valor padrão $R = 15$ foi adotado (IPCC, 2019c).

$$\Delta CS_{mineral} = \frac{SOC_{t_2} - SOC_{t_1}}{D} \quad (9)$$

SOC_{t_2} e SOC_{t_1} são calculados pela equação 4. D é a dependência em relação ao tempo dos fatores de mudança de estoque de carbono mineral do solo, ou seja, o tempo decorrente entre valores de equilíbrio de estoques de carbono mineral (IPCC, 2019c). Neste trabalho adotou-se $D = tempo\ entre\ medidas = 11\ anos$.

A equação 10 foi usada para converter os valores de emissões de nitrogênio em emissões de N_2O (IPCC, 2019c).

$$N_2O = (N_2O - N) \times 44/28 \quad (10)$$

As emissões totais foram calculadas pela equação 11.

$$CO_2eq = \sum_{gas} (E_{gas} \times EF_{gas}) \quad (11)$$

Onde E_{gas} é a emissão de cada gás causador de efeito estufa e EF_{gas} é o fator de emissão para cada gás. Para GWP 100y, $EF_{CO_2} = 1$ e $EF_{N_2O} = 298$ (FORSTER *et al.*, 2007).

Para saber as emissões por kg de soja, as emissões totais foram divididas pelo produto entre a área total de colheita de soja do estado e a produção de soja por hectare. As emissões foram convertidas em gCO_2eq/MJ de biodiesel considerando que cada kg de soja produz 0,18 kg de óleo; que cada kg de óleo de soja produz 0,879 kg de biodiesel; e que o poder calorífico do biodiesel é 39 MJ/kg (ESTEVES, E. M. M. *et al.*, 2018).

3.1.1.2 Agricultura

No processo agricultura foram avaliadas primeiramente as emissões devido ao manejo da terra plantada, e depois as emissões devido aos insumos utilizados.

Segundo o IPCC (2019), para terra cultivada deve-se avaliar as alterações no estoque de carbono da biomassa e do solo. Entretanto, os estoques de carbono relacionados à biomassa de culturas anuais não se alteram; e as alterações do estoque de carbono do solo são função da variação do carbono mineral e do carbono inorgânico. No *tier 1*, assume-se que estoque de carbono mineral se altera com mudança do uso da terra até atingir um novo equilíbrio, e que a alteração do carbono inorgânico é igual a zero (IPCC, 2019c). Assim, neste trabalho, apenas as alterações nos estoques de carbono mineral são diferentes de zero, e estas foram avaliadas no processo MUT (subseção 3.1.1.1).

As emissões de N_2O foram calculadas pela equação 6. Apesar de existirem algumas fazendas que usam sistemas integrados de cultivo de soja e pecuária (ESTEVES, E. M. M. *et al.*, 2018), emissões devido a dejetos de animais foram desconsideradas, ou seja: $N_2O - N_{PRP} = 0$. Considerou-se também que não havia esterco usado como fertilizante, portanto $F_{ON} = 0$. No cálculo de $N_2O - N_{N_{inputs}}$, F_{SOM} foi desconsiderado por já ter sido contabilizado na subseção 3.1.1.1. O valor de F_{SN} foi obtido dos inventários regionais construídos agrupando dados da literatura. F_{CR} foi calculado pela equação 12, que considera que os resíduos da colheita de soja não são removidos nem queimados. Para fertilizante sintético, $EF_1 = 0,016$, independente do clima (IPCC, 2019c).

$$F_{CR} = AGR \times N_{AG} + BGR \times N_{BG} \quad (12)$$

AGR é o total de resíduos sobre o solo e BGR é o total de resíduos sob o solo, ambos medidos em kg de matéria seca. N_{AG} é o conteúdo de nitrogênio na matéria sobre o solo, e N_{BG} é o conteúdo de nitrogênio sob o solo. Para a soja, $N_{AG} = N_{BG} = 0,008$. AGR foi calculado pela equação 13 (IPCC, 2019c).

$$AGR = M_{s,biodiesel} \times DRY \times R_{AG} \quad (13)$$

$M_{s,biodiesel}$ é a massa de soja (em kg) necessária para produzir 1 MJ de biodiesel, DRY é a proporção de massa seca na matéria colhida e R_{AG} é a razão entre os resíduos e os rendimentos da colheita. $M_{s,biodiesel}$ foi obtido no inventário. Para soja, $DRY = 0,91$ e $R_{AG} = 2,1$ (IPCC, 2006b).

BGR foi calculado pela equação 14 (IPCC, 2019c).

$$BGR = (Crop + AG_{DM}) \times RS \times Area \times Frac_{Renew} \quad (14)$$

Crop é a matéria seca colhida (kg/ha) calculada pela equação 15; AG_{DM} são os resíduos de matéria seca acima do solo (kg/ha), calculado pela equação 16; *RS* é a proporção entre a biomassa sob o solo e sobre o solo para a cultura em questão; *Area* é a área colhida e $Frac_{Renew}$ é a fração da área total renovada anualmente. Para culturas anuais, como a soja, $Frac_{Renew} = 1$ (IPCC, 2019c).

$$Crop = M_{s,biodiesel} \times DRY \quad (15)$$

$$AG_{DM} = Crop \times R_{AG} \quad (16)$$

Neste trabalho, considerou-se a *Area* em hectares usada para a produção da soja necessária para 1 MJ de biodiesel para cada região do Brasil, calculada usando a produção de soja (kg/ha) obtida do IBGE (2020) e os rendimentos e poder calorífico do biodiesel de soja apresentados na Tabela 2. Para a região Norte foi utilizada a produção de soja do Tocantins e para a região Nordeste usou-se a produção de soja da Bahia. Médias regionais foram utilizadas para o Centro-Oeste, Sudeste e Sul.

$N_2O - N$ foi convertido em N_2O através da equação 10, e a equação 11 foi utilizada para calcular o impacto em gCO_2eq .

Para avaliar as emissões ligadas aos insumos utilizados na agricultura, foram construídos inventários regionais agrupando dados da literatura apresentada na seção 2.1.2, excluindo os artigos que usavam dados de inventário de outros trabalhos já inclusos. Novas buscas foram feitas para tentar localizar inventários brasileiros sobre a agricultura da soja, independente se esta se destinava para o uso em biodiesel. Foi tirada a média ponderada por região entre os valores apresentados por cada estudo de caso. A ponderação foi feita de acordo com o número de casos apresentados dentro de cada estado; e, para a região, de acordo com a produção (kg) de soja por estado. Quando o número de fazendas avaliadas não era informado, utilizou-se o peso 1. Para a região Centro-Oeste, que utilizou 47,0% do óleo de soja para a produção de biodiesel no país (ANP, 2019), foram utilizados dados referentes a todos os estados. Para a região Sul, responsável por 44,0% do óleo de soja para a produção de biodiesel (ANP, 2019), não foram encontrados na literatura dados referentes ao estado de Santa Catarina, portanto o inventário da região foi feito utilizando apenas dados do Paraná e Rio Grande do Sul. Como Santa Catarina utilizou apenas 6,9% do óleo de soja utilizado para a produção de biodiesel na região (ANP, 2019), esta extrapolação é razoável. As regiões Sudeste, Norte e Nordeste proporcionalmente utilizam bem menos óleo de soja para a produção de biodiesel do que as regiões Centro-Oeste e Sul - respectivamente, a utilização de óleo para a produção de biodiesel dessas em relação à utilização nacional é 2,8%, 2,4% e 3,8% (ANP, 2019). Para a região sudeste, apenas dados de São Paulo, que utilizou 50,6% do óleo de soja para a produção de biodiesel na região (ANP, 2019), foram encontrados, e estes foram extrapolados para toda região. Não

foram encontrados dados para as regiões Norte e Nordeste. Como o estado produtor de biodiesel de soja da região Norte é o Tocantins, um estado com clima bastante similar à região Centro-Oeste, foram extrapolados para ele dados dos estados vizinhos, Mato Grosso e Goiás. Para a região nordeste, utilizou-se a média de dados de emissão do país. Todos os dados do inventário foram convertidos para a unidade funcional MJ de biodiesel, usando os fatores de conversão apresentados na Tabela 2 e a densidade do óleo diesel = 0,85 kg/l (BENNETT, 2014).

Foram utilizadas as emissões em CO₂eq agregadas pelo Ecoinvent (WERNET *et al.*, 2016), versão 3.7.1 (ECOINVENT, 2021b), alocação no ponto de substituição (APOS - alocação atribucional onde os impactos são proporcionalmente atribuídos aos processos). Utilizou-se dados de entrada da planilha *Market*, que agrupa as atividades necessárias para a comercialização de dado produto em dada geografia (ECOINVENT, 2021a). Quando disponíveis, utilizou-se dados locais. Quando não, dados globais foram adotados. Alguns pesticidas mencionados nos inventários não estavam disponíveis no Ecoinvent, e portanto utilizou-se valores genéricos da classe pesticida. O inventário da região Sudeste não especificava o fertilizante utilizado, e foi utilizado o valor médio das regiões Centro-Oeste e Sul entre os fertilizantes N-P-K. As emissões de calcário foram convertidas de CO₂eq/hectare para CO₂eq/MJ de biodiesel.

3.1.1.3 Transporte de soja

A produção de soja (em kg) em 2019 em cada cidade nos estados avaliados foi obtida em (IBGE, 2020f). Para o inventário, assumiu-se que a distância percorrida no transporte de soja até a usina ($Dist_{med,usina}$) era a média entre a distância entre as cidades produtoras de soja e a usina ($Dist_{cidades}$), ponderada pela produção de matéria prima (no caso, soja - $P_{mp,cidade}$) de cada cidade (equação 17).

$$Dist_{med,usina} = \sum_{cidade} \frac{Dist_{cidade,usina} \times P_{mp,cidade}}{\sum_{cidade} P_{mp,cidade}} \quad (17)$$

A distância entre as cidades produtoras de soja e a usina foi obtida no Google Maps (2021), adotando o menor caminho apresentado por rodovia entre a cidade produtora de soja e a cidade onde a usina se localiza. Como o estado do Rio de Janeiro não produz soja, considerou-se que toda a soja que ele utilizava vinha do estado vizinho São Paulo. Para cada estado, a distância média percorrida $Dist_{med,estado}$ foi calculada pela média entre $Dist_{med,usina}$ ponderada pela produção de biodiesel de cada usina $P_{biodiesel,usina}$ (equação 18).

$$Dist_{med,estado} = \sum_{usina} \frac{Dist_{med,usina} \times P_{mp,biodiesel,usina}}{\sum_{usina} P_{mp,biodiesel,usina}} \quad (18)$$

Considerou-se que o transporte era feito em caminhões com capacidade superior a 32 toneladas métricas, legislação euro 5 (ECOINVENT, 2021b). Esta legislação é equivalente à fase 7 do Programa de controle de emissões veiculares (Proconve), a qual o Brasil está desde 2012 (IBAMA, 2017). Os valores regionais de emissões foram calculados através de médias ponderadas pelo volume de matéria prima (no caso, soja) utilizado para a produção de biodiesel $P_{mp,biodiesel,reg}$ em cada estado avaliado da região (equação 19).

$$P_{mp,biodiesel,reg} = \sum_{estado} \frac{Dist_{med,estado} \times P_{mp,biodiesel,reg}}{\sum_{estado} P_{mp,biodiesel,reg}} \quad (19)$$

3.1.1.4 Extração, Refino e Transesterificação

Por se tratarem de etapas industriais, os inventários dos processos Extração, Refino e Transesterificação foram construídos agrupando dados da literatura em todo o país. Para a ponderação das médias, o número de localidades avaliadas em cada estudo foi considerado como peso. Assim como o realizado no processo Agricultura, dados de *Market* foram utilizados (ECOINVENT, 2021b) para calcular as emissões. Os valores regionais foram calculados utilizando dados localizados de energia elétrica disponíveis em Ecoinvent 3.7.1 (2021). Assumiu-se que estes três processos eram realizadas na mesma planta, portanto, não há etapa de transporte intermediário.

3.1.2 Biodiesel de sebo bovino

A avaliação das emissões decorrentes da produção de biodiesel de sebo bovino no país foi feita de maneira análoga à soja (seção 3.1.1), respeitando as especificidades de cada matéria prima.

A comparação entre o volume de sebo bovino consumido pelas usinas produtoras de biodiesel (ANP, 2019) e o número de cabeças de bovinos nos estabelecimentos agropecuários em 2019 (IBGE, 2020j) foi feita utilizando a densidade do sebo = 894 kg/m³ (FAO, 1999) e considerando que cada animal morto produzia 20,25 kg de sebo (ESTEVES, V. P. P. *et al.*, 2017). Esta comparação permitiu a verificação de que, com exceção do Rio Grande do Sul, cada estado produtor de biodiesel possuía um número de cabeças de gado suficiente para prover a necessidade interna de sebo bovino. Assim, assumiu-se que todo o sebo bovino utilizado pelas usinas provinha do próprio estado, e que o Rio Grande do Sul utilizava sebo do próprio estado e dos outros dois estados da região sul: Santa Catarina e Paraná. O Quadro 9 apresenta os estados e regiões avaliados na produção de biodiesel de sebo bovino.

Foi considerada apenas pecuária extensiva, tendo em vista que ela é a mais comum no país e que o confinamento de gado de abate, quando ocorre, é parcial: os

animais passam alguns meses confinados para engorda e o resto do tempo nos pastos (EPE, 2020). Os processos avaliados foram:

1. Mudança de Uso da Terra;
2. Criação de gado;
3. Transporte de animais para o abate;
4. Abate;
5. Transporte de sebo para a usina;
6. Transesterificação.

Quadro 9 – Estados e regiões avaliados na produção de biodiesel de sebo bovino.

Regiões	Estados
Norte	Tocantins (TO) Rondônia (RO)
Nordeste	Bahia (BA)
Centro-Oeste	Goiás (GO) Mato Grosso (MT) Mato Grosso do Sul (MS)
Sudeste	Minas Gerais (MG) São Paulo (SP)
Sul	Paraná (PR) Santa Catarina Rio Grande do Sul (RS)

Fonte: Elaborado pela autora.

Dois destes processos originam produtos não utilizados para a produção de biodiesel: além do sebo, o abate produz carne, farinha de carne e ossos, couro (ESTEVES, V. P. P. *et al.*, 2017). A transesterificação origina glicerina além do biodiesel. Todas as emissões geradas até a produção de cada co-produto devem ser alocadas. Os fatores de alocação foram calculados com dados das Tabelas 8 e 9, dividindo a massa ou energia do co-produto de interesse pela massa ou energia total gerada no processo, excluindo os resíduos. Os fatores de alocação estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 8 – Massa e energia dos co-produtos do abate

Produto	Carne	Farinha de Carne e Ossos	Couro	Sebo	Resíduo
Massa (kg)	236,52	37,6	44,55	20,25	111,08
Energia (MJ)	5,64	1,13	15,7	39,33	—

Fonte: Esteves V. P. P. *et al.* (2017)

Tabela 9 – Massa e energia dos co-produtos da transesterificação

	Biodiesel	Ref	Glicerina	Ref
Produção	1 MJ	[1]	$3,58 \times 10^{-3}$ kg/MJ de biodiesel	[1]
Poder calorífico	38,35 MJ/kg	[2]	15,2 MJ/kg	[3]

Fonte: Elaborada pela autora com dados de [1] Sousa *et al.*, (2017) , [2] Gautam; Kumar (2020) e [3] Castanheira *et al.*, (2015).

Tabela 10 – Fatores de alocação utilizados para o biodiesel de sebo bovino

	Sebo	Outros produtos	Biodiesel	Glicerina
Massa	0,0597	0,940	0,879	0,121
Energia	0,277	0,733	0,948	0,052

Fonte: Elaborada pela autora.

3.1.2.1 Mudança de Uso da Terra

Para o inventário, foram comparadas as áreas de pastos naturais e plantados (em bom estado e degradados) dos estabelecimentos agropecuários com criação de bovinos em 2017 (IBGE, 2020i) e 2006 (IBGE, 2020e), de modo a cumprir a equação 20.

$$\Delta Area_{pd} + \Delta Area_{pb} + \Delta Area_{fn} = 0 \quad (20)$$

Adotou-se a hipótese conservadora de que as áreas de avanço de pasto plantado provinham primeiramente de alterações observadas no tipo de pasto (nesta ordem: redução do pasto degradado, redução do pasto plantado em bom estado, redução do pasto natural). Caso o aumento em um tipo de pasto fosse superior à redução em outros tipos, considerou-se que este aumento provinha do avanço sobre áreas de floresta nativa. Aumento da área de pastagem natural utilizada para a criação de gado não foi contabilizada como mudança de uso da terra, sendo apenas avaliada como área da criação no processo criação de gado (subseção 3.1.2.2). Em estados onde houve redução da área total de pastagem plantada, considerou-se que as emissões devido a

MUT eram nulas.

As mudanças no estoque de carbono devido a MUT foram calculadas pelas equações 2, 3 e 4; usando os dados apresentados nos Quadro 5, Quadro 6, Quadro 7 e Quadro 8. As emissões de nitrogênio associadas às mudanças no estoque de carbono foram calculadas pelas equações 7, 8 e 9. Neste processo, apenas F_{SOM} foi avaliado. Utilizou-se $R = 15$ (ESTEVEES, V. P. P. *et al.*, 2017) e $D = 11$. As emissões foram convertidas em CO_2eq através das equações 5, 10 e 11. As emissões por cabeça de gado foram calculadas dividindo as emissões totais pelo número de animais criados. As emissões regionais foram calculadas através de médias ponderadas pelo volume de biodiesel de sebo bovino produzido em cada estado. Para a região Sul, como o sebo utilizado pelo Rio Grande do Sul era produzido também pelo Paraná e Santa Catarina, a ponderação foi feita pela equação 21.

$$E_{sul} = \frac{E_{PR} \cdot [C_{biodiesel,PR} + R_{sul} \cdot (C_{PR} - C_{biodiesel,PR})] + E_{SC} \cdot R_{sul} \cdot C_{SC} + E_{RS} \cdot R_{sul} \cdot C_{RS}}{C_{biodiesel,PR} + C_{biodiesel,RS}} \quad (21)$$

E_{sul} são as emissões ponderadas para a região Sul, E_{PR} são as emissões do Paraná, $C_{biodiesel,PR}$ é o total de cabeças de gado necessárias para suprir a produção de biodiesel de sebo no Paraná, R_{sul} é a razão de ponderação calculada pela equação 22, C_{PR} é o total de cabeças de gado criadas no Paraná, E_{SC} são as emissões em Santa Catarina, C_{SC} é o total de cabeças de gado criadas em Santa Catarina, E_{RS} são as emissões de Rio Grande Sul, C_{RS} são todas as cabeças de gado criadas no Rio Grande do Sul e $C_{biodiesel,RS}$ é o total de cabeças de gado necessárias para suprir produção de biodiesel de sebo no Rio Grande do Sul.

$$R_{sul} = \frac{C_{biodiesel,RS}}{C_{PR} - C_{biodiesel,PR} + C_{SC} + C_{RS}} \quad (22)$$

3.1.2.2 Criação de gado

O impacto da criação de gado no aquecimento global foi calculado de acordo com IPCC (2019), *tier 1*. Quatro tipos de emissões foram avaliadas: metano (CH_4) devido a fermentação entérica, CH_4 devido ao manejo de estrume, N_2O direto devido ao manejo de estrume e N_2O devido ao manejo de solo. As emissões de CO_2 são zero, pois o gás carbônico sintetizado pelas plantas é retornado à atmosfera através da respiração do gado (IPCC, 2019c).

A emissão de metano devido a fermentação entérica (E_T , expressa em $GgCH_4/ano$) foi calculada pela equação 23 (IPCC, 2019c).

$$E_T = \sum_{(P)} EF_{Prod} \times \frac{N_{Prod}}{10^6} \quad (23)$$

Onde EF_{Prod} é o fator de emissão para a população de animais e sistema produtivo $Prod$ (em kgCH_4 animal/ano), e N_{Prod} é o número de animais no sistema produtivo $Prod$ (IPCC, 2019c).

O número de cabeças de gado N_{Prod} foi obtido em IBGE (2020). O IBGE (2020) divide as pastagens em naturais, plantadas em boas condições e plantadas em más condições. Considerou-se que a distribuição do gado era uniforme, ou seja: a percentagem de gado em cada tipo de pasto era proporcional à área de cada tipo de pasto em cada estado estudado. Fêmeas reprodutoras foram desconsideradas, pois normalmente não se destinam ao abate.

Os sistemas produtivos podem ser classificados entre baixa e alta produtividade. Sistemas de alta produtividade são aqueles onde os animais são criados em confinamento, ou pastando em pastos que sofreram melhorias e recebendo suplementação alimentar. Neste tipo de sistema, os animais ganham peso rapidamente. Sistemas de baixa produtividade são aqueles onde os animais alimentam-se de pastagem de baixa qualidade ou resíduos de plantação. Neste tipo de sistema, os animais ganham peso lentamente (IPCC, 2019c). Neste trabalho, adotou-se parâmetros referentes a sistemas de baixo rendimento para animais criados em pasto plantado em más condições, parâmetros referentes a sistema de alto rendimento para animais criados em pasto plantado em boas condições, e parâmetros médios para animais criado em pasto natural. Para a América Latina, $EF_{alta\ produtividade} = 55 \text{ kg CH}_4 /(\text{cabeça.ano})$, $EF_{media\ produtividade} = 56 \text{ kg CH}_4 /(\text{cabeça.ano})$, e $EF_{baixa\ produtividade} = 58 \text{ kg CH}_4 /(\text{cabeça.ano})$ (IPCC, 2019c).

A emissão de CH_4 (em $\text{kg CH}_4/\text{ano}$) devido ao manejo de estrume foi calculada pela equação 24 (IPCC, 2019c).

$$CH_{4_{mm}} = \sum_{So,Prod} \frac{N_{Prod} \times VS_{Prod} \times AWMS_{So,Prod} \times EF_{So,Prod}}{1000} \quad (24)$$

VS_{Prod} é a excreção anual de um animal no sistema produtivo, $AWMS_{So,Prod}$ é a fração do estrume que sofre o tipo de manejo So no sistema produtivo $Prod$, e $EF_{So,Prod}$ é o fator de emissão para emissões diretas de CH_4 em sistema produtivo $Prod$ sofrendo manejo So , medido em $\text{g CH}_4/\text{kg VS}$.

Na América Latina, para gado não voltado à produção de laticínios, $VS_{baixa\ produtividade} = 8,6 \text{ kg VS} / (1000 \text{ kg de animal} \times \text{dia})$, $VS_{medio} = 8,5 \text{ kg VS} / (1000 \text{ kg de animal} \times \text{dia})$ e $VS_{alta\ produtividade} = 8,1 \text{ kg VS} / (1000 \text{ kg de animal} \times \text{dia})$ (IPCC, 2019c). Para converter VS_{Prod} à unidade utilizada na equação 24 utilizou-se a equação 25 (IPCC, 2019c).

$$VS_{Prod} = VS_{rate,Prod} \times 365 \times \frac{TAM_{Prod}}{1000} \quad (25)$$

$VS_{rate,Prod}$ são os valores de $VS_{baixa\ produtividade}$, $VS_{media\ produtividade}$ e $VS_{alta\ produtividade}$ em kg VS / (1000 kg de animal × dia) tabelados pelo IPCC (2019), e TAM_{Prod} é a massa média dos animais em dado sistema produtivo. TAM_{Prod} diz respeito a animais em todas as fases da vida, e não apenas prontos para o abate. Para a América Latina, $TAM_{baixa\ produtividade} = 295$ kg, $TAM_{medio} = 303$ kg e $TAM_{alta\ produtividade} = 329$ kg (IPCC, 2019c).

Para a América Latina e o Caribe, as percentagens em cada tipo de manejo de esterco ($AWMS_{Prod}$) são as seguintes: 3% do esterco é tratado através de estocagem sólida, 5% através de lotes secos e 92% é deixado no pasto (IPCC, 2019c). Os valores de $EF_{So,Prod}$ estão apresentados no Quadro 10.

Quadro 10 – Fator de emissão $EF_{So,Prod}$ (gCH₄/kg VS) para emissões diretas de CH₄ em sistema produtivo $Prod$ sofrendo manejo So .

Clima	Temperado	Quente
Estados	PR, SC e RS	TO, RO, BA, GO, MS, MT, MG e SP
Estocagem sólida	6	4,8
Lote seco	2,4	1,8

Fonte: IPCC (2019).

As emissões anuais diretas de N₂O ($N_{2}O_D$, em kg N₂O) devido ao manejo de esterco foram calculadas pela equação 26 (IPCC, 2019c).

$$N_{2}O_D = \left\{ \sum_{So} \left[\sum_{Prod} ((N_{Prod} \times Nex_{Prod}) \times AWMS_{So,Prod}) + N_{cdg(So)} \right] \times EF_{3(S)} \right\} \times \frac{44}{28} \quad (26)$$

Nex_{Prod} é excreção anual média de nitrogênio por cabeça em dado sistema $Prod$ (medido em kg N/(animal × ano)), N_{cdg} é a adição anual de nitrogênio via co-digestão anaeróbica, e $EF_{3(S)}$ é o fator de emissão para emissões diretas de nitrogênio por manejo de esterco (IPCC, 2019c).

Nex_{Prod} é calculado pela equação 27 (IPCC, 2019c).

$$Nex_{Prod} = N_{rate,Prod} \times 365 \times \frac{TAM_{Prod}}{1000} \quad (27)$$

$N_{rate,Prod}$ é a taxa de excreção de nitrogênio, em kg N/(kg animal × dia). Para a América Latina, $N_{rate,baixa\ produtividade} = 0,29$ kg N/(kg animal × dia), $N_{rate,media} = 0,31$ kg N/(kg animal × dia) e $N_{rate,alta\ produtividade} = 0,36$ kg N/(kg animal × dia) (IPCC, 2019c).

Neste trabalho, usou-se $N_{cdg} = 0$. $EF_{3,estocagem\ solida} = 0,010$ kg N₂O - N e $EF_{3,lote\ seco\ solida} = 0,02$ kg N₂O - N (IPCC, 2019c).

As emissões de N₂O devido ao manejo do solo foram calculadas pelas equações 6 e 10 (IPCC, 2019c). F_{SOM} foi desconsiderado por já ter sido avaliado no processo MUT (subseção 3.1.2.1). Assumiu-se que nenhum fertilizante foi adicionado às pastagens, ou seja: $F_{SN} = F_{ON} = F_{CR} = 0$, e portanto $N_2O - N_{N,inputs} = 0$.

$N_2O - N_{PRP}$ foi calculado pela equação 28.

$$N_2O - N_{PRP} = F_{PRP} \times EF_{3,PRP} \quad (28)$$

F_{PRP} é a quantidade de N depositado no solo devido a urina e fezes dos animais (em kg N/ano), e $EF_{3,PRP}$ é o fator de emissão de N₂O para fezes e urina depositados no solo (em kg N₂O / kg N depositado). F_{PRP} é calculado pela equação 29. Para gado, $EF_{3,PRP} = 0,02$ em climas secos (neste estudo, no estado da Bahia) e $EF_{3,PRP} = 0,06$ em climas úmidos (neste estudo, nos demais estados) (IPCC, 2019c).

$$F_{PRP} = N_{Prod} \times Nex_{Prod} \times AWMS_{PRP} \quad (29)$$

As emissões de CH₄ e N₂O foram convertidas em CO₂eq pela equação 11. Para GWP 100y, $EF_{N_2O} = 298$ e $EF_{CH_4} = 25$ (FORSTER *et al.*, 2007).

Emissões regionais foram calculadas através de médias de emissões ponderadas pela quantidade de sebo bovino utilizado para a produção de biodiesel. A emissão da região Sul foi calculada pelas equações 21 e 22.

3.1.2.3 Transporte de animais para abate

Devido a indisponibilidade de dados nacionais sobre as cidades onde o abate era realizado, considerou-se que a distância percorrida entre a fazenda e o abate e a distância percorrida entre o abate e a usina eram iguais à distância entre as fazendas e a usina. Tal hipótese baseou-se no trabalho de Esteves V. P. P (2017), que apresentou as distâncias entre a fazenda e o abate e entre o abate e a usina para o estado do Mato Grosso do Sul e mostrou que a média entre elas variava menos de 10%.

A distância média para cada estado foi calculada pelas equações 17 e 18, sendo a matéria prima (cabeças de gado em 2019) obtida do IBGE (2020) e o volume de sebo utilizado para a produção de biodiesel no mesmo ano obtido da ANP (2019). No caso do Rio Grande do Sul, considerou-se além da distância entre as usinas cidades produtoras de gado do próprio estado a distância entre as usinas do estado e as cidades produtoras de gado de Santa Catarina e Paraná.

Assim como no caso da soja, dados do Ecoinvent 3.7.1 (2021) foram utilizados para calcular as emissões. Adotou-se a massa dos animais como sendo 450 kg (ESTEVES, V. P. P. *et al.*, 2017). Considerou-se que o transporte foi feito em caminhões com

capacidade superior a 32 toneladas métricas, legislação euro 5. As emissões regionais foram calculadas pela equação 19.

3.1.2.4 Abate

Apenas um inventário de abate foi localizado (ESTEVES, V. P. P. *et al.*, 2017), e portanto os insumos apresentados por ele foram utilizados como padrão para todo o país, sendo a unidade funcional convertida para MJ de biodiesel considerando um animal médio de 450kg cujo abate gera 20,25kg de sebo (ESTEVES, V. P. P. *et al.*, 2017), e que é necessário 0,0323 kg de sebo para produzir 1 MJ de biodiesel (SOUSA *et al.*, 2017). As emissões utilizadas foram as do tipo Market do Ecoinvent 3.7.1 (2021).

3.1.2.5 Transporte de sebo

Assumiu-se que a distância percorrida pelo sebo entre o abate e a usina era igual à distância média ponderada entre as fazendas do estado e a usina, calculada na subseção 3.1.2.3. Assim como feito naquela subseção, considerou-se que caminhões com capacidade superior a 32 toneladas métricas, legislação euro 5 eram responsáveis pelo transporte de sebo, e dados do Ecoinvent 3.7.1 (2021) foram utilizados para calcular as emissões estaduais. A equação 19 permitiu especificar as emissões regionais.

3.1.2.6 Transesterificação

O inventário dos insumos utilizados no processo transesterificação foi feito através de média entre os inventários de Esteves V. V. P. *et al.* (2017) e Sousa *et al.* (2017), sendo os valores convertidos para a unidade de referência MJ de biodiesel utilizando a densidade do sebo =895 kg/m³ (FAO, 1999) e que 0,0323kg de sebo são usados na produção de 1 MJ de biodiesel (SOUSA *et al.*, 2017). As emissões de cada insumo foram obtidas no Ecoinvent 3.7.1 (2021), sendo os valores regionais ligeiramente diferentes entre si devido a valores diferentes de emissão decorrente do uso de energia elétrica em cada região.

3.2 AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA SOCIAL

A Avaliação de Ciclo de Vida Social realizada neste trabalho teve como enfoque as relações trabalhistas. O método desenvolvido foi baseado nas categorias descritas pelo PNUMA/SETAC (ANDREWS, 2009) e no *Subcategory Assessment Method* (SAM) apresentado por Ramirez *et al.* (2014). Os métodos apresentados nesta seção são parte de um artigo submetido pela autora da tese e seu orientador (COSTA; OLIVEIRA, A., 2021c).

3.2.1 Definição de escopo e objetivo

A parte interessada avaliada foram os trabalhadores. As subcategorias avaliadas foram: liberdade de associação e acordos trabalhistas (S_1), horas trabalhadas (S_2), trabalho forçado (S_3), igualdade de oportunidades/ discriminação (S_4) e salário justo (S_5). O Quadro 11 resume as divisões geográficas e as desigualdades avaliados.

Quadro 11 – Subcategorias, divisões geográficas e desigualdades avaliadas em ACV-S.

Parte Interessada	Subcategoria	Divisões geográficas e desigualdades avaliadas
Trabalhadores	S_1 : Liberdade de associação e acordos trabalhistas	Brasil e estados (todos os trabalhadores)
	S_2 : Horas trabalhadas	Brasil e estados (todos os trabalhadores; trabalhadores divididos por sexo; trabalhadores divididos por raça)
	S_3 : Trabalho forçado	Brasil (todos os trabalhadores)
	S_4 : Igualdade de oportunidades/discriminação	Brasil e estados (todos os trabalhadores)
	S_5 : Salário justo	Brasil e estados (todos os trabalhadores; trabalhadores divididos por sexo; trabalhadores divididos por raça)

Fonte: Elaborado pela autora, baseado em PNUMA/SETAC (ANDREWS, 2009)

Foram avaliados dados entre 2015 e 2019. Todos os dados analisados referem-se a todos os trabalhadores envolvidos na produção de soja e gado, e não apenas a soja e biodiesel destinados à produção de biodiesel. Foram avaliados estados que produzem mais de 1 milhão de toneladas de soja (IBGE, 2017b) ou estados que possuem mais de 1 milhão de cabeças de gado (IBGE, 2017a). A lista de estados avaliados é apresentada no Quadro 12.

Quadro 12 – Estados avaliados na ACV-S.

Estados avaliados para soja	Estados avaliados para gado
PA, TO, BA, MA, PI, GO, MS, MT, MG, SP, PR, RS, SC	AC, AM, PA, TO, BA, CE, MA, PB, PE, PI, GO, MS, MT, ES, MG, SP, PR, RS, SC

Fonte: Elaborado pela autora.

3.2.2 Análise de inventário

Para a construção do inventário, foram utilizados dados públicos disponibilizados pelo governo brasileiro:

- Microdados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNADC) (IBGE, 2020c), realizada pelo IBGE para produzir informações sobre as condições de trabalho no país. A PNADC segue recomendações da Organização Internacional do Trabalho (OIT) e da Comissão Estatística das Nações Unidas. A cada trimestre, a PNADC visita uma amostra representativa da população brasileira: 211 344 residências classificadas em 15 096 unidades primárias de amostragem (IBGE, 2020b). Os resultados são armazenados em arquivos de dados contendo sequências de números, onde cada linha apresenta dados sobre uma residência entrevistada. Um arquivo de dicionário com a localização e o significado de cada variável também é disponibilizado (IBGE, 2020c). No Apêndice C, as Figuras 30 e 31 mostram o formato dos dados e o dicionário da PNADC. Uma sequência de 20 conjuntos de microdados da PNADC foi analisada neste estudo: quatro para cada ano entre 2015 e 2019. Esses dados foram usados para avaliar as subcategorias S_2 (horas trabalhadas), S_4 (igualdade de oportunidades/ discriminação) e S_5 (salário justo). A PNADC avalia todos os empregos de pessoas com mais de uma ocupação, mas apenas o emprego principal foi considerado neste estudo.
- Dados do Censo Agropecuário, realizado a cada cinco anos pelo IBGE e disponibilizado em planilhas de excel na SIDRA, conforme exemplo apresentado na Figura 29. Os dados sobre os estabelecimentos associadas a cooperativas foram obtidas na edição mais recente, publicada em 2017 (IBGE, 2020a). Esses dados foram usados para avaliar a subcategoria S_1 (liberdade de associação e negociação trabalhista).
- Dados do Cadastro de empregadores que tenham submetido trabalhadores a condições análogas à de escravo, também chamado de Lista Suja do Trabalho Escravo (MINISTÉRIO DA ECONOMIA, 2020). Para ilustração dos dados disponibilizados, um pedaço do cadastro é apresentado na Figura 32. A legislação brasileira considera as seguintes condições como análogas à escravidão: o uso de coerção, a ameaça de punição ou segurança armada para forçar o trabalhador a realizar o trabalho solicitado; a retenção do trabalhador no local de trabalho por meio do uso de violência, a restrição da locomoção do trabalhador, ou retenção de documentação do funcionário (SENADO FEDERAL, 2020). O Cadastro de Empregadores que tenham submetido trabalhadores a condições análogas à escravidão (MINISTÉRIO DA ECONOMIA, 2020) apresenta dados a partir de 2016 e foi utilizado para avaliar a subcategoria S_3 (trabalho forçado). Foram avaliados

dados sobre cultivo de soja e criação de gado de corte. Não foram considerados relatos trabalho forçado relativos à criação de gado leiteiro e gado para outros fins.

3.2.3 Avaliação de impacto

A avaliação de impacto do ciclo de vida foi baseada no SAM (RAMIREZ *et al.*, 2014), que foi desenvolvido para avaliar o desempenho de organizações e atribui um nível de A (melhor caso) a D (pior caso) de acordo com o cumprimento dos requisitos básicos de cada subcategoria. Neste estudo, regiões geográficas (Brasil e estados brasileiros) foram avaliadas em vez de organizações. Os processos avaliados foram cultivo de soja e criação de gado. O objetivo das diferentes notas era comparar as diferenças entre a agricultura e criação de gado realizada nas regiões geográficas avaliadas. Os requisitos básicos propostos por Ramirez *et al* (2014) foram adaptados à realidade brasileira. Números de 0 a 3 foram usados para ponderar a frequência relativa de pessoas cujas condições de trabalho cumprem, cumprem parcialmente ou descumprem os requisitos básicos de cada subcategoria estudada. Um valor médio das subcategorias foi obtido para cada estado e para todo o país.

O IBGE disponibiliza um pacote computacional em R para análise dos microdados da PNADC (IBGE, 2020d, 2020c). No entanto, este pacote não considera os efeitos da natureza não randomizada da PNADC. A probabilidade de uma casa ser visitada para entrevistas varia. Um fator de ponderação deve ser multiplicado pelo resultado da entrevista da PNADC para extrapolar seus resultados para a população brasileira (DJALMA PESSOA, 2018). Neste estudo, foi desenvolvida uma rotina computacional em R (R CORE TEAM, 2013) para calcular a frequência relativa de pessoas trabalhando em cada atividade e as notas das subcategorias S_2 , S_4 e S_5 . Essa rotina está disponível no Apêndice D e pode ser editada para avaliar outros tipos de trabalho e outros dados da PNADC não avaliados neste estudo. Os erros dos dados extrapolados da PNADC foram calculados por meio da equação 30, fornecida pelas normas da PNADC (IBGE, 2020b). Os erros da frequência relativa e das notas das subcategorias propostas nas equações 33, 34, 35, 39, e 41 foram propagados usando linearização de Taylor (equações 31, 32) (DJALMA PESSOA, 2018).

$$E_c = \sqrt{\frac{m_h}{m_h - 1} \sum_i (Z_{hi} - Z_h)^2} \quad (30)$$

E_c é o erro extrapolado dos dados da PNADC, m_h é o número de unidades primárias no local analisado (disponível em (IBGE, 2020b)), Z_{hi} é a ponderação trimestral com correção para não entrevista com pós-estratificação por projeção populacional

(disponível nos microdados da PNADC) e $Z_h = \sum Z_{hi}$ (IBGE, 2020b).

$$E_P = \sqrt{\left(\frac{\partial P(c_1, c_2, \dots, c_n)}{\partial c_1}\right)^2 E_{c_1}^2 + \left(\frac{\partial P(c_1, c_2, \dots, c_n)}{\partial c_2}\right)^2 E_{c_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial P(c_1, c_2, \dots, c_n)}{\partial c_n}\right)^2 E_{c_n}^2} \quad (31)$$

$$E_S = \sqrt{\left(\frac{\partial S(P_1, P_2, \dots, P_n)}{\partial P_1}\right)^2 E_{P_1}^2 + \left(\frac{\partial S(P_1, P_2, \dots, P_n)}{\partial P_2}\right)^2 E_{P_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial S(P_1, P_2, \dots, P_n)}{\partial P_n}\right)^2 E_{P_n}^2} \quad (32)$$

E_P é o erro da frequência relativa, $P(c_1, c_2, \dots, c_n)$ é a frequência relativa, c_1, c_2, \dots, c_n são os dados da PNADC usados para calcular a frequência relativa, $E_{c_1}, E_{c_2}, \dots, E_{c_n}$ são os erros dos dados da PNADC extrapolados, E_S é o erro da subcategoria, $S(P_1, P_2, \dots, P_n)$ é a nota da subcategoria, P_1, P_2, \dots, P_n são as frequências relativas usadas para calcular as notas das subcategorias, e $E_{P_1}, E_{P_2}, \dots, E_{P_n}$ são os erros das frequências relativas.

3.2.3.1 S_1 : Liberdade de associação e negociação trabalhista

O requisito básico era a associação de estabelecimentos de produção de soja e criação de gado a uma cooperativa. O peso 3 foi atribuído ao percentual de estabelecimentos associados a uma cooperativa e o peso 1 foi atribuído ao percentual de não associados. A nota foi calculada usando a equação 33.

$$S_1 = 3 \times P_{yes} + 1 \times P_{no} \quad (33)$$

S_1 é a nota da subcategoria 1: Liberdade de associação e negociação trabalhista; P_{yes} é a frequência relativa de estabelecimentos associados a cooperativas P_{no} é a frequência relativa de estabelecimentos não associados a cooperativas.

3.2.3.2 S_2 : Horas trabalhadas

A legislação brasileira permite uma carga horária máxima de 44h semanais (TRIBUNAL SUPERIOR DO TRABALHO, 2020). Portanto, este foi considerado o requisito básico a ser atendido na subcategoria horas trabalhadas, e o peso 3 foi atribuído à frequência relativa de pessoas que trabalhavam até 44h por semana. Ramirez *et al.* (2014) recomendam como requisito básico que o número diário de horas trabalhadas não exceda 8h; e que o número de horas trabalhado semanalmente não exceda 48h. Estes critérios são determinados pelas convenções 1 e 30 da OIT. Com base nisso, o peso 2 foi atribuído ao percentual de pessoas que trabalham entre 44h e 48h por semana. O peso 1 foi atribuído à porcentagem de pessoas que trabalham mais de 48h por semana. A nota foi calculada usando a equação 34.

$$S_2 = 3 \times P_{\leq 44h} + 2 \times P_{44h \text{ to } 48h} + 1 \times P_{> 48h} \quad (34)$$

S_2 é a nota da subcategoria 2: horas trabalhadas; $P_{\leq 44h}$ é a frequência relativa de pessoas que trabalham até 44h por semana, $P_{44hto48h}$ é a frequência relativa de pessoas que trabalham entre 44h e 48h por semana, e $P_{>48h}$ é a frequência relativa de pessoas que trabalham mais que 48h por semana.

3.2.3.3 S_3 : Trabalho forçado

O requisito básico é que não haja registro de trabalhadores das atividades estudadas submetidos a condições análogas à escravidão no estado. A nota foi calculada usando a equação 35.

$$S_3 = \begin{cases} 3 & \text{Se não houver registro de trabalhadores submetidos a condições análogas à escravidão no estado;} \\ 0 & \text{Se há registro de trabalhadores sujeitos a condições análogas à escravidão no estado.} \end{cases} \quad (35)$$

S_3 é a nota da subcategoria 3: trabalho forçado. A nota 0 foi atribuída para fazer o impacto de trabalho semelhante à escravidão mais significativo do que a existência de trabalhadores que trabalham mais de 44h semanais (avaliado em S_2) ou que ganham menos do que o salário mínimo (avaliado em S_5). A nota do Brasil é a média das notas dos estados estudados.

3.2.3.4 S_4 : Igualdade de oportunidades/discriminação

O requisito básico proposto por Ramirez *et al.* (2014) é a existência de um sistema de gestão, política ou ações para prevenir a discriminação e promover a igualdade de oportunidades para os trabalhadores na organização. Não foi possível determinar a existência e eficácia desse tipo de ação em nível estadual e nacional. Portanto, esta subcategoria foi avaliada comparando as frequências relativas de pessoas de diferentes raças e sexos em cada uma das atividades estudadas com as frequências relativas destas pessoas na população local. O objetivo da equação proposta é comparar os dados reais com o melhor e pior cenário. A nota 3 (melhor cenário) seria atribuída a uma situação onde a frequência relativa de cada sexo e raça trabalhando na atividade fosse igual à frequência relativa da população local. A nota 1 (pior cenário) seria atribuído se todos os trabalhadores da atividade fossem homens brancos. O impacto máximo das disparidades de raça e sexo na nota são = 1. A nota começa em 3. Um valor entre 0 e 1 é subtraído devido às disparidades entre os sexos. Um valor entre 0 e 1 é subtraído de acordo com a disparidades entre as raças.

Primeiramente, a diferença D_i entre as frequências relativas de cada resposta para as atividades (cultivo de soja e produção de gado) e a frequência relativa de cada resposta na população local foi calculada por meio da equação 36.

$$D_i = |P_{activity} - P_{local}| \quad (36)$$

i é cada uma das repostas possíveis na PNADC à categoria raça, e cada uma das duas repostas possíveis à categoria sexo; $P_{activity}$ é a frequência relativa das pessoas trabalhando na atividade; e P_{local} é a frequência relativa na população local.

Dois fatores de correção, F_{race} (equação 37) e F_{sex} (equação 38), foram criados para manter os impactos de raça e sexo no intervalo entre 0 e 1. F_{race} é igual à soma da diferença D_i se todas as pessoas trabalhando na atividade forem brancas, ou seja: $P_{activity,white} = 1$ and $P_{activity,black} = P_{activity,asian} = P_{activity,brown} = P_{activity,indigenous} = 0$. F_{sex} é igual a soma da diferença D_i se apenas homens trabalharem na atividade, ou seja: $P_{activity,male} = 1$ and $P_{activity,female} = 0$.

$$F_{race} = 1 - P_{local,white} + \sum P_{local,other} \quad (37)$$

$$F_{sex} = 1 - P_{local,male} + P_{local,female} \quad (38)$$

$P_{local,white}$ é a frequência relativa de pessoas brancas na população local, $\sum P_{local,other}$ é a frequência relativa de pessoas não brancas na população local, $P_{local,male}$ é a frequência relativa de homens na população local e $P_{local,female}$ é a frequência relativa de mulheres na população local.

Por fim, a nota da subcategoria 4: igualdade de oportunidades/discriminação foi calculada pela equação 39.

$$S_4 = 3 - \left(\frac{\sum^{i,race} D_i}{F_{race}} + \frac{\sum^{i,sex} D_i}{F_{sex}} \right) \quad (39)$$

Notas das subcategorias horas trabalhadas (equação 34) e salário justo (equação 41) também foram calculados para homens e mulheres e para negros e brancos para melhor compreender os efeitos das desigualdades no Brasil e nos estados que dispunham de dados suficientes para realizar essas análises. A categoria negros reuniu as categorias preto e pardo da PNADC.

3.2.3.5 S_5 : Salário justo

A PNADC classifica todos os trabalhadores em uma das sete funções: trabalhador doméstico, militar, trabalhador do setor privado, trabalhador do setor público, empregador, trabalhador autônomo e trabalhador familiar não remunerado. Trabalhadores familiares não remunerados foram excluídos do cálculo da subcategoria salário justo, pois o salário da categoria da PNADC não se aplica a eles.

A avaliação de S_5 considerou o salário mínimo por hora. A PNADC apresenta o valor ganho por mês, W_{month} , e o número de horas trabalhadas por semana, h_{week} . O

salário por hora W_{hora} foi calculado usando a equação 40. Assumiu-se um mês regular com 30 dias.

$$W_{hour} = \frac{W_{month}}{30} \times \frac{7}{h_{week}} \quad (40)$$

O requisito básico é que os trabalhadores ganhem pelo menos o salário mínimo. O peso 3 foi atribuído à frequência relativa de trabalhadores que atendiam ao requisito básico. O peso 1 foi atribuído à frequência relativa de trabalhadores que não atendiam. A equação 41 foi usada.

$$S_5 = 3 \times P_{min} + 1 \times P_{<min} \quad (41)$$

S_5 é a nota da subcategoria 5: salário justo; P_{min} é a frequência relativa dos trabalhadores que ganham por hora o valor do salário mínimo ou mais; e $P_{<min}$ é a frequência relativa dos trabalhadores que ganham por hora menos que o salário mínimo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos objetivos específicos 3, 4 e 5 são descritos e discutidos neste capítulo. A seção 4.1 aborda o ACV-A. Nela, a subseção 4.1.1 apresenta os inventários decorrentes da sistematização dos dados de diferentes fontes governamentais e da literatura, separado por regiões do país, conforme o objetivo 3. Os resultados do objetivo 4, avaliar o Potencial de Aquecimento Global da produção de biodiesel de soja e sebo bovino nas diferentes regiões do Brasil, são mostrados na subseção 4.1.2. Os resultados do último objetivo, a avaliação dos impactos sociais da produção de soja e gado sobre os trabalhadores entre 2015 e 2019 em cada região brasileira, estão na seção 4.2.

4.1 AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA AMBIENTAL

4.1.1 Inventários

4.1.1.1 Biodiesel de soja

Os inventários levantados para biodiesel de soja estão apresentados nas Tabelas 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 e 19.

A Tabela 11 apresenta a mudança do uso da terra. Observa-se que houve expansão da área de colheita de soja em todos os estados estudados, tendo o maior avanço absoluto ocorrido no Mato Grosso (3 464 435 ha) e o menor, em São Paulo (220 869 ha). O Mato Grosso também é o estado com a maior área de plantio de soja. A comparação entre Δ *Area* e a área total de colheita de soja revelou que proporcionalmente o maior aumento ocorreu na Bahia, sendo a razão entre a área de expansão da soja e a área total de cultivo em 2017 igual a 61%. Entre 2006 e 2017 área de colheita de soja dobrou em Santa Catarina, e a razão entre área de expansão e cultivo esteve entre 25% e 37% nos demais estados. A hipótese conservadora adotada de que a expansão de soja provinha primeiramente de mudanças de uso da terra observada em propriedades rurais resultou na observação de aumento de área de soja sobre áreas que anteriormente eram florestas nativas em cinco dos dez estados estudados: Tocantins, Mato Grosso, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Nos outros estados, o avanço da soja ocorreu sobre áreas de pasto. A Bahia é o estado estudado com a menor produção de soja por hectare, enquanto Santa Catarina e Paraná possuem as maiores produtividades.

Tabela 11 – Inventário: mudança de uso da terra entre 2006 e 2017 para cultura de soja no Brasil

Estado	Uso da terra	Δ Área (ha)	Área Total ⁽¹⁾ (ha)	Produção ⁽¹⁾ (kg soja/ha)
TO	Colheita de soja	512940	9287302	2862
	Pasto natural	-458861		
	Floresta natural	-54079		
BA	Colheita de soja	711264	842160	3248
	Pasto natural	-711264		
MT	Colheita de soja	3464435	9287302	3290
	Pasto degradado	-54996		
	Pasto natural	-408586		
	Floresta natural	-3000853		
MS	Colheita de soja	713169	2620857	3473
	Pasto degradado	-321683		
	Pasto natural	-391486		
GO	Colheita de soja	838148	3332208	3414
	Pasto degradado	-31498		
	Pasto plantado em boas condições	-378836		
	Pasto natural	-427814		
MG	Colheita de soja	533422	1542788	3468
	Pasto natural	-533422		
SP	Colheita de soja	289940	946540	3478
	Pasto degradado	-220869		
	Pasto natural	-69071		
PR	Colheita de soja	1305668	5237389	3663
	Pasto degradado	-211550		
	Pasto plantado em boas condições	-25648		
	Pasto natural	-479235		
	Floresta natural	-589235		
SC	Colheita de soja	336265	667892	3698
	Pasto natural	-100337		
	Floresta natural	-235928		
RS	Colheita de soja	1673359	5541860	3385
	Pasto degradado	-3534		
	Pasto natural	-726865		
	Floresta natural	-942960		

Fonte: Elaborada pela autora com dados de IBGE (2020).

Observação: ⁽¹⁾ Dado referente a 2017.

As Tabelas 12, 13, 14 e 15 apresentam os insumos utilizados para o cultivo da soja nas regiões Norte, Centro-Oeste, Sudeste e Sul, respectivamente. Para a agricultura na região Nordeste, valores médios do Brasil foram utilizados para o cálculo de emissões devido aos insumos, e a área = $4,89 \times 10^{-5}$ ha/MJ de biodiesel (IBGE, 2020f)

foi utilizada para o cálculo de emissões devido ao manejo da terra. O nível de detalhamento dos inventários valia de acordo com a quantidade de estudos encontrados na literatura, por isso o inventário da região Sudeste é menos detalhado que os inventários das demais regiões. Os dados da região Norte foram extrapolados dos estados vizinhos da região Centro-Oeste Mato Grosso e Goiás.

Tabela 12 – Inventário: Cultivo de soja na região Norte

Insumo	Quantidade (por 1 MJ de biodiesel)
Entradas	
Área	$5,55 \times 10^{-5}$ ha
Semente	$2,38 \times 10^{-3}$ kg
Aplicação de calcário	$2,06 \times 10^{-2}$ kg
Fertilizante inorgânico N	$3,26 \times 10^{-4}$ kg
Fertilizante inorgânico P ₂ O ₅	$3,96 \times 10^{-3}$ kg
Fertilizante inorgânico K ₂ O	$4,25 \times 10^{-3}$ kg
Fungicida (avaliado como pesticida)	$5,47 \times 10^{-3}$ kg
Glifosato	$4,84 \times 10^{-5}$ kg
2,4-diclorofenol	$5,67 \times 10^{-5}$ kg
Composto piretróides	$1,47 \times 10^{-7}$ kg
Compostos de benzimidazol	$2,44 \times 10^{-6}$ kg
Compostos de [tio] carbamato	$1,47 \times 10^{-6}$ kg
Compostos organofosforados	$1,95 \times 10^{-5}$ kg
Compostos N cíclicos	$4,89 \times 10^{-6}$ kg
Fipronil (avaliado como pesticida)	$1,52 \times 10^{-5}$ kg
Diesel para maquinário agrícola	$1,80 \times 10^{-3}$ kg
Saída	
Grãos de soja	$1,59 \times 10^{-1}$ kg

Fonte: Elaborada pela autora com dados de Castanheira *et al.* (2015), IBGE (2020), Matsuura *et al.* (2017) e Raucci *et al.* (2015).

Tabela 13 – Inventário: Cultivo de soja na região Centro-Oeste

Insumo	Quantidade (por 1 MJ de biodiesel)
Entradas	
Área	$4,75 \times 10^{-5}$ ha
Semente	$2,32 \times 10^{-3}$ kg
Aplicação de calcário	$1,83 \times 10^{-2}$ kg
Fertilizante inorgânico N	$3,92 \times 10^{-4}$ kg
Fertilizante inorgânico P ₂ O ₅	$5,32 \times 10^{-3}$ kg
Fertilizante inorgânico K ₂ O	$4,18 \times 10^{-3}$ kg
Fungicida (avaliado como pesticida)	$5,47 \times 10^{-3}$ kg
Glifosato	$4,86 \times 10^{-5}$ kg
2,4-diclorofenol	$5,69 \times 10^{-5}$ kg
Composto piretróides	$1,73 \times 10^{-7}$ kg
Compostos de benzimidazol	$2,58 \times 10^{-6}$ kg
Compostos de [tio] carbamato	$1,47 \times 10^{-6}$ kg
Compostos organofosforados	$2,33 \times 10^{-5}$ kg
Compostos N cíclicos	$5,04 \times 10^{-6}$ kg
Fipronil (avaliado como pesticida)	$1,38 \times 10^{-5}$ kg
Diesel para maquinário agrícola	$1,92 \times 10^{-3}$ kg
Saída	
Grãos de soja	$1,59 \times 10^{-1}$ kg

Fonte: Elaborada pela autora com dados de Altamirano *et al.* (2016), Castanheira *et al.* (2015), Esteves V. V. P. *et al.* (2016), IBGE (2020), Matsuura *et al.* (2017) e Raucci *et al.* (2015).

Tabela 14 – Inventário: Cultivo de soja na região Sudeste

Insumo	Quantidade (por 1 MJ de biodiesel)
Entradas	
Área	$4,57 \times 10^{-5}$ ha
Semente	$3,97 \times 10^{-3}$ kg
Fertilizante ⁽¹⁾	$1,25 \times 10^{-2}$ kg
Pesticida	$2,82E \times 10^{-4}$ kg
Eletricidade	$6,15 \times 10^{-3}$ kg
Diesel para maquinário agrícola	$1,77 \times 10^{-3}$ kg
Saída	
Grãos de soja	$1,59 \times 10^{-1}$ kg

Fonte: Elaborada pela autora com dados de IBGE (2020) e Mourad & Walter (2011).
Observação: ⁽¹⁾ Para a avaliação do inventário, foram utilizadas as proporções de N-P-K médias das regiões Sul e Centro-Oeste.

Tabela 15 – Inventário: Cultivo de soja na região Sul

Insumo	Quantidade (por 1 MJ de biodiesel)
Entradas	
Área	$4,50 \times 10^{-5}$ ha
Semente	$2,91 \times 10^{-3}$ kg
Aplicação de calcário	$6,85 \times 10^{-2}$ kg
Fertilizante inorgânico N	$1,55 \times 10^{-4}$ kg
Fertilizante inorgânico P ₂ O ₅	$3,65 \times 10^{-3}$ kg
Fertilizante inorgânico K ₂ O	$3,67 \times 10^{-3}$ kg
Fludioxonil (avaliado como pesticida)	$1,38 \times 10^{-7}$ kg
Metalaxyl-M (avaliado como pesticida)	$5,51 \times 10^{-8}$ kg
Epoxiconazol (avaliado como pesticida)	$2,98 \times 10^{-6}$ kg
Diflubenzuron (avaliado como pesticida)	$8,01 \times 10^{-6}$ kg
Imidacloprid (avaliado como pesticida)	$5,96 \times 10^{-6}$ kg
Ciflutrina (avaliado como pesticida)	$7,45 \times 10^{-7}$ kg
Acefato (avaliado como pesticida)	$9,19 \times 10^{-6}$ kg
Fipronil (avaliado como pesticida)	$9,92 \times 10^{-6}$ kg
Pyraclostrobin	$7,92 \times 10^{-6}$ kg
Glifosato	$8,44 \times 10^{-5}$ kg
2,4-diclorofenol	$5,52 \times 10^{-5}$ kg
Composto piretróides	$3,33 \times 10^{-7}$ kg
Compostos de benzimidazol	$2,86 \times 10^{-6}$ kg
Compostos de [tio] carbamato	$1,57 \times 10^{-6}$ kg
Compostos organofosforados	$3,54 \times 10^{-5}$ kg
Compostos N cíclicos	$3,16 \times 10^{-5}$ kg
Diesel para maquinário agrícola	$2,59 \times 10^{-3}$ kg
Saída	
Grãos de soja	$1,59 \times 10^{-1}$ kg

Fonte: Elaborada pela autora com dados de Castanheira *et al.* (2015), IBGE (2020), Kamali *et al.* (2017) e Maciel *et al.* (2015)

O estado do Rio de Janeiro produz biodiesel de soja, mas não soja. Por isso, seus dados de transporte são apresentados agregados com São Paulo na Tabela 16. As distâncias médias transportadas variam entre 174,1km, em Santa Catarina, e 607,1 km, na Bahia. Como viés do método adotado, observa-se que estados maiores apresentam distâncias maiores de transporte. Os estados que mais utilizam soja para fazer biodiesel são Rio Grande do Sul, Mato Grosso e Goiás.

Tabela 16 – Inventário: Transporte de soja para a produção de biodiesel no Brasil

Estado(s)	Toneladas de soja para biodiesel	Distância média percorrida (km)
TO	497968	229,4
BA	791412	607,1
GO	3608854	327,0
MT	4650972	559,0
MS	1533273	402,9
MG	112709	576,2
RJ e SP	470082	441,6
PR	2230596	316,3
RS	6299417	275,3
SC	635164	174,1

Fonte: Elaborada pela autora com dados de ANP (2019), IBGE (2020) e Google Maps (2021).

As Tabelas 17, 18 e 19 apresentam respectivamente inventários dos processos extração, refino e transesterificação do óleo de soja. Apesar de utilizarem os mesmos inventários, os valores de emissões destes processos apresentados na seção 4.1.2 variam para cada região devido ao uso de dados desagregados de emissões da rede elétrica.

Tabela 17 – Inventário: Extração de óleo de soja para a produção de biodiesel no Brasil

Insumo	Quantidade (por 1 MJ de biodiesel)
Entradas	
Grãos de soja	$1,59 \times 10^{-1}$ kg
Eletricidade	$5,71 \times 10^{-3}$ kWh
Gás Natural	$2,94 \times 10^{-3}$ m ³
Hexano	$1,81 \times 10^{-4}$ kg
Saídas	
Óleo de soja	$2,86 \times 10^{-2}$ kg
Farelo de soja	$1,29 \times 10^{-1}$ kg

Fonte: Elaborada pela autora com dados de Castanheira *et al.* (2015) e Esteves, E. M. *et al.* (2018).

Tabela 18 – Inventário: Refino do óleo de soja para a produção de biodiesel no Brasil

Insumo	Quantidade (por 1 MJ de biodiesel)
Entradas	
Óleo de soja	$2,86 \times 10^{-2}$ kg
Eletricidade	$3,60 \times 10^{-4}$ kWh
Ácido fosfórico	$1,42 \times 10^{-5}$ kg
Hidróxido de sódio	$1,24 \times 10^{-4}$ kg
Sílica	$1,00 \times 10^{-4}$ kg
Água	$2,33 \times 10^{-2}$ l
Saída	
Óleo de soja refinado	$2,86 \times 10^{-2}$ kg

Fonte: Brondani *et al.* (2015).

Tabela 19 – Inventário: Transesterificação de biodiesel de soja no Brasil

Insumo	Quantidade (por 1 MJ de biodiesel)
Entradas	
Óleo de soja refinado	$2,86 \times 10^{-2}$ kg
Água	$6,04 \times 10^{-4}$ kg
Hidróxido de sódio	$1,55 \times 10^{-4}$ kg
Ácido fosfórico	$1,04 \times 10^{-4}$ kg
Metanol	$3,04 \times 10^{-3}$ kg
Metilato de sódio	$2,64 \times 10^{-4}$ kg
Ácido clorídrico	$2,63 \times 10^{-4}$ kg
Eletricidade	$1,22 \times 10^{-3}$ kWh
Calor (óleo combustível pesado)	$2,74 \times 10^{-3}$ kg
Saídas	
Biodiesel	$2,52 \times 10^{-2}$ kg
Glicerina	$2,94 \times 10^{-3}$ kg

Fonte: Elaborada pela autora com dados de Castanheira *et al.* (2015) e Esteves, E. M. M. *et al.* (2018).

4.1.1.2 Biodiesel de sebo bovino

Os inventários levantados para biodiesel de sebo bovino estão apresentados nas tabelas 20, 21, 22, 23, 24, 25.

Tabela 20 – Inventário: mudança de uso da terra entre 2006 e 2017 para criação de gado no Brasil

Estado	Uso da terra	Δ Área (ha)	Cabeças de gado ⁽¹⁾
TO	Pasto degradado	-160256	6477537
	Pasto plantado em boas condições	4174184	
	pasto natural	-3254057	
	Floresta natural	-759871	
RO	Pasto degradado	-96777	9827017
	Pasto plantado em boas condições	1580451	
	Pasto natural	-21523	
	Floresta natural	-1462151	
BA	Pasto degradado	668908	8177761
	pasto plantado em boas condições	-582952	
	Pasto natural	-243489 ⁽²⁾	
GO ⁽³⁾	Pasto degradado	-17341	17292288
	Pasto plantado em boas condições	-130302	
	Pasto natural	-184494	
MS ⁽³⁾	Pasto degradado	-3046554	19485201
	Pasto plantado em boas condições	-972512	
	Pasto natural	-1464983	
MT	Pasto degradado	-81934	24309475
	Pasto plantado em boas condições	1187139	
	Pasto natural	-230790	
	Floresta natural	-874415	
MG	Pasto degradado	681114	19575839
	Pasto plantado em boas condições	2333881	
	Pasto natural	-965928	
	Floresta natural	-2049067	
SP ⁽³⁾	Pasto degradado	-177928	8331874
	Pasto plantado em boas condições	-398177	
	Pasto natural	-959044	
PR ⁽³⁾	Pasto degradado	-320108	8397219
	Pasto plantado em boas condições	19148	
	Pasto natural	-153534	
SC	Pasto degradado	13008	3726238
	Pasto plantado em boas condições	193019	
	Pasto natural ⁽⁴⁾	66861	
	Floresta natural	-206027	
RS ⁽³⁾	Pasto degradado	-2230	11456896
	Pasto plantado em boas condições	310588	
	Pasto natural	-429492	

Fonte: Elaborada pela autora com dados de IBGE (2020).

Observações: ⁽¹⁾ Dados totais, referentes a 2017. ⁽²⁾ Na avaliação do inventário, o valor -85956 ha foi o utilizado nas equações 3 e 8 para satisfazer a equação 20. ⁽³⁾ Em estados onde $\Delta Area_{pn} + \Delta Area_{pd} < 0$, as emissões devido a MUT são = 0. ⁽⁴⁾ Não contabilizado como MUT.

As Tabelas 20 e 21 apresentam respectivamente a mudança na área de pasto para criação de gado e dados referentes a pecuária de cada estado. Diferentemente do que foi observado para a soja, em que a razão entre a área de expansão e a área de cultivo em 2017 foi maior que 25% em todos os estados estudados, em muitos estados (BA, GO, MS, RS, SP) a área de pastagem para criação de gado encolheu. Para os outros estados (TO, MT, MG, SC), a razão entre a área de expansão e a área de uso de pasto para criação de gado esteve entre 5% e 28%. A exceção foi Tocantins, onde a razão foi de 58%. Entretanto, como houve um substancial aumento na área de pasto plantado em bom estado e redução pequena de áreas de floresta nativa com baixo estoque de carbono, os valores encontrados de ΔCS e $N_2O - N$ foram < 0 , o que não é coerente com o modelo físico usado. Assim, para o Tocantins adotou-se $\Delta CS = N_2O - N = 0$.

Na Tabela 21 encontram-se o número de animais criados para o abate, ou seja, o total de animais subtraindo as vacas reprodutoras; e a divisão entre os tipos de pastagem usados para criação de gado em cada estado. Dentre os estados estudados, os maiores criadores de gado são aqueles na região Centro Oeste e Minas Gerais. Em quase todos os estados, predominam as pastagens plantadas em bom estado, exceto o Rio Grande do Sul, onde a maior parte do terreno utilizado para a criação de gado são pastagens naturais.

Tabela 21 – Inventário: criação de gado no Brasil

Estado	Número de animais criados para abate ⁽¹⁾	Pasto natural (ha)	Pasto plantado em boas condições (ha)	Pasto plantado em más condições (ha)
RO	6422273	209605	5303800	104099
TO	4175298	1873417	4700776	662456
BA	5501429	2984008	4114938	1523543
GO	11547599	2369148	10080804	793351
MS	13420686	4486541	12193326	406074
MT	15867777	3570101	15227328	1277625
MG	12832543	4219275	9815787	1586774
SP	5616985	1179380	2571378	70648
PR	5254359	511063	2356229	55141
SC	2046444	697643	2969555	32167
RS	6733391	5030974	858326	47400

Fonte: Elaborada pela autora com dados de IBGE (2020).

Observações: ⁽¹⁾ = total de animais – vacas reprodutoras

Os dados referentes ao transporte de animais para o abate e de sebo para a usina estão nas Tabelas 22 e 24. O Rio Grande do Sul não cria gado o suficiente para suprir seu uso de sebo para a produção de biodiesel, por isso, foram agregados dados dos estados da região Sul neste processo. Assim como observado para soja,

um viés do método adotado é que estados maiores apresentam distâncias maiores de deslocamento. Os estados que mais utilizam sebo bovino para a produção de biodiesel são Rio Grande do Sul, Bahia e São Paulo. Destes, apenas o Rio Grande do Sul é um dos principais produtores de biodiesel no país, e nenhum é um dos principais criadores de gado.

Tabela 22 – Inventário: Transporte para o abate - quantidade necessária para a produção atual de biodiesel de sebo bovino no Brasil

Estado(s)	Animais mortos	Distância média percorrida (km)
RO	807071	209,3
TO	126321	314,9
BA	5264914	486,9
GO	3553830	395,0
MS	1655785	324,2
MT	648516	613,1
MG	2665242	552,7
SP	4067759	244,3
PR ⁽¹⁾	2420591	408,2
RS, SC e PR ⁽²⁾	8878643	493,3

Fonte: Elaborada pela autora com dados de ANP (2019), IBGE (2020) e Google Maps (2021).

Observações: ⁽¹⁾ Refere-se à usina localizada no PR. Refere-se ao uso de sebo de animais criados no PR a produção de biodiesel em RS.

Tabela 23 – Inventário: Abate de gado no Brasil

Insumo	Quantidade (por 1 MJ de biodiesel)
Entradas	
Animal	7,18 kg
Água	3,19 kg
Óleo combustível pesado	$1,01 \times 10^{-2}$ kg
Diesel	$7,90 \times 10^{-4}$ l
Eletricidade	$1,40 \times 10^{-2}$ kWh
Saídas	
Carne	$3,77 \times 10^{-1}$ kg
Farinha de carne e osso	$6,00 \times 10^{-2}$ kg
Couro	$7,11 \times 10^{-2}$ kg
Sebo	$3,23 \times 10^{-2}$ kg
Resíduo	$1,77 \times 10^{-1}$ kg

Fonte: Esteves, V. P. P. *et al.* (2017).

Observação: considerou-se um animal de 450kg, cujo abate origina 20,25kg de sebo.

As tabelas 23 e 25 apresentam os insumos utilizados para o abate de animais

e para a transesterificação de biodiesel de sebo bovino. Assim como para a soja, emissões regionais apresentado na seção 4.1.2 variam apesar de usar o mesmo inventário devido a dados desagregados da rede energética.

Tabela 24 – Inventário: Transporte de sebo bovino para a produção de biodiesel

Estado(s)	Massa de sebo (kg)	Distância média percorrida (km)
RO	16343186	209,3
TO	2557998	314,9
BA	106614510	486,9
GO	71965060	395,0
MS	33529651	324,2
MT	13132454	613,1
MG	53971149	552,7
SP	82372128	244,3
PR ⁽¹⁾	490169741	408,2
RS, SC e PR ⁽²⁾	179792513	493,3

Fonte: Elaborada pela autora com dados de ANP (2019), IBGE (2020) e Google Maps (2021).

Observações: ⁽¹⁾ Refere-se à usina localizada no PR. ⁽²⁾ Refere-se ao uso de sebo de animais criados no PR a produção de biodiesel em RS.

Tabela 25 – Inventário: Transesterificação de biodiesel feito de sebo bovino no Brasil

Insumo	Quantidade (por 1 MJ de biodiesel)
Entradas	
Sebo	$3,23 \times 10^{-2}$ kg
Diesel	$6,94 \times 10^{-6}$ kg
Eletricidade	$1,40 \times 10^{-2}$ kWh
Óleo combustível pesado	$6,00 \times 10^{-4}$ kg
Ácido clorídrico	$4,81 \times 10^{-4}$ kg
Metanol	$3,26 \times 10^{-3}$ kg
Ácido fosfórico	$7,96 \times 10^{-5}$ kg
Silica	$2,52 \times 10^{-4}$ kg
Hidróxido de sódio	$2,40 \times 10^{-4}$ kg
Metilato de sódio	$4,07 \times 10^{-4}$ kg
Água	$6,64 \times 10^{-4}$ kg
Saídas	
Biodiesel	$2,61 \times 10^{-2}$ kg
Glicerina	$3,58 \times 10^{-3}$ kg

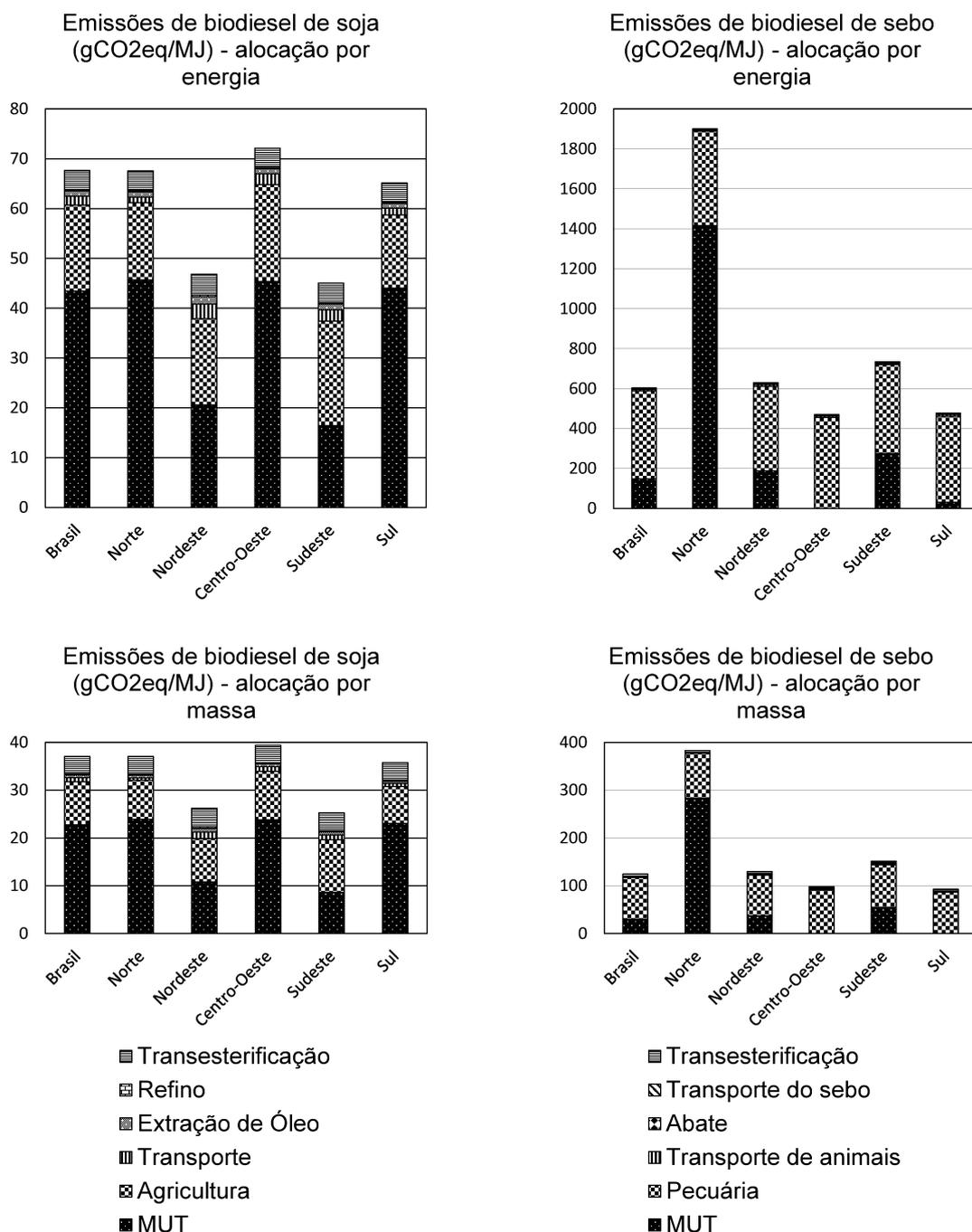
Fonte: Elaborada pela autora usando dados de Esteves, V. P. P. *et al.* (ESTEVES, V. P. P. *et al.*, 2020a) e Souza *et al.* (2017).

4.1.2 Potencial de aquecimento global

4.1.2.1 Comparação entre matéria primas

A figura 11 apresenta as emissões de CO₂eq geradas pela produção de biodiesel de soja e sebo bovino, separadas por processo, região e método de alocação.

Figura 11 – Emissões de CO₂eq geradas na produção de biodiesel de soja e sebo bovino no Brasil.



Fonte: Elaborada pela autora.

Para permitir melhor visualização das emissões de cada processo, os gráficos da Figura 11 estão em escalas diferentes. Percebe-se que as emissões geradas pela produção de biodiesel de sebo bovino são várias vezes superiores às geradas pela produção de biodiesel de soja - a diferença varia entre 2,6 vezes maior no caso da região Sul alocada por massa; e 28,1 vezes maior no caso da alocação por energia na região Norte. Os impactos ambientais da criação de gado aumentam substancialmente a intensidade de carbono de biodiesel produzido a partir de sebo bovino, mesmo com as emissões sendo alocadas entre os diferentes co-produtos. Este resultado é particularmente relevante porque a maior parte das emissões do biodiesel de sebo bovino são geradas nos processos rurais (mudança do uso da terra e criação de gado), cujas emissões são consideradas nulas pela RenovaCalc (MATSUURA *et al.*, 2018). Ao desconsiderar as emissões da pecuária, a RenovaCalc gera a possibilidade de indiretamente remunerar com créditos de descarbonização uma atividade com intensidade de carbono bastante alta.

De acordo com o esperado pelos fatores de alocação apresentados nas Tabelas 7 e 10, a alocação por energia gerou emissões maiores do que a alocação por massa. Para o sebo, a alocação por energia pode não ser a mais adequada, tendo em vista que o produto principal da pecuária, carne, não tem finalidade energética. Porém, mesmo utilizando a alocação por massa, foram encontrados valores de emissões superiores ao valor padrão que a RenovaCalc (2018) utiliza para intensidade de carbono do diesel fóssil, 86,5 gCO₂eq/MJ. Na alocação por massa, as emissões regionais variaram entre 92,6 gCO₂eq/MJ de biodiesel (região Sul) e 387,0 gCO₂eq/MJ de biodiesel (região Norte), sendo a média nacional, 124,4 gCO₂eq/MJ de biodiesel, 44% maior do que a intensidade de carbono do diesel fóssil.

Considerando a alocação por energia, as emissões geradas pelo biodiesel de soja são entre 25,3% (região Norte) e 51,5% (região Sudeste) inferiores à intensidade de carbono do diesel fóssil. Considerando a alocação por massa, as emissões encontradas para todas as regiões são menos da metade daquelas do diesel.

É importante ressaltar que os valores de PAG apresentados neste trabalho são médias regionais calculadas usando uma série de simplificações e estimativas. Portanto, devem ser analisadas como tendências e não como resultados absolutos, sempre levando em consideração as hipóteses apresentadas na seção 3.1.

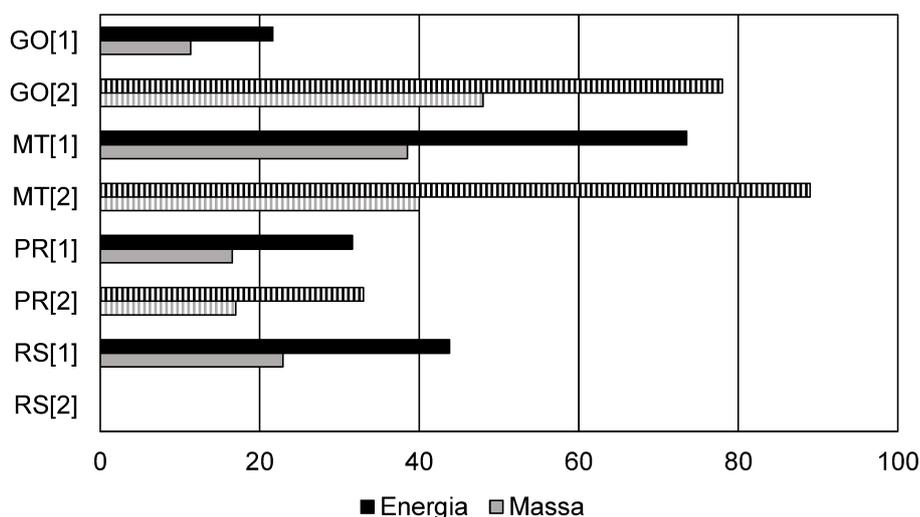
Para as duas matérias primas, as etapas com maior intensidade de carbono são as rurais: mudança de uso da terra e agricultura/criação de gado. Este resultado está de acordo com trabalhos anteriores (ESTEVES, V. P. P. *et al.*, 2016, 2017; ESTEVES, E. M. M. *et al.*, 2018; CASTANHEIRA *et al.*, 2015). Diferentemente do relatado na literatura, entretanto, o impacto observado da criação de gado neste trabalho foi maior do que o da mudança de uso da terra em quase todas as regiões, com exceção da região Norte. O motivo desta disparidade será discutido nas subseções 4.1.2.5 e

4.1.2.6.

4.1.2.2 Emissões devido a mudança de uso da terra para cultivo de soja

A Figura 12 apresenta as diferenças encontradas para o processo mudança do uso da terra por este trabalho e Castanheira *et al.* (2015). Os dois trabalhos utilizaram a mesma metodologia, mas avaliaram tempos diferentes: Castanheira *et al.* (2015) avaliaram o período entre 1996 e 2006, e este trabalho avaliou o período entre 2006 e 2017. Observa-se que houve um aumento no avanço da soja no Rio Grande do Sul, e redução em Goiás e Mato Grosso. No Paraná, os dados mantiveram-se praticamente constantes. Não foram encontrados na literatura dados para os outros estados estudados neste trabalho.

Figura 12 – Diferença entre emissões devido a MUT observadas em [1] este trabalho e [2] Castanheira *et al.* (2015) (gCO₂eq/MJ de biodiesel)



Fonte: Elaborada pela autora.

Conforme apresentado na Tabela 3, outros dois estudos avaliaram MUT da soja plantada no Rio Grande do Sul, porém sem fazer alocação (MACIEL *et al.*, 2015; ZORTEA *et al.*, 2018). O período avaliado foi entre 1993 e 2013, e as emissões encontradas variam entre 1, 4 e 440,3 gCO₂eq/MJ de biodiesel. No presente estudo, as emissões do mesmo estado entre 2006 e 2017 sem alocação foram de 128,0 gCO₂eq/MJ de biodiesel.

A Tabela 26 apresenta dados detalhados do potencial de aquecimento global causado pela mudança do uso da terra para cultivo de soja para produção de biodiesel no Brasil encontrados neste estudo. Os valores totais encontrados decorrem da hipótese otimista que a mudança do uso da terra vem primeiramente de áreas de pasto. Os valores calculados para a produção de biodiesel são provenientes da hipótese utilizada de que todo o biodiesel produzido em um estado é feito com soja colhida no próprio

estado. Resultados diferentes poderiam ser encontrados caso fosse possível saber o uso original de cada área transformada em plantação de soja e a origem real das matérias-primas utilizadas por cada usina. Os estados que apresentaram maior emissão absoluta foram Mato Grosso, Rio Grande do Sul, Paraná e Goiás. Estes também foram os estados com maior emissão total ligada a produção de biodiesel, e juntos são responsáveis por 74,2% da soja produzida nos estados estudados e 80,6% do biodiesel de soja. Avanço da cultura de soja sobre áreas de floresta nativa faz com que as emissões do Paraná sejam superiores que as de Goiás, embora Goiás produza mais soja e mais biodiesel de soja que o Paraná.

Tabela 26 – Emissões de gCO₂eq geradas pela mudança de uso da terra para cultivo de soja para produção de biodiesel no Brasil (resultados alocados por tempo de rotação com outra cultura)

Estado	Emissões totais ($\frac{gCO_2eq}{ano}$)	Emissões totais para produção de biodiesel - sem alocação ($\frac{gCO_2eq}{ano}$)	Emissões para pro- dução de biodie- sel - sem alocação ($\frac{gCO_2eq}{MJ\ biodiesel}$)	Emissões para pro- dução de biodiesel - alocação por massa ($\frac{gCO_2eq}{MJ\ biodiesel}$)	Emissões para pro- dução de biodiesel - alocação por energia ($\frac{gCO_2eq}{MJ\ biodiesel}$)
TO	$1,99 \times 10^{12}$	$4,10 \times 10^{11}$	133,5	23,9	45,7
BA	$1,91 \times 10^{12}$	$2,94 \times 10^{11}$	60,2	10,8	20,6
MT	$4,05 \times 10^{13}$	$6,17 \times 10^{12}$	215,0	38,5	73,5
MS	$2,60 \times 10^{12}$	$4,38 \times 10^{11}$	46,3	8,3	15,8
GO	$4,44 \times 10^{12}$	$1,41 \times 10^{12}$	63,3	11,3	21,6
MG	$2,54 \times 10^{12}$	$5,35 \times 10^{10}$	76,9	13,8	26,3
SP	$8,35 \times 10^{11}$	$1,19 \times 10^{11}$	41,1	7,4	14,1
PR	$1,09 \times 10^{13}$	$1,27 \times 10^{12}$	92,5	16,6	31,6
SC	$4,01 \times 10^{12}$	$1,03 \times 10^{12}$	263,3	47,1	90,0
RS	$1,48 \times 10^{13}$	$9,84 \times 10^{12}$	128,0	22,9	43,8

Fonte: Elaborada pela autora.

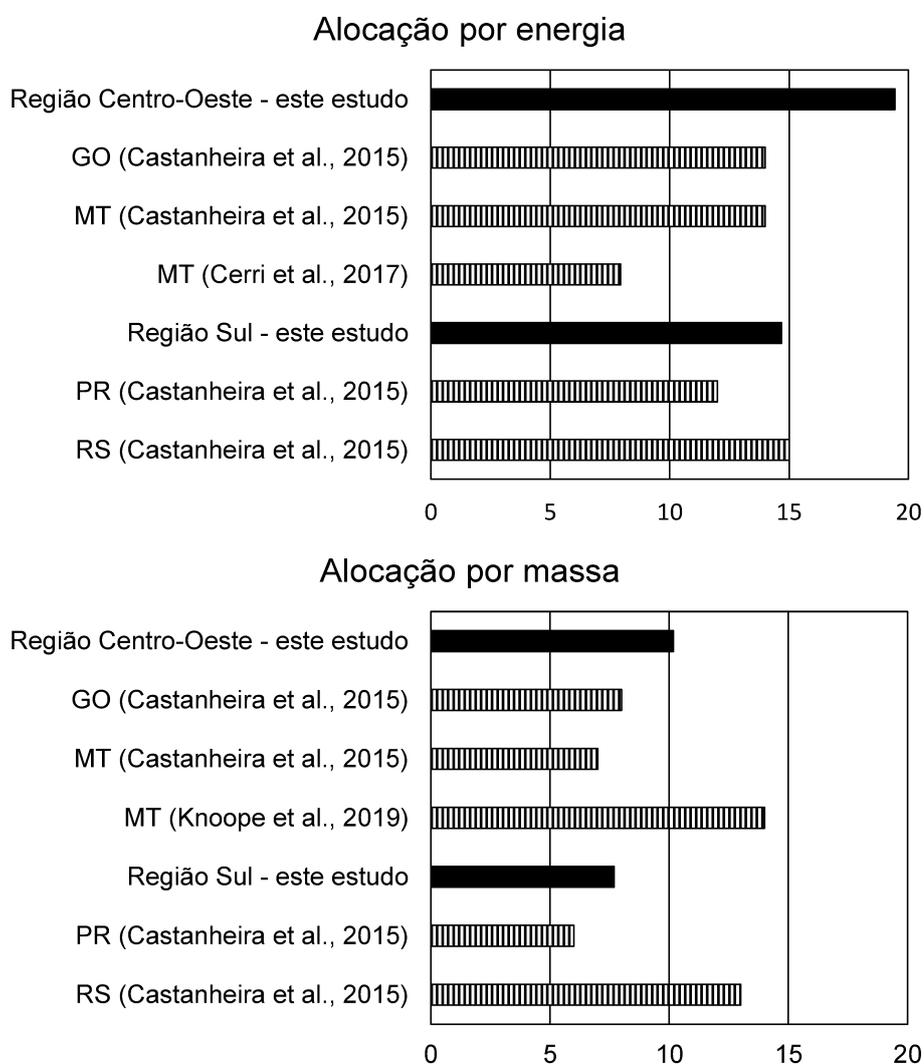
Quando avalia-se as emissões em gCO₂eq/MJ de biodiesel, os resultados se alteram, sendo os estados com maior intensidade de CO₂eq Santa Catarina, Mato Grosso e Tocantins. Tratam-se dos estados com maior avanço da cultura de soja sobre áreas de floresta; e, nos casos de Santa Catarina e Tocantins, participação pequena na cultura de soja e produção de biodiesel de soja do país. Chama atenção a grande diferença entre as emissões deste processo por estado - enquanto em São Paulo, o estado com menor intensidade de carbono por MUT, as emissões de MUT (em gCO₂eq/MJ de biodiesel) são inferiores às do processo agricultura na região Sudeste, para Santa Catarina, as emissões por MUT alocadas por energia são mais de seis

vezes superiores às de São Paulo, sendo também maiores que a intensidade de carbono do diesel fóssil.

4.1.2.3 Emissões devido à agricultura

A Figura 13 apresenta a comparação entre as emissões geradas pela agricultura de soja encontradas neste estudo e valores da literatura. Observa-se que os valores encontrados são próximos, apesar dos territórios analisados (regiões e estados) não serem os mesmos. Não foram encontrados resultados de trabalhos anteriores sobre as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste.

Figura 13 – Comparação entre emissões do processo agricultura observados neste estudo e na literatura (gCO₂eq/MJ de biodiesel)



Fonte: Elaborada pela autora.

Na tabela 27 encontram-se os dados detalhados do potencial de aquecimento global do processo agricultura. Para todas as regiões, observa-se que o impacto dos os

dois componentes das emissões - manejo da terra e insumos utilizados - são próximos. Fertilizantes e sementes são os insumos com maior intensidade de carbono por MJ de biodiesel. Além de parâmetros característicos da soja e do local de plantio, as emissões pelo manejo da terra são afetadas pela quantidade de nitrogênio adicionado ao solo.

Tabela 27 – Emissões (gCO₂eq/MJ de biodiesel) geradas pela agricultura de soja para produção de biodiesel no Brasil

Região	Emissões devido a manejo da terra - sem alocação	Emissões devido a insumos - sem alocação	Emissões totais - alocação por massa	Emissões totais - alocação por energia
Norte	21,0	24,3	8,1	15,5
Nordeste	28,0	29,2	10,2	19,6
Centro-Oeste	29,2	28,0	10,2	19,5
Sudeste	21,4	39,9	11,0	21,0
Sul	18,6	24,4	7,7	14,7

Fonte: Elaborada pela autora.

4.1.2.4 Emissões devido ao transporte de soja, extração de óleo, refino e transesterificação

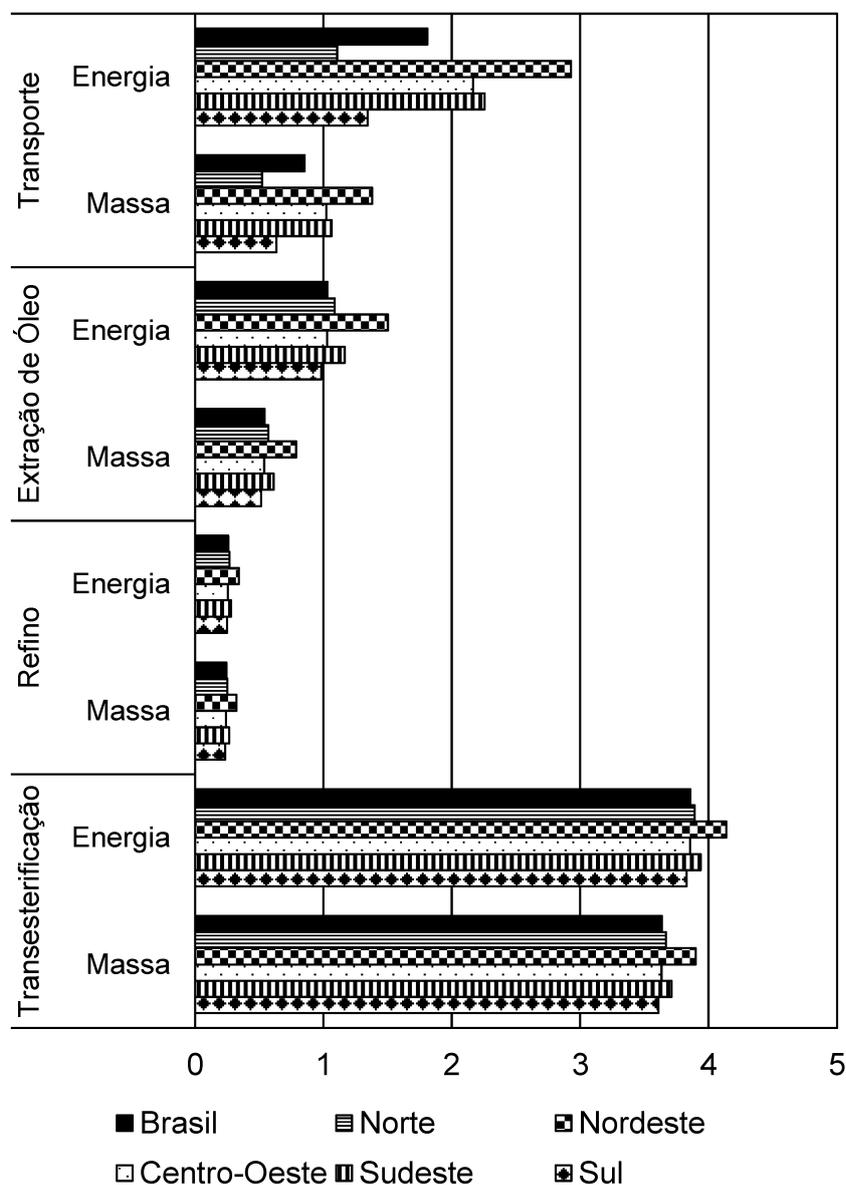
Os processos transporte de soja, extração de óleo, refino e transesterificação são responsáveis por entre 10% (região Sul - alocação por energia) e 24% (região Nordeste - alocação por massa) das emissões geradas pela produção de biodiesel de soja nas regiões do país. A Figura 14 mostra as emissões de cada um destes processos separados por região e método de alocação. Ela revela que, dentre estes processos, o que tem maior intensidade de carbono é a transesterificação, sendo o metanol o insumo responsável pela maior emissão de CO₂eq/MJ de biodiesel.

Apesar de proverem do mesmo inventário, os valores regionais dos processos extração de óleo, refino e transesterificação foram ligeiramente diferentes entre si devido a existência de dados específicos para as emissões decorrentes do uso de energia elétrica de cada região do país. Com exceção da eletricidade e da água, onde dados nacionais estavam disponíveis, utilizou-se dados globais para as emissões decorrentes de outros fluxos destes processos. Valores diferentes poderiam ser encontrados caso dados de emissões nacionais estivessem disponíveis.

O processo com maior variação de emissões entre regiões é o transporte. Conforme comentado na subseção 4.1.1.1, o método utilizado pode ter o viés de produzir distâncias de viagem maiores para estados maiores. Apesar disso, a região com maiores emissões no processo transporte foi o Nordeste, cujo estado estudado, Bahia, é menor que o Mato Grosso. A maior proximidade entre as plantações de soja e as

usinas produtoras de biodiesel na região Centro-Oeste foram responsáveis por este resultado.

Figura 14 – Emissões devido a transporte de soja, extração de óleo, refino e transesterificação (gCO₂eq/MJ de biodiesel).



Fonte: Elaborada pela autora.

A comparação entre os resultados apresentados na Figura 14 e os resultados da literatura apresentados na Tabela 3 mostram que os resultados encontrados neste trabalho são similares aos relatados em outros trabalhos (CASTANHEIRA *et al.*, 2015; ALTAMIRANO *et al.*, 2016). A exceção é o trabalho de Carvalho *et al.* (2016), que avaliaram apenas a transesterificação e portanto o insumo óleo de soja entrou com uma alta intensidade de carbono neste processo.

4.1.2.5 Emissões devido a mudança de uso da terra para criação de gado

A Tabela 28 apresenta detalhadamente as emissões geradas pela mudança de uso da terra para criação de gado. Seis dos onze estados estudados não apresentaram emissões devido a MUT; entretanto as emissões nos estados onde houve MUT foram bastante elevadas - com exceção da Bahia alocada por massa, todos os casos foram superiores à intensidade de carbono do diesel fóssil. Avanço de pasto sobre áreas de floresta e baixa densidade populacional de animais nos pastos justificam os valores encontrados. O fato das emissões médias por MUT das regiões terem sido elevadas mesmo com vários estados não tendo mudança de uso da terra ressalta a importância da avaliação ambiental do biodiesel ser feita utilizando dados locais sobre a matéria-prima utilizada. Neste trabalho, foram avaliadas médias regionais para localizar os problemas mais presentes em grande escala. Para propor melhorias em processos específicos, são necessários dados locais específicos, que fogem ao escopo deste trabalho.

Tabela 28 – Emissões de gCO_2eq geradas pela mudança de uso da terra para criação de gado

Estado	Emissões totais - sem alocação ($\frac{gCO_2eq}{ano}$)	Emissões por cabeça de gado - sem alocação ($\frac{gCO_2eq}{animal}$)	Emissões para produção de biodiesel - alocação por massa ($\frac{gCO_2eq}{MJ\ biodiesel}$)	Emissões para produção de biodiesel - alocação por energia ($\frac{gCO_2eq}{MJ\ biodiesel}$)
RO	$3,84 \times 10^{13}$	$3,91 \times 10^6$	326,9	1638,0
BA	$3,65 \times 10^{12}$	$4,46 \times 10^5$	37,3	187,0
MT	$2,93 \times 10^{13}$	$1,21 \times 10^6$	101,0	506,2
MG	$3,23 \times 10^{13}$	$1,65 \times 10^6$	138,0	691,4
SC	$3,66 \times 10^{12}$	$2,56 \times 10^6$	214,7	1075,7

Fonte: Elaborada pela autora.

Observação: Não houve emissão devido a MUT nos estados Tocantins, Goiás, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul.

As emissões devido a MUT para biodiesel de sebo bovino foram anteriormente avaliadas pelo trabalho de Esteves, V. P. P (2017). Eles avaliaram algumas fazendas no Mato Grosso do Sul, utilizando dados de satélite; e encontraram emissões = 150,3 gCO_2eq/MJ de biodiesel (alocação por energia), ou = 29,2 gCO_2eq/MJ de biodiesel (alocação por massa). O intervalo de tempo e territórios analisados foram diferentes dos avaliados nesta tese, o que dificulta a comparação entre os trabalhos. Não foram encontrados outros trabalhos que avaliassem este processo.

4.1.2.6 Emissões devido a criação de gado

Por conta do não tratamento de mais de 90% do esterco, o maior impacto vem das emissões de N₂O devido ao manejo do solo. Novamente, ressalta-se a importância da coleta de dados locais para avaliações específicas - neste trabalho, foram avaliadas emissões médias regionais, indicando problemas regionais. Caso uma fazenda específica realize tratamento de uma parte maior do esterco nela produzido, suas emissões serão menores (ou - o inverso também é verdadeiro - caso não trate nenhuma parcela do esterco, as emissões serão maiores). Sem alterar a porcentagem de esterco tratada, a variável que mais interfere nas emissões é o tipo de sistema produtivo.

Tabela 29 – Emissões de gCO₂eq geradas pela criação de gado

Estado	Emissões de metano devido a fermentação entérica ($\frac{kgCO_2eq}{animal}$)	Emissões de metano devido ao manejo de esterco ($\frac{kgCO_2eq}{animal}$)	Emissões de N ₂ O direto ($\frac{kgCO_2eq}{animal}$)	Emissões de N ₂ O devido a manejo do solo ($\frac{kgCO_2eq}{animal}$)	Emissões totais da criação de gado - alocação por massa ($\frac{gCO_2eq}{MJ biodiesel}$)	Emissões totais da criação de gado - alocação por energia ($\frac{gCO_2eq}{MJ biodiesel}$)
RO	$1,36 \times 10^{-6}$	7,3	26,0	1103,1	95,1	476,6
TO	$1,39 \times 10^{-6}$	5,4	24,2	1029,2	88,7	444,1
BA	$1,40 \times 10^{-6}$	4,7	23,1	982,6	84,6	423,8
MS	$1,38 \times 10^{-6}$	5,4	24,7	1049,4	90,4	452,8
MT	$1,38 \times 10^{-6}$	6,0	24,9	1056,6	91,1	456,1
GO	$1,38 \times 10^{-6}$	6,0	24,9	1057,5	91,1	456,5
MG	$1,39 \times 10^{-6}$	5,3	24,1	1023,5	88,2	441,6
SP	$1,38 \times 10^{-6}$	5,0	24,5	1040,4	89,6	448,8
PR	$1,38 \times 10^{-6}$	4,7	25,2	1071,2	92,2	461,9
SC	$1,38 \times 10^{-6}$	4,6	25,2	1071,2	92,2	461,8
RS	$1,40 \times 10^{-6}$	0,9	21,6	919,0	78,8	394,9

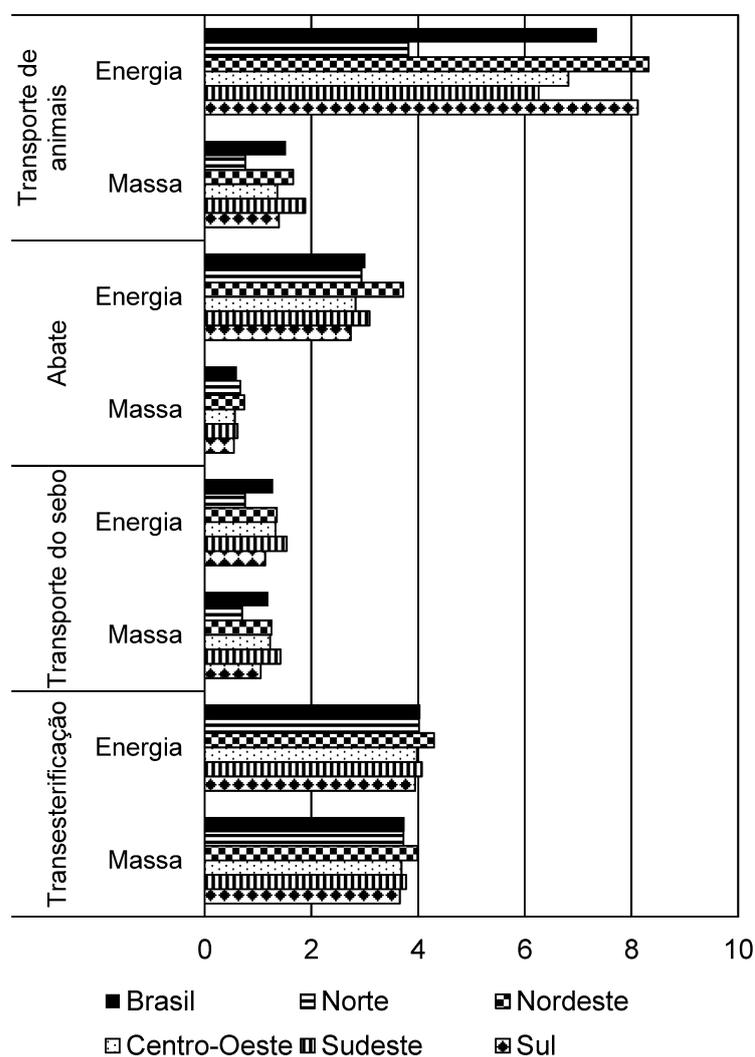
Fonte: Elaborada pela autora.

O trabalho de Esteves, V. P. P (2017) também avaliou as emissões devido à criação de gado, tendo encontrado valores bem menores: = 4,7 gCO₂eq/MJ de biodiesel (alocação por energia) e 0,9 gCO₂eq/MJ de biodiesel (alocação por massa). Esta diferença ocorre porque aquele trabalho considerou apenas as emissões de metano; e neste trabalho encontrou-se que as emissões com maior impacto são as de N₂O.

4.1.2.7 Emissões devido a transporte, abate e transesterificação

As emissões devido aos processos transporte para o abate, abate, transporte de sebo e transesterificação somadas são responsáveis por entre 0,6% (região Norte - alocação por energia) e 7,1% (região Sul - alocação por massa) das emissões totais do biodiesel de sebo bovino. A Figura 15 apresenta as emissões de cada uma dessas etapas, separadas por região.

Figura 15 – Emissões devido a transporte para o abate, abate, transporte de sebo e transesterificação (gCO₂eq/MJ de biodiesel).



Fonte: Elaborada pela autora

Dependendo do tipo de alocação utilizado e da região, o processo com maior intensidade de carbono dentre os apresentados na Figura 15 é o transporte de animais ou a transesterificação. Os valores da transesterificação do biodiesel de sebo são

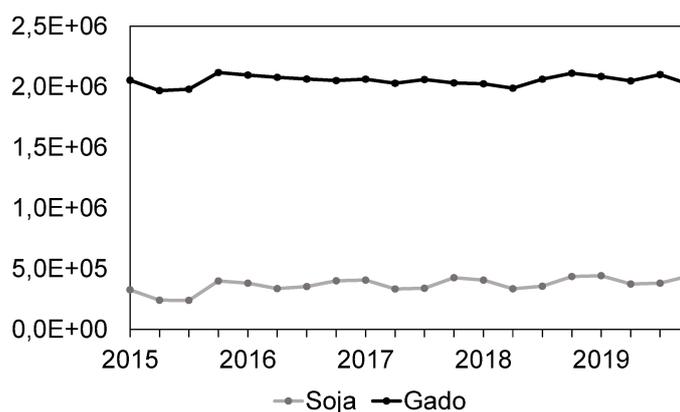
próximos aos valores da transesterificação do biodiesel de soja, e o insumo com maior impacto é o metanol.

4.2 AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA SOCIAL

Os resultados apresentados nesta seção são parte de um artigo submetido pela autora e seu orientador (COSTA; OLIVEIRA, A., 2021c).

A Figura 16 mostra o número de pessoas envolvidas com o cultivo de soja e com a criação de gado entre 2015 e 2019 no Brasil. Uma média de $2,05 \pm 0,02$ milhões de pessoas trabalham na criação de gado, o que é cerca de 1% de população brasileira. A curva da soja oscila com a colheita, mostrando que esta cultura gera empregos permanentes e temporários.

Figura 16 – Pessoas envolvidas com o cultivo de soja e com a criação de gado entre 2015 e 2019 no Brasil

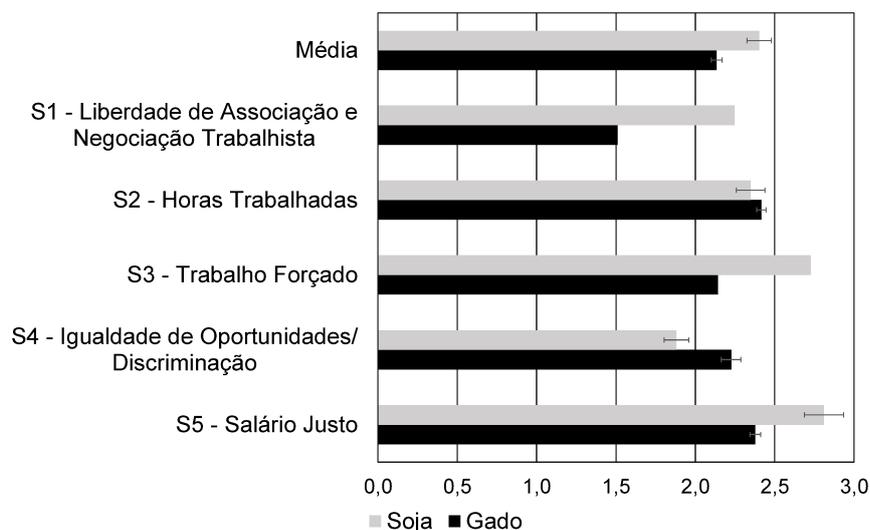


Fonte: Elaborada pela autora

A Figura 17 apresenta uma comparação das notas obtidas para cada matéria-prima em cada subcategoria. Observa-se que todas as notas foram inferiores a 3, que seria a nota obtida caso os requisitos básicos fossem atingidos. Este resultado mostra que em todas as categorias avaliadas existem trabalhadores que não têm seus direitos básicos atendidos. A subcategoria onde foram observadas as maiores notas foi salário justo. Para gado, a menor nota foi na subcategoria liberdade de associação e negociação coletiva. Para soja, a menor nota foi na subcategoria igualdade de oportunidades/discriminação.

A nota média obtida pelo cultivo de soja foi superior àquela obtida pela criação de gado. Houve convergência da faixa de erro para a subcategoria horas trabalhadas. Por outro lado, existem mais acusações de trabalho análogo à escravidão na criação de gado do que em relação ao cultivo da soja. Estabelecimentos pecuaristas são menos frequentemente associados a uma cooperativa. Pessoas que trabalham com criação

Figura 17 – Comparação entre as notas obtidas pelas matérias-primas nas subcategorias de ACV-S avaliadas



Fonte: Elaborada pela autora

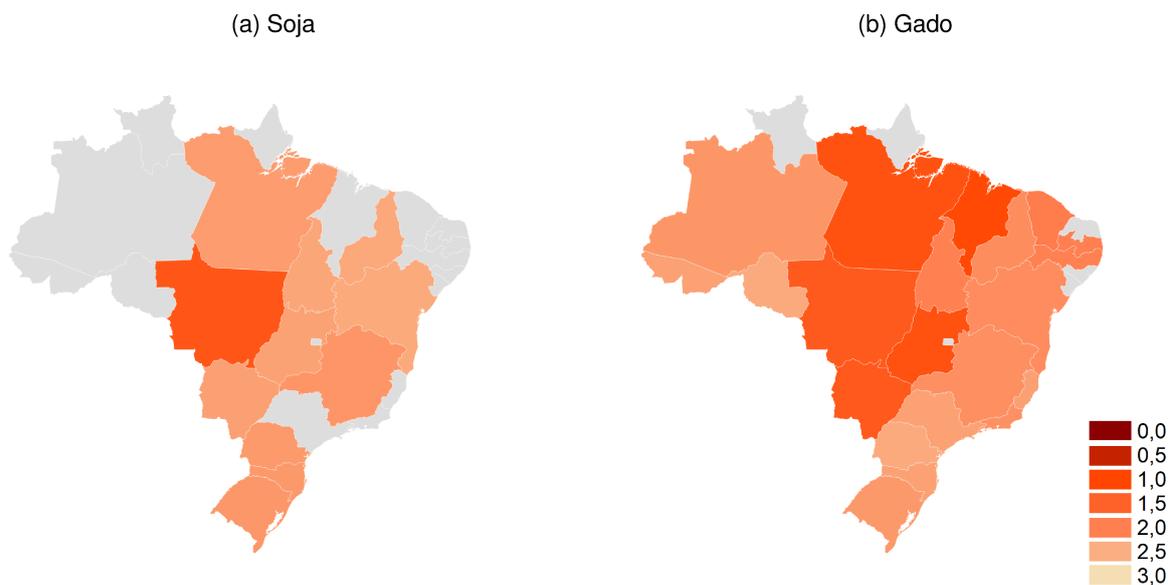
de gado ganham mais frequentemente salários inferiores ao mínimo. Esses impactos negativos tornam a força de trabalho mais inclusiva observada na subcategoria S_5 não necessariamente positiva, porque sugerem que um maior número de pessoas pertencentes a minorias sociais estão trabalhando em empregos que mais frequentemente não atendem a requisitos básicos. A análise das frequências relativas revela que a diferença entre as duas matérias-primas na subcategoria S_4 ocorre porque a frequência relativa de pessoas negras na criação de gado ($57,3 \pm 0,3\%$) é maior do que a frequência relativa de pessoas negras no cultivo de soja ($31 \pm 1\%$). A frequência relativa de mulheres é baixa em ambas as atividades: $14,7 \pm 0,4\%$ para pecuaristas e $16 \pm 1\%$ para lavradores de soja.

As Figuras 18, 19, 20, 21, 22 e 23 mostram as notas médias e as notas obtidas nas subcategorias para cada matéria-prima em cada estado analisado. Os valores que originaram as figuras podem ser visualizados nas Tabelas 30 e 31 (Apêndice E). Todos os mapas estão na mesma escala de cor, e foram feitos usando o Datawrapper (2020).

A Figura 18 revela que o Mato Grosso foi o estado que apresentou os maiores impactos negativos associados à produção de soja (nota média: $1,9 \pm 0,2$). A maior nota ($2,6 \pm 0,4$) foi encontrada em Goiás. A produção de gado teve impactos mais negativos na região Centro-Oeste, no Maranhão e no Pará. As notas variaram entre $1,7 \pm 0,2$, no Maranhão; e $2,6 \pm 0,2$, no Espírito Santo e São Paulo.

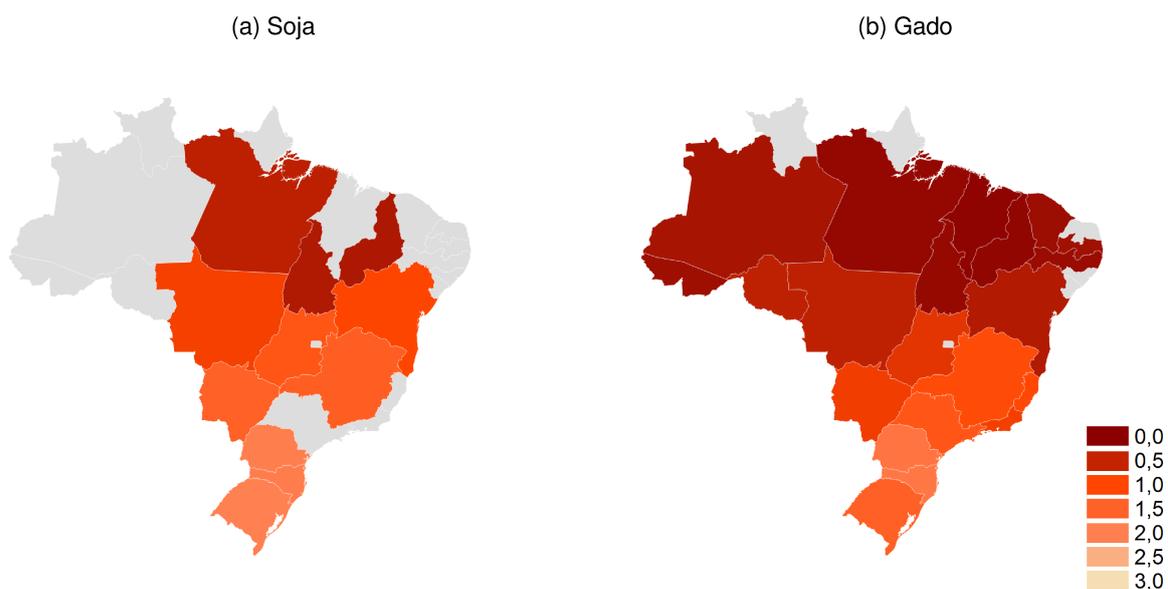
A Figura 19 mostra que quanto mais ao norte um estado está, menos provável que seus estabelecimentos estejam associados com uma cooperativa. Para as duas matérias-primas, apenas os estados da região Sul obtiveram notas maiores do que 2,0.

Figura 18 – Notas médias para a produção de soja e gado no Brasil



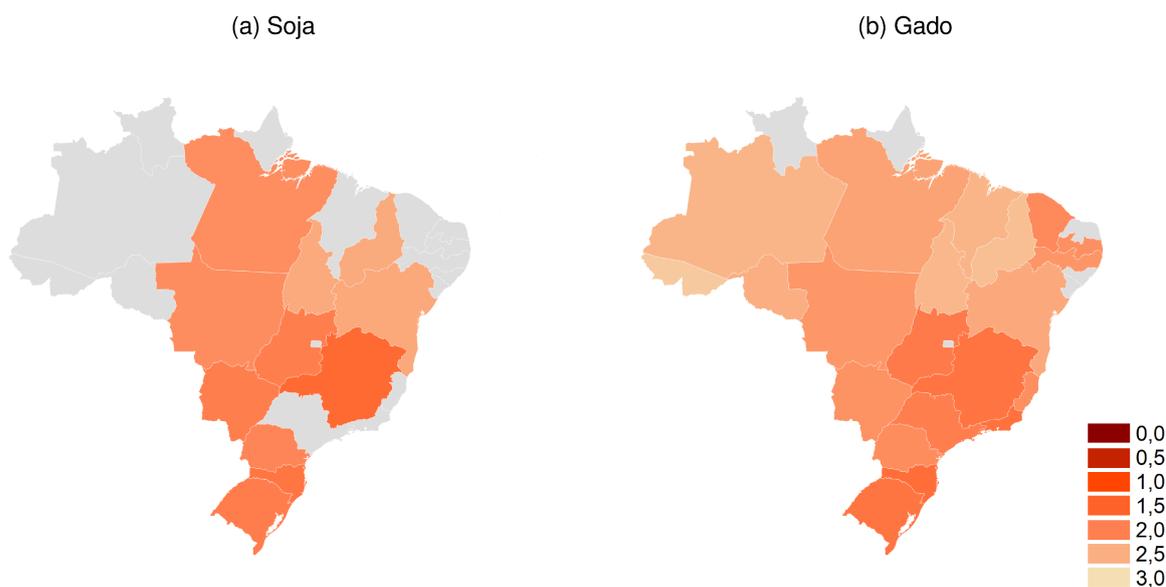
Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 19 – Notas médias para S_1 : liberdade de associação e negociação trabalhista

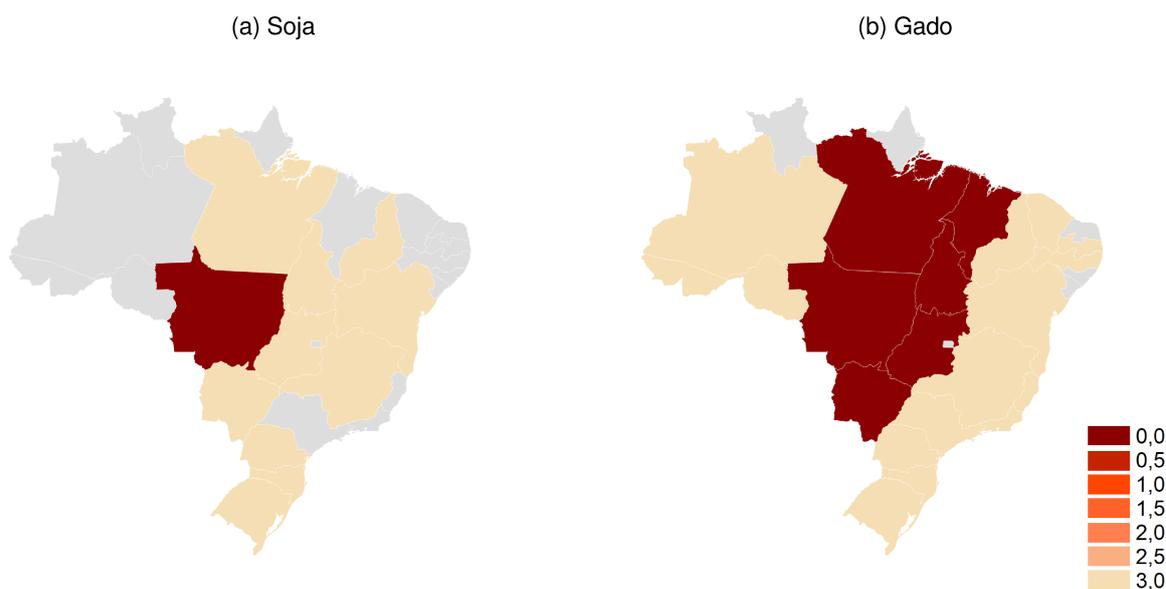


Fonte: Elaborada pela autora.

A Figura 20 mostra que, para o cultivo de soja, trabalhadores da região Nordeste e do Tocantins são menos frequentemente sujeitos a extensas jornadas de trabalho. Para a criação de gado, os piores desempenhos foram observados em estados das regiões Sul e Centro-Oeste: Santa Catarina ($2,1 \pm 0,1$), Rio Grande do Sul ($2,2 \pm 0,1$), Minas Gerais ($2,2 \pm 0,1$) e Rio de Janeiro ($2,2 \pm 0,3$). Já os melhores resultados foram encontrados em estados das regiões Norte e Nordeste: Acre ($2,9 \pm 0,1$), Maranhão ($2,7 \pm 0,1$), Roraima ($2,7 \pm 0,2$), Tocantins ($2,7 \pm 0,2$) e Amazonas ($2,7 \pm 0,4$).

Figura 20 – Notas para S_2 : Horas trabalhadas

Fonte: Elaborada pela autora.

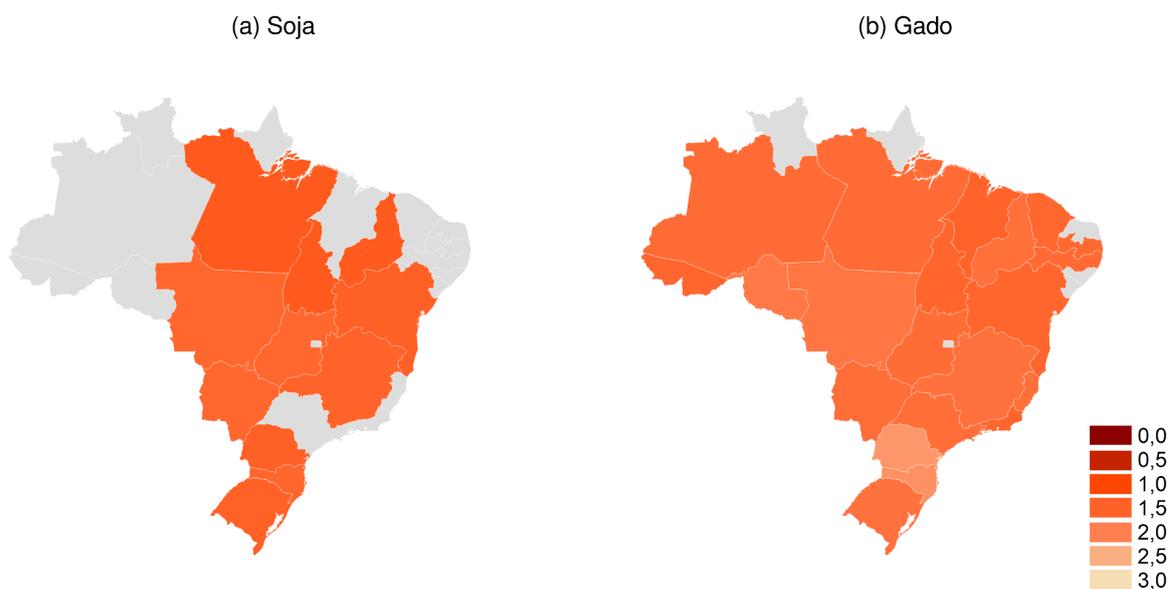
Figura 21 – Notas para S_3 : Trabalho forçado

Fonte: Elaborada pela autora.

A Figura 21 destaca quais estados possuíam cadastro de trabalhadores submetidos a condições análogas à escravidão em cada atividade: para o cultivo de soja, apenas o Mato Grosso. Para a criação de gado, Pará, Maranhão, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás.

A Figura 22 mostra que não há grandes variações nas notas obtidas na subcategoria S_4 ao longo dos estados. As notas ficaram entre 1,9 e 2,1 para o cultivo de soja. Para a criação de gado, houve dois estados com desempenho superior aos

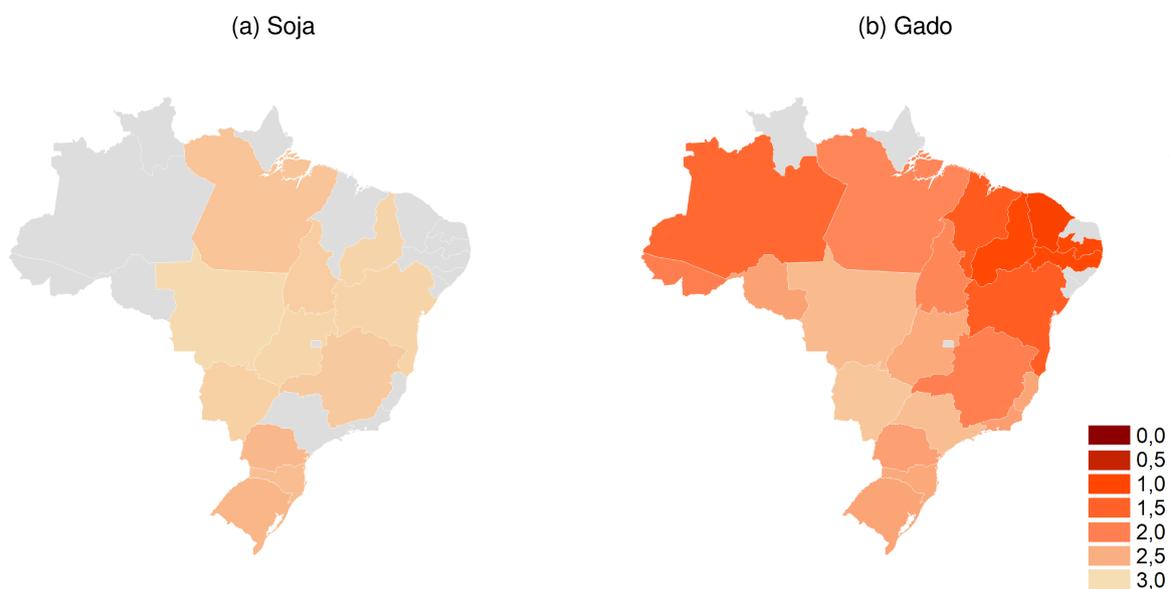
Figura 22 – Notas para S_4 : Igualdade de oportunidades/ discriminação



Fonte: Elaborada pela autora.

demais: Santa Catarina ($2,5 \pm 0,1$) e Paraná ($2,5 \pm 0,3$). Para o restante dos estados, as médias ficaram entre 2,0 e 2,2.

Figura 23 – Notas para S_5 : Salário Justo



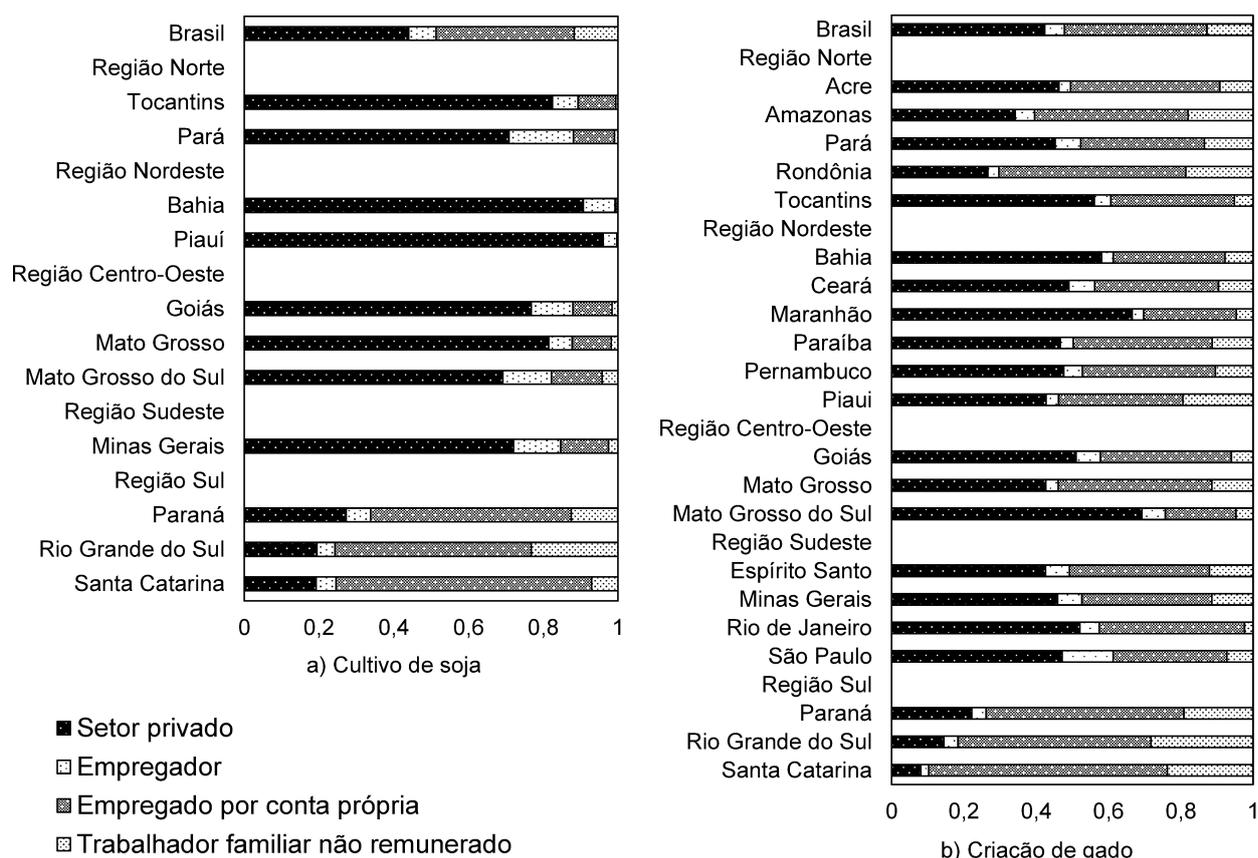
Fonte: Elaborada pela autora.

A análise da Figura 23 revela que a criação de gado deixa de pagar o salário mínimo a seus trabalhadores com mais frequência do que o cultivo de soja. Os pecuaristas da região Nordeste são os mais mal pagos ($1,6 \pm 0,1$ no Ceará; $1,6 \pm 0,2$ na Paraíba, Pernambuco e Piauí).

A Figura 24 apresenta a frequência relativa de pessoas trabalhando em cada

função em cada estado analisado e no país. A distribuição é semelhante para ambas as atividades em nível de país, mas difere entre os estados. Agricultores autônomos de soja são maioria na região Sul, o que pode explicar a prevalência do cooperativismo nessa região.

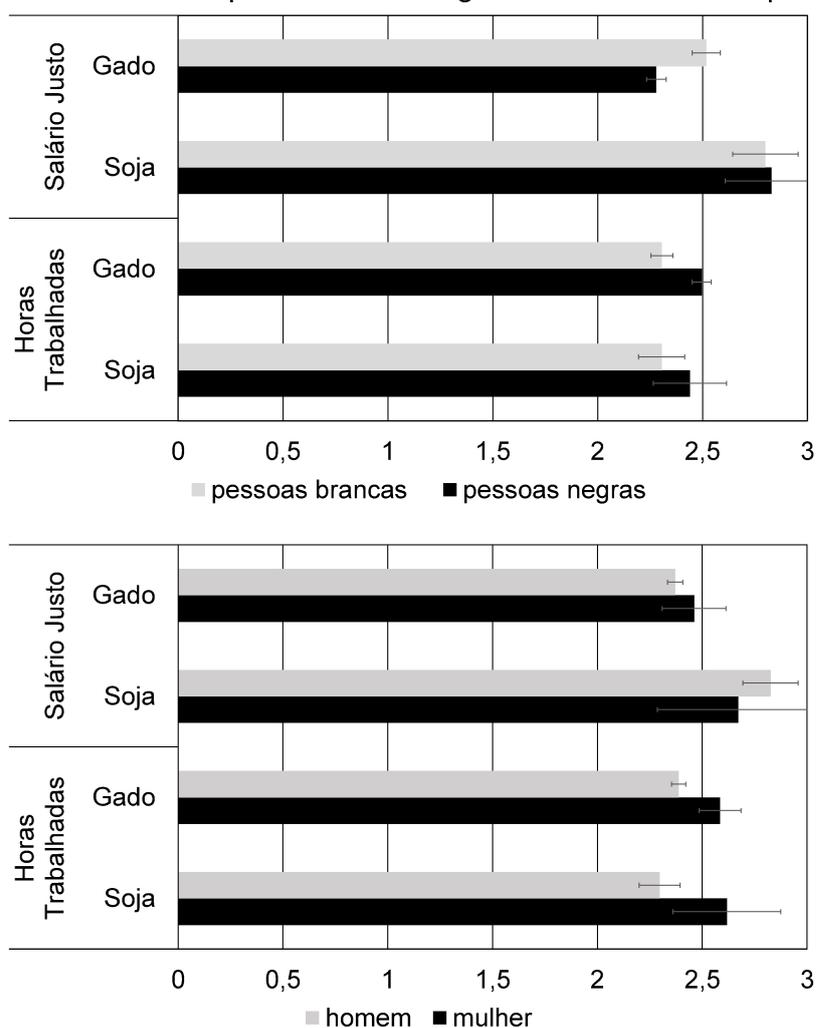
Figura 24 – Frequência relativa de pessoas em cada atividade.



Fonte: Elaborada pela autora.

A Figura 25 reporta as notas obtidas nas subcategorias horas trabalhadas e salário justo divididas por raça e sexo. Ela revela que pessoas negras que trabalham na criação de gado recebem mais frequentemente salários abaixo do salário mínimo brasileiro do que os demais trabalhadores. As disparidades encontradas na subcategoria horas trabalhadas são menores do que na subcategoria salário justo. No entanto, pessoas brancas e homens que trabalham com gado são mais frequentemente submetidos a um maior número de horas de trabalho. Não foram encontradas diferenças significativas entre homens e mulheres e pessoas brancas e pessoas negras para trabalhadores e trabalhadoras do cultivo de soja.

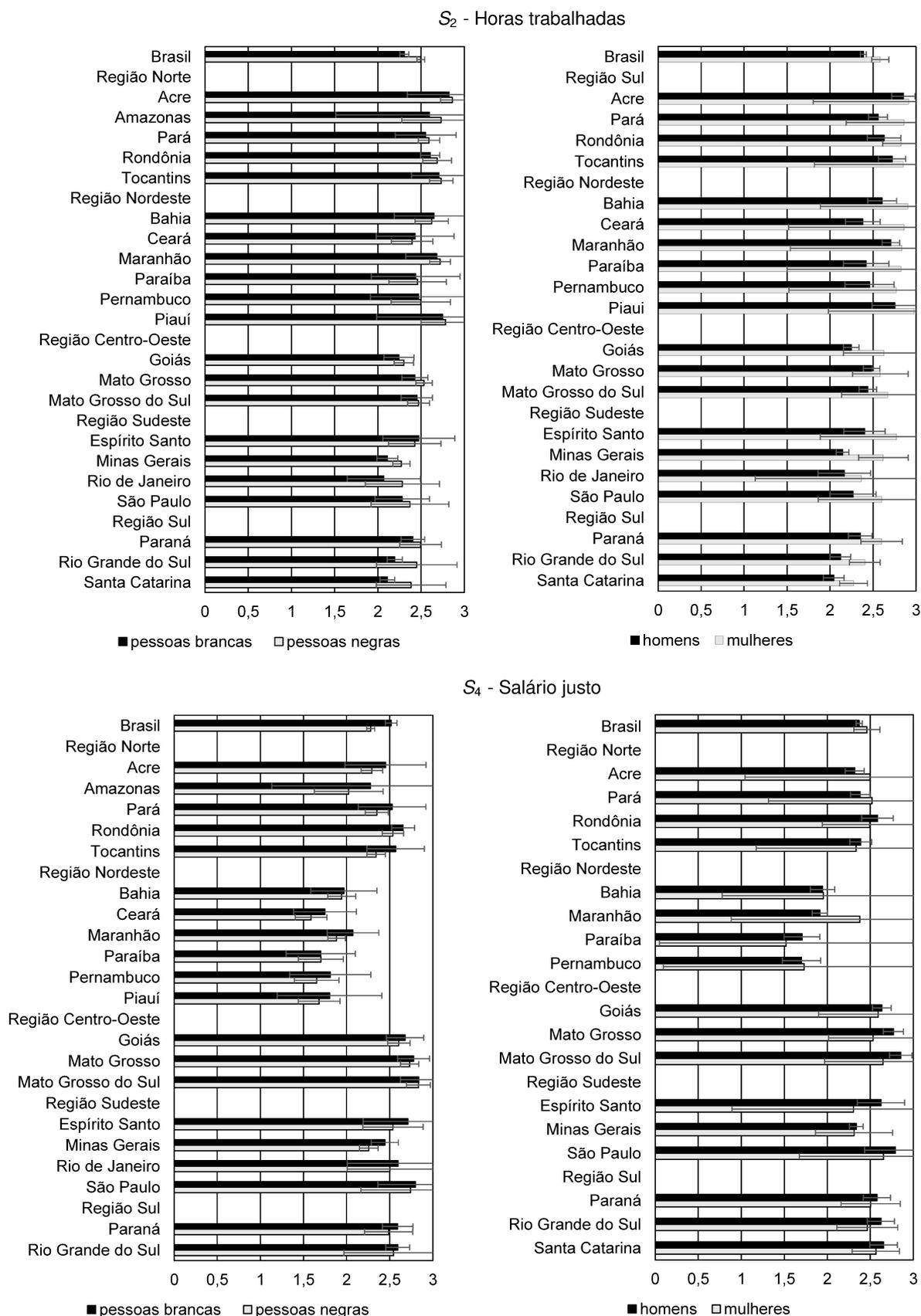
Figura 25 – Notas obtidas para as subcategorias 2 e 5 divididas por raça e sexo



Fonte: Elaborada pela autora.

As notas obtidas nas subcategorias divididas por raça e sexo nos estados e incluindo as trabalhadoras e trabalhadores familiares não remuneradas/os (que foram excluídas/os da análise anteriormente desenvolvida) podem ser visualizadas nas Figuras 26 e 27. Devido a não aleatoriedade da PNADC, alguns estados não apresentaram notas consistentes para essas subdivisões (por exemplo, os erros foram mais significativo do que 2, ou apesar da participação conhecida de mulheres na força de trabalho, não havia mulheres em alguns subconjuntos de dados). O tamanho da amostra levou a grandes erros para a maioria dos estados. Portanto, não foi possível detectar diferenças fora da margem de erro na maioria dos casos. A exceção na subcategoria S_2 foi a criação de gado no Brasil, onde as mulheres obtiveram notas maiores que os homens (ou seja: existia menos mulheres do que homens sujeitas a jornadas de trabalho acima de 44h). Na subcategoria S_4 (salário justo), no Brasil como um todo, na criação de gado as pessoas brancas tiveram notas maiores que as pessoas negras; enquanto no cultivo de soja os homens obtiveram notas maiores que as mulheres.

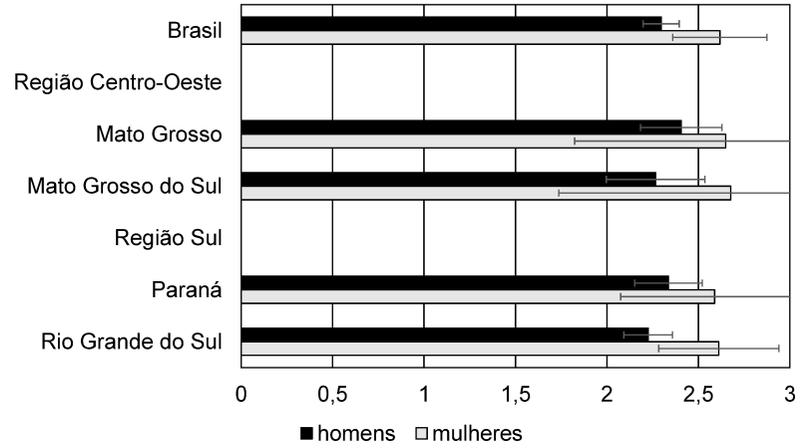
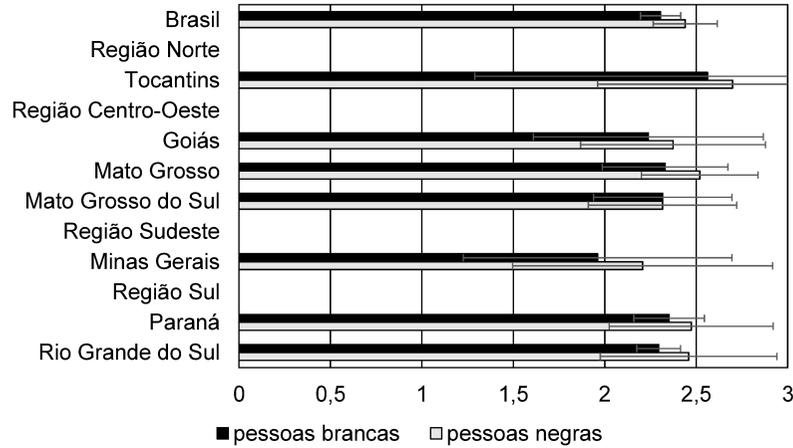
Figura 26 – Notas obtidas por estado nas subcategorias S_2 e S_5 para criação de gado separadas por raça e sexo, incluindo trabalhadores(as) familiares não remunerados



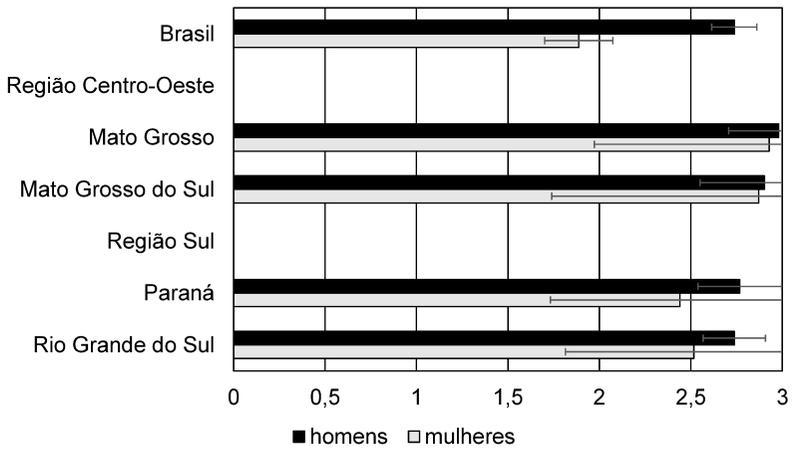
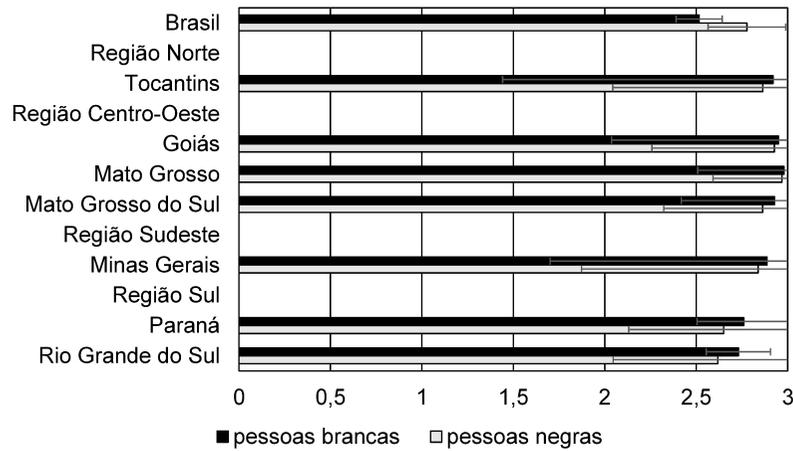
Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 27 – Notas obtidas por estado nas subcategorias S_2 e S_5 para cultivo de soja separadas por raça e sexo

S_2 - Horas trabalhadas



S_4 - Salário justo



Fonte: Elaborada pela autora.

5 CONCLUSÃO

O primeiro objetivo deste trabalho foi a realização de uma revisão extensiva da literatura publicada entre 2015 e 2020 sobre ACV-A e ACV-S de biodiesel no Brasil. Os artigos de ACV-A examinados avaliaram diferentes impactos e processos, e usaram diferentes unidades funcionais e métodos de alocação. Isto torna a comparação entre eles imprecisa, o que levanta a necessidade de padronização de métodos utilizados caso se deseje posteriormente comparar resultados de diferentes ACVs. A comparação entre o potencial de aquecimento global reportado por diferentes estudos revela que, quando avaliada, a mudança do uso da terra foi o processo de maior impacto, o que ressalta a importância de que ela seja avaliada em ACVs de biodiesel. Foram encontrados poucos artigos que sobre ACV-S. Os impactos sociais relatados na literatura foram classificados em subcategorias. A comparação entre os impactos listados na revisão de ACV-S revelou que, para a parte interessada trabalhadores, a maior parte dos impactos negativos localizou-se nas regiões Norte e Nordeste; e a maior parte dos impactos positivos deve-se à participação de cooperativas ou ao aumento da renda dos trabalhadores após começarem a produzir matérias-primas para a produção de biodiesel. Para a parte interessada comunidade local, a maioria dos impactos negativos listados estava ligado à produção de palma na região Norte, e o impacto positivo mais reportado foi a geração de empregos diretos e indiretos. O fracasso do PNPB em diversificar as matérias-primas utilizadas para a produção do biodiesel apareceu como o impacto negativo mais comumente relatado para a parte interessada sociedade; e problemas na relação entre sojicultores e usinas de biodiesel foram reportados na parte interessada relação entre atores da cadeia de valor. Ressalta-se que os estudos avaliados utilizaram metodologias distintas, portanto a frequência com que um impacto é relatado não necessariamente é representativa da frequência com ele ocorre; ao mesmo tempo que outros impactos não relatados podem estar presentes.

O segundo objetivo foi a proposição de uma metodologia para ACV-social de biodiesel focada nos trabalhadores do cultivo da soja e criação de gado. Na revisão, as subcategorias foram transformadas em perguntas, que podem ser utilizadas em pesquisas posteriores. O código em R desenvolvido permitiu a comparação entre diferentes subcategorias, e também está disponibilizado para utilização em outros trabalhos.

O terceiro objetivo foi a construção de inventários para o ACV-A, o que foi possível a partir da utilização de dados disponibilizados pelo IBGE e a sistematização de dados encontrados na revisão.

O quarto objetivo foi a avaliação do Potencial de Aquecimento Global da produção de biodiesel de soja e sebo bovino nas diferentes regiões do Brasil. Em todas as regiões e métodos de alocação utilizados, as emissões do biodiesel de soja foram

inferiores à intensidade de carbono considerada pela RenovaCalc para o diesel fóssil. Como não foi possível quantificar os erros decorrentes das hipóteses adotadas neste estudo, é possível que os valores médios das emissões do biodiesel de soja estejam na mesma faixa de erro do diesel fóssil, pois os valores encontrados foram da mesma ordem de grandeza: os valores regionais das emissões do biodiesel de soja ficaram entre 2×10 e 7×10 gCO₂eq/MJ de biodiesel; as emissões do diesel fóssil considerado pela Renovacalc são 86,5 gCO₂eq/MJ. As emissões encontradas para o biodiesel de sebo bovino foram entre 2,6 e 28,1 vezes superiores àquelas encontradas para o biodiesel de soja e, em todas as regiões e independente do método de alocação utilizado, de ordens de grandeza superiores à intensidade de carbono do diesel fóssil. Os valores ficaram entre 1×10^2 e 2×10^3 gCO₂eq/MJ de biodiesel. Este resultado indica a importância de considerar as emissões decorrentes da criação de gado em ACVs de biodiesel de sebo bovino, para não subestimar os impactos deste biocombustível e indiretamente remunerar com créditos de descarbonização uma atividade com alta intensidade de carbono. A mudança do uso da terra foi o processo com maior impacto para o biodiesel de soja, o que estava de acordo com resultados anteriores da literatura e ressalta a importância ambiental de controlar o avanço de cultura de soja sobre áreas de floresta nativa. No processo agricultura, o fluxo passível de alteração com maior impacto nas emissões observadas é a quantidade de fertilizante nitrogênio inorgânico adicionado ao solo. Os demais processos (transporte de soja, extração de óleo, refino e transesterificação) são responsáveis por menos de 1/4 das emissões decorrentes da produção do biodiesel de soja. Na produção do biodiesel de sebo bovino, a mudança do uso da terra foi o processo com maiores emissões de CO₂eq apenas na região Norte, devido a grande área desmatada para o avanço do pasto. Por outro lado, em vários estados (GO, MS, SP, PR, RS), foi observada redução de área de pasto; e no restante das regiões do país o processo com maior intensidade de carbono foi a criação de gado. Os principais fatores que afetam este processo são o tratamento dado ao esterco e o tipo de sistema produtivo utilizado, onde gado criado em pasto de baixa qualidade sem nenhum tratamento de esterco gera as maiores emissões. Os outros processos avaliados (transporte para o abate, abate, transporte de sebo e transesterificação) são responsáveis por menos de 8% das emissões da produção do biodiesel de sebo bovino. É importante ressaltar que neste trabalho foram calculadas médias regionais utilizando uma série de hipóteses simplificadoras e estimativas. Valores de emissões devido a mudança do uso da terra variam bastante entre os estados, e usinas e fazendas devem ter seus processos avaliados individualmente para atender a objetivos de descarbonização.

Por fim, o último objetivo foi avaliar os impactos sociais da produção de soja e gado sobre os trabalhadores entre 2015 e 2019 em cada região brasileira. A ACV-S mostrou que em todas as subcategorias avaliadas havia trabalhadores sem acesso a

seus direitos básicos. Na média, trabalhadores da criação de gado estavam submetidos a condições de trabalho piores que trabalhadores do cultivo de soja. Estabelecimentos onde se cultiva soja estão mais frequentemente associados à cooperativas e trabalhadores da criação de gado estão mais frequentemente sujeitos a trabalho forçado ou a receberem salários inferiores ao mínimo. A maior participação proporcional de pessoas negras na força de trabalho da criação de gado faz com que a nota da categoria igualdade de oportunidades/discriminação seja maior para o gado do que para a soja. A análise de disparidades regionais mostra que estados do Norte e Nordeste tem notas menores na subcategorias Liberdade de associação e negociação trabalhista e Salário justo, o que está de acordo com a literatura encontrada e ressalta a importância de políticas públicas especialmente voltadas a essas regiões. Além disso, pessoas negras que trabalham na criação de gado e mulheres que trabalham com cultivo de soja tem notas menores que seus pares pessoas brancas e homens na subcategoria Salário justo, indicando a necessidade de garantir que estas minorias sociais recebam pelo menos o salário mínimo por seu trabalho.

Como trabalhos futuros, sugere-se:

- A inclusão dos processos distribuição de biodiesel e combustão nas ACVs, para concluir a análise do berço ao túmulo;
- A realização de mais ACVs considerando produtos de fazendas e usinas específicas, utilizando métodos padronizados, para melhorar a qualidade dos inventários regionais utilizados, a análise de erros e comparar resultados. Destaca-se a ausência de inventários de insumos utilizados para a produção de soja na região Nordeste, e a existência de poucos trabalhos que avaliam os impactos da pecuária na produção de biodiesel;
- A utilização de dados de satélite para a avaliação de mudança do uso da terra, para originar dados mais precisos;
- A realização de ACVs gerais de biodiesel de outras matérias-primas, tais quais palma, óleo usado, gordura de outros animais, etc;
- A proposição de modelos de redução de emissões do biodiesel a partir da alteração de parâmetros que impactam a Análise do Ciclo de Vida;
- A avaliação de outros impactos ambientais do biodiesel, além do potencial de aquecimento global;
- A avaliação dos impactos sociais do biodiesel para outras partes interessadas além dos trabalhadores da fase rural;
- A realização de ACV-S com a utilização de entrevistas, e não apenas dados abertos governamentais.

REFERÊNCIAS

ABELLA, Jessica P; BERGERSON, Joule A. Model to investigate energy and greenhouse gas emissions implications of refining petroleum: Impacts of crude quality and refinery configuration. **Environmental science & technology**, ACS Publications, v. 46, n. 24, p. 13037–13047, 2012.

ALTAMIRANO, Carlos Alberto Alejos; YOKOYAMA, Lídia; MEDEIROS, José Luiz de; ARAÚJO, Ofélia de Queiroz Fernandes. Ethylic or methylic route to soybean biodiesel? Tracking environmental answers through life cycle assessment. **Applied Energy**, Elsevier, v. 184, p. 1246–1263, 2016.

ANDRADE, Isadora Lucena; GUIMARÃES, Cláudio Marcelo Matos; GALVÃO, Viviane. Rede de colaboração científica sobre oleaginosas envolvidas na produção do biodiesel. **Perspectivas em Ciência da Informação**, SciELO Brasil, v. 21, n. 1, p. 207–224, 2016. <https://doi.org/10.1590/1981-5344/2605>.

ANDREWS, Evan Stuart. **Guidelines for social life cycle assessment of products: social and socio-economic LCA guidelines complementing environmental LCA and Life Cycle Costing, contributing to the full assessment of goods and services within the context of sustainable development**. [S.l.]: UNEP/Earthprint, 2009.

ANP. **Painel Dinâmico de Produtores de Biodiesel**. [S.l.: s.n.], 2019. <http://www.anp.gov.br/producao-de-biocombustiveis/biodiesel/painel-dinamico-de-produtores-de-biodiesel>. [Último acesso:: 08.2020].

ANP. **RenovaBio**. [S.l.: s.n.], 2020. [Acesso em: 05.2021]. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio>.

ATABANI, Abdelaziz E; SILITONGA, Arridina S; BADRUDDIN, Irfan Anjum; MAHLIA, TMI; MASJUKI, HH; MEKHILEF, S. A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. **Renewable and sustainable energy reviews**, Elsevier, v. 16, n. 4, p. 2070–2093, 2012.

ÁVILA-ROMERO, Agustín; ALBUQUERQUE, Jadson. Impactos socioambientales del cultivo de palma africana: los casos mexicano y brasileño. **Economía y Sociedad**, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>, v. 23, n. 53, p. 62–83, 2018. <https://doi.org/10.15359/ey.s.23-53.4>.

BACKHOUSE, Maria; LEHMANN, Rosa. New 'renewable'frontiers: contested palm oil plantations and wind energy projects in Brazil and Mexico. **Journal of Land Use Science**, Taylor & Francis, p. 1–16, 2019.

<https://doi.org/10.1080/1747423X.2019.1648577>.

BARBOSA-EVARISTO, Anderson; FERNÁNDEZ-COPPEL, Ignacio A; CORRÊA-GUIMARÃES, Adriana; MARTIN-GIL, Jesús; DUARTE-PIMENTEL, Leonardo; SARAIVA-GROSSI, José A; NAVAS-GRACIA, Luis M; MARTIN-RAMOS, Pablo. Simulation of macauba palm cultivation: an energy-balance and greenhouse gas emissions analysis. **Carbon Management**, Taylor & Francis, v. 9, n. 3, p. 243–254, 2018.

BATLLE, Eric Alberto Ocampo; SANTIAGO, York Castillo; VENTURINI, Osvaldo José; PALACIO, José Carlos Escobar; LORA, Electo Eduardo Silva; MAYA, Diego Mauricio Yepes; ARRIETA, Alberto Ricardo Albis. Thermodynamic and environmental assessment of different scenarios for the insertion of pyrolysis technology in palm oil biorefineries. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier, v. 250, p. 119544, 2020.

BENNETT, J. Advanced fuel additives for modern internal combustion engines. *In*: ALTERNATIVE Fuels and Advanced Vehicle Technologies for Improved Environmental Performance. [S.l.]: Elsevier, 2014.

BICALHO, Tereza; BESSOU, Cécile; PACCA, Sergio A. Land use change within EU sustainability criteria for biofuels: The case of oil palm expansion in the Brazilian Amazon. **Renewable energy**, Elsevier, v. 89, p. 588–597, 2016.

BODUNRIN, Michael O; BURMAN, Nicholas W; CROFT, Joel; ENGELBRECHT, Shaun; GOGA, Taahira; LADENIKA, AO; MACGREGOR, OS; MAEPA, Mpho; HARDING, Kevin G. The availability of life-cycle assessment, water footprinting, and carbon footprinting studies in Brazil. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Springer, v. 23, n. 8, p. 1701–1707, 2018.

BRANDÃO, Frederico; CASTRO, Fabio de; FUTEMMA, Célia. Between structural change and local agency in the palm oil sector: Interactions, heterogeneities and landscape transformations in the Brazilian Amazon. **Journal of Rural Studies**, Elsevier, v. 71, p. 156–168, 2019.

<https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2018.09.007>.

BRASIL. MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, Tecnologia e Inovação. **Third national communication of Brazil to the United Nations framework convention on climate change**. [S.l.]: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação Brasília, 2016.

BRONDANI, Michel; HOFFMANN, Ronaldo; MAYER, Flávio Dias; KLEINERT, Jonas Schmidt. Environmental and energy analysis of biodiesel production in Rio Grande do Sul, Brazil. **Clean Technologies and Environmental Policy**, Springer, v. 17, n. 1, p. 129–143, 2015.

CARDOSO, Bárbara Françoise; SHIKIDA, Pery Francisco Assis; FINCO, Adele. Development of brazilian biodiesel sector from the perspective of stakeholders. **Energies**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 10, n. 3, p. 399, 2017. <https://doi.org/10.3390/en10030399>.

CARNEIRO, Maria Luisa NM; PRADELLE, Florian; BRAGA, Sergio L; GOMES, Marcos Sebastião P; MARTINS, Ana Rosa FA; TURKOVICS, Franck; PRADELLE, Renata NC. Potential of biofuels from algae: Comparison with fossil fuels, ethanol and biodiesel in Europe and Brazil through life cycle assessment (LCA). **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, v. 73, p. 632–653, 2017.

CÂRSTEA, Vlad. Delocalization-the automotive industry's answer to cost reduction. **Romanian Economic and Business Review**, Romanian-American University, Scientific Research Department, p. 180, 2013.

CARVALHO, Monica; DA SILVA, Elson Santos; ANDERSEN, Silvia LF; ABRAHÃO, Raphael. Life cycle assessment of the transesterification double step process for biodiesel production from refined soybean oil in Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, Springer, v. 23, n. 11, p. 11025–11033, 2016.

CASTANHEIRA, Érica Geraldês; GRISOLI, Renata; COELHO, Suani; SILVA, Gil Anderi da; FREIRE, Fausto. Life-cycle assessment of soybean-based biodiesel in Europe: comparing grain, oil and biodiesel import from Brazil. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier, v. 102, p. 188–201, 2015.

CASTELLANELLI, Carlo Alessandro. Los mecanismos de inclusión social: aspectos controversiales en el programa nacional de producción de biodiesel en Brasil. **Holos**, v. 1, p. 272–284, 2016.

CASTELLANELLI, Carlo Alessandro; CUNHA, Luise Medina. As mesas-redondas e o processo de land grabbing: Aspectos de governança no selo social do programa nacional de produção e uso de biodiesel. **Revista ESPACIOS| Vol. 36 (Nº 18) Año 2015**, 2015.

CAVALCANTE DE OLIVEIRA, Rosana; SOUZA E SILVA, Rogério Diogne de; LIMA TOSTES, Maria Emilia de. A methodology for analysis of cogeneration projects using oil palm biomass wastes as an energy source in the Amazon. **Dyna**, v. 82, n. 190, p. 105–112, 2015.

CERRI, Carlos Eduardo Pellegrino *et al.* Assessing the greenhouse gas emissions of Brazilian soybean biodiesel production. **PloS one**, Public Library of Science San Francisco, CA USA, v. 12, n. 5, e0176948, 2017.

CÓRDOBA, Diana; CHIAPPE, Marta; ABRAMS, Jesse; SELFA, Theresa. Fuelling Social Inclusion? Neo-extractivism, State–Society Relations and Biofuel Policies in Latin America’s Southern Cone. **Development and Change**, Wiley Online Library, v. 49, n. 1, p. 63–88, 2018.

COSTA, Marina Weyl; OLIVEIRA, Amir. A Review of the Life Cycle Assessments of Brazilian Biodiesel. *In*: PROCEEDINGS of the 9th European Conference on Renewable Energy Systems. Istanbul, Turkey: [s.n.], 2021a.

COSTA, Marina Weyl; OLIVEIRA, Amir. Assessments of Global Warming Potential of Brazilian Biodiesel. *In*: PROCEEDINGS of the 9th European Conference on Renewable Energy Systems. Istanbul, Turkey: [s.n.], 2021b.

COSTA, Marina Weyl; OLIVEIRA, Amir. Social Life Cycle Assessment of feedstocks for biodiesel production in Brazil. **Artigo submetido**, 2021c.

CREMONEZ, Paulo André; FEROLDI, Michael; OLIVEIRA, Carlos de Jesus de; TELEKEN, Joel Gustavo; ALVES, Helton José; SAMPAIO, Silvio César. Environmental, economic and social impact of aviation biofuel production in Brazil. **New biotechnology**, Elsevier, v. 32, n. 2, p. 263–271, 2015.

DE MELLO, Marcia Cristina Santos; VILLARDI, Hugo Gomes D’Amato; YOUNG, André Ferreira; PESSOA, Fernando Luiz Pellegrini; SALGADO, Andrea Medeiros. Life cycle assessment of biodiesel produced by the

methylic-alkaline and ethylic-enzymatic routes. **Fuel**, Elsevier, v. 208, p. 329–336, 2017.

DE OLIVEIRA, Fernando C; LOPES, Thiago SA; PARENTE, Virginia; BERMANN, Celio; COELHO, Suani T. The Brazilian social fuel stamp program: Few strikes, many bloopers and stumbles. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, v. 102, p. 121–128, 2019.

DI LULLO, Giovanni; ZHANG, Hao; KUMAR, Amit. Evaluation of uncertainty in the well-to-tank and combustion greenhouse gas emissions of various transportation fuels. **Applied energy**, Elsevier, v. 184, p. 413–426, 2016.

DINIZ, Graciela S; TOURINHO, Tiago CO; SILVA, Anita F; CHALOUB, Ricardo M. Environmental impact of microalgal biomass production using wastewater resources. **Clean Technologies and Environmental Policy**, Springer, v. 19, n. 10, p. 2521–2529, 2017.

DJALMA PESSOA, Pedro Nascimento Silva. **Análise de Dados Amostrais Complexos**. [S.l.: s.n.], 2018.

<https://djalmapessoa.github.io/adac/capplanamo.html#taylor>. [Acessado em: 04.2020].

ECOINVENT. **FAQs - What is a market and how is it created?** [S.l.: s.n.], 2021a. <https://www.ecoinvent.org/support/faqs/methodology-of-ecoinvent-3/what-is-a-market-and-how-is-it-created.html>. [Último acesso:: 2021.01].

ECOINVENT. **Files - Tabela 3.7.1_{aposcumulative} CIA**. [S.l.: s.n.], 2021b. <https://v371.ecoquery.ecoinvent.org/Home/Index>. [Último acesso:: 2021.01].

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2019, ano base 2018**. [S.l.: s.n.], 2019.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **NOTA TÉCNICA EPE DEA 013/2020 - Recursos Energéticos Distribuídos: Potencial Técnico do Metano da Pecuária Bovina**. [S.l.]: Ministério de Minas e Energia, 2020.

ESTEVES, Elisa Maria Mano; ESTEVES, Victor Paulo Peçanha; BUNGENSTAB, Davi José; ARAÚJO, Ofélia de Queiroz Fernandes; MORGADO, Cláudia do Rosário Vaz. Greenhouse gas emissions related to biodiesel

from traditional soybean farming compared to integrated crop-livestock systems.

Journal of Cleaner Production, Elsevier, v. 179, p. 81–92, 2018.

ESTEVES, Rafael Alves; PEREIRA, Roberto Guimarães. Análise sobre a Evolução do Biodiesel no Brasil. **Revista ESPACIOS**, 37 (Nº 02), 2016.

ESTEVES, Rafael Alves; PEREIRA, Roberto Guimarães. Comparing the environmental impacts of ethyl biodiesel production from soybean oil and beef tallow through lca for brazilian conditions. **Independent Journal of Management & Production**, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, v. 8, n. 4, p. 1285–1308, 2017.

ESTEVES, Victor Paulo Peçanha; ESTEVES, Elisa Maria Mano; BUNGENSTAB, Davi José; FEIJÓ, Gelson Luis Dias; ARAÚJO, Ofélia de Queiroz Fernandes; MORGADO, Cláudia do Rosário Vaz. Assessment of greenhouse gases (GHG) emissions from the tallow biodiesel production chain including land use change (LUC). **Journal of cleaner production**, Elsevier, v. 151, p. 578–591, 2017.

ESTEVES, Victor Paulo Peçanha; ESTEVES, Elisa Maria Mano; BUNGENSTAB, Davi José; LOEBMANN, Daniel Gomes dos Santos Wendriner; CASTRO VICTORIA, Daniel de; VICENTE, Luiz Eduardo; ARAÚJO, Ofélia de Queiroz Fernandes; MORGADO, Cláudia do Rosário Vaz. Land use change (LUC) analysis and life cycle assessment (LCA) of Brazilian soybean biodiesel. **Clean Technologies and Environmental Policy**, Springer, v. 18, n. 6, p. 1655–1673, 2016.

ESTEVES, Victor Paulo Peçanha; MORGADO, Cláudia do Rosário Vaz; ARAÚJO, Ofélia de Queiroz Fernandes. Regional and temporal sustainability assessment of agricultural-based biodiesel. **Clean Technologies and Environmental Policy**, Springer, v. 22, n. 4, p. 965–978, 2020a.

ESTEVES, Victor Paulo Peçanha; MORGADO, Cláudia do Rosário Vaz; FERNANDES ARAÚJO, Ofélia de Queiroz. Regional and temporal sustainability assessment of agricultural-based biodiesel. **Clean Technologies and Environmental Policy**, Springer, v. 22, p. 965–978, 2020b.

FAO, Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. **SECTION 3. Codex Standard for Fats and Oils from Animal Sources**. [S.l.: s.n.], 1999.

<http://www.fao.org/3/y2774e/y2774e05.htm>. [Último acesso:: 08.2020].

FERNANDEZ, Igor Alberto Peñarrubia; LIU, De-Hua; ZHAO, Jinsong. LCA studies comparing alkaline and immobilized enzyme catalyzed processes for biodiesel production under Brazilian conditions. **Resources, Conservation and Recycling**, Elsevier, v. 119, p. 117–127, 2017.

FERNÁNDEZ-COPPEL, Ignacio A; BARBOSA-EVARISTO, Anderson; CORRÊA-GUIMARÃES, Adriana; MARTIN-GIL, Jesús; NAVAS-GRACIA, Luis M; MARTIN-RAMOS, Pablo. Life cycle analysis of macauba palm cultivation: A promising crop for biofuel production. **Industrial Crops and Products**, Elsevier, v. 125, p. 556–566, 2018.

FORSTER, Piers *et al.* Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. Chapter 2. *In*: CLIMATE Change 2007. The Physical Science Basis. [S.l.: s.n.], 2007.

GAUTAM, Raghvendra; KUMAR, Saket. Performance and combustion analysis of diesel and tallow biodiesel in CI engine. **Energy Reports**, Elsevier, v. 6, p. 2785–2793, 2020.

GMBHR, Datawrapper. **Datawrapper**. [S.l.: s.n.], 2020. [Último acesso em: 07.2020]. Disponível em: <https://www.datawrapper.de>.

GOOGLE. **Google Maps**. [S.l.: s.n.], 2021. <https://www.google.com.br/maps>. [Último acesso: 03.2021].

GUINÉE, J.B. *et al.* **Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2002.

HIRAISHI, Takahiko; KRUG, Thelma; TANABE, Kiyoto; SRIVASTAVA, Nalin; BAASANSUREN, J; FUKUDA, Maya; TROXLER, TG. 2013 supplement to the 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Wetlands. **IPCC, Switzerland**, 2014.

IBAMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Programa de controle de emissões veiculares (Proconve)**. [S.l.: s.n.], 2017.

<https://www.ibama.gov.br/emissoes/veiculos-automotores/programa-de-controle-de-emissoes-veiculares-proconve>. [Último acesso:: 12.2020].

IBGE. **Cartograma - Bovinos do Brasil por Efetivo do rebanho**. [S.l.: s.n.], 2017a. https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/pecuaria.html?localidade=0&tema=75652. [Acessado em: 05.2020].

IBGE. **Cartograma - Soja - Grão do Brasil por Quantidade produzida**. [S.l.: s.n.], 2017b. https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/agricultura.html?localidade=0&tema=76518. [Acessado em: 05.2020].

IBGE. **Censo Agropecuário - Tabelas**. [S.l.: s.n.], 2020a. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuario.html?edicao=25757&t=resultados>. [Último acesso:: 2020.05.12].

IBGE. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua - Notas técnicas**. [S.l.: s.n.], 2020b. ISBN 978-65-87201-03-0.

IBGE. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua - PNAD Contínua - Microdados**. [S.l.: s.n.], 2020c. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/9173-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios-continua-trimestral.html?=&t=microdados>. [Acessado em: 05.2020].

IBGE. **PNADcIBGE: Downloading, Reading and Analysing PNADC Microdatas**. [S.l.: s.n.], 2020d. <https://cran.r-project.org/web/packages/PNADcIBGE/index.html>. [Acessado em: 04.2020].

IBGE. **Tabela 1011 - Número de estabelecimentos agropecuários e Área dos estabelecimentos por utilização das terras e grupos e classes da atividade econômica**. [S.l.: s.n.], 2020e. <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1011>. [Último acesso:: 07.2020].

IBGE. **Tabela 1612 - Área plantada, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias**. [S.l.: s.n.], 2020f. <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612>. [Último acesso:: 07.2020].

IBGE. Tabela 5457 - Área plantada ou destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias e permanentes. [S.l.: s.n.], 2020g.

<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>. [Último acesso:: 07.2020].

IBGE. Tabela 6783 - Número de estabelecimentos agropecuários com bovinos, Efetivos, Venda e Produção de leite, por grupos de área de pastagem e grupos de área total. [S.l.: s.n.], 2020h. <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6783>. [Último acesso:: 07.2020].

IBGE. Tabela 6883 - Número de estabelecimentos agropecuários com área e Área dos estabelecimentos agropecuários, por tipologia, utilização das terras, sexo do produtor e grupos e classes de atividade. [S.l.: s.n.], 2020i.

<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6883>. [Último acesso:: 07.2020].

IBGE. Tabela 6911 - Número de estabelecimentos agropecuários com bovinos, Efetivos e Venda, por tipologia, grupos de área de pastagem e grupos de área total. [S.l.: s.n.], 2020j. <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6911>. [Último acesso:: 07.2020].

INTERLENGHI, Stefano Ferrari; ALMEIDA BRUNO, Pedro de; ARAUJO, Ofélia de Queiroz Fernandes; MEDEIROS, José Luiz de. Social and environmental impacts of replacing transesterification agent in soybean biodiesel production: Multi-criteria and principal component analyses. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier, v. 168, p. 149–162, 2017.

IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volume 2 - Energy. Chapter 3: Mobile combustion. [S.l.: s.n.], 2006a.

<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>. [Último acesso:: 04.2021].

IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volume 4 - Agriculture, Forestry and Other Land Use. [S.l.: s.n.], 2006b.

<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>. [Último acesso:: 04.2021].

IPCC. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volume 1 - General Guidance and Reporting. [S.l.: s.n.], 2019a.

<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol1.html>. [Último acesso:: 04.2021].

IPCC. **2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volume 2 - Energy**. [S.l.: s.n.], 2019b.

<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol2.html>. [Último acesso:: 04.2021].

IPCC. **2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Volume 4 - Agriculture, Forestry and Other Land Use**. [S.l.: s.n.], 2019c. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol4.html>. [Último acesso:: 04.2021].

JUNIOR, Marcio Alvarenga; YOUNG, Carlos Eduardo Frickmann. **Produção de biodiesel no Brasil, inclusão social e ganhos ambientais**. [S.l.: s.n.], 2013.

KAMALI, Farahnaz Pashaei; MEUWISSEN, Miranda PM; BOER, Imke JM de; MIDDELAAR, Corina E van; MOREIRA, Adonis; LANSINK, Alfons GJM Oude. Evaluation of the environmental, economic, and social performance of soybean farming systems in southern Brazil. **Journal of cleaner production**, Elsevier, v. 142, p. 385–394, 2017.

KERMANI, Maziar; CELEBI, Ayse Dilan; WALLERAND, Anna S; ENSINAS, Adriano V; KANTOR, Ivan D; MARÉCHAL, François. Techno-Economic and Environmental Optimization of Palm-based Biorefineries in the Brazilian Context. *In*: **COMPUTER Aided Chemical Engineering**. [S.l.]: Elsevier, 2017. v. 40. P. 2611–2616.

KNOOPE, Marlinde MJ; BALZER, Christoph H; WORRELL, Ernst. Analysing the water and greenhouse gas effects of soya bean-based biodiesel in five different regions. **Gcb Bioenergy**, Wiley Online Library, v. 11, n. 2, p. 381–399, 2019.

LEONETI, Alexandre Bevilacqua; ARAGÃO-LEONETI, Valquiria; GALINA, Simone Vasconcelos Ribeiro; PORTO, Geciane Silveira. The methylic versus the ethylic route: considerations about the sustainability of Brazilian biodiesel production. **Environment, development and sustainability**, Springer, v. 19, n. 2, p. 637–651, 2017.

LIMA, Ângela Maria Ferreira; TORRES, Ednildo Andrade; KIPERSTOK, Asher; SANTOS, Gabriela de Freitas Moreira. Environmental impacts of the biodiesel

production chain of cotton seed in Bahia, Brazil. **Clean Technologies and Environmental Policy**, Springer, v. 19, n. 5, p. 1523–1534, 2017.

MACIEL, Vinicius Gonçalves; ZORTEA, Rafael Batista; SILVA, Wagner Menezes da; ABREU CYBIS, Luiz Fernando de; EINLOFT, Sandra; SEFERIN, Marcus. Life Cycle Inventory for the agricultural stages of soybean production in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier, v. 93, p. 65–74, 2015.

MARANDUBA, Henrique Leonardo; ROBRA, Sabine; NASCIMENTO, Iracema Andrade; CRUZ, Rosenira Serpa da; RODRIGUES, Luciano Brito; ALMEIDA NETO, José Adolfo de. Improving the energy balance of microalgae biodiesel: Synergy with an autonomous sugarcane ethanol distillery. **Energy**, Elsevier, v. 115, p. 888–895, 2016.

MARANDUBA, Henrique Leonardo; ROBRA, Sabine; NASCIMENTO, Iracema Andrade; CRUZ, Rosenira Serpa da; RODRIGUES, Luciano Brito; ALMEIDA NETO, José Adolfo de. Reducing the life cycle GHG emissions of microalgal biodiesel through integration with ethanol production system. **Bioresource technology**, Elsevier, v. 194, p. 21–27, 2015.

MARCOSSI, Gisele PC; MORENO-PÉREZ, Olga M. A closer look at the Brazilian Social Fuel Seal: uptake, operation and dysfunctions. **Biofuels**, Taylor & Francis, v. 9, n. 4, p. 429–439, 2018.

MATSUURA, Marília I S Folegatti; DIAS, Fernando RT; PICOLI, Juliana F; LUCAS, Kássio R Garcia; CASTRO, Cesar de; HIRAKURI, Marcelo H. Life-cycle assessment of the soybean-sunflower production system in the Brazilian Cerrado. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Springer, v. 22, n. 4, p. 492–501, 2017.

MATSUURA, Marília I S Folegatti *et al.* **NOTA TÉCNICA-RenovaCalcMD: Método e ferramenta para a contabilidade da Intensidade de Carbono de Biocombustíveis no Programa RenovaBio**. [S.l.]: ANP, 2018.

MEDEIROS, Diego Lima; SALES, Emerson A; KIPERSTOK, Asher. Energy production from microalgae biomass: carbon footprint and energy balance. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier, v. 96, p. 493–500, 2015.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E DESENVOLVIMENTO. **Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB)**. [S.l.: s.n.], 2019. [Acesso em: 05.2021]. Disponível em:

<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/agricultura-familiar/biodiesel/programa-nacional-de-producao-e-uso-do-biodiesel-pnpb>.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA, Secretaria do Trabalho. **Cadastro de Empregadores que tenham submetido trabalhadores a condições análogas à de escravo**.

[S.l.: s.n.], 2020.

http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SIT/CADASTRO_DE_EMPREGADORES.pdf. [Acessado em: 05.2020].

MOECKE, Elisa Helena Siegel; FELLER, Rafael; SANTOS, Hélia Alice dos; MEDEIROS MACHADO, Marina de; CUBAS, Anelise Leal Vieira; AGUIAR DUTRA, Ana Regina de; SANTOS, Lucas Leonardo Vieira; SOARES, Sebastiao Roberto. Biodiesel production from waste cooking oil for use as fuel in artisanal fishing boats: Integrating environmental, economic and social aspects. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier, v. 135, p. 679–688, 2016.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.167>.

MORENDE, Vinicius Navarro; RAIMUNDO, Sidnei. Plant food or fuel? Contradictions of the federal public policies for territorial production in the Bahian backlands.

Confins-Revue Franco-Bresilienne De Geographie-Revista Franco-Brasileira De Geografia, REVUES ORG CENTRE SOCIOLOGIE ORGANISATIONS CSO SCIENCES PO-CNRS, 27 RUE . . . , v. 26, 2016.

MOURAD, Anna Lúcia; WALTER, Arnaldo. The energy balance of soybean biodiesel in Brazil: a case study. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, Wiley Online Library, v. 5, n. 2, p. 185–197, 2011.

MUNASINGHE, Mohan; JAYASINGHE, Priyangi; DERANIYAGALA, Yvani; MATLABA, Valente José; SANTOS, Jorge Filipe dos; MANESCHY, Maria Cristina; MOTA, José Aroudo. Value–Supply Chain Analysis (VSCA) of crude palm oil production in Brazil, focusing on economic, environmental and social sustainability. **Sustainable Production and Consumption**, Elsevier, v. 17, p. 161–175, 2019.

<https://doi.org/10.1016/j.spc.2018.10.001>.

MURDOCK, Hannah E *et al.* **Renewables 2019 Global Status Report**. [S.l.: s.n.], 2019.

- NOGUEIRA, Luiz AH; CAPAZ, Rafael S; SOUZA, Simone P; SEABRA, Joaquim EA. Biodiesel program in Brazil: learning curve over ten years (2005–2015). **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, Wiley Online Library, v. 10, n. 6, p. 728–737, 2016.
- OLIVEIRA, Gustavo L T; MCKAY, Ben; PLANK, Christina. How biofuel policies backfire: Misguided goals, inefficient mechanisms, and political-ecological blind spots. **Energy Policy**, Elsevier, v. 108, p. 765–775, 2017.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **PARIS AGREEMENT**. [S.l.: s.n.], 2015. [Acesso em: 05.2021]. Disponível em: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf.
- PANEL, International Resource;
CONSUMPTION, United Nations Environment Programme. Sustainable;
BRANCH, Production. **Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth**. [S.l.]: UNEP/Earthprint, 2011.
- PATEL, Bhavish; GUO, Miao; SHAH, Nilay; HELLGARDT, Klaus. Environmental profile of algal Hydrothermal Liquefaction—A country specific case study. **Algal Research**, Elsevier, v. 16, p. 127–140, 2016.
- PAULA DIAS, Maria Amelia de; SOUZA VIANNA, João Nildo de; FELBY, Claus. Sustainability in the prospective scenarios methods: A case study of scenarios for biodiesel industry in Brazil, for 2030. **Futures**, Elsevier, v. 82, p. 1–14, 2016.
- PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **LEI Nº 13.576, DE 26 DE DEZEMBRO DE 2017**. [S.l.: s.n.], 2017. [Acesso em: 05.2021]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/l13576.htm.
- R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria, 2013. Disponível em: <http://www.R-project.org/>.
- RAMIREZ, Paola Karina Sanchez; PETTI, Luigia; HABERLAND, Nara Tudela; UGAYA, Cássia Maria Lie. Subcategory assessment method for social life cycle assessment. Part 1: methodological framework. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Springer, v. 19, n. 8, p. 1515–1523, 2014. <https://doi.org/10.1007/s11367-014-0761-y>.

RATHMANN, Régis; SZKLO, Alexandre; SCHAEFFER, Roberto. Targets and results of the Brazilian biodiesel incentive program—has it reached the promised land? **Applied Energy**, Elsevier, v. 97, p. 91–100, 2012.

RAUCCI, Guilherme Silva; MOREIRA, Cindy Silva; ALVES, Priscila Aparecida; MELLO, Francisco FC; ALMEIDA FRAZÃO, Leidivan de; CERRI, Carlos Eduardo P; CERRI, Carlos Clemente. Greenhouse gas assessment of Brazilian soybean production: a case study of Mato Grosso State. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier, v. 96, p. 418–425, 2015.

RESENDE, Renata Maria de Miranda Rios; CALIARI, Marcio; WANDER, Alcido Elenor. O PROGRAMA NACIONAL DE PRODUÇÃO E USO DO BIODIESEL EM RIO VERDE (GO) NA PERSPECTIVA DA NOVA ECONOMIA INSTITUCIONAL. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 13, n. 2, 2017.

RIBEIRO, Eliene Cristina Barros; MOREIRA, António Carrizo; FERREIRA, Luis Miguel DF; SILVA CÉSAR, Aldara da. Biodiesel and social inclusion: An analysis of institutional pressures between biodiesel plants and family farmers in southern Brazil. **Journal of cleaner production**, Elsevier, v. 204, p. 726–734, 2018.

ROCHA, Gisele O Da; ANJOS, Jeancarlo P Dos; ANDRADE, Jailson B De. Energy trends and the water-energy binomium for Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, SciELO Brasil, v. 87, n. 2, p. 569–594, 2015.

ROCHA, Mateus Henrique; CAPAZ, Rafael Silva; LORA, Electo Eduardo Silva; NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta; LEME, Marcio Montagnana Vicente; RENÓ, Maria Luiza Grillo; OLMO, Oscar Almazán del. Life cycle assessment (LCA) for biofuels in Brazilian conditions: a meta-analysis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, v. 37, p. 435–459, 2014.

SAJJADI, Baharak; RAMAN, Abdul Aziz Abdul; ARANDIYAN, Hamidreza. A comprehensive review on properties of edible and non-edible vegetable oil-based biodiesel: composition, specifications and prediction models. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, v. 63, p. 62–92, 2016.

SCHERER, Marisa Daniele; OLIVEIRA, Amanda Cristina de; MAGALHÃES FILHO, Fernando Jorge Corrêa; UGAYA, Cássia Maria Lie; MARIANO, André Bellin; VARGAS, José Viriato Coelho. Environmental study of producing microalgal biomass and bioremediation of cattle manure effluents by

microalgae cultivation. **Clean Technologies and Environmental Policy**, Springer, v. 19, n. 6, p. 1745–1759, 2017.

SCOPUS. [S.l.: s.n.], 2021. <https://www.scopus.com>. [Último acesso: 01.2021].

SELFA, Theresa; BAIN, Carmen; MORENO, Renata; EASTMOND, Amarella; SWEITZ, Sam; BAILEY, Conner; PEREIRA, Gustavo Simas; SOUZA, Tatiana; MEDEIROS, Rodrigo. Interrogating social sustainability in the biofuels sector in Latin America: tensions between global standards and local experiences in Mexico, Brazil, and Colombia. **Environmental management**, Springer, v. 56, n. 6, p. 1315–1329, 2015.

SENADO FEDERAL, revista Em Discussão. **Três artigos do Código Penal**.

[S.l.: s.n.], 2020.

<https://www.senado.gov.br/noticias/Jornal/emdiscussao/trabalho-escravo/leis-e-escravidao/tres-artigos-do-codigo-penal.aspx>. [Acessado em: 07.2020].

SHONNARD, David R; KLEMETSrud, Bethany; SACRAMENTO-RIVERO, Julio; NAVARRO-PINEDA, Freddy; HILBERT, Jorge; HANDLER, Robert; SUPPEN, Nydia; DONOVAN, Richard P. A review of environmental life cycle assessments of liquid transportation biofuels in the Pan American region. **Environmental management**, Springer, v. 56, n. 6, p. 1356–1376, 2015.

SILVA, Edfranklin Moreira da; FREITAS NAVEGANTES-ALVES, Livia de.

Transformações nos sistemas de produção familiares diante a implantação do cultivo de dendê na Amazônia Oriental. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 40, 2017.

SILVA CÉSAR, Aldara da; AZEDIAS ALMEIDA, Fabiano de;

SOUZA, Raquel Pereira de; SILVA, Gilmar Clemente; ATABANI, AE. The prospects of using *Acrocomia aculeata* (macaúba) a non-edible biodiesel feedstock in Brazil.

Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, v. 49, p. 1213–1220, 2015.

SILVA CÉSAR, Aldara da; CONEJERO, Marco antonio; OTÁVIO, Batalha Mário. Oil palm contribution to brazilian biodiesel: reality and perspectives. **Revista ESPACIOS** | Vol. 37 (Nº 06) Año 2016, 2016.

SILVA CÉSAR, Aldara da; CONEJERO, Marco Antonio;

RIBEIRO, Eliene Cristina Barros; BATALHA, Mário Otávio. Competitiveness analysis of

“social soybeans” in biodiesel production in Brazil. **Renewable energy**, Elsevier, v. 133, p. 1147–1157, 2019.

SILVA CÉSAR, Aldara da; WERDERITS, Dayana Elizabeth; OLIVEIRA SARAIVA, Gabriela Leal de; SILVA GUABIROBA, Ricardo César da. The potential of waste cooking oil as supply for the Brazilian biodiesel chain. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, v. 72, p. 246–253, 2017.

SOUSA, Vitor MZ; LUZ, Sandra M; CALDEIRA-PIRES, Armando; MACHADO, Frederico S; SILVEIRA, Cristiano M. Life cycle assessment of biodiesel production from beef tallow in Brazil. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Springer, v. 22, n. 11, p. 1837–1850, 2017.

SOUZA, Simone P; GOPAL, Anand R; SEABRA, Joaquim EA. Life cycle assessment of biofuels from an integrated Brazilian algae-sugarcane biorefinery. **Energy**, Elsevier, v. 81, p. 373–381, 2015.

SOUZA SCHNEIDER, Rosana de Cassia de; MOURA LIMA, Marcelo de; HOELTZ, Michele; FARIAS NEVES, Fábio de; JOHN, Danielle Kochenborger; AZEVEDO, Amaro de. Life cycle assessment of microalgae production in a raceway pond with alternative culture media. **Algal research**, Elsevier, v. 32, p. 280–292, 2018.

STATTMAN, Sarah L; GUPTA, Aarti. Negotiating authority in global biofuel governance: Brazil and the EU in the WTO. **Global Environmental Politics**, MIT Press, v. 15, n. 1, p. 41–59, 2015.

STATTMAN, Sarah L; MOL, Arthur PJ. Social sustainability of Brazilian biodiesel: The role of agricultural cooperatives. **Geoforum**, Elsevier, v. 54, p. 282–294, 2014.

TRIBUNAL SUPERIOR DO TRABALHO. **Jornada de trabalho: conheça as particularidades**. [S.l.: s.n.], 2020. <http://www.tst.jus.br/jornada-de-trabalho>. [Acessado em: 05.2020].

UE, European Union. Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. **Official Journal of the European Union**, v. 5, p. 2009, 2009.

VILELA, Pedro Rafael. **Governo reduz percentual do biodiesel misturado ao óleo diesel**. [S.l.: s.n.], 2021. [Acesso em: 05.2021]. Disponível em:

<https://agenciabrasil.ebc.com.br/politica/noticia/2021-04/governo-reduz-percentual-do-biodiesel-misturado-ao-oleo-diesel>.

WEB OF SCIENCE. [S.l.: s.n.], 2021. <http://webofknowledge.com>. [Último acesso: 01.2021].

WERNET, Gregor; BAUER, Christian; STEUBING, Bernhard; REINHARD, Jürgen; MORENO-RUIZ, Emilia; WEIDEMA, Bo. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Springer, v. 21, n. 9, p. 1218–1230, 2016.

WINTER, Lisa; PFLUGMACHER, Stephan; BERGER, Markus; FINKBEINER, Matthias. Feasibility of applying the biodiversity impact assessment method BIA+: A case study on freshwater biodiversity impacts resulting from phosphorus and 1, 4-DCB emitted during the biodiesel production. **Ecological Indicators**, Elsevier, v. 102, p. 666–672, 2019.

ZANGHELINI, Guilherme M; SOUZA JUNIOR, Henrique RA de; KULAY, Luiz; CHERUBINI, Edivan; RIBEIRO, Paulo T; SOARES, Sebastião R. A bibliometric overview of Brazilian LCA research. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, Springer, v. 21, n. 12, p. 1759–1775, 2016.

ZENTOU, Hamid; ROSLI, Nurul Shafiqah; WEN, Cham Hue; ABDUL AZEEZ, Kafel; GOMES, Chandima. The Viability of Biofuels in Developing Countries: Successes, Failures, and Challenges. **Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering (IJCCE)**, Iranian Institute of Research e Development in Chemical Industries (IRDICI . . . , v. 38, n. 4, p. 173–182, 2019.

ZORTEA, Rafael Batista; MACIEL, Vinicius Gonçalves; MENEZES, Wagner; CYBIS, Luiz Fernando de Abreu; SEFERIN, Marcus. Cálculo de emissões de CO₂ provenientes da mudança do uso da terra para produção de soja no estado do Rio Grande do Sul. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, SciELO Brasil, v. 24, n. 4, p. 727–735, 2019.

ZORTEA, Rafael Batista; MACIEL, Vinicius Gonçalves; PASSUELLO, Ana. Sustainability assessment of soybean production in Southern Brazil: A life cycle

approach. **Sustainable Production and Consumption**, Elsevier, v. 13, p. 102–112, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2017.11.002>.

Apêndices

APÊNDICE A – ARTIGOS DE ACV-A ENCONTRADOS NA REVISÃO

Quadro 13 – Classificação dos artigos de ACV-A avaliados na revisão

Tipo	Matéria-prima	Lugar(es)	Fronteiras do sistema	Unidade Funcional	Método de alocação	Tipo de fonte do inventário	Referência
ACV de biodiesel brasileiro	soja - rotas metálica e etílica	Mato Grosso do Sul (cultivo de soja), São Paulo (cultivo de cana e produção de biodiesel)	do cultivo de soja ao uso	1000 kg de biodiesel	massa	dados secundários	(ALTAMIRANO <i>et al.</i> , 2016)
ACV de matéria-prima	macaúba	Minas Gerais	agricultura	kg de cachos de macauba por hectare por ano	nenhum	dados primários e secundários	(BARBOSA-EVARISTO <i>et al.</i> , 2018)
ACV de biodiesel brasileiro	resíduo da indústria de dendê	não menciona	do cultivo à transesterificação	1 MJ de biodiesel	energia	dados secundários	(BATLLE <i>et al.</i> , 2020)
Impacto ambiental de processo	dendê	Pará	MUT	nenhum	-	dados primários e secundários	(BICALHO <i>et al.</i> , 2016)

Revisão ACVs brasileiros	-	-	-	-	-	-	(BODUNRIN <i>et al.</i> , 2018)
ACV de biodiesel brasileiro	soja	Rio Grande do Sul	De agricultura à transesterificação	1,0 ton de biodiesel	massa	dados primários e secundários	(BRONDANI <i>et al.</i> , 2015)
Revisão ACVs sobre algas	algas	mundo	-	-	-	-	(CARNEIRO <i>et al.</i> , 2017)
ACV de biodiesel brasileiro	soja - transesterificação em duas etapas	São Paulo	da construção da planta piloto ao fim da operação dela (15 anos)	24000 l de biodiesel (produção de 1 ano de operação)	nenhum	dados secundários	(CARVALHO <i>et al.</i> , 2016)
ACV de biodiesel brasileiro	soja	Mato Grosso , Goiás , Paraná , Rio Grande do Sul	De MUT a transporte de biodiesel	1 MJ de biodiesel	massa, energia e preço	dados primários e secundários	(CASTANHEIRA <i>et al.</i> , 2015)
ACV de biodiesel brasileiro	soja	Mato Grosso	da agricultura à produção de biodiesel	kg de biodiesel	massa e energia	dados secundários	(CERRI <i>et al.</i> , 2017)
Impacto ambiental de processo	soja (rota etílica e metílica)	Brasil	transesterificação	1 kg de biodiesel	nenhum	dados secundários	(DE MELLO <i>et al.</i> , 2017)

ACV de matéria-prima	algas	Rio de Janeiro	do preparo da cultura de cultivo à colheita de algas	1 kg de biomassa seca de alga	nenhum	dados primários e secundários	(DINIZ <i>et al.</i> , 2017)
ACV de biodiesel brasileiro	soja	Mato Grosso do Sul	de MUT à transesterificação	ha.ano	fator de alocação médio, baseado em energia, massa e custo	dados primários e secundários	(ESTEVES, V. P. P. <i>et al.</i> , 2016)
ACV de biodiesel brasileiro	soja e sebo bovino - rota ética	região Centro-Oeste (não especifica estado)	da agricultura/pecuária à produção de biodiesel	1 GJ de biodiesel	preço	dados secundários	(ESTEVES, R. A.; PEREIRA, 2017)
ACV de biodiesel brasileiro	sebo bovino	Mato Grosso do Sul	de MUT à transesterificação	$\frac{kgCO_2eq}{ha.ano}$	(i)sem alocação, (ii) massa, (iii) preço, (iv) energia e (v) valor médio	dados primários e secundários	(ESTEVES, V. P. P. <i>et al.</i> , 2017)
ACV de biodiesel brasileiro	soja (cultivo tradicional e integrado com pecuária)	Mato Grosso do Sul	Da agricultura à transesterificação	hectare, kg de biodiesel	Divisão de subprocessos, expansão do sistema	dados primários e secundários	(ESTEVES, E. M. M. <i>et al.</i> , 2018)

ACV de biodiesel brasileiro	soja e sebo bovino	Mato Grosso do Sul	de MUT à transesterificação	ha.ano	valor médio - massa, preço e energia	dados primários e secundários	(ESTEVES, V. P. P. <i>et al.</i> , 2020a)
ACV de biodiesel brasileiro	soja e óleo usado	Brasil	soja: da agricultura à transesterificação; óleo usado: da coleta à transesterificação	1 ton de biodiesel	massa	dados secundários	(FERNANDEZ <i>et al.</i> , 2017)
ACV de matéria-prima	macaúba	Minas Gerais	da colheita ao transporte para indústria	tonelada métrica de macauba com 36% de umidade	critério próprio	dados primários e secundários	(FERNÁNDEZ-COPPEL <i>et al.</i> , 2018)
ACV de biodiesel brasileiro	soja (rotas ética e metélica)	Mato Grosso do Sul (cultivo de soja), São Paulo (cultivo de cana de açúcar e produção de biodiesel)	da agricultura ao transporte de biodiesel	1 MJ de biodiesel	massa	dados secundários	(INTERLENGHI <i>et al.</i> , 2017)

ACV de biodiesel brasileiro	resíduos de refinarias de dendê	-	da agricultura à produção de biodiesel	20 000 ha	custo	dados secundários	(KERMANI <i>et al.</i> , 2017)
ACV de biodiesel brasileiro	soja	Mato Grosso	da agricultura à transesterificação	MJ de biodiesel	energia, massa e preço	dados secundários	(KNOOPE <i>et al.</i> , 2019)
ACV de biodiesel brasileiro	algodão	Bahia	da agricultura à transesterificação	1000 kg de biodiesel	massa	dados primários e secundários	(LIMA <i>et al.</i> , 2017)
ACV de matéria-prima	soja	Rio Grande do Sul	de MUT à colheita	1 kg de soja (produção: 2969.65 kg/ha)	nenhum	dados primários e secundários	(MACIEL <i>et al.</i> , 2015)
ACV de biodiesel brasileiro	algas	não especifica	do cultivo de algas à transesterificação	1 ton de biodiesel	energia e expansão do sistema	dados primários e secundários	(MARANDUBA <i>et al.</i> , 2015)
ACV de biodiesel brasileiro	algas	não especifica	do cultivo de algas à transesterificação	1 ton de biodiesel	energia e expansão do sistema	dados primários e secundários	(MARANDUBA <i>et al.</i> , 2016)
ACV de matéria-prima	soja	Mato Grosso	agricultura	ha.ano	tempo de ocupação	dados primários e secundários	(MATSUURA <i>et al.</i> , 2017)

Revisão - ACV sobre a produção de algas	algas	mundo	-	-	-	-	(MEDEIROS <i>et al.</i> , 2015)
ACV de biodiesel brasileiro	óleo usado	Santa Catarina	coleta de óleo e produção de biodiesel	2028 kg de biodiesel	sem alocação; espaço ocupado	dados primários e secundários	(MOECKE <i>et al.</i> , 2016)
ACV de matéria-prima	dendê	Pará	agricultura	l de óleo de dendê cru	nenhum	dados primários e secundários	(MUNASINGHE <i>et al.</i> , 2019)
ACV de matéria-prima	algas	não especifica	do cultivo de algas a diferentes processos de secagem	MJ de óleo cru	expansão do sistema	dados primários e secundários	(PATEL <i>et al.</i> , 2016)
ACV de matéria-prima	soja	Mato Grosso	agricultura de soja	1 kg de soja	área	dados secundários	(RAUCCI <i>et al.</i> , 2015)
ACV de matéria-prima	algas	Paraná	do aparato experimental à secagem de biomassa	10 g de biomassa seca	nenhum	dados primários e secundários	(SCHERER <i>et al.</i> , 2017)
Revisão - ACV de biocombustíveis	todas	América	-	-	-	-	(SHONNARD <i>et al.</i> , 2015)

ACV de biodiesel brasileiro	sebo bovino	Brasil	da pecuária à produção de biodiesel	1 MJ de biodiesel	preço	dados primários e secundários	(SOUSA <i>et al.</i> , 2017)
ACV de biodiesel brasileiro	algas	São Paulo , Mato Grosso e Goiás	do cultivo da cana à transesterificação	MJ de biodiesel	energia	dados primários e secundários	(SOUZA <i>et al.</i> , 2015)
ACV de matéria-prima	algas	não especifica	do cultivo de algas à secagem	8000 L de efluente	nenhum	dados primários e secundários	(SOUZA SCHNEIDER <i>et al.</i> , 2018)
ACV de matéria-prima	soja	Brasil agricultura	m ³ de água cinzenta	nenhum	dados	secundários	(WINTER <i>et al.</i> , 2019)
Revisão - ACVs brasileiros	-	Brasil	-	-	-	-	(ZANGHELINI <i>et al.</i> , 2016)
ACV de matéria-prima	soja	Rio Grande do Sul	do preparo do solo à colheita	1 kg de soja	nenhum	dados secundários	(ZORTEA <i>et al.</i> , 2018)
Impacto ambiental de processo	soja	Rio Grande do Sul	MUT	hectare	nenhum	dados secundários	(ZORTEA <i>et al.</i> , 2019)

Fonte: elaborado pela autora.

Quadro 14 – Impactos avaliados pelos ACVs.

Impactos	Referências
Acidificação terrestre	(MATSUURA <i>et al.</i> , 2017; BATLLE <i>et al.</i> , 2020; BARBOSA-EVARISTO <i>et al.</i> , 2018)
Avaliação de impacto da biodiversidade	(WINTER <i>et al.</i> , 2019)
Balanco energético	(INTERLENGHI <i>et al.</i> , 2017; SOUZA SCHNEIDER <i>et al.</i> , 2018; ALTAMIRANO <i>et al.</i> , 2016; MARANDUBA <i>et al.</i> , 2015, 2016; FERNÁNDEZ-COPPEL <i>et al.</i> , 2018)
Consumo de energia	(MUNASINGHE <i>et al.</i> , 2019; FERNÁNDEZ-COPPEL <i>et al.</i> , 2018)
Dano a recursos	(DINIZ <i>et al.</i> , 2017; FERNÁNDEZ-COPPEL <i>et al.</i> , 2018)
Danos à qualidade dos ecossistemas	(DINIZ <i>et al.</i> , 2017; FERNÁNDEZ-COPPEL <i>et al.</i> , 2018)
Danos à saúde humana	(DINIZ <i>et al.</i> , 2017; FERNÁNDEZ-COPPEL <i>et al.</i> , 2018)
Depleção biótica	(PATEL <i>et al.</i> , 2016)
Depleção da camada de ozônio	(MATSUURA <i>et al.</i> , 2017; ESTEVES, E. M. M. <i>et al.</i> , 2018; CASTANHEIRA <i>et al.</i> , 2015; FERNANDEZ <i>et al.</i> , 2017; BATLLE <i>et al.</i> , 2020; SCHERER <i>et al.</i> , 2017; PATEL <i>et al.</i> , 2016; SOUZA SCHNEIDER <i>et al.</i> , 2018; FERNÁNDEZ-COPPEL <i>et al.</i> , 2018)
Ecotoxicidade	(MATSUURA <i>et al.</i> , 2017; ESTEVES, E. M. M. <i>et al.</i> , 2018; CASTANHEIRA <i>et al.</i> , 2015; FERNANDEZ <i>et al.</i> , 2017; BATLLE <i>et al.</i> , 2020; PATEL <i>et al.</i> , 2016; SOUZA SCHNEIDER <i>et al.</i> , 2018; FERNÁNDEZ-COPPEL <i>et al.</i> , 2018)
Elemento inorgânicos respiratórios	(BRONDANI <i>et al.</i> , 2015; BATLLE <i>et al.</i> , 2020; SCHERER <i>et al.</i> , 2017)
Elemento orgânicos respiratórios	(BATLLE <i>et al.</i> , 2020; SCHERER <i>et al.</i> , 2017)

Elementos carcinogênicos	(BRONDANI <i>et al.</i> , 2015; BATLLE <i>et al.</i> , 2020; SCHERER <i>et al.</i> , 2017)
Emissões de CO2	(INTERLENGHI <i>et al.</i> , 2017; ALTAMIRANO <i>et al.</i> , 2016)
Emissões de material particulado	(MATSUURA <i>et al.</i> , 2017; SOUZA SCHNEIDER <i>et al.</i> , 2018)
Emissões de N2O	(MACIEL <i>et al.</i> , 2015; MUNASINGHE <i>et al.</i> , 2019)
Formação fotoquímica de ozônio	(MATSUURA <i>et al.</i> , 2017; CASTANHEIRA <i>et al.</i> , 2015; BRONDANI <i>et al.</i> , 2015; FERNANDEZ <i>et al.</i> , 2017; KERMANI <i>et al.</i> , 2017; SCHERER <i>et al.</i> , 2017; PATEL <i>et al.</i> , 2016; SOUZA SCHNEIDER <i>et al.</i> , 2018)
Mudança de uso da terra	(MATSUURA <i>et al.</i> , 2017; ALTAMIRANO <i>et al.</i> , 2016; ZORTEA <i>et al.</i> , 2019; MACIEL <i>et al.</i> , 2015; BICALHO <i>et al.</i> , 2016; SOUZA SCHNEIDER <i>et al.</i> , 2018)
Potencial de acidificação	(SOUSA <i>et al.</i> , 2017; ALTAMIRANO <i>et al.</i> , 2016; ESTEVES, E. M. M. <i>et al.</i> , 2018; CASTANHEIRA <i>et al.</i> , 2015; BRONDANI <i>et al.</i> , 2015; FERNANDEZ <i>et al.</i> , 2017; ZORTEA <i>et al.</i> , 2018; LIMA <i>et al.</i> , 2017; KERMANI <i>et al.</i> , 2017; BATLLE <i>et al.</i> , 2020; SCHERER <i>et al.</i> , 2017; PATEL <i>et al.</i> , 2016; FERNÁNDEZ-COPPEL <i>et al.</i> , 2018)
Potencial de aquecimento global	(ESTEVES, E. M. M. <i>et al.</i> , 2018; ESTEVES, V. P. P. <i>et al.</i> , 2017; SOUSA <i>et al.</i> , 2017; MATSUURA <i>et al.</i> , 2017; ALTAMIRANO <i>et al.</i> , 2016; ESTEVES, V. P. P. <i>et al.</i> , 2020a; ESTEVES, R. A.; PEREIRA, 2017; CARVALHO <i>et al.</i> , 2016; CASTANHEIRA <i>et al.</i> , 2015; ESTEVES, V. P. P. <i>et al.</i> , 2016; CERRI <i>et al.</i> , 2017; BRONDANI <i>et al.</i> , 2015; FERNANDEZ <i>et al.</i> , 2017; KNOOPE <i>et al.</i> , 2019; MACIEL <i>et al.</i> , 2015; RAUCCI <i>et al.</i> , 2015; ZORTEA <i>et al.</i> , 2018; MUNASINGHE <i>et al.</i> , 2019; LIMA <i>et al.</i> , 2017; KERMANI <i>et al.</i> , 2017; BATLLE <i>et al.</i> , 2020; SCHERER <i>et al.</i> , 2017; SOUZA <i>et al.</i> , 2015; PATEL <i>et al.</i> , 2016; SOUZA SCHNEIDER <i>et al.</i> , 2018; BARBOSA-EVARISTO <i>et al.</i> , 2018; FERNÁNDEZ-COPPEL <i>et al.</i> , 2018; MOECKE <i>et al.</i> , 2016)
Potencial de depleção abiótica	(ESTEVES, E. M. M. <i>et al.</i> , 2018; FERNANDEZ <i>et al.</i> , 2017; LIMA <i>et al.</i> , 2017; SCHERER <i>et al.</i> , 2017)
Potencial de Ecotoxicidade humana	(MATSUURA <i>et al.</i> , 2017; ALTAMIRANO <i>et al.</i> , 2016; ESTEVES, R. A.; PEREIRA, 2017; FERNANDEZ <i>et al.</i> , 2017; SCHERER <i>et al.</i> , 2017; PATEL <i>et al.</i> , 2016; SOUZA SCHNEIDER <i>et al.</i> , 2018)

Potencial de Ecotoxicidade Terrestre	(MATSUURA <i>et al.</i> , 2017; ESTEVES, E. M. M. <i>et al.</i> , 2018; FERNANDEZ <i>et al.</i> , 2017; BATLLE <i>et al.</i> , 2020; SCHERER <i>et al.</i> , 2017; SOUZA SCHNEIDER <i>et al.</i> , 2018)
Potencial de eutrofização	(SOUSA <i>et al.</i> , 2017; MATSUURA <i>et al.</i> , 2017; ALTAMIRANO <i>et al.</i> , 2016; ESTEVES, R. A.; PEREIRA, 2017; CASTANHEIRA <i>et al.</i> , 2015; BRONDANI <i>et al.</i> , 2015; FERNANDEZ <i>et al.</i> , 2017; KNOOPE <i>et al.</i> , 2019; ZORTEA <i>et al.</i> , 2018; LIMA <i>et al.</i> , 2017; KERMANI <i>et al.</i> , 2017; BATLLE <i>et al.</i> , 2020; SCHERER <i>et al.</i> , 2017; PATEL <i>et al.</i> , 2016; SOUZA SCHNEIDER <i>et al.</i> , 2018; FERNÁNDEZ-COPPEL <i>et al.</i> , 2018)
Radiação	(BATLLE <i>et al.</i> , 2020; SOUZA SCHNEIDER <i>et al.</i> , 2018)
Uso de água	(SOUSA <i>et al.</i> , 2017; MATSUURA <i>et al.</i> , 2017; INTERLENGHI <i>et al.</i> , 2017; DE MELLO <i>et al.</i> , 2017; ALTAMIRANO <i>et al.</i> , 2016; KNOOPE <i>et al.</i> , 2019; BARBOSA-EVARISTO <i>et al.</i> , 2018)
Uso de energia fóssil	(MATSUURA <i>et al.</i> , 2017; ALTAMIRANO <i>et al.</i> , 2016; BRONDANI <i>et al.</i> , 2015; BATLLE <i>et al.</i> , 2020; SOUZA <i>et al.</i> , 2015; MARANDUBA <i>et al.</i> , 2016; SOUZA SCHNEIDER <i>et al.</i> , 2018; FERNÁNDEZ-COPPEL <i>et al.</i> , 2018)
Uso mineral	(MATSUURA <i>et al.</i> , 2017; BRONDANI <i>et al.</i> , 2015; BATLLE <i>et al.</i> , 2020; SOUZA SCHNEIDER <i>et al.</i> , 2018; FERNÁNDEZ-COPPEL <i>et al.</i> , 2018)

Fonte: elaborado pela autora.

**APÊNDICE B – ARTIGOS ENCONTRADOS NA REVISÃO QUE ABORDAM
ASPECTOS SOCIAIS DA PRODUÇÃO DE BODIESEL NO BRASIL**

Quadro 15 – Lista de artigos que abordam aspectos sociais da produção de biodiesel no Brasil.

Referência	Local	Matéria(s)-prima(s)
(ANDRADE <i>et al.</i> , 2016)	Brasil	soja, pinhão-manso, dendê, canola, girassol e mamona
(ÁVILA-ROMERO; ALBUQUERQUE, 2018)	Brasil	dendê
(BACKHOUSE; LEHMANN, 2019)	Pará	dendê
(BRANDÃO <i>et al.</i> , 2019)	Pará	dendê
(CARDOSO <i>et al.</i> , 2017)	Brasil	todas
(CASTELLANELLI; CUNHA, 2015)	Brasil	todas
(CASTELLANELLI, 2016)	Brasil	todas
(CAVALCANTE DE OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2015)	Brasil	todas
(CÓRDOBA <i>et al.</i> , 2018)	Pará	dendê
(CREMONEZ <i>et al.</i> , 2015)	Brasil	todas
(ROCHA, G. O. D. <i>et al.</i> , 2015)	Brasil	todas
(SILVA CÉSAR <i>et al.</i> , 2015)	Brasil	macaúba
(SILVA CÉSAR <i>et al.</i> , 2016)	Pará	dendê
(SILVA CÉSAR <i>et al.</i> , 2017)	Brasil	óleo de cozinha usado
(da2019competitivene)	Brasil	soja
(OLIVEIRA, G. L. T. <i>et al.</i> , 2017)	Brasil	todas
(DE OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2019)	Brasil	todas
(ESTEVES, R. A.; PEREIRA, 2016)	Brasil	todas
(ESTEVES, V. P. P. <i>et al.</i> , 2020b)	Mato Grosso do Sul	soja e sebo bovino
(leonetimethyli)	Brasil/São Paulo	etanol × metanol

(MARCOSI; MORENO-PÉREZ, 2018)	Brasil/São Paulo	todas/soja
(MOECKE <i>et al.</i> , 2016)	Santa Catarina	óleo de cozinha usado
(MORENDE; RAIMUNDO, 2016)	Bahia	mamona
(MUNASINGHE <i>et al.</i> , 2019)	Pará	dendê
(NOGUEIRA <i>et al.</i> , 2016)	Brasil	todas
(RESENDE <i>et al.</i> , 2017)	Goiás	soja
(RIBEIRO <i>et al.</i> , 2018)	região Sul	todas
(SELFA <i>et al.</i> , 2015)	Pará	dendê
(STATTMAN; GUPTA, 2015)	Brasil	todas
(ZENTOU <i>et al.</i> , 2019)	Brasil	todas
(ZORTEA <i>et al.</i> , 2018)	Rio Grande do Sul	soja
(PAULA DIAS <i>et al.</i> , 2016)	Brasil	todas

Fonte: Elaborado pela autora.

APÊNDICE C – FORMATO DOS DADOS DE ENTRADA UTILIZADOS

Figura 28 – Massa de óleo de soja e sebo bovino utilizados para produção de biodiesel no Brasil em 2019: Formato da tabela fornecida pela ANP

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Mês/Ano	Razão Social	CNPJ	Região	Município	Estado	Produto	Quantidade (m³)
2150	jan/19	ADM DO BRASIL	2E+12	CENTRO C	CRONDON	Mato Gros	ÓLEO DE SOJA (	24528.746
2151	jan/19	ADM DO BRASIL	2E+12	SUL	JOACABA	Santa Cata	ÓLEO DE SOJA (	9021.744
2153	jan/19	BIANCHINI SA I	8.75E+13	SUL	CANOAS	Rio Grand	ÓLEO DE SOJA (	24542.153
2158	jan/19	BINATURAL IND	7.11E+12	CENTRO C	FORMOSA	Goiás	ÓLEO DE SOJA (	7177.585
2162	jan/19	BIO OLEO INDUS	8.39E+12	CENTRO C	CUIABA	Mato Gros	ÓLEO DE SOJA (	82.15
2163	jan/19	BIO VIDA PROD	8.77E+12	CENTRO C	VARZEA G	Mato Gros	ÓLEO DE SOJA (	127.575
2167	jan/19	BIOPAR PROD	8.68E+12	CENTRO C	NOVA MA	Mato Gros	ÓLEO DE SOJA (	7705.907

Fonte: ANP (2019)

Figura 29 – Formato de tabela excel do SIDRA

Tabela 1612 0 Área plantada, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias
Variável 0 Quantidade produzida (Toneladas)

	2019
Brasil, Unidade da Federação e Município	Soja (em grão)
Abreulândia (TO)	16335
Aliança do Tocantins (TO)	19115
Almas (TO)	22774
Alvorada (TO)	60000
Ananás (TO)	1800

Fonte: IBGE (2020)

Figura 30 – Formato dos dados da PNADC

1	201941111	11000001611100110107411000098.75663631000150.69310590000532471111040101202021974045412	1	10	103	11	
2	201941111	11000001611100110107411000098.75663631000150.69310590000532471111040205215021992027412	1	10	103	1222	
3	201941111	11000001611100110107411000098.75663631000150.69310590000532471111040305224012001018412	1	10	103	1222	
4	201941111	11000001611100110107411000098.75663631000150.693105900005324711110404101291220120064111	02				
5	201941111	11000001611100110307411000098.75663631000150.69310590000532471111050101121011964055412	1	05	2	222	
6	201941111	11000001611100110307411000098.75663631000150.69310590000532471111050202218111964054412	1	10	103	11	
7	201941111	11000001611100110307411000098.75663631000150.693105900005324711110503042120419890304111	08	106	2	222	
8	201941111	11000001611100110307411000098.75663631000150.693105900005324711110504101280220030164112	04	09		222	
9	201941111	11000001611100110307411000098.75663631000150.693105900005324711110505101030120090114112	04	05			
10	201941111	11000001611100110407411000098.75663631000150.69310590000532471111020101104101995024112	1	10	103	11	
11	201941111	11000001611100110407411000098.75663631000150.69310590000532471111020212204051998021412	1	10	103	11	
12	201941111	11000001611100110507411000098.75663631000150.69310590000532471111050101122051960059412	1	10	103	1222	
13	201941111	11000001611100110507411000098.75663631000150.69310590000532471111050202205011972047112	1	10	103	1222	
14	201941111	11000001611100110507411000098.75663631000150.69310590000532471111050304103111989030112	1	10	103	11	
15	201941111	11000001611100110507411000098.75663631000150.69310590000532471111050404118121990028412	1	12	1108	11	

Fonte: IBGE (2020)

Figura 31 – Formato do dicionário da PNADC

Dicionário das variáveis da PNAD contínua							
Posição inicial	Tamanho	Código da variável	Quesito		Categorias		Período
			nº	descrição	Tipo	Descrição	
Parte 1 - Identificação e Controle							
1	4	Ano	Ano de referência		1 a 4		1º tri/2012 - atual
5	1	Trimestre	Trimestre de referência		Número do trimestre (1 a 4)		1º tri/2012 - atual
7	6	2	UF	..	11	Rondônia	1º tri/2012 - atual
8					12	Acre	
9					13	Amazonas	
10					14	Roraima	
11					15	Pará	
12					16	Amapá	
13					17	Tocantins	
14					21	Maranhão	
15					22	Piauí	
16					23	Ceará	
17					24	Rio Grande do Norte	
18					25	Paraíba	
19					26	Pernambuco	
20					27	Alagoas	
21					28	Sergipe	
22					29	Bahia	
23					31	Minas Gerais	
24					32	Espírito Santo	
25					33	Rio de Janeiro	
26	35	São Paulo					

Fonte: IBGE (2020)

Figura 32 – Formato dos dados apresentados na Lista Suja do Trabalho Escravo

Cadastro de Empregadores que tenham submetido trabalhadores a condições análogas à de escravo

(Portaria Interministerial MTPS/MMIRDH nº 4 de 11/05/2016)



Atualização periódica de 3/10/2019. Cadastro atualizado em 20/03/2020.									
I- PUBLICAÇÃO DO CADASTRO DE EMPREGADORES PREVISTA NO ARTIGO 2º, CAPUT, DA PORTARIA INTERMINISTERIAL Nº 4, DE 11 DE MAIO DE 2016									
ID	Ano da ação fiscal	UF	Empregador	CNPJ/CPF	Estabelecimento	Trabalhadores envolvidos	CNAE	Decisão administrativa de procedência (irrecorribilidade)	Inclusão no Cadastro de Empregadores
1	2019	MA	A.B. De Oliveira Agronegócios EPP	30.959.210/0001-72	Fazenda Mocapá, estrada para cachoeira do Mocapá, Zona Rural, Fortaleza dos Nogueiras/MA	2	0161-0/99	25/07/2019	03/10/2019
2	2017	MS	Adriano Diaz Rodrigues	10.488.127/0001-55	Fazenda São João, zona rural, Corumbá/MS	9	0161-0/03	06/11/2018	03/04/2019
3	2018	BA	Alan Cassio Ramos Santos	529.821.655-20	Residencial Ecológico Juerana, Avenida João da Sunga, s/n, Porto Seguro/BA	1	6810-2/01	13/05/2019	03/10/2019
4	2018	MA	Albatroz Construções LTDA	10.948.612/0001-64	Ponte sobre o Rio Iguará, Vaigem Grande/MA	9	4120-4/00	03/12/2018	03/04/2019

Fonte: Ministério do Trabalho (2020)

APÊNDICE D – CÓDIGO EM R USADO PARA A ACV-S

```
#####
#PNADc data files, dictionaris ('dicionario_PNADC_microdados_trimestral.xls','Estrutura_Atividade_CNAE_Domiciliar_2_0.xls') and
methodological notes
#('notas_metodologicas.pdf') downloaded from https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/9173-pesquisa-nacional-por-
amostra-de-domicilios-continua-trimestral.html?t=microdados
#(04.2020)
#####
# Basic data
#####
#Minimun wage per hour
minimun_wage_2015 <-3.58 #source: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2014/Decreto/D8381.htm (accessed in
06.19.2020)
minimun_wage_2016 <-4.00 #source: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/decreto/D8618.htm (accessed in
06.19.2020)
minimun_wage_2017 <-4.26 #source: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2016/decreto/D8948.htm (accessed in
06.19.2020)
minimun_wage_2018 <-4.34 #source: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/decreto/d9255.htm (accessed in
06.19.2020)
minimun_wage_2019 <-4.54 #source: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2019/Decreto/D9661.htm (accessed in
06.19.2020)
#m_h (source: 'notas_metodologicas.pdf', pg 29)
m_h_br =15096
m_h_RO=264
m_h_AC= 276
m_h_AM= 360
m_h_RR= 156
m_h_PA= 504
m_h_AP= 108
m_h_TO= 228
m_h_MA= 900
m_h_PI= 324
m_h_CE= 780
m_h_RN= 300
m_h_PB= 384
m_h_PE= 600
m_h_AL= 564
m_h_SE= 288
m_h_BA= 768
m_h_MG= 1104
m_h_ES= 600
m_h_RJ= 1164
m_h_SP= 1224
m_h_PR= 828
m_h_SC= 948
m_h_RS= 888
m_h_MS= 336
m_h_MT= 396
m_h_GO= 528
m_h_DF= 276
#UF (source: 'dicionario_PNADC_microdados_trimestral.xls')
Brazil = 0
Rondonia = 11
Acre = 12
Amazonas = 13
Roraima = 14
Para =15
Amapá = 16
```

```
Tocantins = 17
Maranhao = 21
Piaui = 22
Ceara = 23
Rio_Grande_do_Norte= 24
Paraiba= 25
Pernambuco= 26
Alagoas= 27
Sergipe= 28
Bahia =29
Minas_Gerais= 31
Espirito_Santo= 32
Rio_de_Janeiro= 33
Sao_Paulo= 35
Parana= 41
Santa_Catarina= 42
Rio_Grande_do_Sul= 43
Mato_Grosso_do_Sul= 50
Mato_Grosso= 51
Goias= 52
Distrito_Federal= 53
# Activity (source: 'Estrutura_Atividade_CNAE_Domiciliar_2_0.xls')
cattle=01201 # Criação de bovinos (Cattle breeding)
soy = 01107 # Cultivo de soja (Soy cultivation)
#S1 (source: calculated using data from https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuaria.html?t=resultados)
# accessed in 09.2021)
S1_soy_BA=c(1.662468514,0)
S1_soy_GO=c(1.845081233,0)
S1_soy_MT=c(1.610116951,0)
S1_soy_MS=c(1.992046882,0)
S1_soy_MG=c(1.952808182,0)
S1_soy_PR=c(2.320699846,0)
S1_soy_PA=c(1.286701209,0)
S1_soy_PI=c(1.197802198,0)
S1_soy_RS=c(2.338178924,0)
S1_soy_SC=c(2.310700932,0)
S1_soy_TO=c(1.213627993,0)
S1_soy_BR=c(2.245859172,0)
S1_cotton_BR=c(0.313585608,0)
S1_cattle_AC=c(1.111590629,0)
S1_cattle_AM=c(1.165313653,0)
S1_cattle_BA=c(1.226707573,0)
S1_cattle_CE=c(1.10137931,0)
S1_cattle_ES=c(1.703885326,0)
S1_cattle_GO=c(1.502321152,0)
S1_cattle_MA=c(1.022415291,0)
S1_cattle_MT=c(1.294889548,0)
S1_cattle_MS=c(1.587356019,0)
S1_cattle_MG=c(1.730586972,0)
S1_cattle_PR=c(2.209316349,0)
S1_cattle_PB=c(1.129426129,0)
S1_cattle_PA=c(1.057046533,0)
S1_cattle_PE=c(1.086049544,0)
S1_cattle_PI=c(1.042801556,0)
S1_cattle_RJ=c(1.602536344,0)
S1_cattle_RS=c(1.973327503,0)
S1_cattle_RO=c(1.297909846,0)
S1_cattle_SC=c(2.238131847,0)
S1_cattle_SP=c(1.863076382,0)
```

```

S1_cattle_TO=c(1.06547619,0)
S1_cattle_BR=c(1.510575119,0)
#S3 (source: attributed using data from http://trabalho.gov.br/images/Documentos/SIT/CADASTRO_DE_EMPREGADORES.pdf .
Accessed: 2020.05.12)
S3_soy_BA=c(3,0)
S3_soy_GO=c(3,0)
S3_soy_MT=c(0,0)
S3_soy_MS=c(3,0)
S3_soy_MG=c(3,0)
S3_soy_PR=c(3,0)
S3_soy_PA=c(3,0)
S3_soy_PI=c(3,0)
S3_soy_RS=c(3,0)
S3_soy_SC=c(3,0)
S3_soy_TO=c(3,0)
S3_soy_BR=c(2.727272727,0)
S3_cattle_AC=c(3,0)
S3_cattle_AM=c(3,0)
S3_cattle_BA=c(3,0)
S3_cattle_CE=c(3,0)
S3_cattle_ES=c(3,0)
S3_cattle_GO=c(0,0)
S3_cattle_MA=c(0,0)
S3_cattle_MT=c(0,0)
S3_cattle_MS=c(0,0)
S3_cattle_MG=c(3,0)
S3_cattle_PR=c(3,0)
S3_cattle_PB=c(3,0)
S3_cattle_PA=c(0,0)
S3_cattle_PE=c(3,0)
S3_cattle_PI=c(3,0)
S3_cattle_RJ=c(3,0)
S3_cattle_RS=c(3,0)
S3_cattle_RO=c(3,0)
S3_cattle_SC=c(3,0)
S3_cattle_SP=c(3,0)
S3_cattle_TO=c(0,0)
S3_cattle_BR=c(2.142857143,0)
#####
# Auxiliary functions #
#####
select_variables<-function(pnadc)
#Select variables
#Definitions available in 'dicionario_PNADC_microdados_trimestral.xls' |Variable code|
text_race <- substring(pnadc , 95, last = 95) #-----| V2010 |
v_race =as.numeric(text_race )
text_sex <- substring(pnadc , 83, last = 83) #-----| V2007 |
v_sex =as.numeric(text_sex )
text_activity <- substring(pnadc , 146, last=150) #-----| V4013 |
v_activity =as.numeric(text_activity )
text_state <- substring(pnadc , 6, last=7) #-----| UF |
v_state =as.numeric(text_state )
text_weight <- substring(pnadc , 50, last =64) #-----| V1028 |
v_weight =as.numeric(text_weight )
text_hours <- substring(pnadc , 229, last = 231) #-----| V4039 |
v_hours =as.numeric(text_hours )
text_salary <- substring(pnadc , 188, last = 195) #-----| V403312 |
v_salary =as.numeric(text_salary )
text_function <- substring(pnadc , 144, last = 144) #-----| V4012 |
v_function =as.numeric(text_function )

```

```

#liberate memory
rm(pnadc )
#Merge variables
data <-cbind(c(v_race ), c(v_sex ), c(v_activity ), c(v_state ), c(v_weight ), c(v_hours ), c(v_salary ), c(v_function ))
#names(data)<-c('race','sex','activity','state','weight','hours','salary','function')
#remove NA
data [is.na(data )] <- 0
return(data)
#-----
pnadc_error <- function(Z_h_i,m_h) #equation from 'notas_metodologicas.pdf'
Z_h<-sum(Z_h_i)/m_h
error<-((m_h/(m_h -1))*sum((Z_h_i-Z_h
^2))
^0.5
return(error)
#-----
general_data<-function(data,data_activity,m_h)
local_population<-sum(data[,5])
error_local_population<-pnadc_error(data[,5],m_h)
people_working_in_the_activity<-(sum(data_activity[,5]))
error_people_working_in_the_activity<-pnadc_error(data_activity[,5],m_h)
return(c(local_population, error_local_population,people_working_in_the_activity,error_people_working_in_the_activity))
#-----
relative_frequency<-function(data,selected_data,m_h)
total_people<-sum(data[,5])
error_total_people<-pnadc_error(data[,5],m_h)
total_selected_people<-sum(selected_data[,5])
error_total_selected_people<-pnadc_error(selected_data[,5],m_h)
p<-total_selected_people/total_people
error_p<-((error_total_selected_people/total_people)^2 + ((total_selected_people*error_total_people/total_people^2)^2))^0.5
return(c(p, error_p))
#-----
S_grade <- function(total_selected_data,data_3,data_2,data_1,m_h) #Used to calculate S1 and S5
#data_3, data_2 and data_1 are the subsets of total_selected_data that receive grades 3, 2, and 1, respectively.
P3<-relative_frequency(total_selected_data,data_3,m_h)
P2<-relative_frequency(total_selected_data,data_2,m_h)
P1<-relative_frequency(total_selected_data,data_1,m_h)
grade_S = 3*P3[1]+2*P2[1]+1*P1[1]
error_S = (((3*P3[2])^2 + (2*P2[2])^2 + P1[2]^2 )^0.5
return(c(grade_S,error_S))
#-----
S4_grade<-function(P_white, P_white_activity, P_black, P_black_activity, P_asian, P_asian_activity, P_brown, P_brown_activity,
P_indigenous,
P_indigenous_activity, P_male, P_male_activity, P_female, P_female_activity)
#Differences
D_white <-abs(P_white[1] - P_white_activity[1] )
D_black <-abs(P_black[1] - P_black_activity[1] )
D_asian <-abs(P_asian[1] - P_asian_activity[1] )
D_brown <-abs(P_brown[1] - P_brown_activity[1] )
D_indigenous <-abs(P_indigenous[1] -P_indigenous_activity[1] )
D_male <-abs(P_male[1] - P_male_activity[1] )
D_female <-abs(P_female[1] -P_female_activity[1] )
#Correction factor
F_race <- 1-P_white[1] +P_black[1] +P_asian[1] +P_brown[1] +P_indigenous[1]
F_sex <-1-P_male[1] +P_female[1]
#Grade
S4 <- 3-(((D_white +D_black +D_asian +D_brown +D_indigenous )/F_race )+(D_male +D_female )/F_sex )
#Errors
#Difference's errors
error_D_race <- (P_white[2]^2 + P_white_activity[2]^2 + P_black[2]^2 + P_black_activity[2]^2 + P_asian[2]^2 + P_asian_activity[2]^2 +

```

```

P_brown[2]^2 + P_brown_activity[2]^2 + P_indigenous[2]^2 + P_indigenous_activity[2]^2)^0.5
error_D_sex <- (P_male[2]^2 + P_male_activity[2]^2 + P_female[2]^2 + P_female_activity[2]^2)^0.5
#Correction factor's error
error_F_race <- (P_white[2]^2 + P_black[2]^2 + P_asian[2]^2 + P_brown[2]^2 + P_indigenous[2]^2)^0.5
error_F_sex <- (P_male[2]^2 + P_female[2]^2)^0.5
#S4 error
error_S4 <- ((error_D_race/F_race)^2 + ((D_asian + D_black + D_brown + D_white + D_indigenous ) * error_F_race / F_race ^2)^2 + (error_D_sex / F_sex)^2 + ((D_female + D_male ) * error_F_sex / F_sex ^2)^2)^0.5
return(c(S4,error_S4))
#-----
pnadc_average<-function(result_2015_1,result_2015_2,result_2015_3,result_2015_4,
result_2016_1,result_2016_2,result_2016_3,result_2016_4,
result_2017_1,result_2017_2,result_2017_3,result_2017_4,
result_2018_1,result_2018_2,result_2018_3,result_2018_4,
result_2019_1,result_2019_2,result_2019_3,result_2019_4,
data_localization)
matrix_result<-rbind(c(result_2015_1[data_localization,1],result_2015_1[data_localization,2]),
c(result_2015_2[data_localization,1],result_2015_2[data_localization,2]),
c(result_2015_3[data_localization,1],result_2015_3[data_localization,2]),
c(result_2015_4[data_localization,1],result_2015_4[data_localization,2]),
c(result_2016_1[data_localization,1],result_2016_1[data_localization,2]),
c(result_2016_2[data_localization,1],result_2016_2[data_localization,2]),
c(result_2016_3[data_localization,1],result_2016_3[data_localization,2]),
c(result_2016_4[data_localization,1],result_2016_4[data_localization,2]),
c(result_2017_1[data_localization,1],result_2017_1[data_localization,2]),
c(result_2017_2[data_localization,1],result_2017_2[data_localization,2]),
c(result_2017_3[data_localization,1],result_2017_3[data_localization,2]),
c(result_2017_4[data_localization,1],result_2017_4[data_localization,2]),
c(result_2018_1[data_localization,1],result_2018_1[data_localization,2]),
c(result_2018_2[data_localization,1],result_2018_2[data_localization,2]),
c(result_2018_3[data_localization,1],result_2018_3[data_localization,2]),
c(result_2018_4[data_localization,1],result_2018_4[data_localization,2]),
c(result_2019_1[data_localization,1],result_2019_1[data_localization,2]),
c(result_2019_2[data_localization,1],result_2019_2[data_localization,2]),
c(result_2019_3[data_localization,1],result_2019_3[data_localization,2]),
c(result_2019_4[data_localization,1],result_2019_4[data_localization,2]))
average_result <-sum(matrix_result[,1])/20
error_result <- (sum(matrix_result[,2]^2)/20)^0.5
result<-rbind(c(average_result,error_result),matrix_result)
return(result)
#-----
S_average<-function(S1, S2, S4, S3, S5_withouth_family_worker)
S_average=(S1[1] + S2[1] + S4[1] + S3[1] + S5_withouth_family_worker[1])/5
S_error=((S1[2]^2 + S2[2]^2 + S4[2]^2 + S3[2]^2 + S5_withouth_family_worker[2]^2)/5)^0.5
S<-c('S average'=S_average, 'S error'=S_error)
return(S)
#####
# Main function 1 #
#####
pnadc_analysis_year_quarter <-function(data ,UF,activity,m_h,minimun_wage)
#----- General Data-----
#Select UF
if(UF!=0)
data <-matrix(data [data [,4]==UF],ncol=8)
#Select activity
data_activity <-matrix(data [data [,3]==activity],ncol=8)
#Calculate total population and people working in the activity
general_data <-general_data(data ,data_activity ,m_h)
#----- Selected data withouth not answered sex and race-----
data <-matrix(data [data [,1]!=9 data [, 1] != 0],ncol=8) # Remove people that did not answer race

```

```

data_activity <-matrix(data [data [,3]==activity],ncol=8)
data_activity_male <-matrix(data_activity [data_activity [,2]==1],ncol=8)
data_activity_female <-matrix(data_activity [data_activity [,2]==2],ncol=8)
data_activity_white <-matrix(data_activity [data_activity [,1]==1],ncol=8)
data_activity_black_and_brown <-matrix(data_activity [data_activity [,1]==2|data_activity [,1]==4],ncol=8)
#-----Relative frequencies-----
#P, error_P
P_white <-relative_frequency(data ,matrix(data [data [,1]==1],ncol=8),m_h)
P_black <-relative_frequency(data ,matrix(data [data [,1]==2],ncol=8),m_h)
P_asian <-relative_frequency(data ,matrix(data [data [,1]==3],ncol=8),m_h)
P_brown <-relative_frequency(data ,matrix(data [data [,1]==4],ncol=8),m_h)
P_indigenous <-relative_frequency(data ,matrix(data [data [,1]==5],ncol=8),m_h)
P_male <-relative_frequency(data ,matrix(data [data [,2]==1],ncol=8),m_h)
P_female <-relative_frequency(data ,matrix(data [data [,2]==2],ncol=8),m_h)
P_white_activity <-relative_frequency(data_activity ,matrix(data_activity [data_activity [,1]==1],ncol=8),m_h)
P_black_activity <-relative_frequency(data_activity ,matrix(data_activity [data_activity [,1]==2],ncol=8),m_h)
P_asian_activity <-relative_frequency(data_activity ,matrix(data_activity [data_activity [,1]==3],ncol=8),m_h)
P_brown_activity <-relative_frequency(data_activity ,matrix(data_activity [data_activity [,1]==4],ncol=8),m_h)
P_indigenous_activity <-relative_frequency(data_activity ,matrix(data_activity [data_activity [,1]==5],ncol=8),m_h)
P_male_activity <-relative_frequency(data_activity ,matrix(data_activity [data_activity [,2]==1],ncol=8),m_h)
P_female_activity <-relative_frequency(data_activity ,matrix(data_activity [data_activity [,2]==2],ncol=8),m_h)
#Distribution into functions
P_domestic <-relative_frequency(data_activity ,matrix(data_activity [data_activity [,8]==1],ncol=8),m_h)
P_military <-relative_frequency(data_activity ,matrix(data_activity [data_activity [,8]==2],ncol=8),m_h)
P_private_sector <-relative_frequency(data_activity ,matrix(data_activity [data_activity [,8]==3],ncol=8),m_h)
P_public_sector <-relative_frequency(data_activity ,matrix(data_activity [data_activity [,8]==4],ncol=8),m_h)
P_employer <-relative_frequency(data_activity ,matrix(data_activity [data_activity [,8]==5],ncol=8),m_h)
P_self <-relative_frequency(data_activity ,matrix(data_activity [data_activity [,8]==6],ncol=8),m_h)
P_family_worker <-relative_frequency(data_activity ,matrix(data_activity [data_activity [,8]==7],ncol=8),m_h)
P_na <-relative_frequency(data_activity ,matrix(data_activity [data_activity [,8]==0],ncol=8),m_h)
#-----S2: Working hours-----
#S2, error_S2
S2 <-S_grade(data_activity ,
matrix(data_activity [data_activity [,6]<=44],ncol=8),
matrix(data_activity [data_activity [,6]>44 data_activity [,6]<=48],ncol=8),
matrix(data_activity [data_activity [,6]>48],ncol=8),
m_h)
S2_male <-S_grade(data_activity_male ,
matrix(data_activity_male [data_activity_male [,6]<=44],ncol=8),
matrix(data_activity_male [data_activity_male [,6]>44 data_activity_male [,6]<=48],ncol=8),
matrix(data_activity_male [data_activity_male [,6]>48],ncol=8),
m_h)
S2_female <-S_grade(data_activity_female ,
matrix(data_activity_female [data_activity_female [,6]<=44],ncol=8),
matrix(data_activity_female [data_activity_female [,6]>44 data_activity_female [,6]<=48],ncol=8),
matrix(data_activity_female [data_activity_female [,6]>48],ncol=8),
m_h)
S2_white <-S_grade(data_activity_white ,
matrix(data_activity_white [data_activity_white [,6]<=44],ncol=8),
matrix(data_activity_white [data_activity_white [,6]>44 data_activity_white [,6]<=48],ncol=8),
matrix(data_activity_white [data_activity_white [,6]>48],ncol=8),
m_h)
S2_black_and_brown <-S_grade(data_activity_black_and_brown ,
matrix(data_activity_black_and_brown [data_activity_black_and_brown [,6]<=44],ncol=8),
matrix(data_activity_black_and_brown [data_activity_black_and_brown [,6]>44 data_activity_black_and_brown [,6]<=48],ncol=8),
matrix(data_activity_black_and_brown [data_activity_black_and_brown [,6]>48],ncol=8), m_h)
#-----S4 Equal opportunities/ discrimination-----
S4 <-S4_grade(P_white , P_white_activity , P_black , P_black_activity , P_asian , P_asian_activity ,
P_brown , P_brown_activity , P_indigenous , P_indigenous_activity , P_male , P_male_activity ,
P_female , P_female_activity )

```

```

#-----S5 Fair Salary-----
#S5, error_S5
#withouth family worker without income
S5_withouth_family_worker <-S_grade(matrix(data_activity [data_activity [,8]!=7],ncol=8),
matrix(data_activity [(7/30)*data_activity [,7]/data_activity [,6]>=minimun_wage data_activity [,8]!=7],ncol=8),
matrix(0, nrow = 5, ncol = 5),
matrix(data_activity [(7/30)*data_activity [,7]/data_activity [,6]<minimun_wage data_activity [,8]!=7],ncol=8),
m_h)
S5_white_withouth_family_worker <-S_grade(matrix(data_activity_white [data_activity_white [,8]!=7],ncol=8),
matrix(data_activity_white [(7/30)*data_activity_white [,7]/data_activity_white [,6]>=minimun_wage data_activity_white [,8]!=7],ncol=8),
matrix(0, nrow = 5, ncol = 5),
matrix(data_activity_white [(7/30)*data_activity_white [,7]/data_activity_white [,6]<minimun_wage data_activity_white [,8]!=7],ncol=8),
m_h)
S5_black_withouth_family_worker_and_brown <-S_grade(matrix(data_activity_black_and_brown [data_activity_black_and_brown
[,8]!=7],ncol=8),
matrix(data_activity_black_and_brown [(7/30)*data_activity_black_and_brown [,7]/data_activity_black_and_brown [,6]>=minimun_
wage data_activity_black_and_brown [,8]!=7],ncol=8),
matrix(0, nrow = 5, ncol = 5),
matrix(data_activity_black_and_brown [(7/30)*data_activity_black_and_brown [,7]/data_activity_black_and_brown [,6]<minimun_
wage data_activity_black_and_brown [,8]!=7],ncol=8),
m_h)
S5_male_withouth_family_worker <-S_grade(matrix(data_activity_male [data_activity_male [,8]!=7],ncol=8),
matrix(data_activity_male [(7/30)*data_activity_male [,7]/data_activity_male [,6]>=minimun_wage data_activity_male [,8]!=7],ncol=8),
matrix(0, nrow = 5, ncol = 5),
matrix(data_activity_male [(7/30)*data_activity_male [,7]/data_activity_male [,6]<minimun_wage data_activity_male [,8]!=7],ncol=8),
m_h)
S5_female_withouth_family_worker <-S_grade(matrix(data_activity_female [data_activity_female [,8]!=7],ncol=8),
matrix(data_activity_female [(7/30)*data_activity_female [,7]/data_activity_female [,6]>=minimun_wage data_activity_female [,8]!=7],ncol=8),
matrix(0, nrow = 5, ncol = 5),
matrix(data_activity_female [(7/30)*data_activity_female [,7]/data_activity_female [,6]<minimun_wage data_activity_female [,8]!=7],ncol=8),
m_h)
#with family worker without income
S5 <-S_grade(data_activity ,
matrix(data_activity [(7/30)*data_activity [,7]/data_activity [,6]>=minimun_wage ],ncol=8),
matrix(0, nrow = 5, ncol = 5),
matrix(data_activity [(7/30)*data_activity [,7]/data_activity [,6]<minimun_wage ],ncol=8),
m_h)
S5_white <-S_grade(data_activity_white ,
matrix(data_activity_white [(7/30)*data_activity_white [,7]/data_activity_white [,6]>=minimun_wage ],ncol=8),
matrix(0, nrow = 5, ncol = 5),
matrix(data_activity_white [(7/30)*data_activity_white [,7]/data_activity_white [,6]<minimun_wage ],ncol=8),
m_h)
S5_black_and_brown <-S_grade(data_activity_black_and_brown ,
matrix(data_activity_black_and_brown [(7/30)*data_activity_black_and_brown [,7]/data_activity_black_and_brown [,6]>=minimun_
wage ],ncol=8),
matrix(0, nrow = 5, ncol = 5),
matrix(data_activity_black_and_brown [(7/30)*data_activity_black_and_brown [,7]/data_activity_black_and_brown [,6]<minimun_
wage ],ncol=8),
m_h)
S5_male <-S_grade(data_activity_male ,
matrix(data_activity_male [(7/30)*data_activity_male [,7]/data_activity_male [,6]>=minimun_wage ],ncol=8),
matrix(0, nrow = 5, ncol = 5),
matrix(data_activity_male [(7/30)*data_activity_male [,7]/data_activity_male [,6]<minimun_wage ],ncol=8),
m_h)
S5_female <-S_grade(data_activity_female ,
matrix(data_activity_female [(7/30)*data_activity_female [,7]/data_activity_female [,6]>=minimun_wage ],ncol=8),
matrix(0, nrow = 5, ncol = 5),
matrix(data_activity_female [(7/30)*data_activity_female [,7]/data_activity_female [,6]<minimun_wage ],ncol=8),
m_h)
#-----Merge results-----

```

```

local_population <-c(general_data [1],general_data [2])
people_working_in_the_activity <-c(general_data [3],general_data [4])
result <-rbind(local_population ,
people_working_in_the_activity ,
P_white ,
P_black ,
P_asian ,
P_brown ,
P_indigenous ,
P_male ,
P_female ,
P_white_activity ,
P_black_activity ,
P_asian_activity ,
P_brown_activity ,
P_indigenous_activity ,
P_male_activity ,
P_female_activity ,
P_domestic ,
P_military ,
P_private_sector ,
P_public_sector ,
P_employer ,
P_self ,
P_family_worker ,
P_na ,
S2 ,
S2_white ,
S2_black_and_brown ,
S2_male ,
S2_female ,
S4 ,
S5_withouth_family_worker ,
S5_white_withouth_family_worker ,
S5_black_withouth_family_worker_and_brown ,
S5_male_withouth_family_worker ,
S5_female_withouth_family_worker ,
S5 ,
S5_white ,
S5_black_and_brown ,
S5_male ,
S5_female )
return(result )
#####
# Main function 2 #
#####
#Repeats main function 1 for all the years and quarters and takes averages
pnadc_analysis_raw_material <-function(data_2015_1,data_2015_2,data_2015_3,data_2015_4,
data_2016_1,data_2016_2,data_2016_3,data_2016_4,
data_2017_1,data_2017_2,data_2017_3,data_2017_4,
data_2018_1,data_2018_2,data_2018_3,data_2018_4,
data_2019_1,data_2019_2,data_2019_3,data_2019_4,
UF,
activity,
m_h)
result_activity_2015_1 <- pnadc_analysis_year_quarter (data_2015_1,UF,activity,m_h,minimun_wage_2015)
result_activity_2015_2 <- pnadc_analysis_year_quarter (data_2015_2,UF,activity,m_h,minimun_wage_2015)
result_activity_2015_3 <- pnadc_analysis_year_quarter (data_2015_3,UF,activity,m_h,minimun_wage_2015)
result_activity_2015_4 <- pnadc_analysis_year_quarter (data_2015_4,UF,activity,m_h,minimun_wage_2015)
result_activity_2016_1 <- pnadc_analysis_year_quarter (data_2016_1,UF,activity,m_h,minimun_wage_2016)

```



```
result_activity_2016_1,result_activity_2016_2,result_activity_2016_3,result_activity_2016_4,
result_activity_2017_1,result_activity_2017_2,result_activity_2017_3,result_activity_2017_4,
result_activity_2018_1,result_activity_2018_2,result_activity_2018_3,result_activity_2018_4,
result_activity_2019_1,result_activity_2019_2,result_activity_2019_3,result_activity_2019_4,
37)
```

```
S5_black_and_brown <-pnadc_average(result_activity_2015_1,result_activity_2015_2,result_activity_2015_3,result_activity_2015_4,
result_activity_2016_1,result_activity_2016_2,result_activity_2016_3,result_activity_2016_4,
result_activity_2017_1,result_activity_2017_2,result_activity_2017_3,result_activity_2017_4,
result_activity_2018_1,result_activity_2018_2,result_activity_2018_3,result_activity_2018_4,
result_activity_2019_1,result_activity_2019_2,result_activity_2019_3,result_activity_2019_4,
38)
```

```
S5_male <-pnadc_average(result_activity_2015_1,result_activity_2015_2,result_activity_2015_3,result_activity_2015_4,
result_activity_2016_1,result_activity_2016_2,result_activity_2016_3,result_activity_2016_4,
result_activity_2017_1,result_activity_2017_2,result_activity_2017_3,result_activity_2017_4,
result_activity_2018_1,result_activity_2018_2,result_activity_2018_3,result_activity_2018_4,
result_activity_2019_1,result_activity_2019_2,result_activity_2019_3,result_activity_2019_4,
39)
```

```
S5_female <-pnadc_average(result_activity_2015_1,result_activity_2015_2,result_activity_2015_3,result_activity_2015_4,
result_activity_2016_1,result_activity_2016_2,result_activity_2016_3,result_activity_2016_4,
result_activity_2017_1,result_activity_2017_2,result_activity_2017_3,result_activity_2017_4,
result_activity_2018_1,result_activity_2018_2,result_activity_2018_3,result_activity_2018_4,
result_activity_2019_1,result_activity_2019_2,result_activity_2019_3,result_activity_2019_4,
40)
```

```
result<-cbind(local_population ,
people_working_in_the_activity ,
P_white ,
P_black ,
P_asian ,
P_brown ,
P_indigenous ,
P_male ,
P_female ,
P_white_activity ,
P_black_activity ,
P_asian_activity ,
P_brown_activity ,
P_indigenous_activity ,
P_male_activity ,
P_female_activity ,
P_domestic ,
P_military ,
P_private_sector ,
P_public_sector ,
P_employer ,
P_self ,
P_family_worker ,
P_na ,
S2 ,
S2_white ,
S2_black_and_brown ,
S2_male ,
S2_female ,
S4 ,
S5_withouth_family_worker ,
S5_white_withouth_family_worker ,
S5_black_withouth_family_worker_and_brown ,
S5_male_withouth_family_worker ,
S5_female_withouth_family_worker ,
S5 ,
```

```
S5_white ,
S5_black_and_brown ,
S5_male ,
S5_female )
return(result)
#####
# Main #
#####
#-----Extract PNADC data-----
file_2015_1 <- file("PNADC_012015_20190729.txt", open = "r")
pnadc_2015_1 <- readLines(file_2015_1)
data_2015_1<-select_variables(pnadc_2015_1)
file_2015_2 <- file("PNADC_022015_20190729.txt", open = "r")
pnadc_2015_2 <- readLines(file_2015_2)
data_2015_2<-select_variables(pnadc_2015_2)
file_2015_3 <- file("PNADC_032015_20190729.txt", open = "r")
pnadc_2015_3 <- readLines(file_2015_3)
data_2015_3<-select_variables(pnadc_2015_3)
file_2015_4 <- file("PNADC_042015_20190729.txt", open = "r")
pnadc_2015_4 <- readLines(file_2015_4)
data_2015_4<-select_variables(pnadc_2015_4)
file_2016_1 <- file("PNADC_012016_20190729.txt", open = "r")
pnadc_2016_1 <- readLines(file_2016_1)
data_2016_1<-select_variables(pnadc_2016_1)
file_2016_2 <- file("PNADC_022016_20190729.txt", open = "r")
pnadc_2016_2 <- readLines(file_2016_2)
data_2016_2<-select_variables(pnadc_2016_2)
file_2016_3 <- file("PNADC_032016_20190729.txt", open = "r")
pnadc_2016_3 <- readLines(file_2016_3)
data_2016_3<-select_variables(pnadc_2016_3)
file_2016_4 <- file("PNADC_042016_20190729.txt", open = "r")
pnadc_2016_4 <- readLines(file_2016_4)
data_2016_4<-select_variables(pnadc_2016_4)
file_2017_1 <- file("PNADC_012017_20190729.txt", open = "r")
pnadc_2017_1 <- readLines(file_2017_1)
data_2017_1<-select_variables(pnadc_2017_1)
file_2017_2 <- file("PNADC_022017_20190729.txt", open = "r")
pnadc_2017_2 <- readLines(file_2017_2)
data_2017_2<-select_variables(pnadc_2017_2)
file_2017_3 <- file("PNADC_032017_20190729.txt", open = "r")
pnadc_2017_3 <- readLines(file_2017_3)
data_2017_3<-select_variables(pnadc_2017_3)
file_2017_4 <- file("PNADC_042017_20190729.txt", open = "r")
pnadc_2017_4 <- readLines(file_2017_4)
data_2017_4<-select_variables(pnadc_2017_4)
file_2018_1 <- file("PNADC_012018_20190729.txt", open = "r")
pnadc_2018_1 <- readLines(file_2018_1)
data_2018_1<-select_variables(pnadc_2018_1)
file_2018_2 <- file("PNADC_022018_20190729.txt", open = "r")
pnadc_2018_2 <- readLines(file_2018_2)
data_2018_2<-select_variables(pnadc_2018_2)
file_2018_3 <- file("PNADC_032018_20190729.txt", open = "r")
pnadc_2018_3 <- readLines(file_2018_3)
data_2018_3<-select_variables(pnadc_2018_3)
file_2018_4 <- file("PNADC_042018_20190729.txt", open = "r")
pnadc_2018_4 <- readLines(file_2018_4)
data_2018_4<-select_variables(pnadc_2018_4)
file_2019_1 <- file("PNADC_012019_20190729.txt", open = "r")
pnadc_2019_1 <- readLines(file_2019_1)
data_2019_1<-select_variables(pnadc_2019_1)
```

```

file_2019_2 <- file("PNADC_022019.txt", open = "r")
pnadc_2019_2 <- readLines(file_2019_2)
data_2019_2 <- select_variables(pnadc_2019_2)
file_2019_3 <- file("PNADC_032019.txt", open = "r")
pnadc_2019_3 <- readLines(file_2019_3)
data_2019_3 <- select_variables(pnadc_2019_3)
file_2019_4 <- file("PNADC_042019.txt", open = "r")
pnadc_2019_4 <- readLines(file_2019_4)
data_2019_4 <- select_variables(pnadc_2019_4)
#-----Define place and raw material-----
sink('quantitative_result.txt')
print('Each variable has two columns: the first column is the value of the variable, and the second is the error.')
print('The first row of the matrix presents the average of each variable and its error. The second row is the data from 2015_1 and
so on until the last row, that presents data from 2019_4.')
print('Soy, Brazil')
result_soy_br <- pnadc_analysis_raw_material (data_2015_1,data_2015_2,data_2015_3,data_2015_4,
data_2016_1,data_2016_2,data_2016_3,data_2016_4,
data_2017_1,data_2017_2,data_2017_3,data_2017_4,
data_2018_1,data_2018_2,data_2018_3,data_2018_4,
data_2019_1,data_2019_2,data_2019_3,data_2019_4,
Brazil,
soy,
m_h_br)
S_average_soy_br <- S_average(S1_soy_BR,
c(result_soy_br[1,49],result_soy_br[1,50]),
c(result_soy_br[1,59],result_soy_br[1,60]),
S3_soy_BR,
c(result_soy_br[1,61],result_soy_br[1,62]))
S_average_soy_br
result_soy_br
print('Soy, Bahia')
result_soy_BA <- pnadc_analysis_raw_material (data_2015_1,data_2015_2,data_2015_3,data_2015_4,
data_2016_1,data_2016_2,data_2016_3,data_2016_4,
data_2017_1,data_2017_2,data_2017_3,data_2017_4,
data_2018_1,data_2018_2,data_2018_3,data_2018_4,
data_2019_1,data_2019_2,data_2019_3,data_2019_4,
Bahia,
soy,
m_h_BA)
S_average_soy_BA <- S_average(S1_soy_BA,
c(result_soy_BA[1,49],result_soy_BA[1,50]),
c(result_soy_BA[1,59],result_soy_BA[1,60]),
S3_soy_BA,
c(result_soy_BA[1,61],result_soy_BA[1,62]))
S_average_soy_BA
result_soy_BA
print('Soy, Goias')
result_soy_GO <- pnadc_analysis_raw_material (data_2015_1,data_2015_2,data_2015_3,data_2015_4,
data_2016_1,data_2016_2,data_2016_3,data_2016_4,
data_2017_1,data_2017_2,data_2017_3,data_2017_4,
data_2018_1,data_2018_2,data_2018_3,data_2018_4,
data_2019_1,data_2019_2,data_2019_3,data_2019_4,
Goias,
soy,
m_h_GO)
S_average_soy_GO <- S_average(S1_soy_GO,
c(result_soy_GO[1,49],result_soy_GO[1,50]),
c(result_soy_GO[1,59],result_soy_GO[1,60]),
S3_soy_GO,
c(result_soy_GO[1,61],result_soy_GO[1,62]))

```

```
S_average_soy_GO
result_soy_GO
print('Soy, Mato_Grosso')
result_soy_MT<-pnadc_analysis_raw_material (data_2015_1,data_2015_2,data_2015_3,data_2015_4,
data_2016_1,data_2016_2,data_2016_3,data_2016_4,
data_2017_1,data_2017_2,data_2017_3,data_2017_4,
data_2018_1,data_2018_2,data_2018_3,data_2018_4,
data_2019_1,data_2019_2,data_2019_3,data_2019_4,
Mato_Grosso,
soy,
m_h_MT)
S_average_soy_MT<-S_average(S1_soy_MT,
c(result_soy_MT[1,49],result_soy_MT[1,50]),
c(result_soy_MT[1,59],result_soy_MT[1,60]),
S3_soy_MT,
c(result_soy_MT[1,61],result_soy_MT[1,62]))
S_average_soy_MT
result_soy_MT
print('Soy, Mato_Grosso_do_Sul')
result_soy_MS<-pnadc_analysis_raw_material (data_2015_1,data_2015_2,data_2015_3,data_2015_4,
data_2016_1,data_2016_2,data_2016_3,data_2016_4,
data_2017_1,data_2017_2,data_2017_3,data_2017_4,
data_2018_1,data_2018_2,data_2018_3,data_2018_4,
data_2019_1,data_2019_2,data_2019_3,data_2019_4,
Mato_Grosso_do_Sul,
soy,
m_h_MS)
S_average_soy_MS<-S_average(S1_soy_MS,
c(result_soy_MS[1,49],result_soy_MS[1,50]),
c(result_soy_MS[1,59],result_soy_MS[1,60]),
S3_soy_MS,
c(result_soy_MS[1,61],result_soy_MS[1,62]))
S_average_soy_MS
result_soy_MS
print('Soy, Minas_Gerais')
result_soy_MG<-pnadc_analysis_raw_material (data_2015_1,data_2015_2,data_2015_3,data_2015_4,
data_2016_1,data_2016_2,data_2016_3,data_2016_4,
data_2017_1,data_2017_2,data_2017_3,data_2017_4,
data_2018_1,data_2018_2,data_2018_3,data_2018_4,
data_2019_1,data_2019_2,data_2019_3,data_2019_4,
Minas_Gerais,
soy,
m_h_MG)
S_average_soy_MG<-S_average(S1_soy_MG,
c(result_soy_MG[1,49],result_soy_MG[1,50]),
c(result_soy_MG[1,59],result_soy_MG[1,60]),
S3_soy_MG,
c(result_soy_MG[1,61],result_soy_MG[1,62]))
S_average_soy_MG
result_soy_MG
print('Soy, Parana')
result_soy_PR<-pnadc_analysis_raw_material (data_2015_1,data_2015_2,data_2015_3,data_2015_4,
data_2016_1,data_2016_2,data_2016_3,data_2016_4,
data_2017_1,data_2017_2,data_2017_3,data_2017_4,
data_2018_1,data_2018_2,data_2018_3,data_2018_4,
data_2019_1,data_2019_2,data_2019_3,data_2019_4,
Parana,
soy,
m_h_PR)
S_average_soy_PR<-S_average(S1_soy_PR,
```

```
c(result_soy_PR[1,49],result_soy_PR[1,50]),
c(result_soy_PR[1,59],result_soy_PR[1,60]),
S3_soy_PR,
c(result_soy_PR[1,61],result_soy_PR[1,62]))
S_average_soy_PR
result_soy_PR
print('Soy, Para')
result_soy_PA<-pnadc_analysis_raw_material (data_2015_1,data_2015_2,data_2015_3,data_2015_4,
data_2016_1,data_2016_2,data_2016_3,data_2016_4,
data_2017_1,data_2017_2,data_2017_3,data_2017_4,
data_2018_1,data_2018_2,data_2018_3,data_2018_4,
data_2019_1,data_2019_2,data_2019_3,data_2019_4,
Para,
soy,
m_h_PA)
S_average_soy_PA<-S_average(S1_soy_PA,
c(result_soy_PA[1,49],result_soy_PA[1,50]),
c(result_soy_PA[1,59],result_soy_PA[1,60]),
S3_soy_PA,
c(result_soy_PA[1,61],result_soy_PA[1,62]))
S_average_soy_PA
result_soy_PA
print('Soy, Piauí')
result_soy_PI<-pnadc_analysis_raw_material (data_2015_1,data_2015_2,data_2015_3,data_2015_4,
data_2016_1,data_2016_2,data_2016_3,data_2016_4,
data_2017_1,data_2017_2,data_2017_3,data_2017_4,
data_2018_1,data_2018_2,data_2018_3,data_2018_4,
data_2019_1,data_2019_2,data_2019_3,data_2019_4,
Piauí,
soy,
m_h_PI)
S_average_soy_PI<-S_average(S1_soy_PI,
c(result_soy_PI[1,49],result_soy_PI[1,50]),
c(result_soy_PI[1,59],result_soy_PI[1,60]),
S3_soy_PI,
c(result_soy_PI[1,61],result_soy_PI[1,62]))
S_average_soy_PI
result_soy_PI
print('Soy, Rio_Grande_do_Sul')
result_soy_RS<-pnadc_analysis_raw_material (data_2015_1,data_2015_2,data_2015_3,data_2015_4,
data_2016_1,data_2016_2,data_2016_3,data_2016_4,
data_2017_1,data_2017_2,data_2017_3,data_2017_4,
data_2018_1,data_2018_2,data_2018_3,data_2018_4,
data_2019_1,data_2019_2,data_2019_3,data_2019_4,
Rio_Grande_do_Sul,
soy,
m_h_RS)
S_average_soy_RS<-S_average(S1_soy_RS,
c(result_soy_RS[1,49],result_soy_RS[1,50]),
c(result_soy_RS[1,59],result_soy_RS[1,60]),
S3_soy_RS,
c(result_soy_RS[1,61],result_soy_RS[1,62]))
S_average_soy_RS
result_soy_RS
print('Soy, Santa_Catarina')
result_soy_SC<-pnadc_analysis_raw_material (data_2015_1,data_2015_2,data_2015_3,data_2015_4,
data_2016_1,data_2016_2,data_2016_3,data_2016_4,
data_2017_1,data_2017_2,data_2017_3,data_2017_4,
data_2018_1,data_2018_2,data_2018_3,data_2018_4,
data_2019_1,data_2019_2,data_2019_3,data_2019_4,
```

```
Santa_Catarina,
soy,
m_h_SC)
S_average_soy_SC<-S_average(S1_soy_SC,
c(result_soy_SC[1,49],result_soy_SC[1,50]),
c(result_soy_SC[1,59],result_soy_SC[1,60]),
S3_soy_SC,
c(result_soy_SC[1,61],result_soy_SC[1,62]))
S_average_soy_SC
result_soy_SC
print('Soy, Tocantins')
result_soy_TO<-pnadc_analysis_raw_material (data_2015_1,data_2015_2,data_2015_3,data_2015_4,
data_2016_1,data_2016_2,data_2016_3,data_2016_4,
data_2017_1,data_2017_2,data_2017_3,data_2017_4,
data_2018_1,data_2018_2,data_2018_3,data_2018_4,
data_2019_1,data_2019_2,data_2019_3,data_2019_4,
Tocantins,
soy,
m_h_TO)
S_average_soy_TO<-S_average(S1_soy_TO,
c(result_soy_TO[1,49],result_soy_TO[1,50]),
c(result_soy_TO[1,59],result_soy_TO[1,60]),
S3_soy_TO,
c(result_soy_TO[1,61],result_soy_TO[1,62]))
S_average_soy_TO
result_soy_TO
print('cattle, Acre')
result_cattle_AC<-pnadc_analysis_raw_material (data_2015_1,data_2015_2,data_2015_3,data_2015_4,
data_2016_1,data_2016_2,data_2016_3,data_2016_4,
data_2017_1,data_2017_2,data_2017_3,data_2017_4,
data_2018_1,data_2018_2,data_2018_3,data_2018_4,
data_2019_1,data_2019_2,data_2019_3,data_2019_4,
Acre,
cattle,
m_h_AC)
S_average_cattle_AC<-S_average(S1_cattle_AC,
c(result_cattle_AC[1,49],result_cattle_AC[1,50]),
c(result_cattle_AC[1,59],result_cattle_AC[1,60]),
S3_cattle_AC,
c(result_cattle_AC[1,61],result_cattle_AC[1,62]))
S_average_cattle_AC
result_cattle_AC
print('cattle, Amazonas')
result_cattle_AM<-pnadc_analysis_raw_material (data_2015_1,data_2015_2,data_2015_3,data_2015_4,
data_2016_1,data_2016_2,data_2016_3,data_2016_4,
data_2017_1,data_2017_2,data_2017_3,data_2017_4,
data_2018_1,data_2018_2,data_2018_3,data_2018_4,
data_2019_1,data_2019_2,data_2019_3,data_2019_4,
Amazonas,
cattle,
m_h_AM)
S_average_cattle_AM<-S_average(S1_cattle_AM,
c(result_cattle_AM[1,49],result_cattle_AM[1,50]),
c(result_cattle_AM[1,59],result_cattle_AM[1,60]),
S3_cattle_AM,
c(result_cattle_AM[1,61],result_cattle_AM[1,62]))
S_average_cattle_AM
result_cattle_AM
print('cattle, Bahia')
result_cattle_BA<-pnadc_analysis_raw_material (data_2015_1,data_2015_2,data_2015_3,data_2015_4,
```

```
data_2016_1,data_2016_2,data_2016_3,data_2016_4,
data_2017_1,data_2017_2,data_2017_3,data_2017_4,
data_2018_1,data_2018_2,data_2018_3,data_2018_4,
data_2019_1,data_2019_2,data_2019_3,data_2019_4,
Bahia,
cattle,
m_h_BA)
S_average_cattle_BA<-S_average(S1_cattle_BA,
c(result_cattle_BA[1,49],result_cattle_BA[1,50]),
c(result_cattle_BA[1,59],result_cattle_BA[1,60]),
S3_cattle_BA,
c(result_cattle_BA[1,61],result_cattle_BA[1,62]))
S_average_cattle_BA
result_cattle_BA
print('cattle, Ceara')
result_cattle_CE<-pnadc_analysis_raw_material (data_2015_1,data_2015_2,data_2015_3,data_2015_4,
data_2016_1,data_2016_2,data_2016_3,data_2016_4,
data_2017_1,data_2017_2,data_2017_3,data_2017_4,
data_2018_1,data_2018_2,data_2018_3,data_2018_4,
data_2019_1,data_2019_2,data_2019_3,data_2019_4,
Ceara,
cattle,
m_h_CE)
S_average_cattle_CE<-S_average(S1_cattle_CE,
c(result_cattle_CE[1,49],result_cattle_CE[1,50]),
c(result_cattle_CE[1,59],result_cattle_CE[1,60]),
S3_cattle_CE,
c(result_cattle_CE[1,61],result_cattle_CE[1,62]))
S_average_cattle_CE
result_cattle_CE
print('cattle, Espirito Santo')
result_cattle_ES<-pnadc_analysis_raw_material (data_2015_1,data_2015_2,data_2015_3,data_2015_4,
data_2016_1,data_2016_2,data_2016_3,data_2016_4,
data_2017_1,data_2017_2,data_2017_3,data_2017_4,
data_2018_1,data_2018_2,data_2018_3,data_2018_4,
data_2019_1,data_2019_2,data_2019_3,data_2019_4,
Espirito_Santo,
cattle,
m_h_ES)
S_average_cattle_ES<-S_average(S1_cattle_ES,
c(result_cattle_ES[1,49],result_cattle_ES[1,50]),
c(result_cattle_ES[1,59],result_cattle_ES[1,60]),
S3_cattle_ES,
c(result_cattle_ES[1,61],result_cattle_ES[1,62]))
S_average_cattle_ES
result_cattle_ES
print('cattle, Goias')
result_cattle_GO<-pnadc_analysis_raw_material (data_2015_1,data_2015_2,data_2015_3,data_2015_4,
data_2016_1,data_2016_2,data_2016_3,data_2016_4,
data_2017_1,data_2017_2,data_2017_3,data_2017_4,
data_2018_1,data_2018_2,data_2018_3,data_2018_4,
data_2019_1,data_2019_2,data_2019_3,data_2019_4,
Goias,
cattle,
m_h_GO)
S_average_cattle_GO<-S_average(S1_cattle_GO,
c(result_cattle_GO[1,49],result_cattle_GO[1,50]),
c(result_cattle_GO[1,59],result_cattle_GO[1,60]),
S3_cattle_GO,
c(result_cattle_GO[1,61],result_cattle_GO[1,62]))
```

```
S_average_cattle_GO
result_cattle_GO
print('cattle, Maranhao')
result_cattle_MA<-pnadc_analysis_raw_material (data_2015_1,data_2015_2,data_2015_3,data_2015_4,
data_2016_1,data_2016_2,data_2016_3,data_2016_4,
data_2017_1,data_2017_2,data_2017_3,data_2017_4,
data_2018_1,data_2018_2,data_2018_3,data_2018_4,
data_2019_1,data_2019_2,data_2019_3,data_2019_4,
Maranhao,
cattle,
m_h_MA)
S_average_cattle_MA<-S_average(S1_cattle_MA,
c(result_cattle_MA[1,49],result_cattle_MA[1,50]),
c(result_cattle_MA[1,59],result_cattle_MA[1,60]),
S3_cattle_MA,
c(result_cattle_MA[1,61],result_cattle_MA[1,62]))
S_average_cattle_MA
result_cattle_MA
print('cattle, Mato_Grosso')
result_cattle_MT<-pnadc_analysis_raw_material (data_2015_1,data_2015_2,data_2015_3,data_2015_4,
data_2016_1,data_2016_2,data_2016_3,data_2016_4,
data_2017_1,data_2017_2,data_2017_3,data_2017_4,
data_2018_1,data_2018_2,data_2018_3,data_2018_4,
data_2019_1,data_2019_2,data_2019_3,data_2019_4,
Mato_Grosso,
cattle,
m_h_MT)
S_average_cattle_MT<-S_average(S1_cattle_MT,
c(result_cattle_MT[1,49],result_cattle_MT[1,50]),
c(result_cattle_MT[1,59],result_cattle_MT[1,60]),
S3_cattle_MT,
c(result_cattle_MT[1,61],result_cattle_MT[1,62]))
S_average_cattle_MT
result_cattle_MT
print('cattle, Mato_Grosso_do_Sul')
result_cattle_MS<-pnadc_analysis_raw_material (data_2015_1,data_2015_2,data_2015_3,data_2015_4,
data_2016_1,data_2016_2,data_2016_3,data_2016_4,
data_2017_1,data_2017_2,data_2017_3,data_2017_4,
data_2018_1,data_2018_2,data_2018_3,data_2018_4,
data_2019_1,data_2019_2,data_2019_3,data_2019_4,
Mato_Grosso_do_Sul,
cattle,
m_h_MS)
S_average_cattle_MS<-S_average(S1_cattle_MS,
c(result_cattle_MS[1,49],result_cattle_MS[1,50]),
c(result_cattle_MS[1,59],result_cattle_MS[1,60]),
S3_cattle_MS,
c(result_cattle_MS[1,61],result_cattle_MS[1,62]))
S_average_cattle_MS
result_cattle_MS
print('cattle, Minas_Gerais')
result_cattle_MG<-pnadc_analysis_raw_material (data_2015_1,data_2015_2,data_2015_3,data_2015_4,
data_2016_1,data_2016_2,data_2016_3,data_2016_4,
data_2017_1,data_2017_2,data_2017_3,data_2017_4,
data_2018_1,data_2018_2,data_2018_3,data_2018_4,
data_2019_1,data_2019_2,data_2019_3,data_2019_4,
Minas_Gerais,
cattle,
m_h_MG)
S_average_cattle_MG<-S_average(S1_cattle_MG,
```

```
c(result_cattle_MG[1,49],result_cattle_MG[1,50]),
c(result_cattle_MG[1,59],result_cattle_MG[1,60]),
S3_cattle_MG,
c(result_cattle_MG[1,61],result_cattle_MG[1,62]))
S_average_cattle_MG
result_cattle_MG
print('cattle, Parana')
result_cattle_PR<-pnadc_analysis_raw_material (data_2015_1,data_2015_2,data_2015_3,data_2015_4,
data_2016_1,data_2016_2,data_2016_3,data_2016_4,
data_2017_1,data_2017_2,data_2017_3,data_2017_4,
data_2018_1,data_2018_2,data_2018_3,data_2018_4,
data_2019_1,data_2019_2,data_2019_3,data_2019_4,
Parana,
cattle,
m_h_PR)
S_average_cattle_PR<-S_average(S1_cattle_PR,
c(result_cattle_PR[1,49],result_cattle_PR[1,50]),
c(result_cattle_PR[1,59],result_cattle_PR[1,60]),
S3_cattle_PR,
c(result_cattle_PR[1,61],result_cattle_PR[1,62]))
S_average_cattle_PR
result_cattle_PR
print('cattle, Paraiba')
result_cattle_PB<-pnadc_analysis_raw_material (data_2015_1,data_2015_2,data_2015_3,data_2015_4,
data_2016_1,data_2016_2,data_2016_3,data_2016_4,
data_2017_1,data_2017_2,data_2017_3,data_2017_4,
data_2018_1,data_2018_2,data_2018_3,data_2018_4,
data_2019_1,data_2019_2,data_2019_3,data_2019_4,
Paraiba,
cattle,
m_h_PB)
S_average_cattle_PB<-S_average(S1_cattle_PB,
c(result_cattle_PB[1,49],result_cattle_PB[1,50]),
c(result_cattle_PB[1,59],result_cattle_PB[1,60]),
S3_cattle_PB,
c(result_cattle_PB[1,61],result_cattle_PB[1,62]))
S_average_cattle_PB
result_cattle_PB
print('cattle, Para')
result_cattle_PA<-pnadc_analysis_raw_material (data_2015_1,data_2015_2,data_2015_3,data_2015_4,
data_2016_1,data_2016_2,data_2016_3,data_2016_4,
data_2017_1,data_2017_2,data_2017_3,data_2017_4,
data_2018_1,data_2018_2,data_2018_3,data_2018_4,
data_2019_1,data_2019_2,data_2019_3,data_2019_4,
Para,
cattle,
m_h_PA)
S_average_cattle_PA<-S_average(S1_cattle_PA,
c(result_cattle_PA[1,49],result_cattle_PA[1,50]),
c(result_cattle_PA[1,59],result_cattle_PA[1,60]),
S3_cattle_PA,
c(result_cattle_PA[1,61],result_cattle_PA[1,62]))
S_average_cattle_PA
result_cattle_PA
print('cattle, Pernambuco')
result_cattle_PE<-pnadc_analysis_raw_material (data_2015_1,data_2015_2,data_2015_3,data_2015_4,
data_2016_1,data_2016_2,data_2016_3,data_2016_4,
data_2017_1,data_2017_2,data_2017_3,data_2017_4,
data_2018_1,data_2018_2,data_2018_3,data_2018_4,
data_2019_1,data_2019_2,data_2019_3,data_2019_4,
```

```
Pernambuco,
cattle,
m_h_PE)
S_average_cattle_PE<-S_average(S1_cattle_PE,
c(result_cattle_PE[1,49],result_cattle_PE[1,50]),
c(result_cattle_PE[1,59],result_cattle_PE[1,60]),
S3_cattle_PE,
c(result_cattle_PE[1,61],result_cattle_PE[1,62]))
S_average_cattle_PE
result_cattle_PE
print('cattle, Piaui')
result_cattle_PI<-pnadc_analysis_raw_material (data_2015_1,data_2015_2,data_2015_3,data_2015_4,
data_2016_1,data_2016_2,data_2016_3,data_2016_4,
data_2017_1,data_2017_2,data_2017_3,data_2017_4,
data_2018_1,data_2018_2,data_2018_3,data_2018_4,
data_2019_1,data_2019_2,data_2019_3,data_2019_4,
Piaui,
cattle,
m_h_PI)
S_average_cattle_PI<-S_average(S1_cattle_PI,
c(result_cattle_PI[1,49],result_cattle_PI[1,50]),
c(result_cattle_PI[1,59],result_cattle_PI[1,60]),
S3_cattle_PI,
c(result_cattle_PI[1,61],result_cattle_PI[1,62]))
S_average_cattle_PI
result_cattle_PI
print('cattle, Rio_de_Janeiro')
result_cattle_RJ<-pnadc_analysis_raw_material (data_2015_1,data_2015_2,data_2015_3,data_2015_4,
data_2016_1,data_2016_2,data_2016_3,data_2016_4,
data_2017_1,data_2017_2,data_2017_3,data_2017_4,
data_2018_1,data_2018_2,data_2018_3,data_2018_4,
data_2019_1,data_2019_2,data_2019_3,data_2019_4,
Rio_de_Janeiro,
cattle,
m_h_RJ)
S_average_cattle_RJ<-S_average(S1_cattle_RJ,
c(result_cattle_RJ[1,49],result_cattle_RJ[1,50]),
c(result_cattle_RJ[1,59],result_cattle_RJ[1,60]),
S3_cattle_RJ,
c(result_cattle_RJ[1,61],result_cattle_RJ[1,62]))
S_average_cattle_RJ
result_cattle_RJ
print('cattle, Rio_Grande_do_Sul')
result_cattle_RS<-pnadc_analysis_raw_material (data_2015_1,data_2015_2,data_2015_3,data_2015_4,
data_2016_1,data_2016_2,data_2016_3,data_2016_4,
data_2017_1,data_2017_2,data_2017_3,data_2017_4,
data_2018_1,data_2018_2,data_2018_3,data_2018_4,
data_2019_1,data_2019_2,data_2019_3,data_2019_4,
Rio_Grande_do_Sul,
cattle,
m_h_RS)
S_average_cattle_RS<-S_average(S1_cattle_RS,
c(result_cattle_RS[1,49],result_cattle_RS[1,50]),
c(result_cattle_RS[1,59],result_cattle_RS[1,60]),
S3_cattle_RS,
c(result_cattle_RS[1,61],result_cattle_RS[1,62]))
S_average_cattle_RS
result_cattle_RS
print('cattle, Rondonia')
result_cattle_RO<-pnadc_analysis_raw_material (data_2015_1,data_2015_2,data_2015_3,data_2015_4,
```

```
data_2016_1,data_2016_2,data_2016_3,data_2016_4,
data_2017_1,data_2017_2,data_2017_3,data_2017_4,
data_2018_1,data_2018_2,data_2018_3,data_2018_4,
data_2019_1,data_2019_2,data_2019_3,data_2019_4,
Rondonia,
cattle,
m_h_RO)
S_average_cattle_RO<-S_average(S1_cattle_RO,
c(result_cattle_RO[1,49],result_cattle_RO[1,50]),
c(result_cattle_RO[1,59],result_cattle_RO[1,60]),
S3_cattle_RO,
c(result_cattle_RO[1,61],result_cattle_RO[1,62]))
S_average_cattle_RO
result_cattle_RO
print('cattle, Santa_Catarina')
result_cattle_SC<-pnadc_analysis_raw_material (data_2015_1,data_2015_2,data_2015_3,data_2015_4,
data_2016_1,data_2016_2,data_2016_3,data_2016_4,
data_2017_1,data_2017_2,data_2017_3,data_2017_4,
data_2018_1,data_2018_2,data_2018_3,data_2018_4,
data_2019_1,data_2019_2,data_2019_3,data_2019_4,
Santa_Catarina,
cattle,
m_h_SC)
S_average_cattle_SC<-S_average(S1_cattle_SC,
c(result_cattle_SC[1,49],result_cattle_SC[1,50]),
c(result_cattle_SC[1,59],result_cattle_SC[1,60]),
S3_cattle_SC,
c(result_cattle_SC[1,61],result_cattle_SC[1,62]))
S_average_cattle_SC
result_cattle_SC
print('cattle, Sao_Paulo')
result_cattle_SP<-pnadc_analysis_raw_material (data_2015_1,data_2015_2,data_2015_3,data_2015_4,
data_2016_1,data_2016_2,data_2016_3,data_2016_4,
data_2017_1,data_2017_2,data_2017_3,data_2017_4,
data_2018_1,data_2018_2,data_2018_3,data_2018_4,
data_2019_1,data_2019_2,data_2019_3,data_2019_4,
Sao_Paulo,
cattle,
m_h_SP)
S_average_cattle_SP<-S_average(S1_cattle_SP,
c(result_cattle_SP[1,49],result_cattle_SP[1,50]),
c(result_cattle_SP[1,59],result_cattle_SP[1,60]),
S3_cattle_SP,
c(result_cattle_SP[1,61],result_cattle_SP[1,62]))
S_average_cattle_SP
result_cattle_SP
print('cattle, Tocantins')
result_cattle_TO<-pnadc_analysis_raw_material (data_2015_1,data_2015_2,data_2015_3,data_2015_4,
data_2016_1,data_2016_2,data_2016_3,data_2016_4,
data_2017_1,data_2017_2,data_2017_3,data_2017_4,
data_2018_1,data_2018_2,data_2018_3,data_2018_4,
data_2019_1,data_2019_2,data_2019_3,data_2019_4,
Tocantins,
cattle,
m_h_TO)
S_average_cattle_TO<-S_average(S1_cattle_TO,
c(result_cattle_TO[1,49],result_cattle_TO[1,50]),
c(result_cattle_TO[1,59],result_cattle_TO[1,60]),
S3_cattle_TO,
c(result_cattle_TO[1,61],result_cattle_TO[1,62]))
```

```
S_average_cattle_TO
result_cattle_TO
S3_cattle_TO=c(2.142857143,0)
print('cattle, Brazil')
result_cattle_br<-pnadc_analysis_raw_material (data_2015_1,data_2015_2,data_2015_3,data_2015_4,
data_2016_1,data_2016_2,data_2016_3,data_2016_4,
data_2017_1,data_2017_2,data_2017_3,data_2017_4,
data_2018_1,data_2018_2,data_2018_3,data_2018_4,
data_2019_1,data_2019_2,data_2019_3,data_2019_4,
Brazil,
cattle,
m_h_br)
S_average_cattle_br<-S_average(S1_cattle_BR,
c(result_cattle_br[1,49],result_cattle_br[1,50]),
c(result_cattle_br[1,59],result_cattle_br[1,60]),
S3_cattle_BR,
c(result_cattle_br[1,61],result_cattle_br[1,62]))
S_average_cattle_br
result_cattle_br
sink()
```

APÊNDICE E – NOTAS ENCONTRADAS NAS SUBCATEGORIAS DE ACV-S

Tabela 30 – Notas encontradas no ACV-S do cultivo de soja.

Local	S_{media}	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
Brasil	$2,40 \pm 0,08$	2,25	$2,35 \pm 0,09$	2,73	$1,88 \pm 0,08$	$2,60 \pm 0,11$
BA	$2,4 \pm 0,7$	1,7	$2,6 \pm 1,0$	3,0	$2,0 \pm 0,5$	$2,9 \pm 1,2$
GO	$2,4 \pm 0,3$	1,8	$2,3 \pm 0,4$	3,0	$2,1 \pm 0,4$	$2,9 \pm 0,5$
MT	$1,8 \pm 0,2$	1,6	$2,4 \pm 0,2$	0,0	$2,0 \pm 0,4$	$2,9 \pm 0,2$
MS	$2,4 \pm 0,3$	2,0	$2,3 \pm 0,2$	3,0	$2,1 \pm 0,4$	$2,8 \pm 0,3$
MG	$2,4 \pm 0,4$	1,9	$2,1 \pm 0,5$	3,0	$2,0 \pm 0,4$	$2,8 \pm 0,7$
PR	$2,5 \pm 0,2$	2,3	$2,4 \pm 0,2$	3,0	$2,0 \pm 0,4$	$2,5 \pm 0,2$
PA	$2,3 \pm 1,3$	1,3	$2,4 \pm 1,8$	3,0	$1,9 \pm 0,9$	$2,8 \pm 2,1$
PI	$2,3 \pm 1,0$	1,2	$2,6 \pm 1,3$	3,0	$1,9 \pm 0,7$	$2,9 \pm 1,6$
RS	$2,6 \pm 0,3$	2,3	$2,3 \pm 0,1$	3,0	$2,0 \pm 0,6$	$2,3 \pm 0,1$
SC	$2,5 \pm 0,5$	2,3	$2,2 \pm 0,3$	3,0	$2,0 \pm 0,9$	$2,7 \pm 0,4$
TO	$2,3 \pm 0,5$	1,2	$2,6 \pm 0,6$	3,0	$1,9 \pm 0,6$	$2,9 \pm 0,7$

Fonte: Elaborada pela autora.

Tabela 31 – Notas encontradas no ACV-S da criação de gado .

Local	S_{media}	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
Brasil	2,13 ± 0,03	1,51	2,42 ± 0,03	2,14	2,22 ± 0,06	2,37 ± 0,03
AC	2,3 ± 0,2	1,1	2,9 ± 0,1	3,0	2,0 ± 0,5	2,3 ± 0,1
AM	2,2 ± 0,3	1,2	2,7 ± 0,4	3,0	2,1 ± 0,5	2,0 ± 0,4
BA	2,2 ± 0,1	1,2	2,6 ± 0,2	3,0	2,02 ± 0,3	1,9 ± 0,1
CE	2,0 ± 0,2	1,1	2,4 ± 0,2	3,0	2,1 ± 0,3	1,6 ± 0,2
ES	2,4 ± 0,2	1,7	2,4 ± 0,2	3,0	2,2 ± 0,3	2,6 ± 0,3
GO	1,7 ± 0,2	1,5	2,3 ± 0,1	0,0	2,1 ± 0,3	2,6 ± 0,1
MA	1,5 ± 0,1	1,5	2,7 ± 0,1	0,0	2,0 ± 0,3	1,9 ± 0,1
MT	1,7 ± 0,2	1,3	2,5 ± 0,1	0,0	2,2 ± 0,4	2,7 ± 0,1
MS	1,8 ± 0,2	1,6	2,5 ± 0,1	0,0	2,1 ± 0,4	2,8 ± 0,1
MG	2,3 ± 0,1	1,7	2,2 ± 0,1	3,0	2,2 ± 0,2	2,3 ± 0,1
PR	2,5 ± 0,2	2,2	2,4 ± 0,1	3,0	2,5 ± 0,3	2,6 ± 0,1
PB	2,1 ± 0,2	1,1	2,4 ± 0,2	3,0	2,1 ± 0,4	1,7 ± 0,2
PA	1,6 ± 0,2	1,1	2,6 ± 0,1	0,0	2,1 ± 0,4	2,4 ± 0,1
PE	2,1 ± 0,2	1,1	2,5 ± 0,3	3,0	2,1 ± 0,3	1,7 ± 0,2
PI	2,1 ± 0,2	1,0	2,8 ± 0,2	3,0	2,2 ± 0,4	1,7 ± 0,2
RJ	2,3 ± 0,2	1,6	2,2 ± 0,3	3,0	2,0 ± 0,3	2,5 ± 0,4
RS	2,4 ± 0,3	2,0	2,2 ± 0,1	3,0	2,2 ± 0,6	2,6 ± 0,1
RO	2,4 ± 0,2	1,3	2,7 ± 0,2	3,0	2,2 ± 0,4	2,6 ± 0,2
SC	2,5 ± 0,3	2,2	2,1 ± 0,1	3,0	2,5 ± 0,1	2,6 ± 0,2
SP	2,4 ± 0,2	1,9	2,3 ± 0,2	3,0	2,1 ± 0,3	2,8 ± 0,1
TO	1,6 ± 0,2	1,0	2,7 ± 0,2	0,0	2,0 ± 0,5	2,4 ± 0,1

Fonte: Elaborada pela autora.