

Relatório Final de Trabalho



REGIONALIZAÇÃO DOS PERFIS “TÍPICOS” DA PRODUÇÃO DE SOJA PARA USO NO RENOVABIO

Nilza Patrícia Ramos¹
Marília I. da Silveira Folegatti¹
Gustavo Bayma¹
Renan M. L. Novaes¹
Marcelo A. Boechat Morand²
Anna Letícia M. T. Pighinelli¹
Natalia Crespo Mendes¹
José Paulo P. das Dores Savioli¹
Henrique Debiasi³
Alvadi Antonio Balbinot Junior³

¹ Embrapa Meio Ambiente ² Embrapa Assessoria de Relações Internacionais ³ Embrapa Soja

Novembro de 2023



Meio Ambiente

Sumário

1. Introdução	3
2. Metodologia	12
3. Resultados e Discussão	17
4. Considerações Finais	33
5. Referências	35

Regionalização dos perfis “típicos” da produção de soja para uso no RenovaBio

Nilza Patrícia Ramos¹; Marília I. da Silveira Folegatti¹; Gustavo Bayma¹; Renan M. L. Novaes¹; Marcelo A. Boechat Morand²; Anna Leticia M. T. Pighinelli¹; Natalia Crespo Mendes¹; José Paulo P. das Dores Savioli¹; Henrique Debiasi³; Alvadi Antonio Balbinot Junior³

¹ Embrapa Meio Ambiente, Rodovia SP 340, km 127,5 – Jaguariúna-SP. CEP. 13.918-110

² Embrapa Assessoria de Relações Internacionais/ARIN, Parque Estação Biológica, s/nº, Brasília-DF, CEP. 70.770-901.

³ Embrapa Soja, Rodovia Carlos Strass, s/nº, Distrito de Warta, Londrina-PR, CEP, 86.085-981

Resumo

A *RenovaCalc* é a ferramenta oficial para a determinação da eficiência energético-ambiental dos biocombustíveis que podem receber Créditos de Descarbonização (CBIOS), na política *RenovaBio*. Ela possui campos de preenchimento das diferentes etapas de produção dos biocombustíveis (etanol, biodiesel, biometano e bioquerosene de aviação), na lógica da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de produtos. Na etapa agrícola é possível aos produtores de biomassa (soja, milho e cana-de-açúcar) usarem dados primários (específicos do sistema vigente) ou dados “padrão” (dados de sistema típico, adicionados de penalização) para os casos de falta de informações verificáveis; como forma de garantir que as emissões, neste caso, sejam no mínimo iguais ou superiores ao que ocorre de fato em campo. Atualmente, o perfil típico das biomassas reflete um sistema de produção em escala nacional, podendo não representar bem as diferentes regiões produtoras do Brasil, assim, o presente estudo teve como objetivo caracterizar sistemas “típicos” de produção de soja, commodity de maior destaque na agropecuária brasileira, considerando a realidade das diferentes regiões produtoras brasileiras, que após sofrer penalização, poderá ser utilizado na opção de dado “padrão regionalizado” na *RenovaCalc*. No estudo foram respeitadas duas premissas da política: (i) estímulo ao uso do dado “primário” na *RenovaCalc* e (ii) transparência na metodologia e nos parâmetros usados na *RenovaCalc*. A metodologia envolveu a identificação dos estados brasileiros com produção $\geq 1\%$ do total nacional, a identificação de fontes confiáveis de informações sobre a forma de se produzir soja na escala estadual, a proposição de índices de eficiência no

consumo de insumos para compor a RenovaCalc e a simulação da intensidade de carbono (IC) na ferramenta. Como resultados, foram identificados 14 estados com relevância na produção de soja, os quais tiveram seus perfis de produção representados a partir de Inventários de ciclo de vida da soja depositados pela Embrapa, em 2022, nas bases de dados ecoinvent v3.9, GFLI v2022 e no SICV Brasil, com confirmações e correções propostas por especialistas na produção de soja no Brasil. Com a regionalização foi possível obter maior especificidades das fontes de calcário e de fertilizantes, comparativamente ao perfil típico nacional, vigente hoje na RenovaCalc. Houve melhora no índice de eficiência de uso do calcário; piora nos índices de uso de fertilizantes nitrogenados e fosfatados; e pouca alteração nos índices de fertilizante potássico e de diesel. As IC obtidas com os perfis de produção de soja regionalizados variaram entre 268 a 319 kgCO₂eq/t soja, com simulações na RenovaCalc versão 8.1, todos valores menores que o do perfil atual nacional que é de 384 kgCO₂eq/t soja. O mesmo comportamento foi observado na simulação com a RenovaCalc 9.0 (que possui atualizações que serão implementadas no futuro), variando de 310 a 361 kgCO₂eq/t soja, sendo que o perfil atual nacional foi de 408 kgCO₂eq/t soja. O estado do Tocantins foi o que apresentou o perfil de produção mais conservador, com IC de 319 kgCO₂eq/t soja, considerado o estado referência para compor o perfil “típico” os estados brasileiros com produção <1% do total nacional. Considera-se adequado o uso dos perfis “típicos” estaduais, levantados neste estudo, para compor, após a penalização, o novo “perfil padrão regionalizado da RenovaCalc. Recomenda-se a atualização frequente dos perfis de produção, obedecendo o intervalo de tempo condizente com outras iniciativas da política, como forma de manter a coerência e adequada assertividade, sem ferir as premissas de incentivo ao uso do dado primário e transparência nas informações, propostas na política.

Palavras-chave: *Glycine max*, sistema de produção, emissões de CO₂eq/t de soja e Intensidade de carbono

1. Introdução

1.1. RenovaBio

O setor energético ocupa a terceira posição na economia brasileira em termos de emissões de gases de efeito estufa (GEE), tendo contribuído em 2016 com 424 GgCO₂eq, dos quais 95,3% são atribuídos aos combustíveis (BRASIL, 2021). Este cenário motivou o governo brasileiro a incluí-lo em compromissos internacionais (NDC - *Nationally Determined Contribution*), assinados no Acordo de Paris, onde se estabeleceram metas de redução geral de emissões de 37% e 50% até 2025 e 2050, respectivamente, em relação às emissões de 2005 (FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL, 2022). Para que este compromisso se torne realidade, uma das estratégias adotadas envolve a ampliação da participação das energias renováveis para até 45% da matriz energética brasileira, o que inclui o uso de maior volume de biocombustíveis.

A RenovaBio é a Política Nacional de Biocombustíveis (Lei 13.576, de 26 de dezembro de 2017) que estimula o aumento da participação dos biocombustíveis produzidos com padrões sustentáveis, na matriz energética brasileira. Os biocombustíveis com comprovada eficiência energético-ambiental (menor emissão de GEE por MJ em seu ciclo de vida), em relação aos seus fósseis de referência, podem ter acesso a créditos de descarbonização (CBIO), que são comercializados no mercado financeiro e geram renda adicional aos produtores (MME, 2017).

O etanol (de primeira e segunda geração), o biodiesel, o biometano e o bioquerosene de aviação são os biocombustíveis passíveis de serem certificados, atualmente, na RenovaBio (ANP, 2023). A participação na Política envolve a certificação da produção, sendo comprovada a elegibilidade da biomassa e a eficiência energético-ambiental do biocombustível. A eficiência é calculada utilizando uma ferramenta dedicada exclusivamente à Política, denominada RenovCalc (Matsuura, 2018).

A elegibilidade é o primeiro item da certificação e exige a confirmação da produção da matéria-prima energética em consonância com algumas das leis ambientais vigentes no país, como sua ocorrência em imóvel com Cadastro

Ambiental Rural (CAR) ativo ou pendente e em áreas que não tiveram supressão de vegetação nativa a partir de novembro de 2018, data da publicação da RESOLUÇÃO Nº 758/2018, da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – um dos instrumentos que regulamenta a RenovaBio (ANP, 2023). Este mecanismo de gestão de risco tem como objetivo evitar a expansão da produção de biomassa energética sobre a vegetação nativa, prevenindo as emissões de GEE por essa categoria de mudança de uso da terra. Desta forma, a etapa de elegibilidade associa a geração de CBIO ao uso sustentável da terra.

A RenovaCalc possibilita a contabilidade de carbono dos biocombustíveis, seguindo as premissas da avaliação do ciclo de vida (ACV) de produtos, que é normatizada pela ISO 14040:2006, ISO 14044:2006 (ISO, 2006 a, b) e ISO14067:2018 (ISO, 2018). Com isto, são consideradas as emissões de todas as etapas de produção, trazendo como uma base de dados a intensidade de carbono (IC) dos insumos agrícolas (incluindo combustíveis e eletricidade); incluindo as etapas agrícola, industrial e de distribuição, com estruturas de preenchimento específicas (Figura 1); e a etapa de consumo do combustível em motores veiculares, com valores da literatura científica.

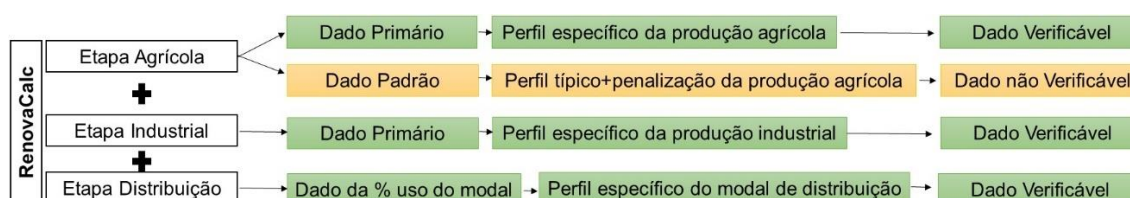


Figura 1. Esquema simplificado das etapas de produção do biocombustível consideradas na RenovaCalc, com indicação do tipo de dado requerido e da necessidade de verificação.

Na etapa agrícola, há a opção de uso da contabilidade com dados primários ou com dados “padrão” para cana-de-açúcar, milho e soja, com previsão de incorporação da palma de óleo (ou dendê) até 2024. O uso do dado “primário” exige verificação no processo de certificação. O denominado dado “padrão” corresponde a um valor previamente estabelecido que representa o perfil mais usual de produção da biomassa (“típico”), adicionado de uma variação (“penalização”), com função de

garantir que não haja subestimação das emissões da produção da biomassa. O dado “padrão” não exige verificação dos parâmetros de entrada. Entretanto, cabe destacar que a opção “padrão” deve ser utilizada apenas nos casos em que não existam informações verificáveis para todos os parâmetros solicitados na ferramenta de cálculo.

Na etapa industrial, existe apenas a opção de entrada de dados “primários”, com campos para a inserção dos rendimentos dos produtos e coprodutos, consumo de insumos industriais, energia elétrica e outras fontes de energia. Na etapa de distribuição, os cálculos de emissão são feitos a partir da declaração de uso de modais de transporte com base em perfis pré-definidos (Matsuura, 2018).

A abordagem de penalização do dado para a etapa agrícola permite que, na ausência de informações primárias, verificáveis e auditáveis, não se incorra em emissão superestimada de títulos de descarbonização, que não correspondam garantidamente à emissão evitada de 1 t CO₂eq. (equivalente a 1 C BIO). Trata-se, portanto, de uma importante ferramenta para prevenir “greenwashing”.

1.2. Soja como matéria-prima na RenovaCalc

A soja é a “commodity” de maior destaque na agropecuária brasileira, com produção de 126 milhões de toneladas de grãos produzido na safra 2021/2022 (CONAB, 2023), dos quais 16% (20 milhões de toneladas) se destinaram à cadeia de produção de biodiesel. Esse volume pode aumentar em função das mudanças na demanda por biodiesel para mistura com diesel, que ocorre por meio do mandato de mistura definido pelo Conselho Nacional de Política Energética - CNPE. Em 2023, a mistura está definida em 12% de biodiesel no diesel (MME, 2023)

O óleo de soja é uma das matérias-primas indicadas para a produção de biodiesel, cujo volume do seu uso varia entre os estados brasileiros (Tabela 1) e, na maioria dos casos, sua participação supera 70% do volume da matéria-prima total processado. Esse protagonismo do óleo de soja no biodiesel nacional justificou a inclusão da cultura como biomassa que conta com a opção de preenchimento de dados agrícolas “primários” ou “padrão” na RenovaCalc (Figura 1).

Tabela 1. Participação percentual de diferentes matérias-primas para uso na produção de biodiesel nos estados brasileiros (dados médios ponderados, considerando o período de 2017 a 2022).

Fonte	MT	GO	MS	MG	SP	PR	RS	BA	TO	PI	PA	RJ	RO	SC
Óleo soja	73,4	78,2	90,2	16,6	24,5	68,8	76,0	42,5	86,4	96,2	-	21,1	2,9	96,0
Gordura bovina	0,8	7,5	8,0	45,5	42,5	8,5	11,8	20,0	1,9	0,1	2,0	1,1	87,8	-
Óleo palma	-	-	-	-	2,2	-	-	18,9	4,2	2,4	98,0	-	9,1	-
Materiais graxos	21,1	8,4	-	31,6	2,3	15,6	9,1	13,5	6,8	-	-	3,7	-	0,1
Outras	4,9	3,6	1,8	6,3	28,5	7,1	3,1	5,1	0,7	1,3	-	74,1	0,2	3,9

* Dados trabalhados a partir de originais disponíveis nos Painéis Dinâmicos ANP (<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/paineis-dinamicos-da-anp>)

A disponibilização da opção de preenchimento na RenovaCalc do dado “padrão” (“típico + penalização”) da soja exigiu a identificação do perfil de produção agrícola “típico” da soja brasileira. Este perfil “típico” que recebe a penalização já foi descrito anteriormente. O primeiro perfil “típico” foi estabelecido em 2017, no momento da construção da RenovaCalc e regulamentação da RenovaBio. Este perfil foi baseado em informações do inventário de produção da soja brasileira publicado no ecoinvent 3.6 (versão mais atual disponível na época), o principal banco de dados internacional de Inventários de Ciclo de Vida (ICV). O inventário base considerado foi o “market for soybean BR” (Figura 2).



Ecoinvent 3.6 dataset documentation

market for soybean - BR

Dataset identification

Activity name	market for soybean
geography	BR (Brazil)
Time period	2011-01-01 to 2019-12-31 Valid for the entire period
Synonym	None
ISIC rev.4 ecoinvent	0111: Growing of cereals (except rice), leguminous crops and oil seeds
Reference product	soybean
CPC classification	01412: Soya beans, other
Dataset type	Market activity
Version - system model	3.6 - Allocation, cut-off

Table of content

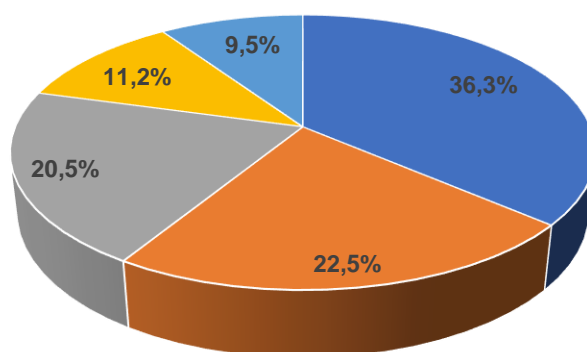
[Exchange summary](#)
[Dataset description](#)
[Detailed information for exchanges](#)
[Selected impact assessment results](#)
[Sources](#)

Note: This document contains only an extract of the information in the dataset. Additional data about properties of exchanges, mathematical relations, parameters, and contact information for authors and reviewers are available in the full dataset, i.e. in ecoSpold format.

[Link to the dataset on the ecoinvent website](#)

Figura 2. Identificação do inventário “market for soybean BR” no banco de dados ecoinvent. Fonte: ecoinvent 3.6 (2019).

O ICV “market for soybean BR” foi construído a partir do perfil de consumo de energia e de insumos e operações agrícolas mais comuns na produção da soja englobando o período entre 2012 e 2014, para os cinco maiores estados produtores do Brasil. Os perfis destes estados representavam, na época, 70% da produção nacional (Figura 3) e foram usados em uma ponderação pela produção de grãos, para compor o perfil Brasil.



■ Mato Grosso ■ Paraná ■ Rio Grande do Sul ■ Goiás ■ Mato Grosso do Sul

Figura 3. Contribuição percentual dos principais estados produtores de soja na composição do perfil “típico” de produção da cultura, utilizado na RenovaCalc, presente na Resolução ANP 758 (ANP, 2018).

Os perfis originais dos cinco estados que compuseram o ICV “market for soybean BR” foram levantados pela equipe de socioeconomia da Embrapa Soja, em estudo para a determinação de custos de produção da cultura, com dados de 2012 a 2014 (FOLEGATTI-MATSUURA & PICOLI, 2018). Houve complemento de informações pela equipe da Embrapa Meio Ambiente, usando referências bibliográficas técnicas e científicas, validadas por especialistas em diferentes áreas do conhecimento. A produtividade de referência foi a constante dos dados estatísticos do IBGE no ano civil de 2015 (IBGE, 2015). As fontes de fertilizantes (N-P₂O₅-K₂O) foram ureia, como fonte nitrogenada, superfosfato simples, como fonte fosfatada, e cloreto de potássio, como fonte potássica. Os pesticidas foram considerados de forma agregada, por meio da soma da quantidade dos seus ingredientes ativos, e vinculados ao inventário “pesticides unspecified”. O combustível fóssil (diesel) foi estimado a partir da declaração de uso de máquinas

e implementos nas diferentes operações agrícolas. O processamento de dados e as estimativas de emissões foram realizadas pelo grupo GT-ACV RenovaBio, com base nos protocolos e diretrizes de Nemecek e Schnetzer (2011) e IPCC (2006). Destaca-se que o inventário depositado no ecoinvent passou também pela revisão de terceira parte, por especialistas em ACV.

O Quadro 1 traz o perfil da produção da soja em um sistema “típico”, obtido a partir do ICV “market for soybean BR”. A caracterização inclui uma fração da produção em “monocultivo”, com a soja cultivada na safra de verão seguida de culturas de cobertura ou de pousio, e uma fração da soja em “sistema de produção de dupla safra”, com rotação ou sucessão com outras culturas de exploração econômica na mesma área (HIRAKURI et al., 2012). A dupla safra é praticada, majoritariamente, em plantio direto, com manutenção de restos culturais em campo e baixa mobilização do solo antes do plantio. Esse sistema também implica no compartilhamento de recursos naturais e tecnológicos entre culturas comerciais envolvidas no sistema, o que desonera parcialmente a soja no que diz respeito à contabilidade de emissões de GEE (MENDES et al., 2021).

Quadro 1. Valores dos principais parâmetros que representam a condição “típica” (sem penalização) para o cultivo da soja no Brasil (safras 2012-2014), segundo o Inventário de Ciclo de Vida (ICV) “market for soybean BR” do ecoinvent, versão 3.6 (2019).

Parâmetros	BR EI 3.6	Descrição geral
Sistemas	49,9% CS ¹ + 50,1% DS ²	Sistema de produção representando a soja como monocultivo e em sistema com outras culturas, conforme sua ocorrência nos principais estados produtores (MT, PR, RS, GO e MS)
Produtividade (kg/ha)	3029	Produtividade do Brasil da safra 2015 (IBGE)
Calcário alocado (kg/ha)	754,2	Calcário calculado considerando-se a aplicação de cerca de 3020 kg/ha a cada 3 anos, respeitando a taxa de alocação de sistemas (49,9 CS + 50,1 DS)
Gesso (kg/ha)	161,4	Gesso agrícola calculado considerando a aplicação de aproximadamente 969 kg/ha a cada 3 anos, respeitando a taxa de alocação de sistemas (49,9 CS + 50,1 DS)
Sementes (kg/ha)	52,7	Quantidade de sementes utilizada nos principais estados produtores, considerando a ponderação por produção
N (kg/ha)	8,5	Nitrogênio, usando como fonte predominante a Ureia, com doses empregadas nos principais estados produtores, considerando a ponderação por produção
P ₂ O ₅ (kg/ha)	82,4	P ₂ O ₅ , usando como fonte predominante o Superfosfato Simples, com doses empregadas nos principais estados produtores, considerando a ponderação por produção
K ₂ O (kg/ha)	99,0	K ₂ O, usando como fonte predominante o Cloreto de Potássio, com doses empregadas nos principais estados produtores, considerando a ponderação por produção
Pesticidas (kg/ha)	5,0	Processada a soma de todos os ingredientes ativos utilizados ao longo do ciclo, com doses e número de aplicações obtidas para os principais estados produtores, considerando a ponderação por produção
Diesel B12 alocado (L/ha)	32,4	Diesel calculado a partir da declaração dos produtores em termos de hora/máquina para cada uma das operações agrícolas empregadas nos principais estados produtores, considerando a ponderação por produção. Mistura 12% na versão 7.0 da RenovaCalc

¹ CS – Cultura Solteira (soja + cobertura ou pousio); ² DS – Dupla Safra (soja + outra cultura comercial, no ano).

A Tabela 2 apresenta os parâmetros que representam a cultura da soja, publicados na Resolução ANP 758 (ANP, 2018), derivados da caracterização do sistema de produção do Quadro 1 (cada parâmetro foi dividido pela produtividade gerando, o índice em kg/t soja). Após a determinação do perfil “típico”, foram estabelecidas penalizações para compor o perfil “padrão” (“típico” + penalização). Nesta ação, foram consideradas as variações reais (usando o limite superior) observadas para cada parâmetro, pela consulta a especialistas e em discussões do

GT-ACV RenovaBio. A emissão calculada na RenovaCalc usando o perfil “típico” e o “padrão” (“típico” + penalização), para uma condição de produtividade média de 3029 kg/ha de grãos, foi de 267,07 e 707,35 kg de CO₂eq/t de grãos, respectivamente (simulação usando a RenovaCalc 8.1 -atualizada em 13/01/2023).

Tabela 2. Perfil “típico” e “padrão” (“típico” + penalização) para a produção de soja, usados na RenovaCalc (até a versão 8.0).

Parâmetros	Perfil “Típico”	Perfil “Penalizado”
Calcário calcítico ou dolomítico (kg/t de soja)	249,0	546,6
Gesso agrícola (kg/t de soja)	53,3	90,6
Sementes (kg/t de soja)	17,4	39,2
Fertilizantes sintéticos nitrogenados - N (kg/t de soja)	2,8	5,6
Fertilizantes sintéticos fosfatados - P ₂ O ₅ (kg/t de soja)	27,2	58,8
Fertilizantes sintéticos potássicos - K ₂ O (kg/t de soja)	32,7	51,8
Combustível diesel B12 (kg/t de soja)	10,7	17,4

1.3. Regionalização do perfil da produção agrícola da soja

A RenovaCalc apresenta sensibilidade suficiente para discriminar perfis de produção diferentes, na etapa agrícola e industrial de produção do biodiesel. Isto permite que o usuário represente fidedignamente, com dados primários, a sua forma de produzir biomassa, incluindo a evolução dos sistemas de produção, independentemente da localidade e do período. Contudo, a opção “padrão” (“típico” + penalização) da etapa agrícola, por ser uma alternativa genérica de representação de dados, não permitindo uma adequada sensibilidade às mudanças de perfil entre regiões e atualizações tecnológicas.

Após quatro anos de sucesso na execução da política RenovaBio, foi identificada a possibilidade de aumentar a sensibilidade da ferramenta também para o dado “padrão” (típico + penalização), considerando representar as diferenças na forma de produzir a cultura nas diversas localidades do país, em relação ao perfil nacional. Isto, sem ferir a premissa básica da política de diferenciar e premiar os produtores quanto ao seu desempenho energético-ambiental e continuar incentivando o uso do dado “primário” em todas as etapas de produção do biocombustível.

Os desafios para esta tarefa são grandes devido à escassez de informações públicas com parâmetros técnicos de produção da soja nas várias localidades do país. Uma das possíveis fontes de dados poderia vir da própria RenovaCalc, a partir dos dados primários preenchidos pelos produtores de matérias-primas, porém, no caso do biodiesel, não existem dados primários preenchidos até o presente momento (Fonte: Lista de Certificados da Produção ou Importação Eficiente de Biocombustíveis <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio/certificados-producao-importacao-eficiente-biocombustiveis>). Diferentemente de outros setores como do etanol de milho e de cana-de-açúcar. Outras documentações disponíveis não abrangem todo o território nacional, como por exemplo o Agriannual (2020 e 2021), que compila dados de 10 estados brasileiros, e o uso de dados setoriais não oficiais pode comprometer a credibilidade da política.

Assim, o presente estudo teve como objetivo caracterizar sistemas “típicos” de produção de soja, considerando a realidade das diferentes regiões produtoras brasileiras que, após sofrer penalização, poderá ser utilizado na opção de dado “padrão regionalizado” na RenovaCalc.

2. Metodologia

O estudo foi realizado pela Embrapa Meio Ambiente em parceria com Embrapa Soja e apoio da ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) e do setor produtivo. Foram respeitadas duas premissas da RenovaBio:

i) Estímulo ao uso do dado “primário” na RenovaCalc.

Como o dado primário é o que melhor representa a tecnologia adotada pelos produtores, tanto para produção da biomassa como do biocombustível, a política estimula que seja este o dado utilizado em todas as etapas do ciclo de vida do biocombustível (biodiesel). Com isto, a escala de regionalização selecionada para a soja foi a estadual, visando não desestimular o interesse pela oferta e pelo interesse de uso do dado “primário”.

ii) Transparência na metodologia e nos parâmetros usados na RenovaCalc.

A política RenovaBio é baseada em consultas públicas com a participação efetiva do setor produtivo, incluindo o acesso irrestrito a todas as informações e cálculos usados na RenovaCalc. Como forma de manter esta transparência, optou-se inicialmente pelo uso dos próprios dados primários declarados nas certificações realizadas até 2023 no RenovaBio, porém, a soja não possui nenhum dado primário disponível. Assim, a alternativa foi o uso de parâmetros e informações da produção agrícola da soja vindos de bancos de dados públicos mais recentes, reconhecidos nacional e internacionalmente. Foram adotados inventários publicados em dois bancos de dados internacionais e um banco de dados nacional de ICV de produtos: “ecoinvent database”, “Global Feed LCA Institute (GFLI) database” e o Banco Nacional de Inventários de Ciclo de Vida – SICV Brasil, além de informações do banco de dados próprio da Embrapa e dos bancos estatísticos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab).

2.1. Composição do perfil de produção de soja

O esquema simplificado da estratégia adotada para a construção do perfil de produção da soja “típico”, para cada um dos estados brasileiros, encontra-se na Figura 4.

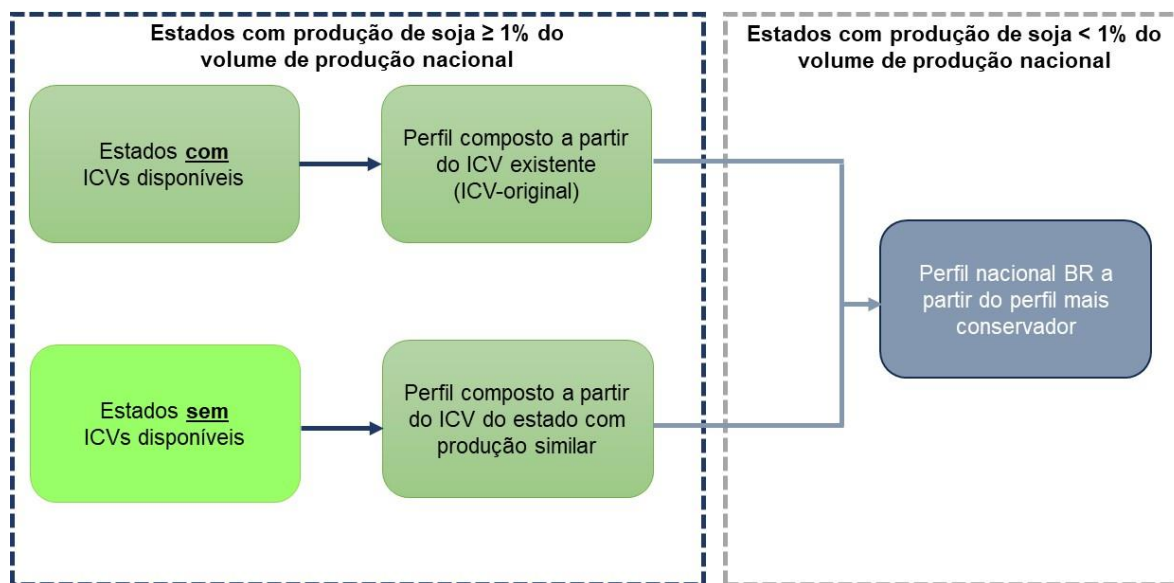


Figura 4. Esquema da estratégia adotada para representar o perfil de produção da soja “típico”, nos estados brasileiros.

A metodologia utilizada no estudo foi composta das seguintes etapas:

- a)** Análise da representatividade percentual da produção de soja de cada estado brasileiro, na produção da soja nacional. Para isto, foram usados dados da produção de grãos de soja das safras 2019, 2020 e 2021 (IBGE, 2023);
- b)** Proposição de um perfil de produção típico ou mais comum para todos os estados brasileiros, com representatividade da produção de soja $\geq 1\%$ do volume de produção nacional;
- c)** Proposição de um perfil de produção genérico, em escala nacional (BR), para os estados brasileiros, com representatividade da produção de soja $< 1\%$ do volume de produção nacional;
- d)** Uso dos ICV de soja de 11 estados brasileiros, depositados pela Embrapa em 2022 no ecoinvent v.3.9 (2022), GFLI (2022) e SICV (2022), com representatividade da produção de soja $\geq 1\%$ do volume de produção nacional;

- e) Identificação da similaridade na forma de se produzir soja (sistemas de produção) entre os estados brasileiros. Para isto, foram feitas consultas a especialistas na produção de soja da Embrapa Soja e aos membros do GT-ACV RenovaBio;
- f) Uso dos ICVs de soja disponíveis no *ecoinvent* (2022), GFLI (2022) e SICV (2022), para representar o perfil de produção de soja de outro estado com sistema de produção similar, pré-identificado no item d);
- g) Uso do ICV de soja do estado com perfil de produção mais conservador para representar o perfil dos demais estados, com representatividade < 1% da produção nacional.

2.2. Validação dos perfis de produção da soja regionalizados

A validação dos parâmetros que compuseram os perfis “típicos” de cada estado brasileiro foi realizada por meio de: a) consulta a especialistas da Embrapa Soja e aos membros do GT-ACV RenovaBio; b) apresentação dos dados em oficina de trabalho on-line, com participação de representantes do setor produtivo; e c) apresentação dos dados em relatório técnico, disponibilizado para o setor produtivo para análise e retorno com sugestões devidamente justificadas, com embasamento técnico-científico e seguindo as premissas do estudo.

2.3. Índices de eficiência no uso de insumos e determinação da intensidade de carbono (IC) na RenovaCalc

A proposição dos índices de eficiência no uso de insumos para a produção da soja, que é o dado solicitado na RenovaCalc (ANP, 2023), foi realizado para cada insumo e para todos os estados brasileiros, participantes deste trabalho de regionalização. O cálculo consiste em dividir os consumos de cada um dos insumos identificados no levantamento dos perfis típicos de produção (corretivos específicos, gesso, nitrogênio por fonte, fósforo por fonte, potássio por fonte, diesel e outros combustíveis), pela sua respectiva produtividade, sendo:

$$\text{Índice de eficiência de uso do insumo (kg/t soja)} = \frac{\text{Consumo de insumo no ciclo de produção (kg/ha)}}{\text{produtividade da soja (toneladas/ha)}}$$

O cálculo da intensidade de carbono - IC (kg de CO_{2eq}/t de soja) do perfil típico ou mais comum para os diferentes estados brasileiros foi realizado diretamente na RenovaCalc, na versão 8.0, vigente em 2023 e na versão 9, que será implementada. Para isto, foram usados os índices de eficiência calculados anteriormente, em uma simulação, considerando uma área de 100 ha e a produção baseada na produtividade.

A RenovaCalc, versão 9.0. recebeu uma série de atualizações em relação à versão 8.0, conforme descrito a seguir:

- Uso da versão 3.9.1 do banco de dados ecoinvent para calcular as pegadas de carbono dos insumos da produção de soja.
- Utilização de “datasets” do tipo “mercado” sempre que disponíveis, considerando como escopo geográfico preferencialmente BR (Brasil), RoW (rest-of-world) ou GLO (Global).
- Utilização da Pegada de Carbono calculada no software SimaPro (versão 9.5.0.0), utilizando o GWP 100 (IPCC, 2021), sem contabilizar a infraestrutura e as emissões de mudança de uso da terra (MUT).
- Atualização dos fatores de caracterização, de acordo com o AR6 (IPCC, 2019).
- Atualização dos fatores de emissão dos fertilizantes minerais, orgânicos e resíduos culturais para os valores apresentados no IPCC (2019).
- Atualização do valor da razão de resíduos agrícolas sobre o solo com base no IPCC (2019).

2.3. Análise comparativa da intensidade de carbono entre os estados

A simulação pelo método Monte Carlo foi usada para gerar 10.000 amostras de intensidade de carbono – IC para cada estado. As diferenças destas amostras foram avaliadas entre estados dois a dois (contraste A e B), sendo calculada a porcentagem de vezes que um estado (A) tem maior ou menor IC que outro estado (B) (número de vezes que A>B ou que A<B). Para os valores desta porcentagem, convencionou-se um valor limite de 70% ou maior, para consideração de uma tendência clara de um estado ser diferente do outro nos resultados (GOEDKOOOP et al., 2016)



Meio Ambiente

Não foram feitas simulações e análises para combinações envolvendo os estados do RO-PA, pois estes foram representados pelo perfil de produção de soja do MT; o mesmo ocorreu para SC, que foi representado pelo RS

3. Resultados e Discussão

3.1. Estados brasileiros produtores de soja e seleção da base de dados para compor os seus “perfis típicos”

No Brasil, foram identificados 14 estados com produção de soja $\geq 1\%$ em relação à produção nacional, nas safras 2019, 2020 e 2021 (IBGE, 2023). Juntos representaram 99,6% da soja produzida no país (Figura 5), o que justificou a proposição de perfis de produção de soja “típicos” para cada um destes estados. Destacam-se como maiores produtores os estados do Mato Grosso, Paraná e Rio Grande do Sul, que juntos produziram 56,4% do total nacional. Verificou-se a ausência de produção nos estados do Espírito Santo, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Rio de Janeiro e Sergipe.

A distribuição da cultura por quase todo o território nacional (Figura 5) corroborou, historicamente, para mantê-la como a primeira no “ranking” da produção de grãos do Brasil (IBGE, 2023) e do mundo (FAO, 2023). Este também foi o fator que impulsionou a Embrapa Soja a desenvolver o projeto “Prospecção de demandas e planejamento estratégico de Transferência de Tecnologia e Comunicação essenciais para a produção de soja no Brasil” – ProspecSoy (HIRAKURI et al. 2018, 2019a, 2019b e 2020), que compilou informações que caracterizaram o sistema de produção de soja predominante em macro e microrregiões sojícolas do Brasil, com levantamento de dados das safras 2017, 2018 e 2019.

Conforme esses autores, os painéis aplicados usaram roteiros estruturados e não-estruturados, respondidos por produtores rurais, consultores técnicos, agentes de extensão rural, membros de associações de produtores, agrônomos de cooperativas agropecuárias, integrantes de sindicatos rurais, agentes financeiros, representantes de revendas de insumos e representantes de agência de defesa sanitária, de diferentes microrregiões ligadas à produção da soja. No trabalho, houve a compilação de dados que permitiram a caracterização do sistema de produção predominante (monocultivo, rotação ou sucessão de culturas) em cada microrregião; a identificação das culturas envolvidas em cada sistema; os tipos e doses de insumos agrícolas (corretivos, fertilizantes e pesticidas) consumidos e

operações mecanizadas praticadas, bem como a produtividade de cada sistema. Cabe destacar que os dados primários e a produtividade são interdependentes, ou seja, uma determinada produtividade estava atrelada à quantidade e tipo de insumos e operações agrícolas informados no painel. Por esse motivo, dados de fontes secundárias (como dados estatísticos da Conab ou IBGE) não foram admitidos para substituir dados dos painéis. Ainda assim, os dados de produtividade dos painéis foram comparados com dados do IBGE e se mostraram coerentes para o período estudado (safras de 2017, 2018 e 2019).

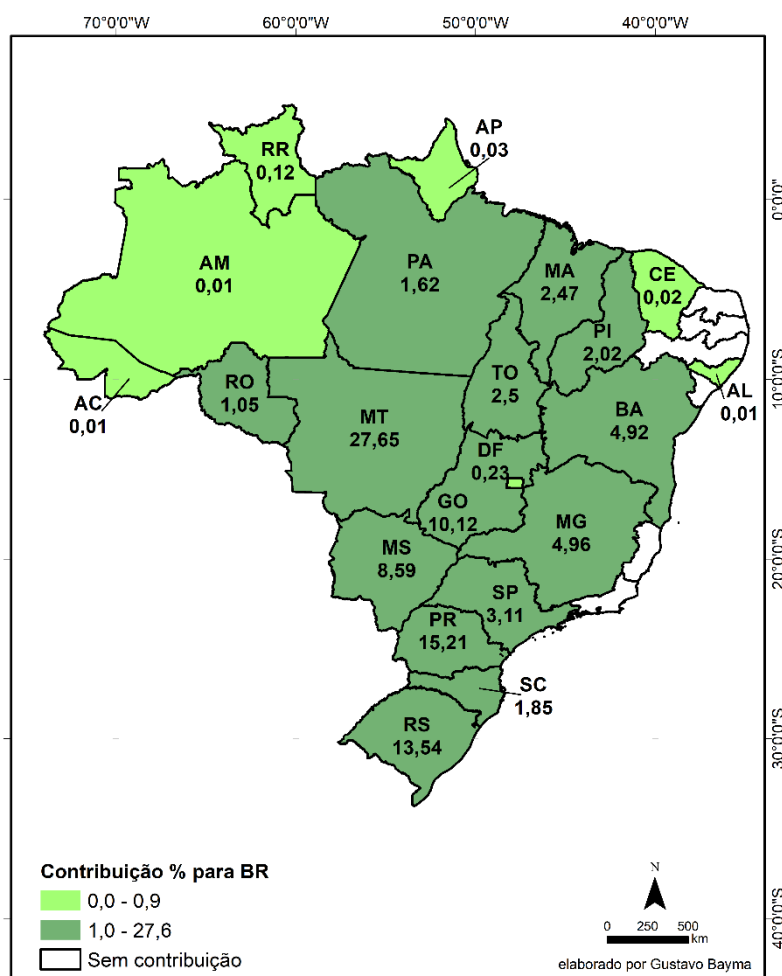


Figura 5. Estados produtores de soja e suas contribuições percentuais para a produção da cultura no Brasil, considerando as safras 2019, 2020 e 2021 do IBGE.

Os dados de 25 painéis das microrregiões produtoras de soja (Figura 6), disponíveis em Hirakuri et al. (2018, 2019a, 2019b e 2020), foram combinados e serviram de base para a composição dos inventários de ciclo de vida de 11 estados brasileiros (Tabela 3), sendo: Bahia (BA), Goiás (GO), Maranhão (MA), Mato Grosso (MT), Mato Grosso do Sul (MS), Minas Gerais (MG), Paraná (PR), Piauí (PI), Rio Grande do Sul (RS), São Paulo (SP) e Tocantins (TO). Estes ICV foram publicados no ano de 2022, no banco de dados ecoinvent versão 3.9, no banco GFLI e no SICV versão 2022, mas referiam-se às safras 2017-2018-2019.

A representatividade das microrregiões dos painéis, em termos de produção nacional, foi da ordem de 32%, e acima de 13%, para a produção dentro de cada estado, sendo apenas Minas Gerais representado com valor inferior (Tabela 3). Os únicos estados que não foram inventariados, mas possuem uma produção de soja acima de 1% da produção nacional, foram: Santa Catarina (1,85%), Pará (1,62%) e Rondônia (1,05%).

Os 11 estados inventariados também concentram 63% das unidades produtoras de biodiesel brasileiras (Figura 6), com exceção de Santa Catarina, o que permite inferir que o uso de suas informações poderia beneficiar um elevado número de unidade produtoras de biodiesel, sendo que apenas 37 usinas são certificadas na RenovaBio, de um total de 60 credenciadas na ANP (Painel Dinâmico de Certificações de Biocombustíveis RenovaBio - <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/paineis-dinamicos-da-anp/paineis-dinamicos-do-renovabio/painel-dinamico-de-certificacoes-de-biocombustiveis-renovabio>). Cabe destacar ainda, que o óleo de soja é a principal matéria-prima do biodiesel certificado na política, correspondendo a 63% das biomassas, seguida das gorduras animais e que um total de 6 unidades produtoras de biodiesel certificadas usam 100% de sua matéria-prima vinda do óleo de soja (análise individualizada dos certificados das usinas de biodiesel disponíveis na Lista de Certificados da Produção ou Importação Eficiente de Biocombustíveis <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio/certificados-producao-importacao-eficiente-biocombustiveis>).

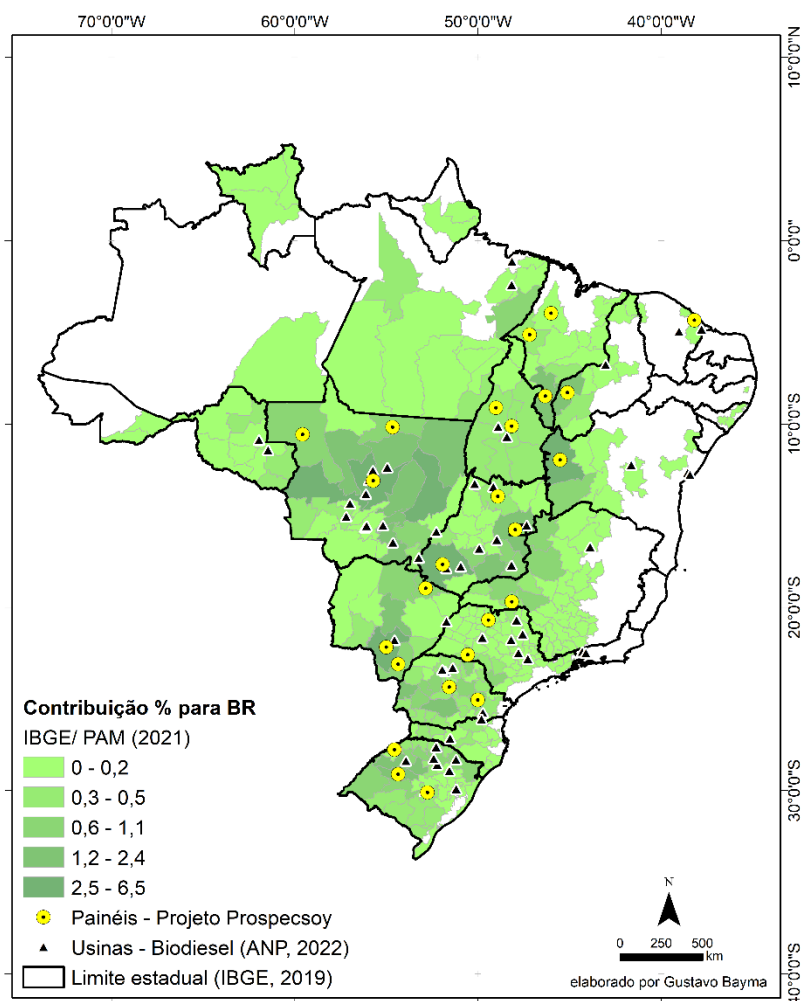


Figura 6. Espacialização dos painéis de levantamento de dados “primários” de produção de soja; de unidades produtoras de biodiesel; e das contribuições percentuais das microrregiões na produção nacional de soja, das safras de 2019 a 2021

A alta representatividade dos 11 estados inventariados, com produção de 95% da soja brasileira (Figura 5), e a disponibilidade das informações, acessíveis nacional e internacionalmente por estarem publicadas nos bancos ecoinvent, GFLI e SICV Brasil, qualificou e conferiu credibilidade para seu uso neste estudo de caracterização de perfis “típicos” de produção de soja, em escala estadual, que serão a base para os perfis “padrão” regionalizados, na RenovaCalc.

Vale registrar que uma limitação deste estudo diz respeito à temporalidade dos dados, que refletem as safras 2017-2018-2019. Ainda assim, correspondem às fontes mais atuais e completas disponíveis – o que justificou seu uso. A política tem

procurado atualizar suas informações com base na melhor ciência disponível e em base de dados rastreável e isenta de interesses econômicos, conforme previsto originalmente pelos proponentes.

Tabela 3. Microrregiões amostradas em painéis de caracterização de sistemas de produção “típicos” e sua contribuição percentual para a produção nacional e estadual de soja, considerando a produção das safras 2019-2020-2021.

Microrregião representada por painel	Contribuição da soja da micror. para a soja BR (%)	Estado	Contribuição da soja da micror. para a soja do estado (%)	Soma para o estado
Alto Teles Pires	6,47	MT	23,39	28,23
Aripuanã	0,71	MT	2,56	
Colíder	0,63	MT	2,28	
Ponta Grossa	0,64	PR	4,21	13,97
Cascavel	1,0	PR	6,61	
Ivaiporã	0,48	PR	3,15	
Cachoeira do Sul	0,41	RS	3,06	13,36
Santa Rosa	0,29	RS	2,18	
Santiago	1,10	RS	8,13	
Entorno de Brasília	1,55	GO	15,29	53,79
Sudoeste de Goiás	3,54	GO	34,91	
Porangatu	0,36	GO	3,60	
Iguatemi	0,87	MS	10,15	66,99
Dourados	4,12	MS	47,93	
Cassilândia	0,77	MS	8,92	
Uberaba	0,47	MG	9,43	9,43
Barreiras	4,04	BA	82,12	82,12
Assis	0,47	SP	15,19	17,02
São José do Rio Preto	0,06	SP	1,83	
Porto Nacional	0,52	TO	20,71	37,64
Miracema do Tocantins	0,42	TO	16,93	
Gerais de Balsas	1,26	MA	51,01	67,07
Imperatriz e Pindaré	0,40	MA	16,06	
Alto Parnaíba Piauiense	1,30	PI	64,42	64,42

* Dados trabalhados a partir de originais disponíveis em IBGE (2023).

3.2. Composição do perfil “típico” da produção de soja na escala estadual

O perfil “típico” da produção de soja nos diferentes estados do Brasil usou as informações dos ICV dos 11 estados brasileiros, depositados no banco de dados ecoinvent versão 3.9, no GFLI versão 2022 e no SICV Brasil versão 2022, acrescidos de três modificações pontuais, indicadas pelos especialistas e pelo setor produtivo. A primeira alteração foi na dose de calcário, que nos inventários possuía

valores abaixo do observado na prática. Assim, com base no conhecimento dos especialistas da Embrapa Soja, passou-se a adotar o valor médio de 500 kg/ha/ano. A justificativa se baseou na prática comum dos produtores aplicarem doses de 3000 kg/ha a cada 3 anos ou 4000 kg/ha a cada 4 anos, o que significaria um montante de 1000 kg/ha/ano, que foi alocado entre as lavouras cultivadas no sistema de produção de soja. Este valor ainda está abaixo do valor usado como referência na Resolução ANP 758 (ANP, 2018), que foi de 754,2 kg/ha (Quadro 1). No estudo atual, não foi possível identificar a fração de cultivo da soja monocultivo e em sistema de produção com outras culturas, assim optou-se por considerar toda a soja em sistema de produção, o que pode ter subestimado o valor de calcário aplicado.

A segunda alteração foi no valor do nitrogênio mineral utilizado no Piauí (de 0 para 8,0 kg/ha), no Rio Grande do Sul (de 3,7 para 8,0 kg/ha) e no Maranhão (de 27 para 20 kg/ha). Para os dois primeiros estados os especialistas apontaram que os valores estavam subestimados em relação aos que se observa na prática; justificando que o consumo de fósforo declarado indicava um maior uso de monoamônio fosfato (MAP), que por sua vez possui N em sua formulação. No caso do Maranhão, foi apontado que o valor estava superestimado, pois segundo recomendações da EMBRAPA SOJA (2020) nos casos de uso de MAP, como fonte de P₂O₅, não há indicação de uso acima de 20 kg/ha de N, como forma de garantir o estabelecimento da fixação biológica de nitrogênio (FBN). Assim, ao se utilizar MAP o produtor não deve ultrapassar este valor de N.

A terceira correção, foi na dose do ingrediente ativo glifosato, para São Paulo (de 17,7 para 6,2 kg/ha) e para o Paraná (de 6,0 para 2,9 kg/ha), que estavam com valores superestimados, segundo as validações.

A consulta aos especialistas possibilitou também identificar que o perfil da produção de soja do estado de Santa Catarina era similar ao adotado no Rio Grande do Sul, também o perfil do Mato Grosso poderia representar os do Pará e Rondônia. Com isto, extrapolou-se os perfis entre estes estados e foi possível propor perfis de produção para os 14 estados brasileiros com produção de soja $\geq 1\%$ do volume nacional (Figura 5), o que abarcou 99,6% de toda a produção do país. Os demais estados, com produção $<1\%$, passaram a ser representados pelo perfil de produção

da soja do estado com valor de IC mais elevado, no caso o Tocantins, utilizando-se o critério de ser conservador para evitar subestimação de emissões de GEE.

A Tabela 4 apresenta o perfil geral de cultivo da soja em nível estadual, uma alteração de impacto, em relação ao perfil de produção atual nacional da Resolução 758 é a maior especificação das fontes de calcário e fertilizantes. O calcário foi caracterizado em dolomítico e calcítico, sendo que na referência só estava na opção dolomítico. Os fertilizantes caracterizados em sulfato de amônio, MAP, ureia, superfosfato simples, superfosfato triplo e cloreto de potássio, sendo anteriormente descrito apenas como ureia, o superfosfato simples e o cloreto de potássio. Esta alteração traz mudanças na intensidade de carbono pela diferença na pegada de carbono da produção destes insumos na etapa industrial, e no caso do calcário, ainda nos fatores de emissão em campo, segundo IPCC (2006).

Os perfis descritos incluíram as culturas mais comuns que participam de sistemas com rotação ou sucessão, assim como os insumos de uso mais comum e suas respectivas doses em kg/ha. A produtividade variou entre 2982 e 3652 kg/ha (50 a 61 sacas/ha), valores coerentes com os observados em estatísticas oficiais como IBGE e CONAB para o período de levantamento de dados (2017, 2018 e 2019) e dentro dos limites observados na safra 2021-2022, com valores entre 1433 e 3958 kg/ha – 24 a 66 sacas/ha (Conab, 2023). Verificou-se que as práticas agrícolas adotadas se mostraram semelhantes nas três safras estudadas, com variações mais expressivas nas doses de insumos e número de aplicações. Esta semelhança de práticas, e variação de doses, foi confirmada em “workshop” realizado com o setor produtivo e se mostrou alinhada com as safras mais atuais da cultura.

Com relação aos corretivos, as doses de calcário foram corrigidas e alocadas, conforme comentado anteriormente, enquanto o gesso só foi declarado como parte do sistema produtivo nos estados de GO, MS e TO, indicando o maior interesse desses produtores em corrigir condições químicas do solo em profundidade, favorecendo o desenvolvimento de raízes. O baixo uso entre a maioria dos produtores se justifica pela literatura não apontar benefícios de produtividade de

soja com o uso deste insumo (Neis et al., 2010), mesmo ele favorecendo o rendimento de outras culturas do sistema, como o trigo (Rampin et al., 2011).

A quantidade de sementes e as doses de fertilizante potássico apresentaram pouca variação, encontrando-se dentro das recomendações de uso (EMBRAPA SOJA, 2020). O uso de sementes se dá em função da população de plantas esperada na área (Embrapa Soja, 2020). Já a dose de potássio, atende às taxas de extração da cultura (Embrapa Soja, 2020), estando ambos intimamente ligados à produtividade. Por outro lado, um ponto que chamou atenção foi o aumento no consumo do fertilizante MAP que, além de fornecer fósforo, seu objetivo principal, contém nitrogênio em sua composição. Como a soja em associação com inoculantes simbióticos (*Bradyrhizobium*) é uma excelente fixadora de nitrogênio atmosférico (HUNGRIA et al., 2007), não há recomendação técnica de uso de fertilizante nitrogenado em seu cultivo. O uso do nitrogênio (N) aumenta as emissões de campo da cultura, considerando que 1% do N aplicado é emitido na forma de óxido nitroso (N₂O), gás com elevado efeito na degradação da camada de ozônio (IPCC, 2019).

O diesel é um dos principais insumos que contribuem para emissões de GEE de produtos agrícolas, considerando a sua emissão ser da ordem de 3,14 kg de CO₂eq por kg de combustível, para uso em veículos pesados (NEMECEK E KÄGI, 2007). Assim como o calcário, no presente estudo o diesel também passou por um tratamento de alocação, pois parte do seu consumo, quando destinado às operações de preparo do solo e aplicação de corretivos, que beneficiam várias culturas do sistema, foi distribuído entre a soja e estas outras culturas (MENDES et al., 2021). Entretanto, mesmo após a alocação, verificou-se que houve variação de consumo deste combustível entre os perfis estaduais, com valores entre 26,8 (PI) e 41,3 (MS) L/ha, em função de diferenças na frequência de operações e no tipo de máquinas utilizado, porém na média o consumo não se distanciou do valor do perfil de referência.

Com relação aos pesticidas, houve a separação entre o consumo de glifosato e 2,4-D dos demais ingredientes ativos, para diferenciar as emissões destes insumos. Foram verificadas variações de consumo entre os estados produtores,



Meio Ambiente

principalmente na classe dos pesticidas inespecíficos, mostrando diferença tecnológica de aplicação para controle fitossanitário. Essas variações entre estados eram esperadas, pois as condições edafoclimáticas específicas interferem na incidência de pragas, doenças e plantas daninhas no cultivo agrícola.

Tabela 4. Insumos e doses “típicas” adotadas no cultivo da soja nos estados brasileiros com produção $\geq 1\%$ da produção nacional.

Insumos agrícolas	MT	PR	RS	GO	MS	MG	BA	SP	TO	MA	PI	SC	PA	RO	Demais
Culturas predominantes em sistema com soja	Milho 2 ^o S Outras 2 ^o S Pastagem	Milho 1 ^o S Milho 2 ^o S Outras 2 ^o S Cobertura Pastagem	Milho 1 ^o S Trigo Cobertura Pastagem	Milho 1 ^o S Milho 2 ^o S Outras 2 ^o S Cobertura Pastagem	Milho 2 ^o S Outras 2 ^o S Cobertura	Milho 1 ^o S Milho 2 ^o S Outras 2 ^o S	Milho 1 ^o S Outras 2 ^o S Cobertura Pastagem	Milho 2 ^o S Outras 2 ^o S	Milho 2 ^o S Outras 2 ^o S Cobertura Pastagem	Milho 1 ^o S Milho 2 ^o S Outras 2 ^o S Cobertura Pastagem	Milho 1 ^o S Outras 2 ^o S Cobertura	Milho 1 ^o S Trigo Cobertura Pastagem	Milho 2 ^o S Outras 2 ^o S Pastagem	Milho 2 ^o S Outras 2 ^o S Pastagem	Milho 1 ^o S Milho 2 ^o S Outras 2 ^o S Cobertura Pastagem
Produtividade (kg/ha)	3356	3652	2982	3379	3424	3420	3300	3247	3031	3106	2940	2982	3356	3356	3031
Calcário dolomítico (kg/ha)	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	267,2	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0	500,0
Calcário calcítico (kg/ha)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	232,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gesso (kg/ha)	0,0	0,0	0,0	54,1	136,2	0,0	0,0	0,0	43,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	43,2
Sementes (kg/ha)	49,4	45,0	48,0	57,2	41,7	47,7	60,0	40,5	44,8	41,0	40,0	48,0	49,4	49,4	44,8
Sulf. de amônio (kg N/ha)	0,0	0,0	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,7	0,0	0,0	0,0
MAP (kg N/ha)	19,3	17,8	8	12,2	15,3	7,9	18,0	14,3	11,7	20,0	8,0	8	19,3	19,3	11,7
Ureia (kg N/ha)	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
KCl (kg K ₂ O /ha)	75,0	70,1	88,9	72,8	74,2	72,0	75,3	87,2	80,3	69,1	99,2	88,9	75,0	75,0	80,3
MAP (kg P ₂ O ₅ /ha)	103,1	95,2	42,7	65,4	81,6	42,2	96,0	76,3	62,5	106,7	42,7	42,7	103,1	103,1	62,5
SPS (kg P ₂ O ₅ /ha)	5,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	5,2	5,2	0,1
SPT (kg P ₂ O ₅ /ha)	0,0	6,9	24,7	30,2	3,1	38,2	0,0	0,0	42,8	0,0	2,1	24,7	0,0	0,0	42,8
Diesel B10 ² (L/ha)	35,3	40,8	39,3	36,9	41,3	38,3	29,5	39,1	34,4	34,7	26,8	39,3	35,3	35,3	34,4
2,4-D (kg/ha)	0,1	0,8	0,2	0,5	1,2	0,3	0,2	0,4	0,3	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
Glifosato 2,4-D (kg/ha)	3,3	4,0	2,9	3,0	4,0	3,6	2,9	4,0	5,1	3,6	2,2	2,9	3,3	3,3	3,6
Pesticidas gerais (kg/ha)	2,7	2,9	6,0	3,6	4,1	4,9	4,1	6,2	3,6	2,2	3,3	6,0	2,7	2,7	2,2

¹ DS – Dupla safra (Rotação/sucessão de culturas, que implica em plantio direto ou cultivo mínimo do solo e alocação de alguns insumos e operações entre as culturas envolvidas no sistema, considerando área e tempo de ocupação de cada uma).

² A informação de consumo de diesel encontra-se em B10, por ser a mistura utilizada no momento da publicação dos inventários (2022).

3.3. Índices de eficiência no uso de insumos, intensidades de carbono - IC e comparações entre os perfis regionalizados na RenovaCalc

Os índices de eficiência no uso dos insumos para o cultivo de soja, considerando os perfis “típicos” de produção dos estados brasileiros, encontram-se na Tabela 5. Estes índices nada mais são do que o valor do consumo de cada insumo (em kg ou L/ha) dividido pela produtividade da cultura (em t/ha). No estudo, optou-se pela soma dos consumos advindos de todas as fontes específicas de calcário, N, P₂O₅ e para o K₂O, a fim de facilitar a comparação com os índices de referência contidos na Resolução ANP 758 (ANP, 2018).

Os índices de eficiência regionais no uso do calcário, dos fertilizantes nitrogenados e fosfatados e dos pesticidas se alteraram em relação aos valores de referência típico nacional da Resolução 758. Isto refletiu as mudanças no padrão de consumo e tecnologia atualizados para a cultura, descritos no item anterior.

Houve redução no consumo de calcário, que era de 249 kg/t de soja e na regionalização variou entre 136,9 e 170,1 kg/t de soja entre os estados, o que levaria a uma redução média de 38%, indicando maior eficiência de uso. Por outro lado, verificou-se o aumento no consumo do nitrogênio, como já explicado, devido em grande parte, ao uso substitutivo do P₂O₅ vindo do superfosfato simples (SSP) pelo do monoamônio fosfato (MAP), diante da necessidade de redução de custos de produção, pois o MAP tem um custo-benefício mais atrativo ao produtor rural.

Com relação aos pesticidas, verificou-se índices de eficiência menos favoráveis, o que se deve, efetivamente, ao aumento no seu consumo devido à intensificação no controle fitossanitário da cultura, que foi uma tendência confirmada nas últimas safras (HESS & NODARI, 2022). A justificativa para este aumento se deve à maior incidência de pragas e doenças associadas ao clima, que aumentou o consumo de pesticidas inespecíficos, seguida do maior consumo de glifosato (herbicida) em cultivares tolerantes a esse herbicida.

O índice de eficiência no uso do diesel quase não se modificou em relação ao desempenho de referência (10,7 L/t); com valores variando entre 8,9 e 13,1

Meio Ambiente

L/t de soja, assim como o consumo de fertilizantes potássico (Tabela 5). Os demais insumos, como gesso, sementes e potássio também apresentaram a melhoria leve no desempenho, mostrando um consumo mais consciente e equilibrado na produção atual, em relação ao perfil antigo da produção.



Meio Ambiente

Tabela 5. Índices de eficiência “típicos” para o cultivo da soja em diferentes estados do Brasil

Insumos agrícolas	MT	PR	RS	GO	MS	MG	BA	SP	TO	MA	PI	SC	PA	RO	Demais	RN75 8
Calcário (kg/t soja)	148,9	136,9	167,7	147,9	146,0	146,1	151,5	153,9	164,9	160,9	170,1	167,7	148,9	148,9	164,9	249,0
Gesso (kg/t soja)	0,0	0,0	0,0	16,0	39,8	0,0	0,0	0,0	14,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,2	53,3
Sementes (kg/t soja)	14,7	12,3	16,1	16,9	12,1	13,9	18,1	12,4	14,7	13,1	13,6	16,1	14,7	14,7	14,7	17,4
N sintético (kg/t de soja)	5,8	4,9	3,9	3,6	4,5	2,3	5,5	4,4	3,8	6,4	2,7	3,9	5,8	5,8	3,8	2,8
P ₂ O ₅ sintético (kg/t de soja)	32,2	27,9	22,6	28,3	24,7	23,5	29,1	23,4	34,7	34,7	15,2	22,6	32,2	32,2	34,7	27,2
K ₂ O sintético (kg/t de soja)	22,3	19,1	29,7	21,5	21,6	21,1	22,8	26,8	26,5	22,2	33,7	29,7	22,3	22,3	26,5	32,7
Diesel B12 (L/ha)	10,5	11,1	13,1	10,9	12,1	11,1	8,9	12,0	11,3	11,1	9,1	13,1	10,5	10,5	11,3	10,7

As intensidades de carbono (IC) relativas aos perfis estaduais, simuladas na RenovaCalc versão 8.1 (RN8.1, em uso) e 9.0 (RN9.0, a ser implementada), encontram-se na Figura 7. A simulação na RN8.1 resultou em IC entre 268 e 319 kg de CO₂eq/t de soja, enquanto na RN9.0 os valores foram de 310 a 361 kg de CO₂eq/t de soja. Os valores calculados na versão com informações atualizadas a ser implementada até 2024 (RN9.0) são em média 18% superiores aos da versão em vigor (RN8.1), devido às atualizações descritas na metodologia. Observando apenas o valor “típico” que está na Resolução 758 (BR758) da Figura, percebe-se que esta atualização foi a principal contribuidora para o aumento na IC para a produção agrícola da soja. Entretanto, esta ação é necessária e indispensável para o nivelamento com protocolos internacionais.

Comparando-se as intensidades de carbono obtidas para cada estado, verificou-se uma redução em relação ao perfil “típico” de referência da Resolução 758 para todos os estados estudados, em ambas as versões da RenovaCalc. Cabe destacar que os valores regionalizados ainda serão acrescidos de “penalização” para compor o perfil “padrão” regionalizado na RenovaCalc.

As diferenças na IC da soja entre os estados ocorreram em função da variação no consumo dos insumos. Assim a depender do perfil de produção, as emissões variam entre os consumos de insumos (agregando as emissões da etapa de produção e uso em campo) sendo: o consumo geral de fertilizantes (22 a 32% da IC), o calcário (24 a 34% da IC), o diesel (7 a 10% da IC), os pesticidas (5 a 9% da IC) ou mesmo na manutenção dos resíduos culturais em campo (26 a 32% da IC), que por si emitem N₂O.

O TO foi o estado com maior IC na simulação usando a versão 9.0 da RenovaCalc (Figura 7), a qual entrará em vigor em 2024, devido ao consumo aumentado de fertilizantes fosfatados e diesel, em relação ao perfil “típico” da Resolução 758 (Tabela 5). Os estados do PI e MG se beneficiaram de forma expressiva com a regionalização, tendo uma redução próxima de 24% em relação ao valor “típico” de referência, seguidos de PR e GO, com 20% de redução, e do MS, com 18%.

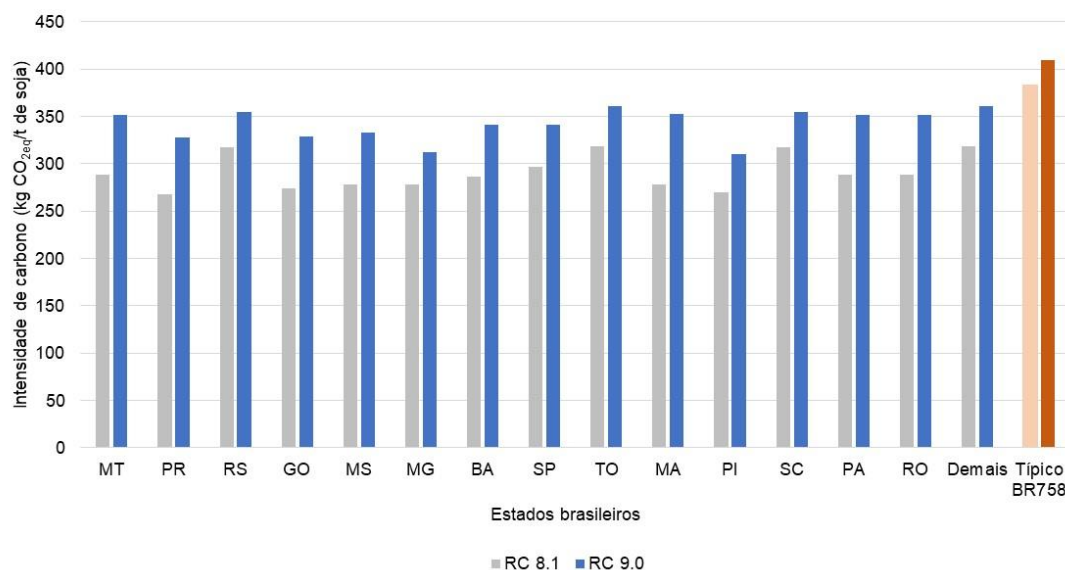


Figura 7. Intensidades de carbono da soja produzida em sistema de produção “típico” de cada estado brasileiro e do perfil de referência contido na Resolução ANP 758 (ANP, 2018), calculadas nas versões 8.1 e 9.0 da RenovaCalc.

A Figura 8 mostra a porcentagem de vezes que um estado apresenta maior ou menor IC que outro, quando comparados dois a dois. De um total de 55 combinações, observou-se que 21 apresentaram tendência de diferenças nas IC em 70% das vezes onde se fez a comparação.

O TO, por ser justamente o estado que apresentou o perfil de produção mais conservador, foi o com tendência de maior IC em relação aos demais estados (3 das 21 combinações), seguido pelo MT (1 das 21 combinações). Por outro lado, o PI foi o estado com tendência mais consistente de apresentar menor IC em relação à alguns estados (5 de 21 combinações), seguido de MG (2 de 21 combinações). Cabe destacar, ainda, que as combinações entre PR-GO e SP-BA não apresentaram tendência para nenhum dos estados estudados, levando a inferir que não existem diferenças aparentes no perfil de produção de soja nestes contrastes.

Os demais estados tiveram comportamento variado quando comparados entre si. Estas diferenças de comportamento de IC entre os estados justificam a regionalização proposta para a RenovaCalc, assim como os benefícios que esta estratégia pode trazer para a melhor representação da soja brasileira na política RenovaBio.

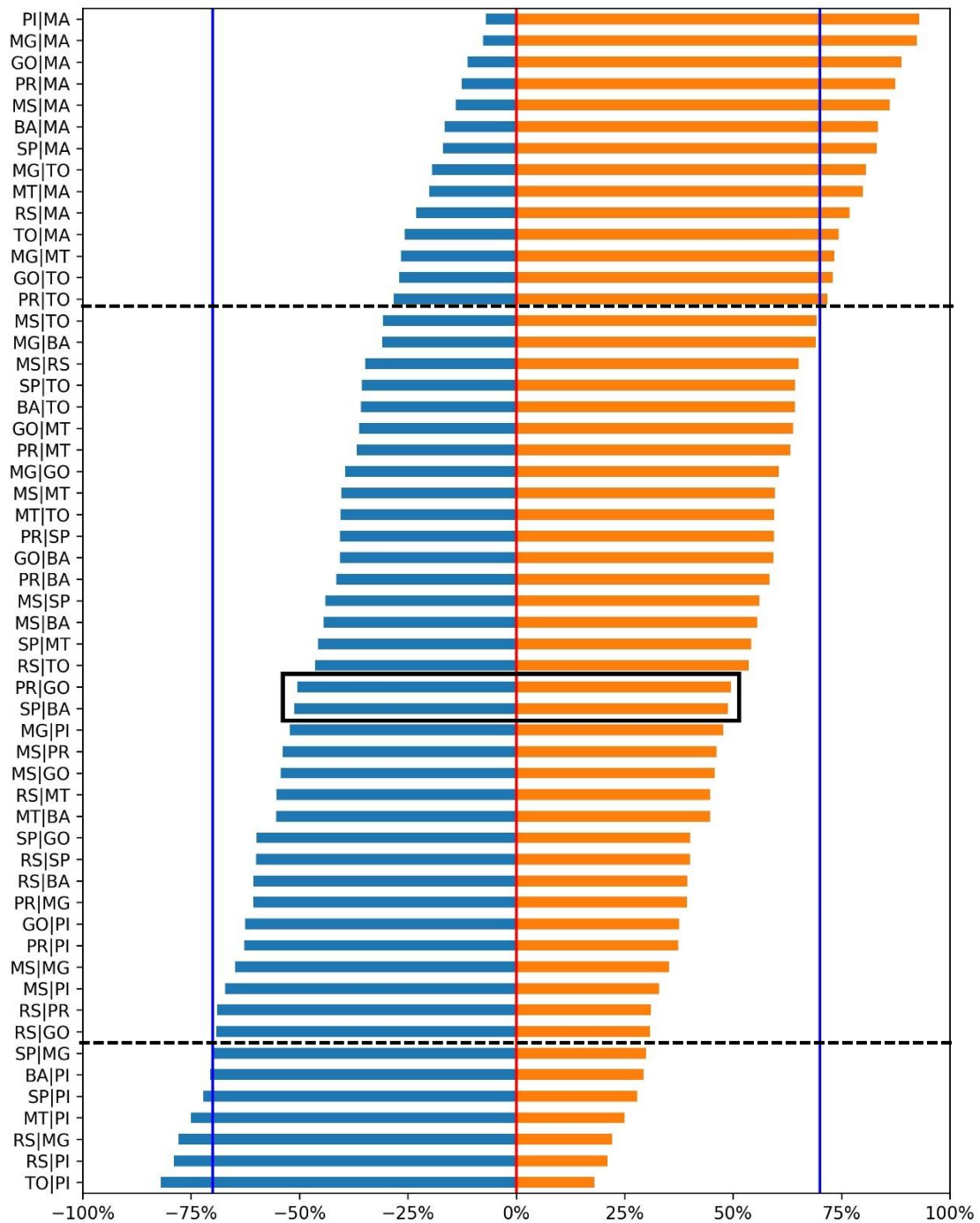


Figura 8. Porcentagem de vezes que um estado apresenta maior ou menor emissão que outro, quando comparados dois a dois. Intensidade de carbono calculada na versão 9.0 da RenovaCalc.

4. Considerações Finais

O perfil “típico” de produção da soja não equivale ao perfil “padrão” usado na RenovaCalc. O perfil “padrão” é composto pelo perfil “típico” adicionado de penalização, de forma a garantir que não haja subestimação das emissões da produção da biomassa que tem oportunidade de participar da política, mas não possui informações verificáveis na certificação.

A proposição de regionalizar os perfis “típicos” de produção de soja na escala estadual está alinhada com as premissas da RenovaBio de incentivo contínuo ao uso do dado primário em todas as etapas de produção de biocombustíveis. A redução na escala em nível menor que o estadual não foi utilizada, pois poderia resultar na representação de especificidades que não são extrapoláveis para a política.

O uso de informações provenientes de bancos de dados públicos (ecoinvent, GFLI e SICV) com reconhecimento nacional e internacional para compor o perfil “típico” regionalizado contribui para a transparência da política RenovaBio, evitando questionamentos, pela comunidade científica, a respeito da confiabilidade dos dados usados na RenovaCalc. A correção de valores específicos de alguns insumos, suportada pela análise de especialistas, também corrobora para a melhoria na representação dos perfis de produção da soja brasileira. O único ponto de atenção se refere ao período de representação dos dados (safra 2017-2018-2019), que poderia ser mais atual, não o sendo por conta da ausência de informações com o mesmo nível de detalhes, abrangência e confiabilidade.

A intensidade de carbono com tendência variando a depender da comparação entre estados, confirma a relevância de uso dos perfis estaduais de produção de soja na RenovaCalc. Assim, a disponibilização de perfis “típicos” para todos os estados brasileiros produtores de soja, tanto por meio de dados específicos de cada estado ou pela extrapolação de dados de um estado para outro, traz a oportunidade de representar melhor a produção da soja local, que embasa o dado “padrão” no âmbito da RenovaCalc, substituindo os perfis nacionais considerados na Resolução ANP 758/2018.

Tendo em vista que a atualização dos perfis de produção da soja, em um intervalo de tempo condizente com outras iniciativas da política, pode trazer

benefícios ao representar melhor os sistemas de produção vigentes, entende-se que ao conhecer este intervalo de tempo, o trabalho de levantamento nos estados brasileiros poderá ser realizado com mais tranquilidade e, por consequência, assertividade.

5. Referências

AGRIANUAL. Anuário da Agricultura Brasileira. 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. Resolução no 758, de 23 de novembro de 2018. Diário Oficial da União, publicado em: 27/11/2018. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio/legislacao-do-renovabio>

_____. **RenovaCalc, v7.0.** 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio/renovacalc>

BANCO NACIONAL DE INVENTÁRIOS DE CICLO DE VIDA – SICV Brasil, 2022. Disponível em: <https://sicv.acv.ibict.br/>

BRASIL. LEI Nº 13.576, DE 26 DE DEZEMBRO DE 2017. DISPÕE SOBRE A POLÍTICA NACIONAL DE BIOCOMBUSTÍVEIS (RENOVABIO) E DÁ OUTRAS PROVIDÊNCIAS. DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO: SEÇÃO 1, BRASÍLIA, DF, ANO 154, N. 247, P. 4, 27 DEZ. 2017.

BRAZIL. Ministry of Science, Technology and Innovations. Secretariat for Research and Scientific Training. **Fourth National Communication of Brazil to the United Nations Framework Convention on Climate Change** / Secretariat for Research and Scientific Training. -- Brasília: Ministry of Science, Technology and Innovations, 2021.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Séries históricas – Soja.** Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=10#qr%C3%A3os-2>

ECOINVENT. Ecoinvent Database v3.6, 2019. Acesso em: 01/10/2023. Disponível em: <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/data-releases/ecoinvent-3-6/>

_____. Ecoinvent Database v3.9, 2022. Acesso em: 01/10/2023. Disponível em: <https://ecoinvent.org/the-ecoinvent-database/data-releases/ecoinvent-3-9/>

EMBRAPA SOJA. Tecnologias de Produção de Soja / Claudine Dinali Santos Seixas... [et al.] editores técnicos. – Londrina : Embrapa Soja, 2020. 347 p. - (Sistemas de Produção / Embrapa Soja, ISSN 2176-2902; n. 17).

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO, 2023. Disponível em: <https://www.fao.org/home/en>

FEDERATIVE REPUBLIC OF BRAZIL, Paris Agreement, NATIONALLY DETERMINED CONTRIBUTION (NDC). Brasília, 21 March 2022. Disponível em: <https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/Updated%20-%20First%20NDC%20-%20%20FINAL%20-%20PDF.pdf>

FOLEGATTI-MATSUURA, M. I. S.; PICOLI, J. F. **Life Cycle Inventories of Agriculture, Forestry and Animal Husbandry – Brazil**. ecoinvent Association, Zürich, Switzerland, 2018.

GFLI - Global Feed LCA Institute, 2022. Acesso em: 01/10/2023. Disponível em: <https://globalfeedlca.org/gfli-database/>

GOEDKOOP, M., OELE, M., VIEIRA, M., LEIJTING, J., PONSIOEN, T., & MEIJER, E. (2016). SimaPro tutorial. PRé Consultants BV, The Netherlands.

HESS, S.C.; NODARI, R. Agrotóxicos no Brasil, panorama dos produtos entre 2019-2022. **Revista Ambientes e Movimento**, n.2, v.2, dezembro de 2022. Disponível em: <https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/am/article/view/5484>

HIRAKURI, M. H.; DEBIASI, H.; POCÓPIO, S. de O.; FRANCHINI, J.; CASTRO, C. de. **Sistemas de produção: conceitos e definições no contexto agrícola**. Documentos 335. Londrina: Embrapa Soja, 2012, 24p.

HIRAKURI, M.H.; CONTE.O.; PRANDO, A.M.; CASTRO, C. de; BALBINOT JR, A.A. **Diagnóstico da produção de soja nas macrorregiões sojícua 5**. Documentos 405. Londrina, Embrapa Soja, 2018. 120p.

HIRAKURI, M.H.; CONTE.O.; PRANDO, A.M.; CASTRO, C. de; BALBINOT JR, A.A. **Diagnóstico da produção de soja na macrorregião sojícua 4**. Documentos 412. Londrina, Embrapa Soja, 2019a, 119p.

HIRAKURI, M.H.; CONTE.O.; PRANDO, A.M.; CASTRO, C. de; BALBINOT JR, A.A. **Diagnóstico da produção de soja na macrorregião sojícua 1**. Documentos 423. Londrina, Embrapa Soja, 2019b, 113p.

HIRAKURI, M.H.; CONTE.O.; PRANDO, A.M.; CASTRO, C. de; BALBINOT JR, A.A. **Diagnóstico da produção de soja nas macrorregiões sojícua 2 e 3**. Documentos 435. Londrina, Embrapa Soja, 2020. 124p.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C. **A importância do processo de fixação biológica do nitrogênio para a cultura da soja: componente essencial para a competitividade do produto brasileiro**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 80 p. (Embrapa Soja. Documentos, 283).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção agrícola municipal: culturas temporárias e permanentes: 2015**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/>

_____. **Produção agrícola municipal: culturas temporárias e permanentes: 2023**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/>

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**, Calvo Buendía, E., Tanabe, K., Kranjc, A.,

Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds). Published: IPCC, Switzerland, 2006.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Special Report on 1.5 Global Warming. Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Geneva: IPCC, 2019a. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/srccl/>>. Acesso em 10 de jun. 2022.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2021. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. DOI:10.1017/9781009157896.

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

_____. **ISO 14044**: Environmental Management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines: ISO, 2006b.

_____. **ISO 14067**: Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification: ISO, 2018.

MATSUURA, M.I.S.F.; SCACHETTI, M.T.; CHAGAS, M.F.; SEABRA, J.E.A.; MOREIRA, M.M.R.; BONOMI, A.M.; BAYMA, G.; ÍCOLI, J.F.; MORANDI, M.A.B.; RAMOS, N.P.; CAVALETT, O.; NOVAES, R.M.L. **RenovaCalc: Método e ferramenta para a contabilidade da Intensidade de Carbono de Biocombustíveis no Programa RenovaBio**. Nota Técnica, março 2018, 58p. Disponível em: https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/consultas-e-audiencias-publicas/consulta-audiencia-publica/arquivos-consultas-e-audiencias-publicas-2018/cap-10-2018/cp10-2018_nota-tecnica-renova-calc.pdf

MENDES, N. C.; MATSUURA, M. I. S. F.; RAMOS, N. P.; MAY, A.; MACIEL, V. G.; CARDOSO, F. H.; GAROFALO, D.; PIGHINELLI, A. L.; MORANDI, M.; HIRAKURI, M. H. Inventários do ciclo de vida da produção de soja e a representatividade dos dados no contexto brasileiro. In: VII Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida, 2021. VII Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida, 2021.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. RenovaBio, 2017. Disponível em: <http://antigo.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/acoes-e-programas/programas/renovabio>

_____. RESOLUÇÃO Nº 3, DE 20 DE MARÇO DE 2023. Diário Oficial da União, publicado em: 29/03/2023. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/despacho-do-presidente-da-republica-473383252>

NEIS, L.; PAULINO, H.B.; SOUZA, E.D.; REIS, E.F.; PINTO, F.A. Gesso agrícola e rendimento de grãos de soja na região Sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.409-416, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000200014>

NEMECEK, T.; KAGI, T. **Life cycle inventories of swiss and european agricultural production systems: final report**: Data v.2.0 (2007): Ecoinvent report, n. 15a. 2. ed. 2007. Zurich, Dubendorf: Ecoinvent Centre, 2007. 360 p.

NEMECEK, T.; SCHNETZER, J. **Methods of assessment of direct field emissions for LCIs of agricultural production system**. Zurich: Ecoinvent Centre, 2011.

RAMPIM, L.; LANA, M.C.; FRANDOLOSO, J.F.; FONTANIVA, S. Atributos químicos de solo e resposta do trigo e da soja ao gesso em sistema semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.1687-1698, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832011000500023>