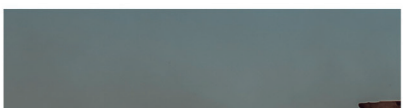




Modelo PestLCI: parametrização para os cenários brasileiros de produção agrícola



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Meio Ambiente
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

DOCUMENTOS 132

Modelo PestLCI: parametrização para os cenários brasileiros de produção agrícola

*Robson Rolland Monticelli Barizon
Marília Ieda da Silveira Folegatti Matsuura
Michelle Tereza Scachetti
Gustavo Bayma
Marcela Porto Costa
Danilo Francisco Trovo Garofalo
Vitória Ferreira de Lanes
Giovani Picoli
Anna Leticia Montenegro Turtelli Pighinelli
Marcelo Augusto Boechat Morandi*

Embrapa Meio Ambiente
Jaguariúna, SP
2021

Embrapa Meio Ambiente

Rodovia SP-340, Km 127,5, Tanquinho Velho
CEP: 13918-110, Jaguariúna, SP
Fone: +55 (19) 3311-2700
Fax: +55 (19) 3311-2640
<https://www.embrapa.br/meio-ambiente/>
<https://www.embrapa.br/fale-conosco/sac/>

Obra apresentada originalmente na IX Conferência Internacional sobre Análisis de Ciclo de Vida em Latinoamérica, 2021, sob o título *Parametrização do modelo PestLCl 2.0 para os principais cenários de produção agrícola no Brasil*.

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente
Ana Paula Contador Packer

Secretária-Executiva
Cristina Tiemi Shoyama

Membros
Rodrigo Mendes, Ricardo A. A. Pazianotto, Maria Cristina Tordin, Daniel Terao, Victor Paulo Marques Simão, Geraldo Stachetti Rodrigues, Vera Lucia Ferracini, Marco Antonio Gomes

Revisão de texto
Nilce Chaves Gattaz

Normalização bibliográfica
Victor Paulo Marques Simão, (CRB-8/5139)

Editoração eletrônica
Silvana Cristina Teixeira

Fotos da Capa
Foto 1: Jim Black - PixaBay
Foto 2: Arnaldo Lameira - Flickr
Foto 3: Julio Cesar Garcia - PixaBay
Foto 4: Anna Tis - Pexels
Foto 5: Juanjo Fernandez - PixaBay
Foto 6: Melissa Mayes - Pexels

1ª edição
2021

Todos os direitos reservados

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Meio Ambiente

Modelo PestLCl: parametrização para os cenários brasileiros de produção agrícola / Robson Rolland Monticelli Barizon... [et al.]. – Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2021.

PDF (30 p.) : il. color. – (Documentos / Embrapa Meio Ambiente, 1516-4691 ; 132).

1. Agrotóxico. 2. Impacto ambiental. 3. Solo. 4. Água. 5. Avaliação do ciclo de vida. I. Barizon, Robson Rolland Monticelli. II. Matsuura, Marília Ieda da Silveira Folegatti. III. Scachetti, Michelle Tereza. IV. Bayma, Gustavo. V. Costa, Marcela Porto. VI. Garofalo, Danilo Francisco Trovo. VII. Lanes, Vitória Ferreira de. VIII. Picoli, Giovanni. IX. Pighinelli, Anna Leticia Montenegro Turtelli. X. Morandi, Marcelo Augusto Boechat. XI. Série.

CDD (21. ed.) 363.7384

Victor Paulo Marques Simão (CRB-8/5139)

© Embrapa, 2021

Autores

Robson Rolland Monticelli Barizon

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

Marilia Ieda da Silveira Folegatti

Zootecnista, doutora em Tecnologia de Alimentos, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

Michelle Tereza Scachetti

Bacharela em Gestão e Análise Ambiental, mestre em Engenharia de Produção, analista sênior da Fundação Espaço Eco, São Bernardo do Campo, SP.

Gustavo Bayma

Geógrafo, mestre em Sensoriamento Remoto, analista da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

Marcela Porto Costa

Engenheira Ambiental, mestre em Ciências Ambientais, consultora em Sustentabilidade e ACV na Eight Associates e Natural Carbon Solutions, Londres, Reino Unido.

Danilo Francisco Trovo Garofalo

Geógrafo, doutor em Geografia, bolsista da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

Vitória Ferreira de Lanes

Bacharela em Ciência e Tecnologia, analista de Sustentabilidade Aplicada da Fundação Espaço ECO, São Bernardo do Campo, SP.

Giovani Picoli

Engenheiro-Químico, estagiário da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

Anna Leticia Montenegro Turtelli Pighinelli

Engenheira-agrônoma, doutora em Tecnologia Pós-colheita, analista da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

Marcelo Augusto Boechat Morandi

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitopatologia, pesquisador e chefe-geral da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

Apresentação

O Brasil atingiu nas últimas décadas posição de destaque no cenário agrícola internacional, consolidando-se como um dos maiores produtores de soja, milho, café, açúcar, entre outros. Com ciência e desenvolvimento de tecnologias próprias para o mundo tropical, como a de cultivo de mais de uma safra por ano em uma mesma área, o país passou a experimentar crescimentos extraordinários impulsionados por ganhos de produtividade. Entretanto, o manejo fitossanitário permanece como um dos principais desafios da agricultura tropical, que possui dinâmica biológica intensa, devido à ausência de inverno rigoroso, que permitiria a quebra do ciclo das pragas.

A necessidade do uso de pesticidas para um manejo fitossanitário mais efetivo e que garanta a produção de alimentos em quantidade e com qualidade exige conhecimento da dinâmica destes produtos no ambiente (solo, água e atmosfera), bem como dos seus impactos nos organismos não-alvo. Essa dinâmica é influenciada pelas características químicas das moléculas e pelas características de solo e clima onde são utilizados.

Este trabalho descreve a adequação e parametrização do modelo de dispersão de pesticidas no meio ambiente, PestLCI Consensus v.1.0. Ao mesmo tempo em que proporciona a redução das incertezas relativas à avaliação do impacto dos pesticidas sobre a saúde humana e meio ambiente, o modelo PestLCI é uma ferramenta viável do ponto de vista operacional, mesmo para os usuários sem experiência no tema. Isso permitirá a ampliação dos estudos de impactos ambientais e trará subsídios para o desenvolvimento de tecnologias mais seguras para a construção de políticas públicas e programas de racionalização do uso de pesticidas na produção de alimentos.

O presente documento contribui para a Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas e atende ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável ODS 12, que visa “Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis”, e mais especificamente à meta 12.4, que busca “alcançar o manejo ambientalmente saudável dos produtos químicos ao longo de todo o ciclo de vida destes para minimizar seus impactos negativos sobre a saúde humana e o meio ambiente”.

Marcelo Boechat Morandi
Chefe-Geral da Embrapa Meio Ambiente

Sumário

Introdução.....	7
Avaliação de Ciclo de Vida (ACV)	7
Dinâmica de pesticidas no meio ambiente	11
O modelo PestLCI Consensus v.1.0.....	12
Seleção e Caracterização dos Cenários de Produção Brasileiros para Inserção no PestLCI	
Consensus V.1.0	13
Definição das culturas agrícolas relevantes para inclusão de cenários brasileiros no modelo.....	13
Mesorregiões geográficas relevantes para as culturas selecionadas	14
Levantamento de dados edafoclimáticos nas mesorregiões selecionadas	16
Solos.....	16
Clima	17
Levantamento dos pesticidas utilizados nas culturas selecionadas	17
Uso dos Cenários de Produção Brasileiros no PestLCI Consensus V.1.0.....	19
Simulação da partição de pesticidas nos compartimentos ambientais com o PestLCI Consensus v. 1.0...20	
Distribuição inicial/primária (Initial distribution).....	20
Emissões secundárias (Secondary emissions).....	21
Resultados da distribuição primária e emissão secundária de pesticidas nos compartimentos ambientais com o PestLCI Consensus v.1.0	27
Considerações Finais	28
Referências	29

Introdução

Os pesticidas¹ são produtos regulados e aprovados para uso no controle de pragas que acometem a produção agrícola, incluindo insetos e outros artrópodes, patógenos e plantas daninhas. Para uso seguro no ambiente agrícola, devem ser seguidas as recomendações previamente estabelecidas de uso, especificadas em seu rótulo e bula, mediante recomendação técnica de profissional qualificado, de forma a minimizar riscos para o ambiente e para as pessoas.

No contexto do uso seguro de pesticidas, é essencial o conhecimento da dinâmica dessas substâncias nos diversos compartimentos ambientais (solo, água e atmosfera) e seus potenciais impactos nos organismos não-alvo. Essa dinâmica é influenciada não apenas pelas características químicas das moléculas, mas também pelas características de solo e clima onde são utilizados.

Diversas metodologias têm sido utilizadas com o objetivo de avaliar os impactos dos pesticidas utilizados na agricultura. O PestLCI Consensus v.1.0, ferramenta aqui apresentada, traz contribuições para a estimativa de emissões de pesticidas em processos agrícolas, para a elaboração de inventários para estudos de avaliação do ciclo de vida (ACV), de gestão ambiental, que tem sido aprimorada para incorporar os potenciais impactos desses compostos em sistemas de produção agropecuários. Além da apresentação do PestLCI, este trabalho tem, igualmente, o objetivo de parametrizar cenários de produção agrícola relevantes para o Brasil. Com isso, espera-se o aprimoramento dos estudos de ACV que abordem os possíveis impactos dos pesticidas sobre a saúde humana e meio ambiente.

Avaliação de Ciclo de Vida (ACV)

Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é um método para avaliar impactos ambientais com base na contabilidade de materiais e energia consumidos pelos processos produtivos e emitidos para o meio ambiente durante todo o ciclo de vida de um produto, desde a extração de recursos naturais, incluindo os processos de transformação e de transporte, até a fase de uso e disposição final do produto. Essa técnica foi normatizada pela ABNT ISO 14040:2009 e ABNT ISO 14044:2009 revisadas em 2014 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014a, 2014b).

A ACV é dividida em quatro fases: 1) Definição de Objetivo e Escopo; 2) Análise de Inventário; 3) Avaliação de Impactos Ambientais; e 4) Interpretação. Na fase “Definição do Objetivo” da ACV indicam-se o objetivo do estudo, propriamente, sua justificativa e público-alvo, bem como a intenção de realizar comparações e dar publicidade ao estudo. A “Definição do Escopo” deve ser suficiente para garantir que a amplitude, a profundidade e o detalhamento do estudo sejam compatíveis e suficientes para atender aos seus objetivos. Inclui a definição dos seguintes elementos: sistema de produto² e suas fronteiras (Figura 1), função, unidade funcional³, procedimentos de alocação⁴, método de avaliação de impactos ambientais (AICV), requerimento de dados, pressupostos e limitações (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014a).

¹ Em estudos de ACV, o termo pesticida é adotado como sinônimo de agrotóxico. Pela legislação brasileira, consideram-se agrotóxicos e afins: a) os produtos e os agentes de processos físicos, químicos ou biológicos, destinados ao uso nos setores de produção, no armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas, nativas ou implantadas, de outros ecossistemas, e também de ambientes urbanos, hídricos e industriais, cuja finalidade seja alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos; b) substâncias e produtos, empregados como desfolhantes, dessecantes, estimuladores e inibidores de crescimento. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7802.htm.

² Sistema de produto: coleção de processos unitários com fluxos elementares e de produto, cumprindo uma ou mais funções definidas, e que modelam o ciclo de vida de um produto (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014a).

³ Unidade funcional: desempenho quantificado de um sistema de produto para uso como uma unidade de referência (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014a).

⁴ Alocação: fracionamento dos fluxos de entradas ou saídas de um processo ou um sistema de produto sob estudo e um ou mais outros sistemas de produto (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014 a).

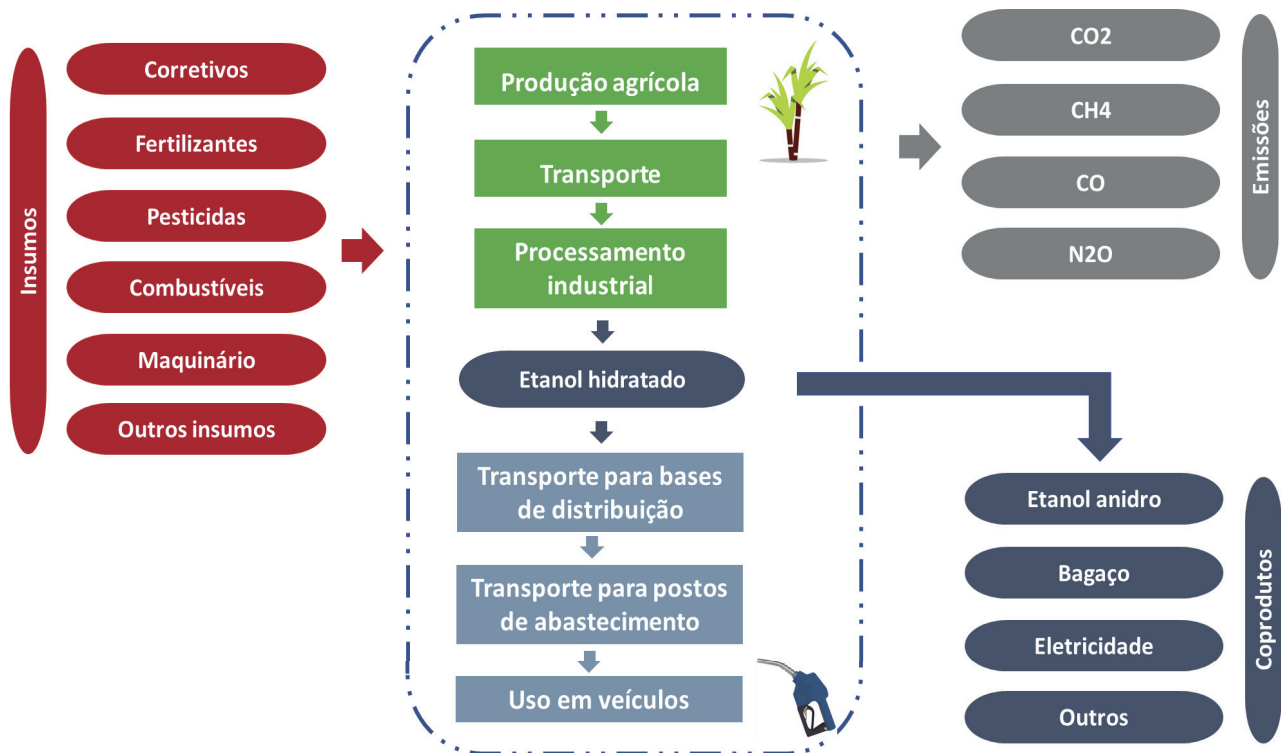


Figura 1. Fronteiras do sistema: exemplo para o etanol de cana-de-açúcar (elaborado por Mateus Chagas, Laboratório Nacional de Biorrenonáveis - LNBR, cedido aos autores).

A fase de “Análise de Inventário” envolve a coleta e o processamento de dados para quantificar correntes de entrada e saída de materiais e energia dos processos, ao longo do ciclo de vida do produto; enquanto na fase seguinte, de avaliação de impactos, avaliam-se a magnitude e a significância dos seus impactos ambientais potenciais. Por fim, na fase de “Interpretação”, os resultados são avaliados, gerando conclusões e recomendações (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014a).

Os Inventários de Ciclo de Vida (ICV) correspondem a conjuntos de inventários de processos unitários⁵, vinculados por um fluxo de referência⁶. O fluxograma (Figura 2) é o primeiro passo para a construção de um inventário de processo. Nele são apresentadas as etapas e indicados os fluxos de entrada e saída de material e energia. A quantificação desses fluxos resulta no inventário de processo (Figura 4). Em geral, os fluxos de entrada são dados primários (resultantes de levantamentos de dados junto ao gestor do processo) ou secundários (dados setoriais, estatísticos ou da literatura técnica e científica), e os fluxos de saída são estimados por modelos de diferentes graus de complexidade.

⁵ Processo unitário é o menor elemento considerado na análise de Inventário de Ciclo de Vida para o qual dados de entrada e saída são quantificados (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014 a).

⁶ Fluxo de referência é a medida das saídas de processos em um dado sistema de produto requerida para cumprir a função expressa pela unidade funcional (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014 a).

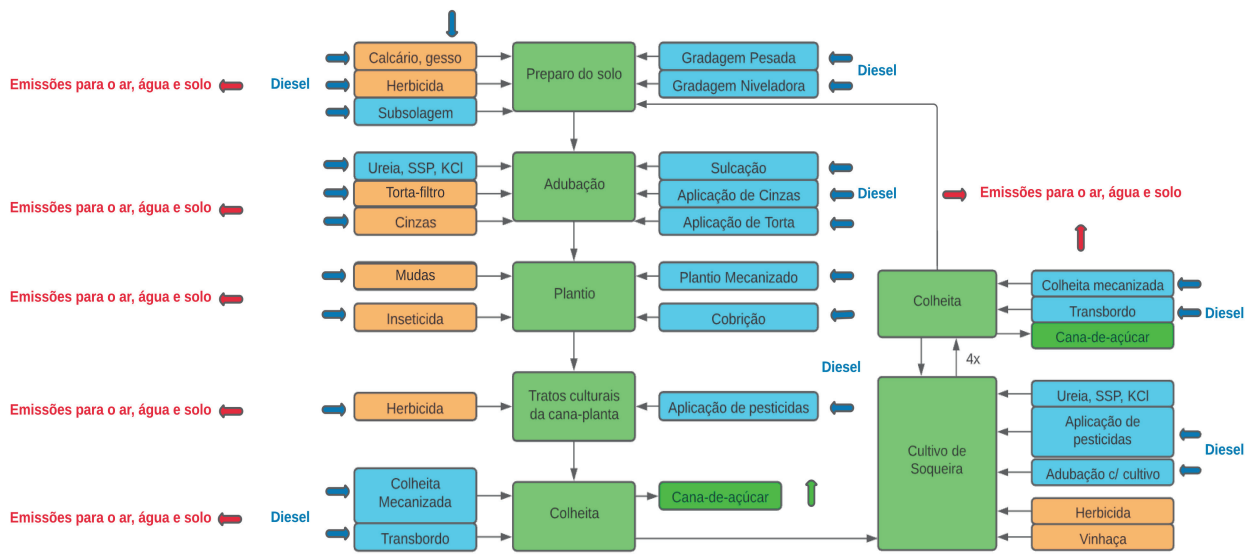


Figura 3. Fluxograma de processo: exemplo para a produção de cana-de-açúcar (elaborado por Juliana Picoli, Fundação Getúlio Vargas - FGV, cedida aos autores).

Os principais bancos de dados internacionais de inventários de ciclo de vida, como Ecoinvent, (World Food Life Cycle Assessment Database (WFLDB)), Agrifootprint e Agribalyse, publicam guias metodológicos que orientam as estimativas de emissões do sistema agrícola para meio ambiente (na ordem citada, Nemecek; Schnetzer, 2012; Nemecek et al., 2015; Van Paassen et al., 2019; Koch; Salou, 2020).



Ecoinvent 3.6 dataset documentation

sugarcane production - BR-SP

Exchange summary

[Back to table of content](#)

Reference products	Material for treatment	Byproduct classif.	Amount
sugarcane	no	allocatable product	1 kg
Inputs from technosphere			Amount
application of plant protection product, by field sprayer			1.75e-05 ha
ash, from combustion of bagasse from sugarcane			0.009 kg
fertilising, by rig fertiliser, sugarcane			9.98e-06 ha
fertilising, by stool splitter, sugarcane			3.09e-06 ha
field leveling, sugarcane			2.5e-06 ha
filter cake, from sugarcane juice filtration			0.0352 kg
furrow covering, sugarcane			8.91e-07 ha
furrowing, sugarcane			8.91e-07 ha
glyphosate			2.4e-06 kg
gypsum, mineral			0.00112 kg
harvesting, sugarcane			1.11e-05 ha
land use change, perennial crop			7.95e-06 ha
lime			0.00175 kg
limestone and gypsum application, by spreader			1.66e-06 ha
packaging, for fertilisers			0.011 kg
packaging, for pesticides			2.58e-05 kg
pesticide, unspecified			1.05e-05 kg
Inputs from technosphere			Amount
phosphate fertiliser, as P2O5			0.000356 kg
planting, sugarcane			1.61e-06 ha
potassium chloride, as K2O			0.0012 kg
sugarcane loading, by loader			1.39e-06 ha
sugarcane transfer, by dump cart			1.11e-05 ha
sugarcane vinasse application, by wheel reel irrigation			2.84e-06 ha
tap water			0.0112 kg
tillage, harrowing, by offset disk harrow			2.5e-06 ha
tillage, harrowing, by offset leveling disc harrow			2.5e-06 ha
tillage, subsoiling, by subsoiler plow			2.5e-06 ha
transport, tractor and trailer, agricultural			0.000241 ton*km
urea, as N			0.00107 kg
vinasse, from fermentation of sugarcane			0.529 kg
Inputs from environment			Amount
Carbon dioxide, in air			0.499 kg
Energy, gross calorific value, in biomass			4.95 MJ
Occupation, permanent crop, non-irrigated			0.139 m2*year
Transformation, from permanent crop, non-irrigated			0.00697 m2
Transformation, to permanent crop, non-irrigated			0.00697 m2
Emissions to air			Amount
Ammonia			0.000512 kg
Carbon dioxide, fossil			0.00251 kg
Carbon monoxide, non-fossil			0.00193 kg
Dinitrogen monoxide			6.14e-05 kg
Methane, non-fossil			5.67e-05 kg
NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin			0.000147 kg
Nitrogen oxides			6.51e-05 kg
Particulates, < 2.5 um			8.19e-05 kg
Particulates, > 2.5 um, and < 10um			0.000164 kg
Sulfur dioxide			8.4e-06 kg
Emissions to water			Amount
Cadmium, ion			7.77e-13 kg
Chromium, ion			9.64e-12 kg
Copper, ion			9.3e-12 kg
Lead			1.95e-11 kg
Nickel, ion			1.02e-11 kg
Nitrate			0.0027 kg
Phosphorus			3.8e-06 kg
Water			1.12e-05 m3
Zinc, ion			5.1e-11 kg
Emissions to soil			Amount
Cadmium			7.77e-09 kg
Chromium			9.63e-08 kg
Copper			9.3e-08 kg
Fipronil			4.99e-07 kg
Glyphosate			2.4e-06 kg
Lead			1.95e-07 kg
Nickel			1.02e-07 kg
Pesticides, unspecified			2.5e-06 kg
Emissions to soil			Amount
Sulfentrazone			7.49e-06 kg
Zinc			5.1e-07 kg

Figura 4. Inventário de processo: exemplo para a produção de 1 kg de cana-de-açúcar. Fonte: Ecoinvent (2021).

Dinâmica de pesticidas no meio ambiente

O destino dos pesticidas, após serem aplicados nas culturas agrícolas, bem como sua partição para os compartimentos ambientais, compreende processos complexos e interrelacionados (Figura 5). Entretanto, nos estudos de ACV várias abordagens têm sido empregadas, muitas delas extremamente simplistas.

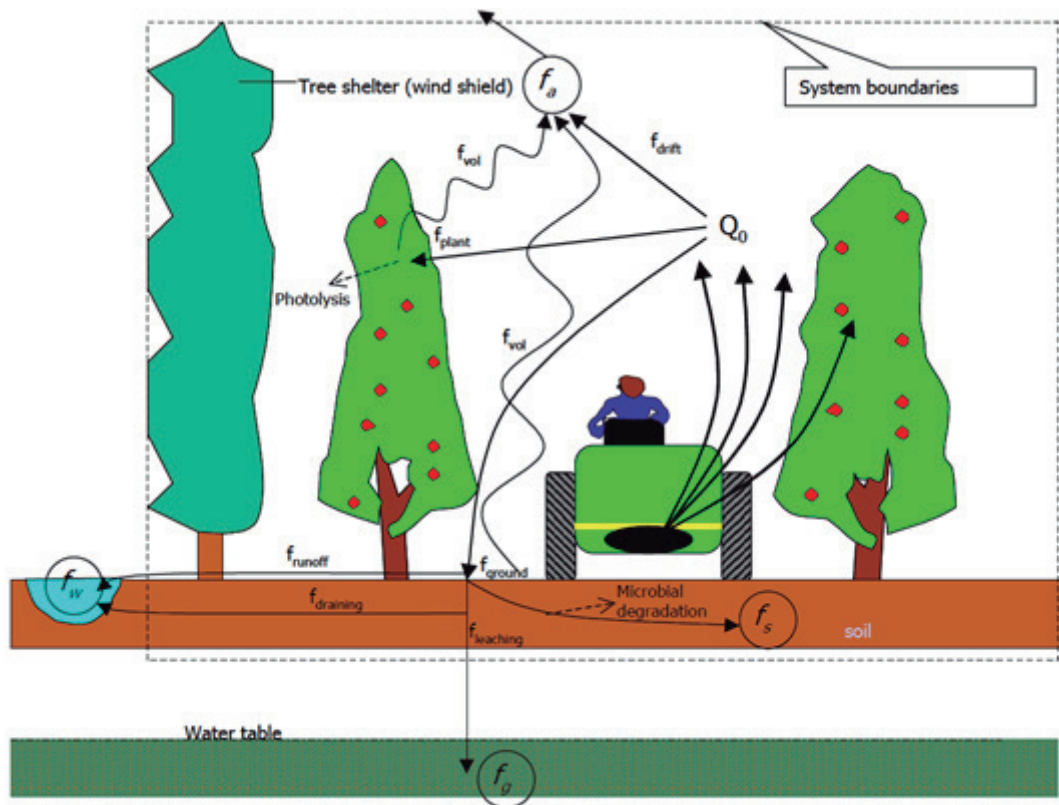


Figura 5. Rotas de dispersão seguintes à aplicação de pesticidas.

Frações de compartimento intermediário: f_{drift} : fração de pesticida perdida por deriva; f_{plant} : fração que alcança a superfície da planta; f_{ground} : fração que alcança a superfície do solo; f_{vol} : fração perdida por volatilização; f_{runoff} : fração perdida por escoamento para águas superficiais; $f_{draining}$: fração perdida por drenagem para águas superficiais; $f_{leaching}$: fração lixiviada para águas subterrâneas. Frações de compartimento final: f_a : fração de pesticida que alcança o ar; f_w : fração que alcança a superfície de cursos d'água; f_g : fração que alcança a água de subsolo; f_s : fração que permanece no solo. (Fonte: Canals, 2003).

Diferentes bancos de dados adotam diferentes premissas na partição dos pesticidas para os compartimentos ambientais, dados que são incorporados aos inventários de ciclo de vida. Os bancos Ecoinvent, WFLDB e Agribalyse indicam, como premissa, a atribuição das emissões totais dos pesticidas para o compartimento solo agrícola. Já o Agri-footprint propõe um fracionamento fixo dos pesticidas para os diferentes compartimentos ambientais: 90% para o solo, 9% para o ar e 1% para águas superficiais e subterrâneas. O modelo PestLCI, no entanto, atribui uma distribuição variável desses pesticidas para os diferentes compartimentos ambientais, levando em conta características químicas da molécula, método de aplicação e fatores de solo e clima (Tabela 1).

Tabela 1. Comparação do modelo de partição de pesticidas em diferentes bases de dados e modelos de Avaliação de Ciclo de Vida. (Adaptado de Fantke et al., 2019).

Compartimento Ambiental		Abordagem (% emitida para compartimento ambiental)									
		Ecoinvent	Neto et al. 2013 ¹	USLCI	USDA Ag-LCI	JALCA	WFLDB	Agribalyse MEANS	Agri-Footprint	PesLCI	PestLCI Consensus
Áreas Agrícolas	Solo agrícola	100	75	-	100	100	100	100	90	var. ²	var.
	Cultura	-	-	-	-	-	-	-	-	var.	var.
Fora do campo	Ar	-	-	~95	-	-	-	-	9	var.	var.
	Solo agrícola	-	-	-	-	-	-	-	-	-	var.
	Solo natural	-	-	-	-	-	-	-	-	-	var.
	Água superficial	-	-	~5	-	-	-	-	1	var.	var.
	Água subterrânea	-	-	-	-	-	-	-	-	var.	var.
	Outros	-	-	-	-	-	-	-	-	var.	var.

¹ Frações emitidas e fixadas especificamente para viticultura (Neto et al., 2013)

² Variável

A qualidade dos resultados da etapa de Avaliação de Impactos (AICV) de um estudo de ACV para as categorias de Ecotoxicidade e Toxicidade Humana é dependente de uma boa resolução na partição dos pesticidas nos diferentes compartimentos ambientais. Portanto, um adequado modelo de ICV contribuirá para resultados mais robustos nessas categorias, auxiliando uma tomada de decisão mais assertiva.

O modelo PestLCI Consensus v.1.0

O PestLCI Consensus v.1.0 é um modelo modular desenvolvido para estimar as emissões de pesticidas desde a aplicação no campo até os diferentes compartimentos ambientais. O modelo calcula as frações do pesticida aplicado que são emitidas para o ar, solo, águas de superfície e subterrânea, com base em informações específicas do cenário da aplicação, como: modo de aplicação, cultura e seu estágio de desenvolvimento no momento da aplicação, dados edafoclimáticos da área tratada, além das propriedades físico-químicas do pesticida (Birkved; Hauschild, 2006).

A estrutura modular da ferramenta possibilita que cada processo relacionado à dinâmica ambiental dos pesticidas tenha sua própria avaliação. Os módulos individuais calculam as frações de entrada do pesticida e o processo específico de destino ambiental, sempre considerando o princípio de conservação de massa. Essa estruturação do modelo apresenta várias vantagens, a saber: (i) permite que representem o estado da arte para aquele processo de destino específico e facilita as atualizações parciais, desde que os novos módulos introduzidos respeitem os requisitos de interface do restante do modelo; (ii) possibilita adaptações do modelo matemático a condições geográficas específicas, que influenciam alguns dos processos de destino; e (iii) nos casos em que dados de monitoramento estão disponíveis para um processo específico, estes também podem ser usados para calcular frações de destino que podem substituir o módulo relevante do modelo (Birkved; Hauschild, 2006).

As estimativas de emissões dos pesticidas para os compartimentos ambientais baseiam-se em dois conjuntos de distribuições. A distribuição inicial, ou primária, considera os processos iniciais logo após a aplicação do pesticida (perdas por deriva, deposição nas folhas e solo). Já a distribuição secundária, tendo como base os resultados da distribuição primária, integra os processos na superfície das folhas da cultura (degradação, volatilização, absorção pela planta) e solo (volatilização, degradação, lixiviação, escoamento). Como resultado da distribuição secundária, estima-se as frações de pesticida emitidas para o solo, ar, águas superficiais e subterrâneas e para os compartimentos das plantas (Dijkman et al., 2012).

Dependendo do objetivo e escopo de um estudo de ACV, o solo agrícola e as áreas do entorno podem ser considerados parte da ecossfera (meio ambiente) ou da tecnosfera (sistema de produção), o que influenciará os resultados. Como exemplo, a adoção do solo agrícola como ecossfera irá alterar as emissões do pesticida em estudo, uma vez que a fração estimada pelo modelo nesse compartimento ambiental será considerada na avaliação do impacto da ACV.

Comparado a outras abordagens de inventário do ciclo de vida, o modelo PestLCI Consensus v.1.0 permite integrar diversas especificidades do cenário em estudo e reflete o estado da arte na estimativa das emissões de pesticidas na ACV (Vázquez-Rowe et al., 2017). Nesse sentido, o modelo tem a capacidade de apontar variações dos padrões de emissão causados pelas propriedades dos pesticidas, condições edafoclimáticas e estratégias de manejo de pragas adotadas pelo agricultor, e é aplicável na avaliação do ciclo de vida de sistemas de produtos agrícolas (Dijkman et al., 2012).

Seleção e Caracterização dos Cenários de Produção Brasileiros para Inserção no PestLCI Consensus V.1.0

Definição das culturas agrícolas relevantes para inclusão de cenários brasileiros no modelo

Visando selecionar os cenários brasileiros de produção agrícola incluídos no modelo, representados pelas propriedades edafoclimáticas de uma determinada região, foi utilizada como critério a representatividade das culturas que, somadas, correspondem a pelo menos 70% de contribuição ao valor da produção agrícola brasileira. Essas informações foram obtidas utilizando-se os dados da Produção Agrícola Municipal (PAM) referente ao ano de 2018 (IBGE, 2020a), observando o valor da PAM das lavouras temporárias e permanentes. No primeiro levantamento foram selecionadas como culturas temporárias soja, milho, algodão e cana-de-açúcar (semi-perene), que representam 81,4% de contribuição no valor da produção das lavouras temporárias. Entre as culturas permanentes foram pré-selecionadas café, laranja, banana, uva e açaí, que somadas, representam 74,2% de contribuição do valor da produção das lavouras permanentes.

A partir desse critério selecionou-se, para serem caracterizadas e incluídas no modelo, as seguintes culturas: cana-de-açúcar (18,46%), soja (45,08%), milho (13,3%), algodão (4,52%), café (37,38%) e laranja (15,51%). Além da representatividade em termos de valor de produção, essas culturas também foram selecionadas pela intensidade de uso de pesticidas em seu ciclo produtivo.

Mesorregiões geográficas relevantes para as culturas selecionadas

Decidiu-se trabalhar com mesorregiões geográficas, que são unidades territoriais com características físicas, econômicas e sociais homogêneas (IBGE, 2020b). Para definir as mesorregiões representativas utilizou-se o critério de participação da mesorregião no valor de produção agrícola nacional das culturas anteriormente selecionadas. Para cada uma dessas culturas, identificaram-se as mesorregiões que, somadas, contribuíram com pelo menos 70% do valor de produção da cultura. Posteriormente, procedeu-se com a soma de todas as mesorregiões identificadas na análise por cultura e chegou-se ao total de 35 mesorregiões (Figura 6). Após definir as regiões relevantes, escolheu-se o principal município produtor de cada mesorregião (Tabela 2), com a finalidade de facilitar a identificação do solo representativo na base de dados correspondente, que será descrita em um tópico específico. O critério adotado foi a extensão maior de área plantada no ano de 2018, de acordo com os dados da PAM do IBGE (IBGE, 2020a).

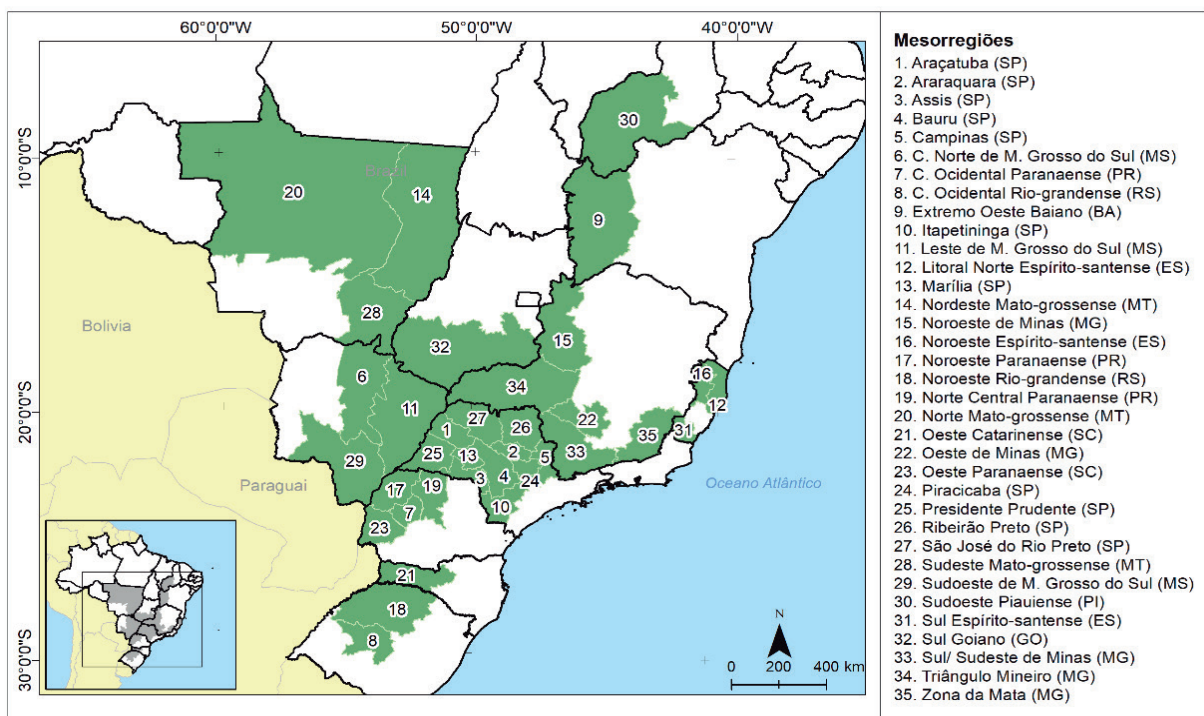


Figura 6. Mesorregiões geográficas que, somadas, contribuem com pelo menos 70% do valor de produção de cana-de-açúcar, soja, milho, algodão, café e laranja (IBGE, 2020b).

Tabela 2. Detalhamento das mesorregiões geográficas (IBGE, 2020b) que, somadas, contribuem com pelo menos 70% do valor de produção de cana-de-açúcar, soja, milho, algodão, café e laranja.

UF	Mesorregião	Área plantada na mesorregião	Código IBGE	Principal município produtor	Área plantada no município	% de área plantada do município em relação à mesorregião
BA	Extremo Oeste Baiano (BA)	2.261.910,0	2928901	São Desidério	593.314,0	26,2%
ES	Litoral Norte Espírito-santense (ES)	183.451,0	3203205	Linhares	46.385,0	25,3%
ES	Noroeste Espírito-santense (ES)	128.187,0	3205176	Vila Valério	16.137,0	12,6%
ES	Sul Espírito-santense (ES)	129.664,0	3203007	Iúna	15.894,0	12,3%
GO	Sul Goiano (GO)	4.689.245,0	5211909	Jataí	537.500,0	11,5%
MG	Noroeste de Minas (MG)	909.475,0	3170404	Unaí	233.122,0	25,6%
MG	Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba (MG)	2.401.896,0	3170107	Uberaba	219.609,0	9,1%
MG	Oeste de Minas (MG)	213.807,0	3105103	Bambuí	30.268,0	14,2%
MG	Sul/Sudoeste de Minas (MG)	858.363,0	3101607	Alfenas	36.683,0	4,3%
MG	Zona da Mata (MG)	286.095,0	3139409	Manhuaçu	19.324,0	6,8%
MS	Centro Norte de Mato Grosso do Sul (MS)	1.043.532,0	5007901	Sidrolândia	402.888,0	38,6%
MS	Leste de Mato Grosso do Sul (MS)	684.811,0	5003256	Costa Rica	187.968,0	27,4%
MS	Sudoeste de Mato Grosso do Sul (MS)	3.691.222,0	5005400	Maracaju	559.383,0	15,2%
MT	Norte Mato-grossense (MT)	10.056.829,0	5107925	Sorriso	1.093.515,0	10,9%
MT	Nordeste Mato-grossense (MT)	2.508.725,0	5107065	Querência	474.021,0	18,9%
MT	Sudeste Mato-grossense (MT)	2.268.585,0	5107040	Primavera do Leste	444.199,0	19,6%
PI	Sudoeste Piauiense (PI)	1.080.927,0	2201150	Baixa Grande do Ribeiro	247.687,0	22,9%
PR	Noroeste Paranaense (PR)	890.969,0	4100707	Alto Piquiri	57.602,0	6,5%
PR	Centro Ocidental Paranaense (PR)	1.129.878,0	4128005	Ubiratã	106.016,0	9,4%
PR	Norte Central Paranaense (PR)	1.884.221,0	4113700	Londrina	106.135,0	5,6%
PR	Oeste Paranaense (PR)	1.993.459,0	4104808	Cascavel	198.563,0	10,0%
RS	Noroeste Rio-grandense (RS)	4.419.343,0	4313706	Palmeira das Missões	146.592,0	3,3%
RS	Centro Ocidental Rio-grandense (RS)	990.678,0	4322202	Tupanciretã	168.245,0	17,0%
SC	Oeste Catarinense (SC)	643.890,0	4200101	Abelardo Luz	66.665,0	10,4%
SP	São José do Rio Preto (SP)	1.322.435,0	3500907	Altair	59.793,0	4,5%
SP	Ribeirão Preto (SP)	1.788.056,0	3531902	Morro Agudo	112.888,0	6,3%
SP	Araçatuba (SP)	683.489,0	3518206	Guararapes	52.019,0	7,6%
SP	Bauru (SP)	960.349,0	3521804	Itáí	62.643,0	6,5%
SP	Araraquara (SP)	483.215,0	3522703	Itápolis	53.606,0	11,1%
SP	Piracicaba (SP)	378.597,0	3538709	Piracicaba	54.081,0	14,3%
SP	Campinas (SP)	479.924,0	3510807	Casa Branca	60.972,0	12,7%
SP	Presidente Prudente (SP)	621.489,0	3542206	Rancharia	87.093,0	14,0%
SP	Marília (SP)	173.920,0	3540002	Pompéia	18.066,0	10,4%
SP	Assis (SP)	911.918,0	3546405	Santa Cruz do Rio Pardo	74.389,0	8,2%
SP	Itapetininga (SP)	450.264,0	3522406	Itapeva	166.205,0	36,9%

Levantamento de dados edafoclimáticos nas mesorregiões selecionadas

Solos

Para definir o solo representativo de cada mesorregião foram utilizados dados do Projeto MapBiomias do ano de 2018, coleção 4.1. (Souza Júnior et al., 2020), que consiste na classificação *pixel a pixel* de imagens dos satélites Landsat. Como resultado foram geradas informações anuais do uso e cobertura da terra de todo o território brasileiro, em base anual para o período entre 1984 e 2019 (Souza Júnior et al., 2020). Neste trabalho, na área de abrangência de agricultura, foram consideradas as classes “Agricultura anual e perene” e “Agricultura semi-perene”. Cabe ressaltar que o ano de 2018 foi escolhido por ter a informação mais atual disponível à época da execução deste trabalho.

Uma vez definida a área agrícola de cada mesorregião foi extraída a informação dos tipos de solo dessas áreas. Para tal, foi realizada a intersecção entre o plano de informação dos tipos de solo e das áreas agrícolas, derivadas do projeto MapBiomias, e o mapa pedológico do projeto de Mapeamento de Recursos Naturais (MRN) do IBGE, na escala 1:250.000. Destaca-se que, embora a apresentação do mapa pedológico e a interpretação das imagens tenham sido realizadas nessa escala, o conteúdo temático que condiz com a quantidade de pontos amostrais se refere a um levantamento pedológico na escala 1:1.000.000 (IBGE, 2018). A Figura 7 mostra de forma esquematizada a metodologia utilizada.

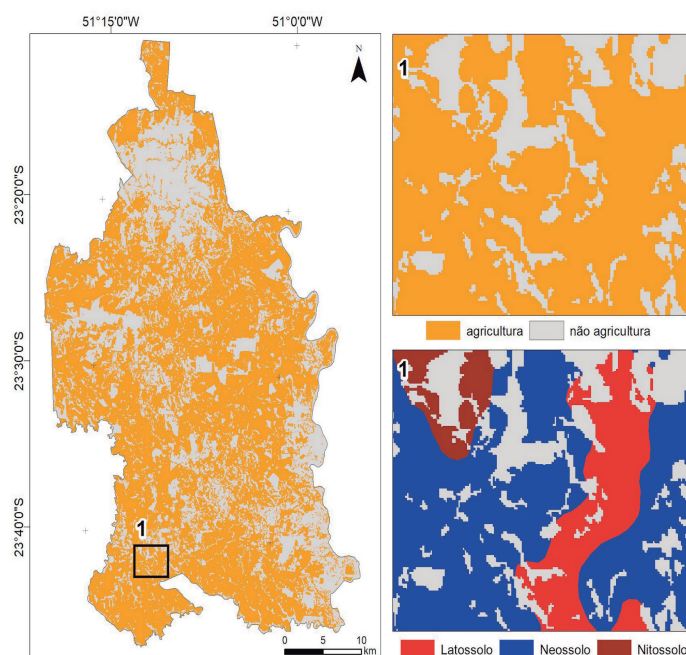


Figura 7. Esquematização da metodologia de identificação dos tipos de solo em áreas agrícolas no município de Londrina (PR), da mesorregião Norte Central Paranaense.

A partir do levantamento de solos das áreas de produção agrícola em cada uma das mesorregiões foi estabelecida a classe de solo com maior representatividade nessas áreas.

Os parâmetros de solo foram obtidos do Sistema de Informação de Solos Brasileiros, base de dados coordenada pela Embrapa, disponível em: <https://www.sisolos.cnptia.embrapa.br/>.

A partir da relação dos municípios mais representativos (maior área plantada) nas mesorregiões, realizou-se a busca na base de dados em ordem decrescente da área plantada, até identificar o perfil de solo representativo para cada mesorregião. Uma vez identificados os perfis de solo, levantaram-se os parâmetros demandados pelo PestLCI: densidade (valor médio dos horizontes até um metro, kg m^{-3}), número de horizontes dos solos até a profundidade de um metro e, para cada horizonte, os valores de pH, textura (% de argila, silte e areia) e teor de carbono orgânico (%).

Clima

Para atender a demanda do modelo PestLCI Consensus v.1.0, levantaram-se os seguintes parâmetros geográficos e climáticos das mesorregiões abrangidas no estudo: latitude e longitude (em graus L+, O-); elevação (m); temperatura média para cada mês do ano ($^{\circ}\text{C}$); precipitação total anual (mm); precipitação média nos dias chuvosos de cada mês do ano (mm); precipitação média anual em dias chuvosos (mm); frequência de chuvas (dia^{-1}) para cada mês do ano; frequência média de chuvas anual; evaporação potencial anual do solo (mm ano^{-1}). A tabulação constou dos valores médios mensais dos parâmetros, à exceção dos valores de evaporação do solo, que corresponderam ao valor acumulado no ano.

Para compilar os dados foram feitas consultas em três bases de dados climatológicos. A primeira base utilizada foi a *WorldClim*, que é um conjunto de dados climáticos mensais, entre 1970 e 2000, interpolados em resolução espacial de aproximadamente 1 km^2 (Fick; Hijmans, 2017), disponível em: <https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html>. Em seguida, as informações de média de dias de chuva ($> 1 \text{ mm}$) foram obtidas na base de dados compilada por Xavier et al. (2015). Esse conjunto de dados climáticos mensais, entre 1980 e 2013, foi interpolado em resolução espacial de aproximadamente $27,5 \text{ km}^2$.

Os valores de evaporação do solo foram obtidos na base de dados climatológicos *Global Land Evaporation Amsterdam Model – GLEAM* (Martens et al., 2016), disponível em: <https://www.gleam.eu/>, que apresenta um modelo que estima separadamente os componentes da evapotranspiração, entre eles a evaporação do solo. Os valores de evaporação do solo para entrada no modelo correspondem ao valor médio acumulado no ano. Esse conjunto de dados climáticos mensais, entre 1980 e 2020, foi interpolado em resolução espacial de aproximadamente $27,5 \text{ km}^2$.

Todos os parâmetros foram obtidos no formato *raster* e foram processados em ambiente de sistemas de informação geográficas (SIG). O processamento realizou operações do tipo *zonal*, onde em cada mesorregião foi tabulado o valor médio dos parâmetros, ou acumulado no ano. Assim, para cada mês do ano, as mesorregiões foram caracterizadas no contexto climatológico, exceto no parâmetro evaporação do solo. A frequência mensal de chuvas foi calculada pela razão entre o número de dias chuvosos no mês e o número de dias do mês.

Levantamento dos pesticidas utilizados nas culturas selecionadas

A partir de informações de pesquisa de mercado para aplicação de pesticidas (cedidas pela empresa BASF S.A) foram estabelecidas as moléculas de pesticida representativas para os cenários de produção selecionados. O critério para a seleção desses pesticidas foi o uso da área potencial tratada com essas substâncias para cada uma das seis culturas selecionadas. A escolha por esse critério, em detrimento da quantidade aplicada por área, deve-se a que, em geral, moléculas mais modernas normalmente são aplicadas em doses menores do que moléculas mais antigas, o que levaria a uma distorção da sua representatividade.

Foram determinados, portanto, os pesticidas que representaram 70% da área tratada para cada uma das culturas consideradas. Como o modelo PestLCI Consensus v.1.0 possui em sua base de dados um conjunto de moléculas já parametrizadas, foram aplicados filtros para excluir aquelas moléculas que se repetiam entre as culturas, e aquelas já presentes nas bases de dados do modelo. Encontraram-se 27 moléculas representativas dos sistemas de produção das culturas selecionadas no Brasil, para serem adicionadas às bases de dados do PestLCI (Tabela 3).

Tabela 3. Moléculas de pesticidas adicionadas ao modelo PestLCI Consensus v.1.0.

Molécula	Grupo Químico	Classe de uso
Abamectin	Avermectina	Inseticida/Acaricida
Acephate	Organofosforado	Inseticida/Acaricida
Acetamiprid	Neonicotinóide	Inseticida
Amicarbazone	Triazolinona	Herbicida
Benzovindiflupyr	Pirazol carboxamida	Fungicida
Beta cyfluthrin	Piretróide	Inseticida
Bifenthrin	Piretróide	Inseticida
Carbendazim	Benzimidazol	Fungicida
Carbosulfan	Metilcarbamato de benzofuranila	Inseticida/Acaricida/Nematicida
Chlorantraniliprole	Antranilamida	Inseticida
Diafenthiuron	Feniltioureia	Inseticida/Acaricida
Difenoconazole	Triazol	Fungicida
Epoxiconazole	Triazol	Fungicida
Ethiprole	Fenilpirazol	Inseticida
Fentin hydroxide	Organoestânico	Fungicida
Fludioxonil	Fenilpirrol	Fungicida
Fluxapyroxad	Carboxamida	Fungicida
Isoxaflutole	Isoxazol	Herbicida
Metalaxil-M	Acilalaninato	Fungicida
Paraquat	Bipiridílio	Herbicida
Picoxystrobin	Estrobilurina	Fungicida
Prothioconazole	Triazolinthione	Fungicida
Spinetoram	Espinosinas	Inseticida
Thiabendazole	Benzimidazol	Fungicida
Thiodicarb	Metilcarbamato de oxima	Inseticida
Thiophanate methyl	Benzimidazol	Fungicida
Triflumuron	Benzoilureia	Inseticida

Após a seleção, organizaram-se, para cada uma das moléculas, os dados necessários para sua caracterização no modelo PestLCI Consensus v.1.0, incluindo: nome, classe de uso (inseticida, fungicida ou herbicida), número no Chemical Abstracts Service (CAS), categoria química (ácido, base ou substância anfótera), fórmula "smiles" (Sistema de Entrada Simplificado), massa molecular (g/mol), solubilidade em água (g/l), pressão de vapor (Pa), constante de dissociação ácida (pKa), coeficiente de partição octanol/água (log Kow), coeficiente de Freundlich normalizado para carbono orgânico (Kfoc) ou, coeficiente de sorção normalizado para carbono orgânico (Koc), meia-vida em solo DT50 (dias). Esses dados foram obtidos a partir da consulta na *Pesticide Properties Data*

Base (PPDB⁸), base de dados desenvolvida pela *Agriculture & Environmental Research Unit* da Universidade de Hertfordshire. Os parâmetros de taxa de OH atmosférico para as moléculas foram obtidos na *National Library of Medicine* dos Estados Unidos⁷. Assumiu-se o valor de K_{foc} às moléculas para as quais não foi possível encontrar o valor específico de K_{oc}.

Uma vez consolidadas as bases de dados de cultura, solo, clima e pesticidas, conforme descrito anteriormente, os cenários foram inseridos no modelo PestLCI Consensus v.1.0. Dessa forma, o modelo pôde ser utilizado para a partição de pesticidas nos compartimentos ambientais, para a construção de inventários nas culturas e regiões brasileiras selecionadas.

Uso dos Cenários de Produção Brasileiros no PestLCI Consensus V.1.0

O modelo PestLCI Consensus v.1.0 (Figura 7) pode ser acessado na plataforma online da ferramenta, disponível em <https://pestlciweb.man.dtu.dk/>, disponibilizada apenas no idioma inglês.

Ao acessar a ferramenta é necessário criar um cadastro, com registro de e-mail e senha, para realizar o login no sistema.

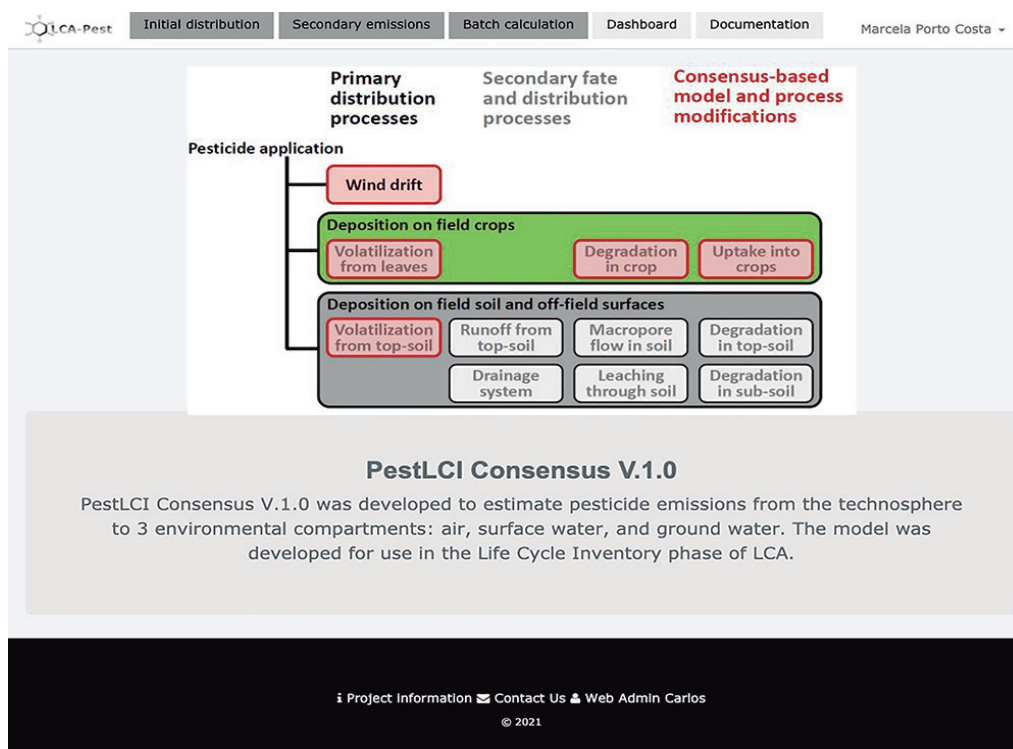


Figura 7. Interface de entrada do PestLCI Consensus v.1.0.

⁷ Disponível em: <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/index.htm>

⁸ Disponível em: <https://www.nlm.nih.gov/>

Para a navegação e uso do modelo, estão presentes diferentes abas na parte superior. A aba distribuição inicial (*Initial distribution*) oferece uma maneira genérica e simplificada de calcular a distribuição das emissões provenientes do uso de pesticidas para os compartimentos ambientais. Nessa aba, os dados específicos de clima e solo não são considerados. Na aba emissões secundárias (*Secondary emissions*) é possível selecionar os dados de solo e clima de todas as regiões específicas constantes na plataforma do PestLCI, incluindo as brasileiras. A opção de cálculo 'emissões secundárias' gera resultado automático para a distribuição inicial. A aba painel de bordo (*Dashboard*) mostra uma visão geral de todos os cálculos que o usuário gerou na ferramenta, e oferece oportunidade para a revisão de todos os parâmetros selecionados, sendo possível ainda exportar os dados das simulações geradas.

Simulação da partição de pesticidas nos compartimentos ambientais com o PestLCI Consensus v. 1.0

Distribuição inicial/primária (Initial distribution)

Ao gerar uma simulação de distribuição inicial (Figura 8) deve-se preencher as informações mandatórias, como o nome (título) do cálculo ou do projeto (p. ex. '*Exemplo 01: Soja*'). Esta identificação é necessária para recuperar os resultados posteriormente no painel de bordo (*Dashboard*). Em seguida deve-se selecionar o tipo de cultivo (*Crop type selection*). Por exemplo, a soja pertence à classe "*Oil-bearing crops*", enquanto que café e cana-de-açúcar pertencem à classe "*Other permanent crops*". No campo seguinte, o usuário necessita inserir a fração interceptada pela folha (*Fraction intercepted by leaf*), dada pela fase de desenvolvimento da cultura selecionada. Ao clicar nesse campo, o usuário obterá uma lista com opções, de acordo com a cultura selecionada e com a fase de seu desenvolvimento. A opção de solo descoberto (*Bare soil*) deve ser utilizada se o pesticida for aplicado em pré-emergência ou diretamente no solo. A diferenciação entre os sistemas de cultivo (convencional, plantio direto, etc.) é realizada em etapa que será descrita posteriormente.

Welcome to initial (primary) distribution calculation
Please select values and calculate

Mandatory user inputs (For calculating initial primary distribution)

Select your scenario

Title of your Calculation: ?
Exemplo 01: Soja

Crop type selection: ?
Oil-bearing crops

Fraction intercepted by leaf: ?
(kg/kg)

- 0
Bare soil - pre-emergence
- 0.2
Linseed I - leaf development
- 0.6
Linseed II - stem elongation
- 0.7
Linseed III - flowering/ripening
- 0.9
Linseed IV - senescence
- 0.4
Oilseed rape I - leaf development
- 0.8
Oilseed rape II - side shoots formation/stem elongation
- 0.9
Oilseed rape III - inflorescence emergence/ripening/senescence
- 0.2
Soybean I - leaf/harvestable plant parts development
- 0.6
Soybean II - side shoot and harvestable part development
- 0.9
Soybean III - inflorescence emergence/senescence
- 0.4

Information Contact Us Web Admin Carlos
© 2021

Figura 8. Cálculo de distribuição inicial (primária) e parâmetros de entrada necessários. Detalhe em fração interceptada pelas folhas.

Em seguida, deve-se escolher o modo de aplicação do pesticida no campo “*Application methods*” (Figura 9). Ao selecionar o método de aplicação, abre-se uma tabela, mostrando informações sobre deriva associada a esse método, e mostra, também, se há alguma técnica de redução de deriva. Caso o método inclua essa redução, o usuário deve selecionar o valor igual a 0% no próximo campo (porcentagem de redução de deriva). Caso contrário, o usuário deve selecionar o valor mais apropriado para a situação do seu estudo. Valores padrão (*standards*) são sugeridos nessa etapa.

Welcome to initial (primary) distribution calculation
Please select values and calculate

Mandatory user inputs (For calculating initial primary distribution)

Oil-bearing crops

Fraction intercepted by leaf: ?
0 (kg/kg)

Application methods: ?
Boom sprayer - conventional

Application ID	Application Name	Primary drift (%)	Drift reduction included?
5	Boom sprayer - conventional nozzle	10	No*

*Please select 0 % below if drift reduction included in application method, unless additional drift reduction applicable.
Drift reduction?: ?

0 ?
No, (0%) (kg/ha)
0.5 Yes, default (50%)
0.75 Yes, cross flow, air support axials (75%)
0.9 Yes, tunnels, shielded (90%) width: ?
0 (m)

Figura 9. Cálculo de distribuição inicial (primária) e parâmetros de entrada necessários. Detalhe em método de aplicação e porcentagem de redução de deriva.

A dose de aplicação deve ser reportada em massa do ingrediente ativo aplicado em kg ha^{-1} . Caso isto não aconteça o sistema assumirá a dose de 1 kg ha^{-1} , e os resultados obtidos estarão em função dessa dose. O usuário deve inserir detalhes sobre a existência de zona de amortecimento e tamanho da área sob análise, em metros. Como o Brasil possui legislação que estabelece as áreas de proteção permanente (APP) dos cursos d’água, o usuário pode optar em utilizar as dimensões da APP do sistema de produção em estudo. Essa informação é inserida no campo (*yes, ecosphere*) uma vez que a APP está localizada fora do talhão de cultivo. Caso haja uma zona de amortecimento dentro do talhão de cultivo, o usuário deve selecionar (*yes, technosphere*) e preencher o tamanho dessa zona em metros. Após preencher esses campos, o usuário pode gerar os resultados das emissões primárias para os compartimentos ambientais. Os resultados são automaticamente salvos no painel de bordo (*Dashboard*). Vale destacar que, ao final dessa etapa, o usuário já obtém parâmetros de saída que podem ser utilizados na etapa de avaliação do impacto; porém, o número de compartimentos ambientais estimados na distribuição inicial é menor quando comparado aos resultados alcançados com as estimativas obtidas na distribuição secundária.

Emissões secundárias (*Secondary emissions*)

A aba de emissões secundárias possui três seções. Dessas seções, a primeira é composta por dados mínimos necessários para executar o modelo referente a essa emissão mais completa, enquanto a segunda e terceira oferecem outros dados complementares de entradas e parâmetros que podem ser adaptados a partir dos valores- padrão já estabelecidos na ferramenta (Figura 10).

CA-Pest Initial distribution Secondary emissions Batch calculation Dashboard Documentation Marcela Porto Costa

Welcome to Secondary Emissions Calculation*

***Use of secondary emissions only for research purpose by expert practitioners**

Please select values and calculate

1. Mandatory user inputs (For running the model) +
2. Optional user Inputs (Default values given) +
3. Default model parameters (User adjustable) +

Calculate*

Project Information Contact Us Web Admin Carlos
© 2021

Figura 10. Preenchimento de dados da aba de cálculo de emissões secundárias. O preenchimento da seção 1 é obrigatório e o preenchimento das seções 2 e 3 é facultativo, podendo-se fazer uso de valores padrão sugeridos pela ferramenta.

Seção 1: Dados de entradas necessários para execução do modelo

É necessário o preencher todos os campos dessa seção para que o modelo seja executado. De maneira análoga à simulação primária, é necessário definir um título (*Title of your calculation*) que será utilizado para recuperar os resultados gerados. Na Figura 11 representa-se o cálculo feito para a soja produzida no norte do Mato Grosso (Soja_Norte_MT).

O próximo campo obrigatório é o tipo de substância (pesticida) utilizada. Para localizar a substância desejada na plataforma basta inserir as letras iniciais do nome da substância, e assim aparecerá uma lista de opções. Essas substâncias podem ser pesquisadas utilizando o número de registro do CAS. Dessa forma, aparecerá uma tabela com a substância selecionada, que detalha o número de registro, nome e classificação (Figura 11).

Initial distribution Secondary emissions Batch calculation Dashboard Documentation Marcela Porto Costa

Welcome to Secondary Emissions Calculation*

***Use of secondary emissions only for research purpose by expert practitioners**

Please select values and calculate

1. Mandatory user inputs (For running the model)

Title of your calculation: ?
Soja_Norte_MT

Search pesticide or CAS Registry Number: ?
gly

Pesticide name	Target class
glyphosate	herbicide*

intercepted by leaf if your pesticide target class is an herbicide and is not applied on your main crop

select the fraction intercepted by leaf and the application method here...

Insert a new Climate in the database

Calculate*

Project Information Contact Us Web Admin Carlos © 2021

Figura 11. Seção 1 da aba de cálculo de emissões secundárias, de preenchimento obrigatório. Identificação do estudo e busca dos pesticidas para simulação.

O próximo campo a ser preenchido é a classe do cultivo, da mesma maneira descrita anteriormente. O campo de fração de interceptação foliar (*Fraction intercepted by leaf*) mostrará várias opções de preenchimento, de acordo com a cultura e sua fase de desenvolvimento no momento da aplicação do pesticida. A opção de solo descoberto (*Bare soil*) deve ser selecionada se o produto for aplicado no solo previamente ao plantio ou em pré-emergência da cultura. Caso o produto seja aplicado na cultura, o valor adequado deve ser selecionado de acordo com a fase de desenvolvimento da cultura. O método de aplicação e a porcentagem de deriva de vento devem ser preenchidos de forma semelhante ao descrito anteriormente.

Em seguida, devem ser fornecidas informações sobre época de aplicação do pesticida (mês) e dados de clima e de solo da região de estudo. Para essa seleção estão disponíveis dados de clima e solos das 35 mesorregiões brasileiras descritas previamente. A nomenclatura dos climas e solos brasileiros está definida como: "USERDEFINED: Gov_Brazil_Nome da região no idioma inglês_tipo de clima/solo no idioma inglês" (Figura 12). As informações detalhadas de solo e clima de cada mesorregião, assim como os municípios que as compõem, podem ser obtidas em (<https://cloud.sede.embrapa.br/owncloud/s/JNLqtGwt8zKESDy>).

(Climate Id:16) Cwb (Temperate, dry winter, warm summer)
 (Climate Id:17) Cwc (Temperate, dry winter, cold summer)
 (Climate Id:18) Dfa (Continental without dry season, hot summer)
 (Climate Id:19) Dfb (Continental without dry season, warm summer)
 (Climate Id:20) Dfc (Continental without dry season, cold summer)
 (Climate Id:21) Dfd (Continental without dry season, very cold winter)
 (Climate Id:22) Dsa (Continental, dry and hot summer)
 (Climate Id:23) Dsb (Continental, dry and warm summer)
 (Climate Id:24) Dsc (Continental, dry and cold summer)
 (Climate Id:25) Dwa (Continental, dry winter and hot summer)
 (Climate Id:26) Dwb (Continental, dry winter and warm summer)
 (Climate Id:27) Dwc (Continental, dry winter and cold summer)
 (Climate Id:28) Dwd (Continental, dry and very cold winter)
 (Climate Id:29) EF (Polar, eternal winter (ice cap))
 (Climate Id:30) ET (Polar Tundra)
 (Climate Id:35) USERDEFINED.Beaucouzé oct2009-sept2012
 (Climate Id:37) USERDEFINED.ZH Affoltern
 (Climate Id:38) USERDEFINED.Neuchatel
 (Climate Id:39) USERDEFINED.Koppigen
 (Climate Id:41) USERDEFINED.Gov_Brazil_BA_Extreme West of Bahia_Aw
 (Climate Id:42) USERDEFINED.Gov_Brazil_ES_North Coast of Espirito Santo_Aw
 (Climate Id:43) USERDEFINED.Gov_Brazil_ES_Northwest of Espirito Santo_Aw
 (Climate Id:44) USERDEFINED.Gov_Brazil_ES_South of Espirito Santo_Cwa
 (Climate Id:45) USERDEFINED.Gov_Brazil_GO_Gov_Brazil_South of Goias_Aw
 (Climate Id:46) USERDEFINED.Gov_Brazil_MG_Northwest of Minas Gerais_Aw
 (Climate Id:47) USERDEFINED.Gov_Brazil_MG_West of Minas Gerais_Cwb
 (Climate Id:48) USERDEFINED.Gov_Brazil_MG_Triangulo Mineiro/Alto Paranaiba_Aw
 (Climate Id:49) USERDEFINED.Gov_Brazil_MG_South/ Southwest of Minas Gerais_Cwa
 (Climate Id:50) USERDEFINED.Gov_Brazil_MG_Zona da Mata_Cwa
 (Climate Id:51) USERDEFINED.Gov_Brazil_MT_Northeast of Mato Grosso_Aw
 ✓ (Climate Id:52) USERDEFINED.Gov_Brazil_MT_North of Mato Grosso_Aw
 (Climate Id:53) USERDEFINED.Gov_Brazil_MT_Southeast of Mato Grosso_Aw
 (Climate Id:54) USERDEFINED.Gov_Brazil_MS_Center Norte of Mato Grosso do Sul_Cwa
 (Climate Id:55) USERDEFINED.Gov_Brazil_MS_Southwest of Mato Grosso do Sul_Aw
 (Climate Id:56) USERDEFINED.Gov_Brazil_MS_East of Mato Grosso do Sul_Aw
 (Climate Id:57) USERDEFINED.Gov_Brazil_PI_Southwest of Piaui_Aw
 (Climate Id:58) USERDEFINED.Gov_Brazil_PR_Western Center of Parana_Cfa
 (Climate Id:59) USERDEFINED.Gov_Brazil_PR_Northwest of Parana_Cfa
 (Climate Id:60) USERDEFINED.Gov_Brazil_PR_North Center of Parana_Cfa
 (Climate Id:61) USERDEFINED.Gov_Brazil_PR_West of Parana_Cfa
 (Climate Id:62) USERDEFINED.Gov_Brazil_RS_Western Center of Rio Grande do Sul_Cfa
 (Climate Id:63) USERDEFINED.Gov_Brazil_RS_Northwest of Rio Grande do Sul_Cfa
 (Climate Id:64) USERDEFINED.Gov_Brazil_SC_West of Santa Catarina_Cfa
 (Climate Id:65) USERDEFINED.Gov_Brazil_SP_Aracatuba_Aw
 (Climate Id:66) USERDEFINED.Gov_Brazil_SP_Araraquara_Cwa
 (Climate Id:67) USERDEFINED.Gov_Brazil_SP_Assis_Cwa
 (Climate Id:68) USERDEFINED.Gov_Brazil_SP_Campinas_Cwa
 (Climate Id:69) USERDEFINED.Gov_Brazil_SP_Itapetininga_Cwa
 (Climate Id:70) USERDEFINED.Gov_Brazil_SP_Piracicaba_Cfa
 (Climate Id:71) USERDEFINED.Gov_Brazil_SP_Presidente Prudente_Aw
 (Climate Id:72) USERDEFINED.Gov_Brazil_SP_Ribeirao Preto_Aw
 (Climate Id:73) USERDEFINED.Gov_Brazil_SP_Sao Jose do Rio Preto_Aw
 (Climate Id:74) USERDEFINED.Gov_Brazil_SP_Bauru_Cwa

Primary drift (%)	Drift reduction included?
	No*

Additional drift reduction applicable.

Insert a new Climate in the database

Insert a new Soil in the database

Feb Admin Carlos

Figura 12. Nomenclatura das 35 mesorregiões brasileiras, com caracterização de solo e clima, disponíveis no PestLCI Consensus v1.0.

É possível inserir manualmente as especificações da região desejada, usando o botão à direita, porém é necessário inserir todas as informações solicitadas sobre o tipo de clima e solo. Após a seleção de clima e solo, a Seção 1 da aba de cálculo de emissões secundárias está concluída (Figura 13).

LCA-Pest Initial distribution Secondary emissions Batch calculation Dashboard Documentation Marcela Porto Costa ▾

Welcome to Secondary Emissions Calculation*

**Use of secondary emissions only for research purpose by expert practitioners*

Please select values and calculate

1. Mandatory user inputs (For running the model) -

(kg/kg)

Application methods: ?

Application ID	Application Name	Primary drift (%)	Drift reduction included?
2	Boom sprayer - standard flat fan - bare soil	10	No*

*Please select 0 % below if drift reduction included in application method, unless additional drift reduction applicable.

Drift reduction?: ?

Select climate: ?

Select Month of application: ?

Soil selection: ?

2. Optional user Inputs (Default values given) +

3. Default model parameters (User adjustable) +

Figura 13. Seção 1 preenchida. Nessa seção o preenchimento é obrigatório para cálculo de emissões secundárias no modelo. Dados de entrada necessários incluem: mês da aplicação do produto, e clima e solo da região de estudo. Dados específicos de solo ou clima podem ser inseridos manualmente nessa etapa.

Seção 2: Dados de entradas opcionais

Nessa seção é possível especificar dados de entrada de acordo com a área estudada, além disso, é possível inserir informações sobre zona de amortecimento, conforme detalhado para o cálculo de distribuição primária. Essa seção também possibilita a adaptação de entrada de dados de dose aplicada, tamanho da área de tratamento, especificações da área de cultivo, como, por exemplo, declividade, e verificar se houve alguma ação de preparo do solo (Figura 14). Vale destacar os parâmetros relacionados à drenagem (Depth of drainage e Drainage fraction), que apresentam valores estabelecidos pelo modelo e só devem ser preenchidos quando houver um sistema de drenagem instalado na área, o que não é comum no Brasil, diferentemente dos cenários europeus. Nos inventários onde não houver o sistema de drenagem o valor estabelecido pelo modelo deve ser ajustado para zero.

2. Optional user inputs (Default values given)

Setting running time for secondary pesticide emission

Time modelled between pesticide application and emissions: ?

(Days)

Dose applied

Dose applied in treated part of field: ?

(kg/ha)

No-spray buffer zone characteristics

Buffer zone present?: ?

If Buffer zone present, Buffer zone width: ?

(m)

If Buffer zone present, Pesticide fraction deposited on leaves in buffer zone: ?

(-)

Field characteristics

Field area: (m²) ?

(m) (m)

Slope: ?

(%)

Depth of drainage: ?

(m)

Drainage fraction: ?

(-)

Annual irrigation: ?

(mm/year)

Tillage Factor: ?

Figura 14. Seção 2 da aba de emissões secundárias. Preenchimento opcional. Caso os valores não sejam adaptados, o modelo leva em consideração valores padrão.

Seção 3: Parâmetros ajustáveis do modelo (preenchimento opcional)

Nesta seção é possível adaptar os parâmetros de cálculo do modelo de acordo com as especificidades desejadas. Caso esses parâmetros não sejam modificados, o sistema utilizará valores padrão para o cálculo (Figura 15).

3. Default model parameters (User adjustable)

Solid material density: ?

(kg/l)

Fraction Macropores: ?

(-)

Reference soil moisture content for soil biodegradation: ?

(-)

Response factor soil biodegradation rate on soil moisture content: ?

(-)

Q-Value: ?

(-)

Air boundary layer: ?

(m)

D(1am): ?

(m)

A(p, ref): ?

(-)

Figura 15. Seção 3 da aba de emissões secundárias: preenchimento opcional. Caso os valores não sejam modificados, o modelo leva em consideração valores padrão.

Resultados da distribuição primária e emissão secundária de pesticidas nos compartimentos ambientais com o PestLCI Consensus v.1.0

Ao finalizar o preenchimento dos dados obrigatórios (Seção 1) e opcionais (Seções 2 e 3), os cálculos podem ser realizados ao clicar no ícone *Calculate*. Os resultados serão mostrados em tabelas, com as emissões do pesticida para cada compartimento ambiental.

Ao simular as emissões secundárias e calcular os resultados, duas tabelas de resultados estarão disponíveis, uma com a distribuição inicial e outra com as emissões secundárias. Abaixo dos resultados, é possível conferir os parâmetros selecionados para o cálculo em *Information about inputs selected* (Figura 16). Nessa etapa, ainda é possível retornar e modificar os cálculos das emissões secundárias ou transferir o resultado para o painel de bordo (*Dashboard*). Todos os cálculos gerados na ferramenta são automaticamente salvos e ficam disponíveis para consulta no painel de bordo (Figura 17). Caso o usuário apague um dos resultados, a informação não poderá ser recuperada, sendo necessário inserir os dados novamente.

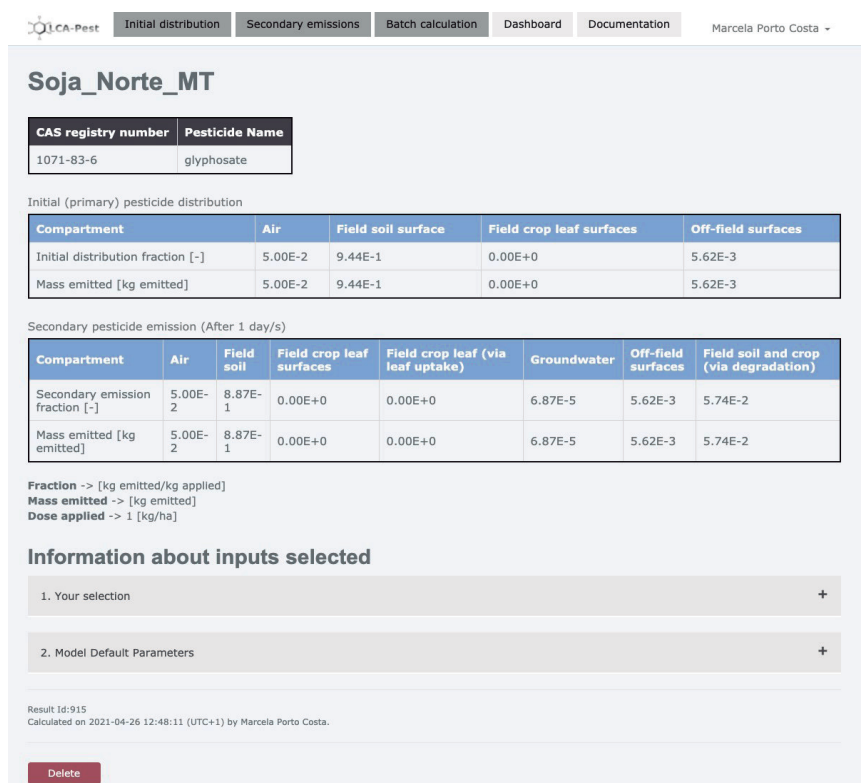


Figura 16. Resultados gerados para a distribuição inicial e emissões secundárias.

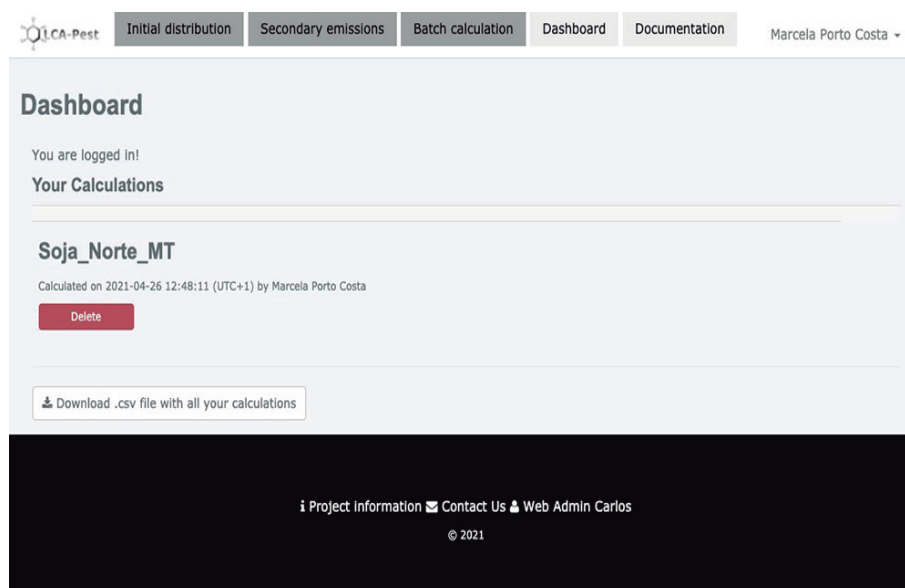


Figura 17. Painel de bordo (*Dashboard*) contendo todos os cálculos gerados pelo usuário.

Considerações Finais

A parametrização para os sistemas agrícolas tropicais do PestLCA Consensus v.1.0 representa um grande avanço para os estudos de impacto ambiental por meio da ACV. Neste trabalho, foram considerados os principais cenários da produção agrícola brasileira, os quais foram caracterizados em termos físicos e disponibilizados na base de dados do modelo para os usuários da ACV.

Ao mesmo tempo em que proporciona a redução das incertezas relativas à avaliação do impacto dos pesticidas sobre a saúde humana e meio ambiente, o modelo PestLCA se apresenta como uma ferramenta viável do ponto de vista operacional, mesmo para os usuários sem experiência no tema.

Para os profissionais da área de ACV, a ferramenta proporciona a geração de inventários mais qualificados e, por consequência, de resultados mais consistentes de impactos ambientais potenciais, particularmente quanto às categorias ecotoxicidade e toxicidade humana.

A correta representação da dinâmica de pesticidas nos solos e climas tropicais do Brasil proporcionará um ganho de qualidade nas informações, trazendo subsídios para o desenvolvimento de tecnologias mais seguras e para a construção de políticas públicas e programas de racionalização do uso desses compostos, contribuindo para a sustentabilidade na produção de alimentos e, conseqüentemente, para a competitividade do agronegócio brasileiro.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040**: gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida - princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2014a. 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14044**: gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida: requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2014b.

BIRKVED, M.; HAUSCHILD, M. Z. PestLCI: a model for estimating field emissions of pesticides in agricultural LCA. **Ecological Modelling**, v. 198, n. 3-4, p. 433-451, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.05.035>.

CANALS, L. M. **Contributions to LCA methodology for agricultural systems**. 2003. 250 f. Tesis (Doutorat en Ciències Ambientals) – Unitat de Química Física del Departament de Química de la Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona.

DIJKMAN, T. J.; BIRKVED, M.; HAUSCHILD, M. Z. PestLCI 2.0: a second generation model for estimating emissions of pesticides from arable land in LCA. **The International Journal Of Life Cycle Assessment**, v. 17, n. 8, p.973-986, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-012-0439-2>.

ECOINVENT. **Ecoinvent 3.7.1 dataset documentation**: sugarcane production – BR-SP. Disponível em: <https://www.ecoinvent.org/database/ecoinvent-371/ecoinvent-371.html>. Acesso em: 15 jun. 2021.

FANTKE, P.; MELERO, C.; GENTIL, C.; NEMECEK, T.; RENAUD, C.; ANTÓN, A. **Set of improved and documented pesticide emission models for use in LCA and guidance on fate modelling**. 2019. Disponível em: <https://www.sustainability.man.dtu.dk/english/research/qa/research/research-projects/olca-pest>. Acesso: 25 ago. 2021.

FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 12, p. 4302-4315, 2017.

IBGE. Diretoria de Geociências Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Mapeamento de Recursos Naturais do Brasil**: escala 1:250.000: documentação técnica geral. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geologia/levantamento_geologico/vetores/escala_250_mil/DOCUMENTACAO_TECNICA_MRN.pdf. Acesso em: 17 ago. 2020.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal**. Rio de Janeiro, 2020a. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 3 mar. 2020.

IBGE. **Malha municipal 2018**. Rio de Janeiro, 2020b. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/malhas_territoriais/malhas_municipais/municipio_2018/Brasil/BR/br_municipios.zip. Acesso em: 9 mar. 2020.

KOCH, P.; SALOU, T. **AGRIBALYSE®**: rapport méthodologique: volet agriculture - version 3.0. Angers: Ademe, 2020. 319 p.

MARTENS, B.; MIRALLES, D. G.; LIEVENS, H.; VAN DER SCHALIE, R.; DE JEU, R. A. M.; FERNÁNDEZ-PRIETO, D.; BECK, H. E.; DORIGO, W. A.; VERHOEST, N. E. C. GLEAM v3: satellite-based land evaporation and root-zone soil moisture. **Geoscientific Model Development**, v. 10, p. n. 5, p. 1903-1925, 2017.

NEMECEK, T.; BENGUA, X.; LANSCH, J.; MOURON, P.; RIEDENER, E.; ROSSI, V.; HUMBERT, S. **Methodological guidelines for the life cycle inventory of agricultural products** - version 3.0. Lausanne: World Food LCA Database: Quantis, 2015. 88 p.

NEMECEK, T.; SCHNETZER, J. **Methods of assessment of direct field emissions for LCIs of agricultural production systems**. Zurich, Data v3.0, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Freddy-Navarro-Pineda/post/How_to_easily_predict_the_leaching_of_heavy_metals_from_soils/attachment/59d61f9d79197b807797e0dc/AS%3A285638185242630%401445112858480/download/ART+2012+-+Methods+of+assessment+of+direct+field+emissions+for+agricultural+systems.pdf. Acesso em: 3 mar. 2020.

SOUZA JÚNIOR, C. M.; SHIMBO, J. Z.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; ALENCAR, A. A.; RUDORFF, B. F.; HASENACK, H.; MATSUMOTO, M.; FERREIRA, L. G.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; OLIVEIRA, S. W.; ROCHA, W. F.; FONSECA, A. V.; MARQUES, C. B.; DINIZ, C. G.; COSTA, D.; MONTEIRO, D.; ROSA, E. R.; VÉLEZ-MARTIN, E.; WEBER, E. J.; LENTI, F. E. B.; PATERNOST, F. F.; PAREYN, F. G. C.; SIQUEIRA, J. V.; VIERA, J. L.; FERREIRA NETO, L. C.; SARAIVA, M. M.; SALES, M. H.; SALGADO, M. P. G.; VASCONCELOS, R.; GALANO, S.; MESQUITA, V. V.; AZEVEDO, T. Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, p. 2735, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12172735>.

VAN PAASSEN, M.; BRACONI, N.; KULING, L.; DURLINGER, B.; GUAL, P. **Agri-footprint 5.0: part 2: description of data**. Gouda: Agri-footprint, 2019. 130 p. Disponível em: <https://www.agri-footprint.com/wp-content/uploads/2019/11/Agri-Footprint-5.0-Part-2-Description-of-data-17-7-2019-for-web.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2020.

VÁZQUEZ-ROWE, I.; TORRES-GARCÍA, J. R.; CÁCERES, A. L.; LARREA-GALLEGOS, G.; QUISPE, I.; KAHHAT, R. Assessing the magnitude of potential environmental impacts related to water and toxicity in the Peruvian hyper-arid coast: A case study for the cultivation of grapes for pisco production. **Science of the Total Environment**, v. 601-602, p. 532-542, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.221>.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980–2013). **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 6, p. 2644-2659, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.4518>.

Embrapa

Meio Ambiente

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL