



## Perfil Ambiental e Pegada de Carbono do Amendoim do Estado de São Paulo



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

**BOLETIM DE PESQUISA  
E DESENVOLVIMENTO  
94**

**Perfil Ambiental e Pegada de Carbono do  
Amendoim do Estado de São Paulo**

*Nilza Patrícia Ramos  
Anna Leticia Montenegro Turtelli Pighinelli  
Dartanhã José Soares  
Vinícius Gonçalves Maciel  
Marcos Doniseti Michelotto  
Gustavo Bayma  
Marília Ieda da Silveira Folegatti Matsuura*

**Embrapa Meio Ambiente  
Jaguariúna, SP  
2023**

**Embrapa Meio Ambiente**  
Rodovia SP-340, Km 127,5, Tanquinho Velho  
Caixa Postal 69, CEP: 13918-110, Jaguariúna, SP  
Fone: +55 (19) 3311-2610  
Fax: +55 (19) 3311-2640  
[www.embrapa.br/meio-ambiente/](http://www.embrapa.br/meio-ambiente/)  
[www.embrapa.br/fale-conosco/sac](http://www.embrapa.br/fale-conosco/sac)

Comitê Local de Publicações  
da Embrapa Meio Ambiente

Presidente  
*Janaina Paula Marques Tanure*

Secretário-Executivo  
*Anderson Soares Pereira*

Membros  
*Janaina Paula Marques Tanure, Cristiano Menezes, Aline Telles Biasoto Marques, Alfredo José Barreto Luiz, Marcos Eliseu Losekann, Maria Cristina Tordin, Maria de Cléofas Faggion Alencar, Nilce Chaves Gattaz, Priscila de Oliveira, Sonia Claudia do Nascimento de Queiroz e Victor Paulo Marques Simão*

Revisão de texto  
*Eliana de Souza Lima*

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

Projeto gráfico  
*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Editoração eletrônica  
*Silvana Cristina Teixeira*

Arte da capa  
*Silvana Cristina Teixeira*

**1ª edição eletrônica**  
2023

**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

---

Perfil ambiental e pegada de carbono do amendoim do Estado de São Paulo  
/ Nilza Patrícia Ramos [et al...]. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2023.

PDF (54p.) : il. - (Boletim de Pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Meio Ambiente, e-INSS 2965-7326; 94).

1. Pegada ambiental 2. Amendoim 3. Pegada de carbono I. Ramos, Nilza Patrícia. II. Pighinelli, Anna Leticia Montenegro Turtelli. III. Soares, Dartanhã José. IV. Maciel, Vinícius Gonçalves. V. Michelotto, Marcos Doniseti. VI. Bayma, Gustavo. VII. Matsuura, Marília Ieda da Silveira Folegatti. VIII. Título. IX. Série.

CDD (21 ed.) 633.368

---

*Maria de Cléofas Faggion Alencar, CRB-8/1658*

© Embrapa, 2023

## Sumário

---

|                              |    |
|------------------------------|----|
| Resumo .....                 | 5  |
| Abstract .....               | 7  |
| Introdução.....              | 8  |
| Material e Métodos .....     | 12 |
| Resultados e Discussão ..... | 18 |
| Considerações Finais .....   | 47 |
| Conclusões.....              | 48 |
| Agradecimentos.....          | 48 |
| Referências .....            | 49 |

# Perfil Ambiental e Pegada de Carbono do Amendoim do Estado de São Paulo

Nilza Patrícia Ramos<sup>1</sup>

Anna Leticia Montenegro Turtelli Pighinelli<sup>2</sup>

Dartanhã José Soares<sup>3</sup>

Vinícius Gonçalves Maciel<sup>4</sup>

Marcos Doniseti Michelotto<sup>5</sup>

Gustavo Bayma<sup>6</sup>

Marília Ieda da Silveira Folegatti Matsuura<sup>7</sup>

**Resumo** - O acesso aos mercados mais seletivos e de alto valor agregado exige cuidados com a qualidade dos produtos e, mais recentemente, com os impactos sobre os recursos ambientais. O amendoim produzido em São Paulo (87% do volume nacional) possui vários tipos de certificados de qualidade de produto, de cumprimento de regras de conduta empresariais e de termos legais, porém quase não dispõe de informações sobre o seu perfil ambiental, incluindo a pegada de carbono. Para atender essa lacuna, a presente pesquisa teve como objetivos identificar os sistemas de produção agrícola e industrial típicos do amendoim do estado de São Paulo e estimar o seu perfil ambiental e sua pegada de carbono (PC), em uma perspectiva do seu Ciclo de Vida. O estudo foi conduzido considerando o amendoim em vagem/casca (após colheita em campo e ainda sem processamento) e o blanchado (processado e sem película). Os inventários de ciclo de vida (ICV) foram construídos usando modelos de emissões (gases de efeito estufa, contaminantes e outras) adaptados para o Brasil (ICVCalc e BRLUC) e o perfil ambiental determinado usando o software Simapro®. Os

---

<sup>1</sup> Engenheira-agrônoma, doutora em Engenharia Agrícola, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

<sup>2</sup> Engenheira-agrícola, doutora em Engenharia Agrícola, analista da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

<sup>3</sup> Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitopatologia, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

<sup>4</sup> Químico Industrial, bolsista da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

<sup>5</sup> Engenheiro-agrônomo, doutor em Entomologia Agrícola, pesquisador do Instituto Agronômico, Campinas, SP.

<sup>6</sup> Geógrafo, mestre em Sensoriamento Remoto, analista da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

<sup>7</sup> Zootecnista, doutora em Tecnologia de Alimentos, pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP.

resultados apontaram que o amendoim produzido em São Paulo é de 1ª safra, combinado com a reforma da cana-de-açúcar e reforma da pastagem. O ICV gerado foi depositado na base internacional Ecoinvent e mostrou que o uso de fertilizantes e corretivos seguiu as recomendações agrônômicas, enquanto o uso de pesticidas e diesel foi superior ao de outras culturas de grãos brasileiras. O perfil ambiental do amendoim, avaliado por ACV, teve maior impacto negativo nas categorias de Ecotoxicidade de Água Doce e Terrestre, devido ao uso de pesticidas que mitigam as perdas ocasionadas por pragas e doenças. A categoria Mudanças Climáticas, que representa a PC, apresentou valor de 0,62 kg de CO<sub>2</sub>eq por kg de amendoim em vagem/casca e 0,67 kg de CO<sub>2</sub>eq por kg de amendoim blanchado. A PC do amendoim em vagem/casca típico paulista foi 119% inferior à média mundial, que é usada como referência pelos países que não possuem produtos caracterizados em bancos de dados internacionais de ICV ou publicações de referência. Como o ICV do estado de São Paulo está agora na base de dados Ecoinvent, seu uso pode melhorar a percepção dos mercados consumidores a respeito da sustentabilidade deste produto.

**Termos para indexação:** *Arachis hypogaea* L., sustentabilidade, Avaliação de Ciclo de Vida.

## Environmental Profile and Carbon Footprint of Peanuts from São Paulo State

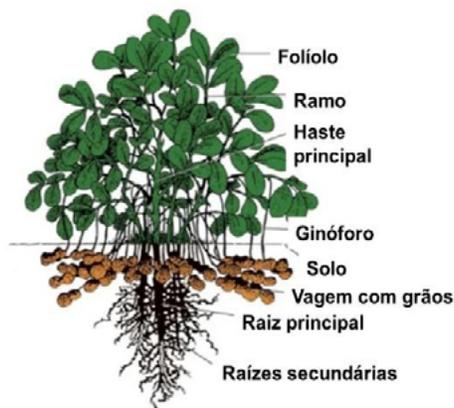
**Abstract** - Currently, quality and sustainability certificates are required to access more selective and value-added markets. The peanut produced at São Paulo state (87% of the national volume) has several compliance and product quality certificates, but still there is a lack of information about its environmental profile and carbon footprint (CF). To fill this gap, the present research aimed to identify the typical agricultural and industrial production systems of peanuts in São Paulo state and quantify their environmental profile, including carbon footprint, in a Life Cycle Assessment (LCA) perspective. The study was conducted considering peanuts in pod/shells (after harvest and before being processed) and blanched (processed and without pel). Life Cycle Inventories (LCI) were constructed using emission models (climate change gases, contaminants and others) adapted to Brazilian conditions (ICVCalc and BRLUC) and the environmental profile determined the use of the Simapro® software. The results showed that the peanut produced at São Paulo state, was grown in its 1st crop peanut production system, in areas of sugarcane reform, followed by pasture reform. LCI obtained in this study was offered and accepted by Ecoinvent database and it pointed that the use of fertilizers and correctives followed agronomical recommendation, while the consumption of diesel and pesticides were higher than other similar crops. The environmental profile of peanut, evaluated by LCA, was most impacted in the Freshwater and Terrestrial Ecotoxicity categories than others due to the use of pesticides that mitigate losses caused by pests and diseases. The Climate Change category, which represents the CF, showed a value of 0.62 kg of CO<sub>2</sub>eq per kg of peanut in pod/shell, and 0.67 kg of CO<sub>2</sub>eq per kg of blanched peanut. The CF for typical São Paulo peanut pod/shell was 119% lower than the world average, which is used as a reference for products not characterized in the international ICV databases or specialized literature. Now, as peanut LCI for São Paulo state is published in the Ecoinvent database, the results can improve the market and consumers perception about sustainability of this product.

**Index terms:** *Arachis hypogaea* L., sustainability, Life Cycle Assessment.

## Introdução

A produção mundial de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) em casca foi de 53,6 milhões de toneladas, na safra 2020, sendo a China e a Índia os maiores produtores, com 34% e 19% deste total, respectivamente (FAOSTAT, 2022). Neste cenário, o Brasil ocupa a 13ª posição, com produção de 651 mil toneladas, concentrada, principalmente, no estado de São Paulo, que contribui com 569 mil toneladas, entre 1ª e 2ª safras (CONAB, 2022) e com uma receita de R\$2,4 bilhões, em 2020 (Federação das Indústrias do Estado de São Paulo, 2021).

A planta de amendoim é peculiar pela localização das flores na parte aérea e dos frutos (tipo legume) e grãos abaixo do solo, junto ao sistema radicular (Figura 1), o que exige maquinário próprio e maior movimentação do solo para colheita (Veiga et al., 1986). Seu cultivo é adaptado aos trópicos, tendo em vista a origem Sul-Americana, com cultivo predominante em regiões de latitude até 30° N e S (Nogueira; Tavora, 2005). Para um desenvolvimento satisfatório são necessários cerca de 600 mm de água, distribuídos ao longo do ciclo de desenvolvimento, que dura entre 100-150 dias (Giller; Silvestre, 1970), mas para altas produtividades os volumes devem ser superiores a 510-710 mm (Boote et al., 1982).



**Figura 1.** Partes da planta do amendoim

Fonte: Imagem adaptada de <https://jimmycarter.info/teaching-tools/peanuts/>

O consumo *in natura* e a confeitaria são os principais destinos do amendoim mundial (Bonku; Yu, 2020), que é apreciado pela qualidade e alto teor de óleo (45-53%), mas também se produz torta, farelo, óleo comestível, briquetes e outros produtos usados na alimentação animal (Pereira; Ignácio, 2019). Nos últimos anos, houve uma valorização no seu consumo promovida pela melhoria na qualidade do óleo, que passou a ter um perfil de alto oleico, ou seja, de alto teor de ácido oleico, que ampliou sua “vida de prateleira” (Godoy, 2023).

No Brasil, e especialmente no estado de São Paulo, a comercialização *in natura* é equilibrada entre o mercado interno e externo (Federação das Indústrias do Estado de São Paulo, 2021) e os demais produtos se destinam, basicamente, ao consumo interno. A elevada exportação *in natura* deve-se ao aumento sistemático da qualidade dos grãos, associado às melhores práticas e investimentos na etapa de armazenamento e também na produção em campo (Sampaio, 2016), garantindo maior segurança à saúde humana, além de alto rendimento.

O acesso aos mercados mais seletivos e de maior valor agregado exige não só os cuidados extras com a produção agrícola e o processamento industrial do amendoim, mas a comprovação do uso de boas práticas. A certificação do produto é uma alternativa valiosa, pois garante a rastreabilidade e a transparência das práticas adotadas ao longo da cadeia produtiva, melhorando a competitividade dos produtos. Diversas empresas no setor de amendoim estão organizadas e possuem vários certificados de qualidade de produto e de cumprimento de regras de conduta empresariais e de termos legais. Entretanto, com o aumento das pressões relativas às mudanças climáticas, os mercados estão exigindo a pegada de carbono (PC) dos produtos adquiridos e, com isso, as empresas passaram a se preocupar com mais este parâmetro diferenciador de exportação.

Para a estimação da PC adota-se a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) (International Organization for Standardization, 2018). Com ela, avaliam-se 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 do produto, desde a extração de recursos naturais, incluindo os processos de transformação e de transporte até a disposição final do produto. Essa técnica é normatizada pela ISO 14040:2006 e ISO

14044:2006 (International Organization for Standardization, 2006a, 2006b). A PC, especificamente, é normatizada pela ISO 14067:2018 (International Organization for Standardization, 2018).

O uso da ACV para produtos agrícolas consolidou-se, nos últimos anos, como uma reconhecida e sólida ferramenta para apoiar o desenvolvimento sustentável, com trabalhos envolvendo várias culturas como trigo (Charles et al., 2006; Wang et al., 2007), cana-de-açúcar (Chagas et al., 2015), amendoim americano (MacCarty et al., 2014), coco-babaçu (Souza Junior et al., 2020a) e sistemas mais complexos como soja-girassol em safra-safrinha (Matsuura et al., 2017), que caracterizam melhor os sistemas de produção de grãos brasileiros. Nesses sistemas de sucessão e rotação de culturas, geralmente há compartilhamento de operações e insumos, que resultam em maior eficiência de produção e, em geral, ganhos de produtividade. Entretanto, não há relatos de estudos de ACV envolvendo a cultura do amendoim no Brasil.

No caso do estado de São Paulo, que historicamente é cultivado em arrendamento de áreas de reforma de cana-de-açúcar e pastagens (Lourenzani; Lourenzani, 2009), a produção agrícola do grão se beneficia da integração, que se reflete em eficiência produtiva. A integração com cana-de-açúcar é bastante adotada no estado de São Paulo, ocorrendo nas principais regiões produtoras que englobam os municípios de Jaboticabal, Ribeirão Preto, Marília, Lins, Presidente Prudente, Tupã, Catanduva e São José do Rio Preto com ocupação mútua de terras. Essa dinâmica beneficia tanto os produtores de amendoim, que migram frequentemente para novas áreas, o que reduz problemas fitossanitários, quanto os produtores de cana-de-açúcar, que aproveitam os nutrientes ciclados pelo amendoim (Ambrosano et al., 2011). Essa situação também ocorre em áreas de pastagem, principalmente nas regiões que envolvem os municípios de Marília, Lins, Presidente Prudente e Tupã.

A mecanização mais intensiva é uma característica dos sistemas atuais, em relação aos adotados no passado, além do uso de materiais genéticos de alta produtividade, ciclo curto e porte rasteiro (Lourenzani; Lourenzani, 2009). Esse pacote tecnológico, adotado no estado, trouxe agilidade e eficiência, mas também aumentou perdas na colheita, com grandes desafios de regulagens de máquinas (Wessler et al., 2007; Roberson, 2009), assim como o maior consumo de combustíveis fósseis (diesel). O uso de genótipos

de alto rendimento e porte rasteiro, ao mesmo tempo que aumentou a competitividade do produto brasileiro no mercado internacional (Lourenzani; Lourenzani, 2009), também trouxe desafios e mudanças nas práticas de manejo.

A evolução da produção agrícola do amendoim foi mais evidente na mecanização e na aplicação de insumos específicos do que na etapa de processamento industrial ou beneficiamento. Os avanços industriais foram mais substanciais em operações voltadas para a melhoria da qualidade sanitária dos grãos, destacando-se: a) a substituição da pré-secagem realizada ainda no campo (sob condições naturais de umidade e temperatura), pelo processo controlado em secadores instalados nas unidades de beneficiamento e; b) o processo de blanchamento, onde a pele é retirada do grão usando aquecimento, seguido de resfriamento. O uso de secadores artificiais reduziu a exposição dos grãos às intempéries do clima (temperatura e umidade), comuns no processo de secagem natural, e com isso reduziu o potencial de multiplicação de patógenos pré-existentes no produto, entre eles o *Aspergillus flavus*, que pode produzir aflatoxina e ácido ciclopiazônico, tóxicos aos humanos (Vaamonde et al., 2006) e tolerados em níveis pré-determinados pela legislação vigente (Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2011). Com relação ao blanchamento, sua implementação aumentou o valor agregado do produto ao oferecer um produto diferenciado (sem pele) ao consumidor final.

A integração de produção com outras culturas e o sistema de beneficiamento simplificado sugerem que o desempenho ambiental e a PC do estado de São Paulo se diferenciam dos produtos ofertados por outros países. Cabe destacar que a contabilidade de carbono pode ser específica de um produtor, quantificada a partir de ferramentas especializadas e trazer potencial vantagem competitiva. Quando isso não é possível, há a alternativa de estimar com base em valores médios depositados em bancos de dados internacionais obtidos a partir de inventários que consideram sistemas de produção mais comuns e que representam esses produtos em níveis estadual ou nacional. Com esses valores “típicos”, os produtores que não realizam sua própria contabilidade de C podem ter seus produtos representados.

Considerando a ausência do produto amendoim do estado de São Paulo na literatura e em bancos de dados internacionais de ICV, a presente pesquisa

teve como objetivos identificar os sistemas de produção agrícola e industrial típicos do amendoim produzido em São Paulo; gerar inventários do ciclo de vida para publicação em BD de ICV internacionais; e estimar o seu perfil ambiental e sua pegada de carbono, em uma perspectiva do seu Ciclo de Vida.

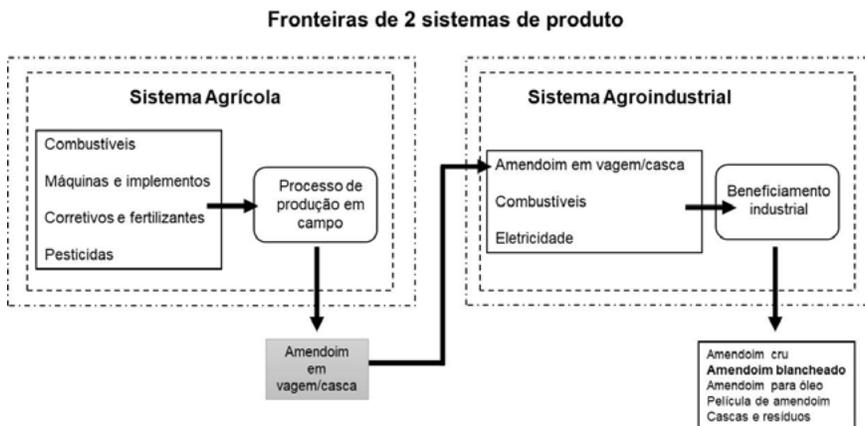
## Material e Métodos

---

### Escopo

A Avaliação do Ciclo de Vida foi conduzida com base nas normas ISO 14040 (Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura); 14044 (Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações) e ISO 14067:2018 (Gases de Efeito Estufa – Pegada de Carbono de Produtos – Requerimentos e Guia para Quantificação). A abordagem considerou do berço ao portão, abarcando desde as extrações das matérias-primas utilizadas como insumos para a produção do amendoim até o portão da fazenda (amendoim colhido), para o amendoim em vagem/casca, e até a saída da indústria de processamento (limpo, seco e processado, inclusive com processo de blanchamento), para o amendoim blanchado.

Foram considerados dois produtos (que correspondem, respectivamente, aos principais produtos das fases agrícola e industrial): 1) amendoim em vagem/casca e 2) amendoim blanchado. Os limites dos dois sistemas de produto, com os processos principais considerados, são apresentados na Figura 2. Para a fase agrícola, a unidade de referência (UR) adotada foi de 1 kg de amendoim em vagem/casca (matéria fresca) colhido. Para a fase industrial, a UR adotada foi 1kg de amendoim blanchado (matéria fresca).



**Figura 2.** Representação das fronteiras dos sistemas do estudo da ACV do amendoim do estado de São Paulo.

## Identificação das áreas de produção e dos sistemas agrícola e industrial típicos

Inicialmente, foram levantadas informações a respeito da localização da produção e do modal típico (o mais comumente utilizado pelos produtores) para as fases agrícola e de industrialização do estado de São Paulo. Os dados foram obtidos a partir de revisão bibliográfica, consulta a bases estatísticas oficiais (Federação das Indústrias do Estado de São Paulo, 2021; CONAB, 2022) e entrevistas, com questionário estruturado (Quadro 1), aplicado a quatro especialistas que acompanham a produção de cerca de 145 produtores de amendoim. O questionário teve como base um conjunto de operações e insumos listados em estudos de levantamento de custos de produção (CONAB, 2019; Agriannual, 2020). Foram levantados dados primários de consumos de duas safras agrícolas (2019 e 2020) e considerada a produtividade de três safras (2018, 2019 e 2020), para evitar distorções de anos atípicos.

**Quadro 1.** Modelo simplificado do questionário para levantamento de dados primários da fase agrícola de produção de amendoim.

| Operação                | Insumos   | Dose     | Máquina             | Consumo combustível | Equipamento                      |
|-------------------------|-----------|----------|---------------------|---------------------|----------------------------------|
| Aplicação de corretivos | Calcário  | XX kg/ha | Trato XX cv         | XX L/ha             | Distribuidor de corretivo (XX t) |
|                         | Gesso     | XX kg/ha |                     |                     |                                  |
| Gradagem                |           |          | Trato XX cv         | XX L/ha             | Grade de XX discos               |
| semeadura/adubação      | sementes  | XX kg/ha |                     |                     |                                  |
|                         |           |          | Trato XX cv         | XX L/ha             | semeadora/adubadora XX linhas    |
| pulverização pesticidas | pesticida | XX L/há  | Trato XX cv         | XX L/ha             | pulverizador XX                  |
| Colheita                |           |          | colhedora automatiz | XX L/ha             |                                  |

O principal objetivo do questionário foi identificar as etapas de produção, para a construção de fluxograma representativo das operações envolvidas nos processos. Além disso destinou-se a quantificar entradas e saídas de insumos e produtos, como, por exemplo: produtividade; práticas agrícolas; consumo de fertilizantes, corretivos e pesticidas; tipo de maquinário e implemento utilizado e consumo de combustíveis; emissões na fase agrícola; e uso de utilidades e emissões na fase industrial.

## Inventário dos processos para geração do Inventário de Ciclo de Vida

Os inventários dos processos (IP) foram construídos para representar um sistema agrícola e um processamento industrial típicos da produção de amendoim brasileiro.

### Fase Agrícola

A fase agrícola compreendeu todas as operações com seus respectivos consumos de insumos e energia, com o devido cuidado de, quando necessário, realizar o compartilhamento (alocação) com outras culturas envolvidas no sistema. Esses consumos foram organizados em forma de IP, com as entradas da natureza, da tecnosfera (esfera tecnológica que compreende o ambiente dos processos produtivos onde o homem atua) e emissões de campo, calculadas a partir dos modelos customizados para regiões brasileiras, presentes na ferramenta ICVCalc (Matsuura et al., 2022).

Em relação ao uso de recursos naturais, foram considerados os fluxos relacionados ao uso da terra (ocupação e transformação) fornecidos pelo modelo BRLUC (Garofalo et al., 2022), e ao consumo de água utilizada no preparo da calda de pesticidas, sem entradas por irrigação.

Quanto às entradas da tecnosfera foram incluídos: diesel, corretivos, fertilizantes minerais, micronutrientes, pesticidas (herbicidas, fungicidas e inseticidas) e outros. O diesel foi contabilizado a partir das operações, considerando-se a mistura B10 (diesel fóssil com 10% de biodiesel). Os fertilizantes minerais foram caracterizados considerando-se as porcentagens de nutrientes das suas formulações e suas fontes. Os pesticidas foram contabilizados a partir das concentrações dos princípios ativos presentes nos produtos comerciais, por meio de consulta ao banco de dados sobre agroquímicos e afins, registrados no Ministério da Agricultura (Agrofit - [https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit\\_cons/principal\\_agrofit\\_cons](https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons)). Os princípios ativos que não possuíam inventários de produção no BDecoinvent 3.6 foram adicionados como “pesticidas inespecíficos”.

A respeito dos pesticidas, houve um cuidado adicional de incluir uma etapa de distribuição das emissões dos ingredientes ativos para os diferentes compartimentos ambientais (ar, solo e água), utilizando-se a distribuição secundária da ferramenta PestLCI Consensus v1.0. (<https://pesticiweb.man.dtu.dk/>). Esta ferramenta foi recentemente parametrizada com informações de solos e climas brasileiros, para as principais culturas do agronegócio (Barizon et al., 2021).

Usou-se a técnica de alocação física para distribuir os insumos e operações que beneficiam as várias culturas do sistema de produção onde o amendoim está inserido. Foi considerada, simultaneamente, a área e o tempo de ocupação de cada cultura, em um ciclo completo de produção. Segundo a ISO 14040 (International Organization for Standardization, 2006a), a alocação é definida como o “particionamento dos fluxos de entrada ou saída de um processo ou sistema de produto, entre o sistema de produto em estudo e um ou mais outros sistemas de produto”. Portanto, a alocação distribui os impactos entre os produtos que participam de um sistema. Nos sistemas agrícolas a ISO determina que a alocação pode ser física (relação física subjacente entre entradas, saídas e as emissões geradas, como massa, energia, tempo, espaço de ocupação entre outros), ou econômica (valor de

mercado) sendo a física mais recomendada, pois a econômica está sujeita às flutuações de preços do mercado.

As emissões diretas do campo foram estimadas com base em modelos da literatura científica (Canals, 2003; Calvo Buendia et al., 2006; Nemecek; Schnetzer, 2012; Nemecek et al., 2015), adequados para as condições brasileiras e compilados na ICVCalc-Embrapa (Matsuura et al., 2022). Para o nitrogênio capturado pela cultura, usou-se o valor de nitrogênio total extraído pelos grãos, desconsiderando a fração correspondente à fixação biológica de nitrogênio (FBN), conforme recomendação do IPCC (Calvo Buendia et al., 2006). O valor estimado de FBN foi de 40,9 kg N/ha (Okito et al., 2014) e o do nitrogênio contido nos resíduos culturais foi de 26,40 kg N/ha (Ambrosano et al., 2013). Com relação à perda de solo, adotou-se o valor de 26.700,00 kg/ha (Anache et al., 2017). As emissões relacionadas à queima do diesel (B10) foram determinadas por meio da soma dos consumos nas máquinas.

A mudança de uso da terra (MUT) no Brasil está diretamente relacionada às fronteiras de expansão agrícola do País e tem importante participação nas emissões de gases de efeito estufa (GEE). Essas emissões foram calculadas de acordo com o modelo BRLUC, usando-se as mesorregiões de Marília e Ribeirão Preto, como referências (Garofalo et al., 2022).

## Fase Industrial

Quanto ao beneficiamento industrial foram levantados os consumos energéticos para as etapas de recebimento/secagem e classificação e blanchamento. Também foram quantificadas as saídas dos diversos produtos: amendoim blanchado, amendoim cru, amendoim para óleo, pele de amendoim peletizada, cascas (vagem) e outros resíduos (Figura 1). As emissões relacionadas à queima dos combustíveis, como lenha, gás liquefeito de petróleo (GLP), gás natural e diesel, foram calculadas utilizando os fatores do IPCC (Calvo Buendia et al., 2006). As emissões relacionadas ao transporte do campo à indústria e a infraestrutura de construções e maquinários não foram contabilizadas.

Na etapa industrial usou-se a alocação física (mássica), seguindo recomendações das Normas ISO 14040 e 14044 (International Organization

for Standardization, 2006a, 2006b), considerando os produtos e coprodutos identificados após o trabalho de caracterização do sistema típico de beneficiamento do amendoim.

## **Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida**

É na etapa de avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV) que o perfil ambiental e a PC de um produto são estimados. Os ICV dos processos a montante foram obtidos no banco de dados ecoinvent v.3.6 (Wernet et al., 2016). Os dados foram modelados no software SimaPro®, v. 9.1.1.1 e os impactos foram caracterizados por meio do método ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.04 / World (2010) H (Goedkoop et al., 2012), utilizando as categorias eutrofização de água doce (EuAD); ecotoxicidade terrestre (EcoT) e de água doce (EcoAD); toxicidade humana (ToxH) e mudanças climáticas (MC), sendo esta última utilizada também para determinar a PC do produto.

Cada categoria de impacto avaliada possui emissões em unidade específica de referência (kg CO<sub>2</sub>eq, kg SO<sub>2</sub> eq, kg 1,4-DCB e outros), o que dificulta indicar qual tem um maior peso no perfil ambiental do produto. Dessa forma, foi feita a normalização, considerando o método ReCiPe - 2016 Midpoint (H) V1.04, que fornece fatores de caracterização em escala global e permite identificar qual a categoria de impacto estudada na ACV tem maior contribuição relativa para o desempenho ambiental do produto analisado (Goedkoop et al., 2012). A normalização converte os resultados da avaliação de todas as categorias de impacto em uma referência comum, visando observar a importância relativa de cada categoria, com o uso de um fator que reflete o “impacto anual de uma dada população, para cada categoria de impacto em específico da ACV”. Foram usadas as unidades de referência já citadas anteriormente, destacando apenas que, para o amendoim *blancheado*, foram consideradas as emissões das fases agrícola e industrial agregadas.

## Comparação da Pegada de Carbono com outros bancos de dados

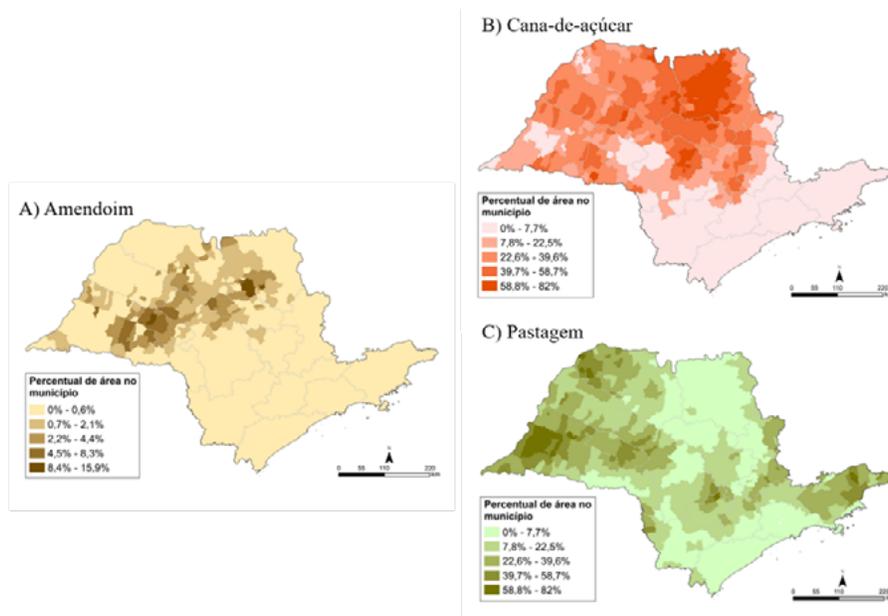
A verificação da competitividade ambiental do amendoim em vagem/casca paulista em relação ao resto do mundo e alguns exportadores, como Estados Unidos, Índia, China e Argentina, foi realizada pela comparação das PC dos produtos presentes em bancos de dados de ICV internacionalmente reconhecidos. Neste trabalho, optou-se pelo banco de dados *Ecoinvent* 3.6 e do World Food LCA (WFLDB) (Nemecek et al., 2019).

## Resultados e Discussão

---

### Fase Agrícola

O amendoim do estado de São Paulo se destaca no cenário brasileiro, concentrando 87% da produção nacional (Conab, 2022). No Estado, o plantio está distribuído entre as regionais de Assis, Barretos, Catanduva, Jaboticabal, Presidente Prudente, Ribeirão Preto, São José do Rio Preto e Tupã (Figura 3A), que representam 81% das áreas e 83% da produção paulista (Federação das Indústrias do Estado de São Paulo, 2021). Cabe destacar que essas são regiões que, historicamente, se dedicam à produção canvieira e pecuária (Figura 3B e 3C) que podem receber culturas de ciclo curto no período de reforma.



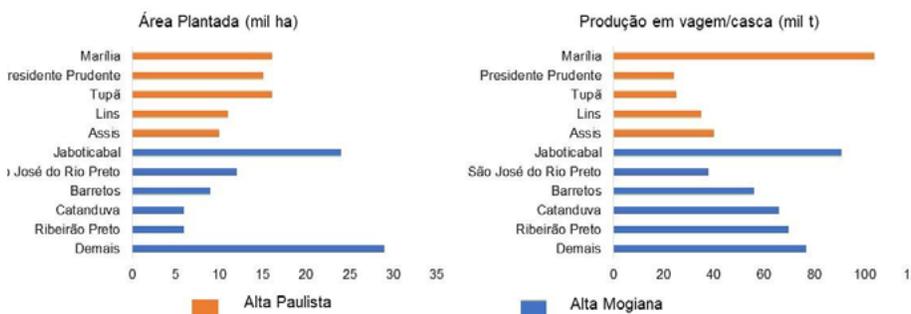
**Figura 3.** Distribuição espacial do percentual do município com área plantada de (A) amendoim, (B) cana-de-açúcar e (C) pastagem no ano de 2020.

Fonte: Amendoim – Produção Agrícola Municipal (PAM) - IBGE, Cana-de-açúcar e Pastagem – MapBiomass. Souza Junior et al., (2020b).

O cultivo do estado de São Paulo ocorre em duas épocas distintas, o de 1ª safra (98% da produção - Conab, 2022), com semeadura entre setembro e novembro com variedades rasteiras; e o de 2ª safra, com semeadura entre o final de janeiro e início de fevereiro, com variedades eretas (Bolonha et al., 2013). O cultivo de 1ª safra é o de maior rendimento de grãos, mas com riscos mais elevados de incidência de doenças, devido ao fato de o desenvolvimento e até mesmo a colheita se concentrarem nos meses chuvosos. Entretanto, é também o período que possibilita a sucessão com cana-de-açúcar. No caso de sucessão com pastagem, há possibilidade de cultivo de 1ª e 2ª safras, sendo mais comum na 1ª.

Após a identificação das regionais e dos períodos do ano que concentram a produção de amendoim em São Paulo, a presente pesquisa optou por representar a produção em 1ª safra, que é a mais expressiva, e dividiu o levantamento de dados primários (entrevistas) em dois agrupamentos de

produtores, um voltado para as regionais de Assis, Lins, Marília, Presidente Prudente e Tupã, que por convenção foi denominado de Alta Paulista, e outro agrupamento de produtores das regionais de Barretos, Catanduva, Jaboticabal, Ribeirão Preto e São José do Rio Preto, denominado como Alta Mogiana (Figura 4). Nota-se que há um equilíbrio de áreas e de produção entre Alta Paulista e Alta Mogiana, com a primeira concentrando 15% a mais da produção, mas cujo cenário varia a depender da safra.



**Figura 4.** Área plantada e produção de amendoim em regionais paulistas

Fonte: Federação das Indústrias do Estado de São Paulo, 2021.

### Caracterização do sistema agrícola típico de produção de amendoim

Nas entrevistas confirmou-se a existência de três sistemas de produção de amendoim no estado de São Paulo, com etapas de cultivo envolvendo: a) preparo do solo, semeadura, tratos culturais e colheita (Figura 5). O sistema de “sucessão amendoim em 1ª safra na reforma da cana-de-açúcar, com plantio de cana de ano e meio” (A) foi o predominante (87%) e, portanto, o mais representativo. Observou-se, ainda, o uso do sistema de “rotação amendoim em 1ª safra na reforma da pastagem, com dois anos de amendoim + cultura de cobertura, com plantio de pastagem no verão” (B), ocorrendo em menor área (12%); e o sistema “rotação amendoim com grãos” (C), praticamente sem expressão (1%). O mesmo perfil de produção foi observado por Sampaio (2016), Sampaio e Fredo (2021) e Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (2021).

O sucesso de parceria entre produtores paulistas de amendoim e cana-de-açúcar ou pastagem ocorre devido ao arrendamento da terra. Nesse contrato o produtor de amendoim é o arrendatário, que recebe a terra logo após o último corte da cana-de-açúcar ou do último pastejo, geralmente próximo a setembro, e se responsabiliza por todas as operações de cultivo, desde o preparo do solo até a devolução da área pronta para o plantio da cana-de-açúcar e pastagem (no máximo em meados de março). O produtor de amendoim se beneficia com a disponibilidade de terras aptas para cultivo, com menor incidência de problemas fitossanitários relacionados ao amendoim, devido ao uso anterior com cana e pastagem, que são atacados por pragas e doenças distintas ao amendoim, e potencializa o uso do seu maquinário, enquanto o cedente da terra recebe a área preparada e corrigida. Esse benefício mútuo foi citado nas entrevistas como a chave do sucesso para a produção de estado de São Paulo, com 99% da produção provenientes de sucessão amendoim com cana e pastagem (Figura 5).

No caso específico da cana-de-açúcar deve ser considerado também um sistema de integração chamado MEIOSI (Método Interrotacional Ocorrendo Simultaneamente), desenvolvido na década de 80 (Barcelos, 1984) e que voltou a ser implantado nos últimos anos. Nele ocorre a ocupação intercalada de linhas de cana-de-açúcar, que funcionarão como mudas para a instalação do novo canavial, com linhas de amendoim. A distribuição das culturas na área depende da declividade do terreno e do potencial de “desdobramento” da cana para muda, mas em geral se planta uma ou duas linhas de cana (espaçadas 1,5 m entrelinhas) intercaladas, com faixas de 9, 12, 18 m ou maiores de amendoim. As operações de cultivo do amendoim são as mesmas usadas para o amendoim solteiro na reforma, com a diferença de ocupar apenas parte do terreno. Como nessa pesquisa não foi modelada a cana no sistema MEIOSI, optou-se por não representar também o amendoim nesse sistema. Entretanto, seria possível adotar a mesma sequência de operações do IP do amendoim solteiro na reforma, ponderando-se os resultados e alocando-se apenas para a parte da área ocupada, em função da proporção cana: amendoim.

Em relação ao sistema de rotação com grãos, o amendoim participa como uma opção de cultura de verão (1ª safra), alternando a ocupação com a soja, em intervalos de dois anos. É um sistema adotado por produtores com áreas próprias, que selecionam as culturas de plantio em função do retorno de renda, o que pode, eventualmente, reduzir a área plantada. Também exige

cuidados extras na escolha de produtos para controle fitossanitário, uma vez que envolve mais culturas no sistema. Esses fatores parecem restringir a opção por esse sistema de produção de amendoim, uma vez que sua adoção, segundo as entrevistas, se restringe a 1% da produção (Figura 5).

A análise mais detalhada de cada etapa de produção dos sistemas A, B e C mostrou que a etapa de preparo do solo é a que envolve maior uso de máquinas pesadas e por consequência maior consumo de diesel. Segundo os produtores, o preparo intensivo é necessário para que as partículas do solo fiquem soltas e niveladas, promovendo o desenvolvimento adequado das vagens e aumentando a produtividade. Os sistemas A e B apresentaram uma sequência de operações de preparo praticamente idêntica, sendo: destruição mecânica dos restos culturais, levantamento de curvas (a depender da declividade), aração, subsolagem (eventual), gradagem intermediária e gradagem niveladora. No sistema C foi relatado o uso do equipamento *Rip-strip* (de uso comum nos Estados Unidos), que concentra o preparo do solo (usando um conjunto de discos, hastes e rolo destorroador/nivelador) na linha de plantio do amendoim, evitando a movimentação de toda a área (Brito Filho et al., 2019).

Ao mesmo tempo em que as operações envolvidas no preparo do solo são intensivas e pesadas, e tendo em vista que o amendoim encontra-se em sistema de produção com outras culturas, há o compartilhamento tanto dos benefícios (solo mais solto, nivelado e corrigido) quanto das emissões com essas culturas subsequentes. Assim, operações como destruição de restos culturais, levantamento de curvas, aração, gradagens e aplicação de corretivos, no geral, dividem seus insumos e emissões com as culturas que participam do ciclo de produção. Este compartilhamento é chamado de alocação na ontologia terminológica da ACV e será tratado no próximo item.

Nas etapas de semeadura/adubação e de tratos culturais são realizadas operações comuns ao cultivo de grãos, sendo: semeadura/adubação (trator + semeadoras/adubadoras); aplicação de herbicida (autopropelido ou trator + pulverizador de arrasto); adubação com fertilizantes foliares e aplicações de inseticidas e fungicidas (autopropelido ou trator + pulverizador de arrasto). O diferencial em relação aos demais grãos se dá em dois pontos: 1) a realização da operação de gessagem (alguns produtores) para fornecimento de cálcio na etapa de tratos culturais e não no preparo do solo, que seria mais comum; e 2) o maior número de operações de pulverização para evitar pragas e doenças.

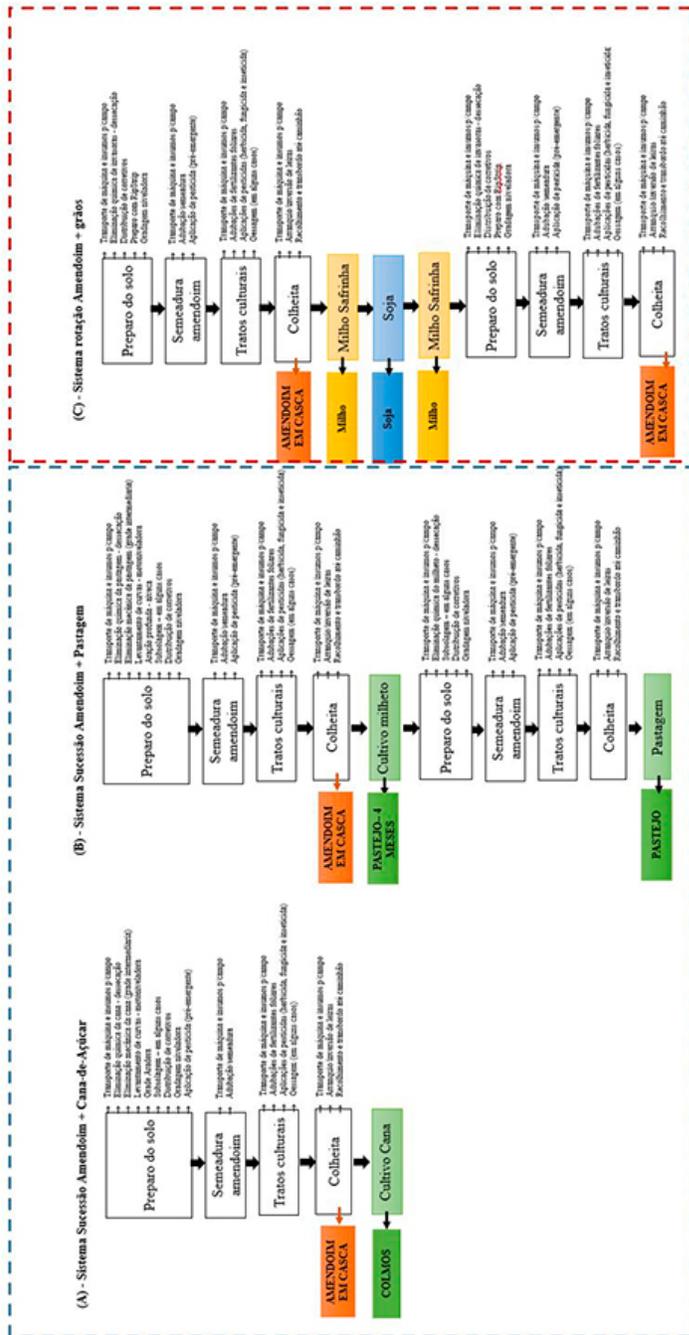


Figura 5. Fluxogramas simplificados dos sistemas de produção de amendoim identificados na pesquisa: (A) Sistema sucessão amendoim + cana-de-açúcar; (B) Sistema sucessão amendoim + pastagem; e (C) Sistema rotação amendoim + grãos.

A gessagem fora do período de preparo do solo se justifica para amendoim devido à alta exigência em cálcio, principalmente próximo ao período reprodutivo da cultura. A literatura indica que o uso de cálcio no período do florescimento é mais eficiente que a aplicação na semeadura (comum em grãos), para disponibilizar esse nutriente rapidamente nas áreas próximas aos ginóforos (alongamento de parte da estrutura feminina da flor, que após a fertilização penetra no solo e dá origem à vagem), melhorando a qualidade das vagens e dos grãos (Farinelli; Loboda, 2005). Quanto às pulverizações, são realizadas aplicações de pesticidas ao longo do ciclo da cultura de forma “calendarizada” (em média a cada 14 dias), com o objetivo de evitar perdas de rendimento, devido à elevada incidência de pragas e doenças na cultura. Esse procedimento calendarizado não se encontra entre as boas práticas de produção (Moraes, 2006), pois padroniza a aplicação, independentemente do nível de dano econômico, o que pode resultar em maior consumo de produtos. Os produtores afirmam que as pulverizações constantes (que variam de 6 a 12) garantem a produtividade e respeitam os períodos de carência para a colheita, exigências do mercado internacional, e são feitas com produtos devidamente recomendados e registrados.

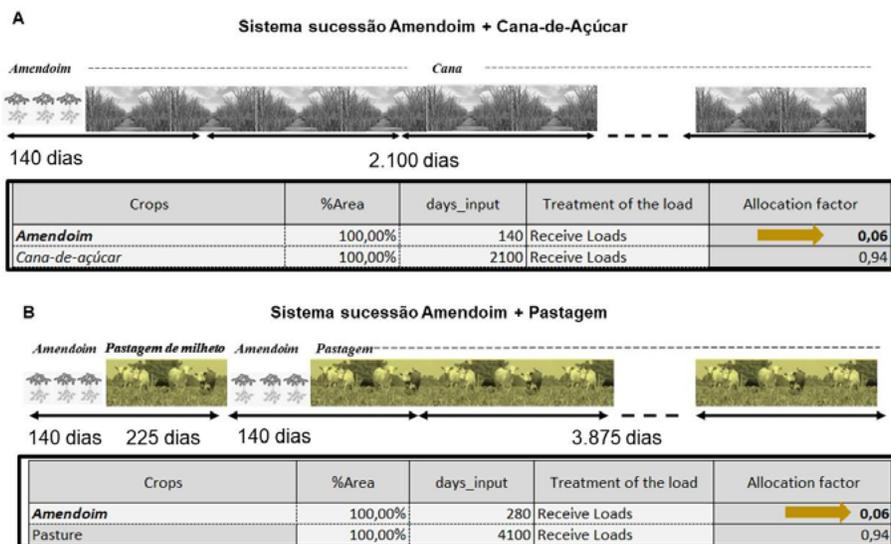
A etapa de colheita envolve apenas as operações de arranquio/inversão das leiras e recolhimento/transbordo para caminhões. Entretanto, são operações pesadas, lentas e com elevado gasto de combustível. Essa etapa é semelhante para os três sistemas estudados.

Optou-se por usar os sistemas A e B, que representam 99% da produção do estado de São Paulo (Figura 5), para compor o sistema agrícola típico de produção (SATAP). Mesmo entre A e B as diferenças são pouco relevantes quanto ao efeito sobre a ACV, e envolvem basicamente: i) o ciclo de produção, que é de 5-6 anos para o sistema A e de 10 anos para o sistema B; ii) as moléculas e doses de alguns pesticidas. Portanto, o inventário e o perfil ambiental do SATAP abarcam uma combinação com 82% do sistema A (cana) e 18% do sistema B (pastagem).

## **Alocação**

O resultado da alocação, considerando a proporção de espaço/tempo de ocupação da terra entre o amendoim + cana-de-açúcar (A) e o amendoim + pastagem (B), que compõem o SATAP, calculados pela ferramenta ICVCalc

foi de 4% para o amendoim e 96% para a cana-de-açúcar ou pastagem (Figura 6). Isto significa que das operações e insumos que são compartilhados em cada sistema, o amendoim terá uma fração de 4%, tanto em benefício quanto em emissões. Como não foram identificados insumos e operações que ocorrem na cana-de-açúcar e na pastagem, que poderiam beneficiar o amendoim subsequente, não foi considerada alocação dessas culturas para o amendoim. Este procedimento de divisão proporcional de cargas favorece ambas as culturas e trata a produção como um sistema, e não como culturas individualizadas (Ramos et al., 2021).



**Figura 6.** Representação da proporção de espaço/tempo de ocupação da terra, usando ICVCalc, para determinação da alocação no sistema: A - sucessão amendoim + cana-de-açúcar e B - sucessão amendoim + pastagem, que representam a produção típica do estado de São Paulo.

### Inventário de produção (entradas) da fase agrícola

O inventário de entradas e saídas de fluxos da natureza e da tecnosfera identificados para o SATAP encontra-se na Tabela 1. Os materiais da natureza são recursos naturais (terra, água e ar) e os da tecnosfera envolvem os insumos e combustíveis vindos de processos antrópicos (agricultura e industrialização).

A única saída da fase agrícola foi o produto de interesse do estudo, ou seja, o amendoim em vagem/casca. Essa saída para a tecnosfera foi de 4.428 kg/ha de amendoim em vagem/casca, que corresponde justamente à produtividade média observada nas entrevistas – valor 27% superior à média paulista dos últimos 10 anos, que é de 3.499 kg/ha de vagem/casca na 1ª safra (Conab, 2022).

Como entrada da natureza, contabilizou-se aspectos relacionados ao uso da terra e ao consumo de água (Tabela 1). A Mudança de Uso da Terra foi calculada a partir do deslocamento que o cultivo do amendoim promoveu sobre outros tipos de uso, incluindo áreas naturais, entre 2000 e 2019 (Garofalo et al., 2022). Houve maior transformação para o tipo de uso culturas anuais (65%), o que inclui o cultivo do amendoim em área que essa cultura já ocupava anteriormente, mas também o seu avanço sobre pastagem (28%), que seria uma das culturas em que o amendoim entra em sucessão. Como o uso da água se restringiu às aplicações de caldas de pulverização, as entradas desse recurso foram insignificantes (0,0004 m<sup>3</sup> de água por kg de amendoim em vagem/casca ou 1,8 m<sup>3</sup>/ha).

Como entradas da tecnosfera foram contabilizados os vários insumos (20 no total), sendo o calcário o que mais se destacou em termos de quantidade aplicada, pois mesmo alocado (4% do total para o amendoim), ainda contribuiu com 0,0196 kg por kg de amendoim em vagem/casca. O segundo insumo mais utilizado foi o fósforo (via fosfato monoamônico - MAP e Superfosfato Simples - SSP), 0,0186 kg, seguido do diesel, com 0,0182 kg. Esses três insumos representaram 62% das entradas, em massa. Houve ainda uso de fertilizante nitrogenado, vindo do MAP, mas sua entrada foi inexpressiva (0,003 kg), em comparação aos valores utilizados em outras culturas agrícolas.

Cabe destacar que a quantidade de calcário e fósforo não foi aplicada fora das especificações técnicas e das recomendações de uso para a cultura do amendoim. O uso desses insumos é inerente ao processo produtivo e não pode ser evitado. O uso do calcário beneficia significativamente o rendimento, uma vez que o amendoim necessita de solo corrigido e de cálcio disponível, principalmente para um bom florescimento e desenvolvimento de grãos (Farinelli; Loboda, 2005). O fósforo, por sua vez, participa de reações metabólicas ligadas à produção de energia celular, à respiração e à fotossíntese (Grant et al., 2001). Por outro lado, o diesel poderia ter seu consumo otimizado, com uso de máquinas mais eficientes no consumo de combustíveis e de controle de operações.

Com relação às entradas de pesticidas (Tabela 1), a soma de todas as aplicações resultou em 0,0032 g de ingredientes ativos por kg de amendoim em vagem/casca, o que corresponderia a 14,3 kg/ha. Esse valor resulta das várias aplicações utilizadas no controle fitossanitário ao longo do ciclo da cultura, e está 110% acima da média nacional de consumo de ingredientes ativos em culturas agrícolas em geral, que é de 6,8 kg/ha (IBGE, 2015).

**Tabela 1.** Inventário de entradas da natureza e da tecnosfera, para a produção de 1 kg de amendoim em vagem/casca em sistema agrícola típico do estado de São Paulo (SATAP).

| Saídas para tecnosfera                   | valor    | Unidade        |
|------------------------------------------|----------|----------------|
| Amendoim em vagem/casca                  | 1,00E+00 | kg             |
| Entradas da natureza                     |          |                |
| Ocupação, terra arável                   | 9,04E-06 | ha/ano         |
| Transformação, de pasto cultivado        | 6,33E-05 | ha             |
| Transformação, de cultura anual          | 1,47E-04 | ha             |
| Transformação, de cultura permanente     | 9,04E-06 | ha             |
| Transformação, de uso inespecífico       | 6,79E-06 | ha             |
| Água, origem inespecífica                | 4,07E-04 | m <sup>3</sup> |
| Entradas da tecnosfera                   |          |                |
| Gesso (Alocado 4%)                       | 7,53E-03 | kg             |
| Calcário dolomítico (Alocado 4%)         | 1,96E-02 | kg             |
| N, como MAP                              | 3,32E-03 | kg             |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , como MAP | 1,66E-02 | kg             |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , como SSP | 1,96E-03 | kg             |
| K <sub>2</sub> O, como KCl               | 1,13E-02 | kg             |
| Ácido bórico                             | 1,94E-05 | kg             |
| Borato de cálcio                         | 3,57E-03 | kg             |
| Enxofre                                  | 2,26E-04 | kg             |
| Monossulfato de zinco                    | 1,12E-05 | kg             |
| Cobalto                                  | 3,28E-07 | kg             |
| Trióxido de molibdênio                   | 8,46E-07 | kg             |
| Clorotalonil                             | 1,96E-03 | kg             |
| Glifosato                                | 3,90E-04 | kg             |
| Metolachlor                              | 8,68E-05 | kg             |
| Pesticida, inespecífico                  | 7,35E-04 | kg             |
| Propilenoglicol                          | 3,33E-06 | kg             |
| Alquilbenzeno                            | 5,85E-05 | kg             |
| Diesel fóssil                            | 1,82E-02 | kg             |
| Biodiesel para mistura B10               | 2,12E-03 | kg             |

Os ingredientes ativos clorotalonil e glifosato foram os mais utilizados no SATAB, correspondendo a 61 e 12% do total de pesticidas, respectivamente. Entretanto, cabe destacar que, mesmo em quantidades baixas, alguns compostos, como o metolachlor (3%), podem apresentar impacto potencial elevado, devido a sua toxicidade, refletindo-se nas categorias de toxicidade humana e ambiental, merecendo atenção e cuidado. Práticas que induzam ao consumo mais eficaz e direcionado, em função do risco das culturas e não as programadas por calendário, podem reduzir expressivamente esse consumo.

### **Inventário de emissões da fase agrícola (em vagem/casca)**

O inventário de emissões de substâncias (exceto pesticidas) para o ar, água e solo, provenientes do SATAP, é apresentado na Tabela 2. Nas emissões para o ar encontram-se os gases de efeito estufa ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$ ) e substâncias que afetam a qualidade ambiental e a saúde humana e animal. No caso das mudanças climáticas, as maiores emissões, em ordem decrescente, foram respectivamente as promovidas pela ocupação da terra, (0,374 kg de  $\text{CO}_2$  de MUT por kg de amendoim em vagem/casca), seguidas do uso de fertilizante nitrogenado e da manutenção dos restos de cultura do amendoim sobre o solo, após a colheita (0,098 kg de  $\text{CO}_2\text{eq}$  proveniente do  $\text{N}_2\text{O}$  por kg de amendoim em vagem/casca), do uso do calcário (0,094 kg de  $\text{CO}_2$ ) e, por último, do uso do diesel em operações agrícolas (0,063 kg de  $\text{CO}_2\text{eq}$  proveniente da soma de  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$  fóssil + biogênico, além do  $\text{N}_2\text{O}$  por kg de amendoim em vagem/casca).

À MUT se atribui emissões derivadas, como o próprio termo sugere, das alterações do tipo de uso da terra, tanto em termos de sequência de atividades econômicas após a supressão da vegetação nativa, como de manejo adotado (Novaes et al., 2017). Considerando a elevada movimentação que o amendoim promove no solo, é esperado que haja perdas de C quando seu cultivo substituiu culturas com maior potencial de estocar C no solo e na biomassa, como cana-de-açúcar e pastagem. As MUT e suas emissões nem sempre podem ser controladas pelo produtor.

As emissões do uso de fertilizante nitrogenado e da manutenção dos restos de cultura sobre o solo após a colheita foram expressivas, pois o fator de emissão em campo dessas duas fontes (na forma de  $\text{N}_2\text{O}$ , que

tem potencial de aquecimento de 298) é de 1% do total de N aplicado ou mantido nos resíduos (Calvo Buendia et al, 2006). As emissões do uso do calcário decorrem de sua reação no solo após a aplicação, que emite aproximadamente 440 a 476 kg de CO<sub>2</sub> por tonelada de calcário aplicado (Calvo Buendia, 2006), por ser um composto carbonatado; enquanto o uso do diesel contabiliza uma emissão de 3,14 kg de CO<sub>2</sub>eq por kg de combustível usado em veículos pesados (Nemecek; Kägi, 2007) – considerando que ainda existem as emissões associadas ao ciclo de vida desses três insumos, até a sua produção industrial.

**Tabela 2.** Inventário de emissões para o ar, água e solo provenientes do uso de insumos, na produção de 1 kg de amendoim em vagem/casca, em sistema agrícola típico do estado de São Paulo (SATAP).

| Composto                                                             | valor    | unidade |
|----------------------------------------------------------------------|----------|---------|
| <b>Emissões para o ar</b>                                            |          |         |
| Amônia (NH <sub>3</sub> )                                            | 2,13E-04 | kg      |
| Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)                                     | 3,30E-04 | kg      |
| Óxidos de nitrogênio (NO <sub>x</sub> )                              | 6,30E-05 | kg      |
| Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )                                | 9,37E-03 | kg      |
| Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> , MUT*)                          | 3,74E-01 | kg      |
| <b>Emissões da queima do combustível, kg (diesel +10% biodiesel)</b> |          |         |
| Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), fóssil                        | 5,68E-02 | kg      |
| Dióxido de carbono biogênico                                         | 5,86E-03 | kg      |
| Metano, fóssil (CH <sub>4</sub> )                                    | 2,35E-06 | kg      |
| Metano biogênico                                                     | 7,99E-07 | kg      |
| Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)                                     | 2,23E-06 | kg      |
| Amônia (NH <sub>3</sub> )                                            | 3,64E-07 | kg      |
| Dióxido de enxofre (SO <sub>2</sub> )                                | 1,84E-05 | kg      |
| Benzeno (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )                             | 1,33E-07 | kg      |
| Cádmio (Cd)                                                          | 1,82E-10 | kg      |
| Cromo (Cr)                                                           | 9,09E-10 | kg      |
| Cobre (Cu)                                                           | 3,10E-08 | kg      |
| Níquel (Ni)                                                          | 1,28E-09 | kg      |
| Selênio (Se)                                                         | 1,82E-10 | kg      |
| Zinco (Zn)                                                           | 1,82E-08 | kg      |
| Benzopireno                                                          | 5,46E-10 | kg      |
| PAH, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos                         | 5,99E-08 | kg      |
| Hidrocarbonetos, inespecífico                                        | 5,46E-05 | kg      |
| Monóxido de carbono (CO), fóssil                                     | 9,72E-05 | kg      |

continua...

**Tabela 2.** Continuação.

| Composto                                 | valor           | unidade   |
|------------------------------------------|-----------------|-----------|
| Óxidos de nitrogênio (NO <sub>x</sub> )  | 8,22E-04        | kg        |
| Particulados, <2.5 um                    | 1,06E-06        | kg        |
| <b>Emissões para a água subterrânea</b>  |                 |           |
| Nitrato (NO <sub>3</sub> )               | 2,74E-02        | kg        |
| <b>Emissões para o rio (superficial)</b> |                 |           |
| <b>Fósforo (erodido)</b>                 | <b>2,13E-03</b> | <b>kg</b> |
| Cádmio (Cd)                              | 9,73E-07        | kg        |
| Cobre (Cu)                               | 9,91E-05        | kg        |
| Arsênio (As)                             | 1,44E-05        | kg        |
| Cromo (Cr)                               | 1,4E-04         | kg        |
| Mercurio (Hg)                            | 1,12E-07        | kg        |
| <b>Emissões para o solo</b>              |                 |           |
| Cádmio (Cd)                              | 4,07E-07        | kg        |
| Cobre (Cu)                               | 1,82E-06        | kg        |
| Cromo (Cr)                               | 1,57E-06        | kg        |
| Mercurio (Hg)                            | 1,37E-06        | kg        |
| Arsênio (As)                             | 5,49E-06        | kg        |

\* MUT - Mudança direta do uso da terra.

O diesel também contribui com emissões para o ar de outros compostos que não são GEE (gases de efeito estufa), mas que afetam a qualidade ambiental, a saúde humana e animal, como monóxido de carbono, dióxido de enxofre, hidrocarbonetos, particulados, e outros. (Tabela 2).

Com relação às emissões de substâncias para a água subterrânea, os modelos estimaram valores da ordem de 0,027 g de nitrato por kg de amendoim em vagem/casca. Isso significaria uma emissão de 121 kg de nitrato/ha, que parece superestimada, dada a baixa quantidade de entrada de fertilizante nitrogenado no SATAP, e também pelas condições naturais de solos profundos no estado de São Paulo, que reduzem a probabilidade de percolação de nitrato para águas subterrâneas. Essa condição mostra a necessidade de levantamento de dados e mesmo o desenvolvimento de modelos que possam estimar, de forma mais robusta, as emissões dessa natureza para as condições variadas do Brasil.

No componente ambiental água superficial (Tabela 2), o fósforo foi a substância identificada em maior quantidade pelos modelos, 0,0021 kg de P por kg de amendoim em vagem/casca, que significa uma perda de 9,4 kg/ha.

Essa natureza de emissão é calculada a partir da quantidade de solo perdida por erosão (o solo carreado leva consigo o P adsorvido na fração argila e na matéria orgânica), que está estimada em 26-30 t/ha/ano para amendoim (Bolonhezi et al., 2020), devido ao intenso revolvimento do solo, tanto na etapa de preparo como no arranquio para colheita (Figura 7). Há potencial de redução dessa erosão, com adoção de menor movimentação e manutenção do máximo de resíduo sobre o solo, além de levantamento de terraços conservacionistas. Um exemplo de prática a ser adotada refere-se ao uso do equipamento *Rip-strip*, relatado pelos produtores como importante para amenizar perdas de solo, mas com menos de 1% de adoção (Figura 5). Sua maior vantagem é movimentar o solo do preparo somente na linha de plantio do amendoim, sobre a palhada antiga de cana-de-açúcar ou de outra cultura, sem movimentar toda a área (Brito Filho et al., 2019). Ele subsola e prepara as linhas, usando um conjunto de discos (corte, dentados, corrugados, ondulados), hastes e rolo destorroador/nivelador (<http://www.bmdumont.com.br/demais-equipamentos/item/13-rip-strip>).



**Figura 7.** Operações de aração, gradagem e arranquio do amendoim, com movimentação intensiva do solo.

Também são observadas emissões de metais pesados, tanto para águas superficiais quanto para o solo (Tabela 2), introduzidos no sistema pelos corretivos e fertilizantes (MAP, KCl, calcário e fertilizantes foliares). Esses elementos são contaminantes naturais desses insumos, e deliberadamente aplicados como nutrientes para uso pelas plantas.

As emissões relativas aos pesticidas encontram-se na Tabela 3. Com o uso do software PestLCl, adaptado para condições brasileiras, foi possível fracionar as emissões para os diferentes compartimentos ambientais (ar, água e solo). As saídas para os diferentes compartimentos somaram 1,4 g de ingredientes ativos por kg de amendoim em vagem/casca, o que daria 40% da entrada (3,5 g - Tabela 1).

A emissão para o solo agrícola é a mais expressiva, com 1,08 kg de ingredientes ativos por kg de amendoim em vagem/casca, seguida da emissão para a água, com 0,30 g, os quais respondem pela quase totalidade dos 40% que são emitidos para o ambiente. Esse comportamento é esperado para pesticidas, considerando a entrada via pulverização para se atingir o alvo (planta e pragas), as perdas por deriva, volatilização, oxidação, *run-off* e lixiviação e a parte que permanece no solo.

O clorotalonil foi o ingrediente ativo que mais impactou as emissões, seguido de glifosato (usado na dessecação das áreas para destruição do resto de soqueira de cana e para a entrega da área pós-cultivo de amendoim) e trifluralina (Tabela 3), contribuindo juntos com 75% das emissões totais. Considerando que são moléculas mais antigas, aplicadas em maior quantidade que os produtos mais modernos, talvez sua substituição ou redução de uso possa trazer benefícios e reduzir impactos ambientais, principalmente no componente solo.

**Tabela 3.** Emissões de pesticidas e sua distribuição nos componentes ambientais para a produção de 1 kg de amendoim em vagem/casca, em sistema agrícola típico do estado de São Paulo (SATAP).

| Ingrediente ativo | unid | Ar       | Água Subterrânea | Água Superficial | Solo mata | Solo agrícola |
|-------------------|------|----------|------------------|------------------|-----------|---------------|
| Abamectina        | kg   | 2,56E-07 | 8,19E-09         | 9,00E-12         | 3,99E-09  | 2,10E-06      |
| Carboxin          | kg   | 1,81E-06 | 4,05E-08         | 3,00E-09         | 3,01E-08  | 1,46E-05      |
| Clorotalonil      | kg   | 1,97E-04 | 6,93E-08         | 2,11E-07         | 3,10E-06  | 2,58E-04      |
| Cletodin          | kg   | 0,00E+00 | 0,00E+00         | 0,00E+00         | 0,00E+00  | 2,17E-05      |
| Diafenthiuron     | kg   | 0,00E+00 | 0,00E+00         | 0,00E+00         | 4,80E-08  | 1,62E-06      |
| Epoxiconazole     | kg   | 3,84E-06 | 3,19E-09         | 4,39E-09         | 6,10E-08  | 4,37E-06      |
| Fipronil          | kg   | 1,20E-06 | 8,52E-10         | 1,93E-09         | 1,94E-08  | 1,08E-05      |
| Fluazifop-p-butyl | kg   | 1,57E-06 | 1,02E-10         | 5,43E-11         | 2,41E-08  | 1,54E-06      |
| Fludioxonil       | kg   | 7,74E-08 | 2,67E-12         | 2,67E-12         | 1,19E-09  | 6,86E-07      |
| Glifosato         | kg   | 3,90E-05 | 1,50E-08         | 3,63E-08         | 6,16E-07  | 3,42E-04      |

continua...

**Tabela 3.** Continuação.

| Ingrediente ativo        | unid | Ar       | Água Subterrânea | Água Superficial | Solo mata | Solo agrícola |
|--------------------------|------|----------|------------------|------------------|-----------|---------------|
| Imazapic                 | kg   | 0,00E+00 | 0,00E+00         | 0,00E+00         | 0,00E+00  | 1,48E-05      |
| Lambda-cyhalothrin       | kg   | 2,55E-06 | 1,87E-11         | 4,10E-09         | 4,11E-08  | 5,25E-06      |
| Metalaxyl-M              | kg   | 6,20E-08 | 4,94E-09         | 2,21E-12         | 9,84E-10  | 5,56E-07      |
| Metolachlor, (S)         | kg   | 8,68E-06 | 1,39E-07         | 3,05E-10         | 1,35E-07  | 7,70E-05      |
| Pyraclostrobin (prop)    | kg   | 8,38E-06 | 1,78E-09         | 1,18E-08         | 1,34E-07  | 9,76E-06      |
| Thiabendazole            | kg   | 4,62E-07 | 1,64E-09         | 1,61E-11         | 7,18E-09  | 4,17E-06      |
| Thiamethoxam             | kg   | 5,12E-06 | 5,13E-07         | 5,76E-09         | 8,44E-08  | 4,20E-05      |
| Thiophanate-methyl       | kg   | 7,35E-06 | 1,13E-08         | 1,97E-09         | 1,14E-07  | 3,46E-05      |
| Thiram                   | kg   | 4,15E-06 | 3,46E-08         | 3,03E-09         | 6,57E-08  | 3,65E-05      |
| Trifluralina             | kg   | 2,03E-05 | 1,41E-09         | 3,26E-08         | 3,27E-07  | 1,83E-04      |
| Pesticidas inespecíficos | kg   | 0,00E+00 | 2,37E-08         | 3,00E-09         | 1,17E-07  | 2,10E-05      |

### Perfil ambiental do amendoim na fase agrícola (em vagem/casca)

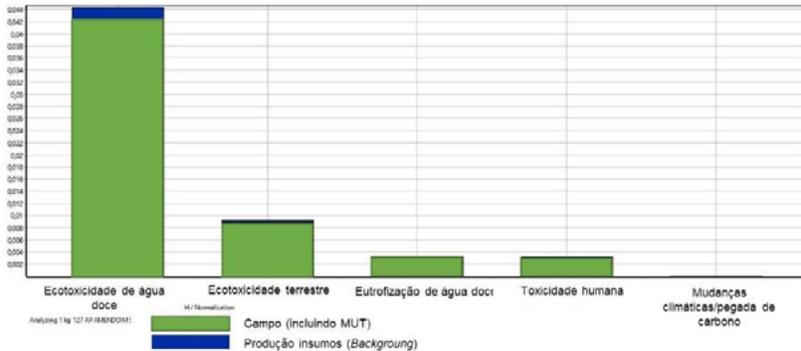
O perfil ambiental do amendoim em vagem/casca do SATAP refere-se ao uso dos recursos naturais e as emissões para o meio ambiente convertidos em impactos em diferentes categorias, que afetam o meio ambiente e a saúde humana (Tabela 4).

**Tabela 4.** Perfil ambiental da produção de 1 kg de amendoim em vagem/casca, em sistema agrícola típico do estado de São Paulo (SATAP).

| Categoria de impacto       | SATAP    | unidade               |
|----------------------------|----------|-----------------------|
| Ecotoxicidade de Água Doce | 5,44E-02 | kg 1,4-DCB            |
| Ecotoxicidade Terrestre    | 9,54E+00 | kg 1,4-DCB            |
| Toxicidade Humana          | 8,73E-03 | kg 1,4-DCB            |
| Eutrofização da Água Doce  | 2,17E-03 | kg P eq               |
| Mudanças Climáticas        | 6,16E-01 | kg CO <sub>2</sub> eq |

Após a normalização dos resultados usada para identificar qual categoria de impacto estudada na ACV tem maior contribuição relativa para o desempenho ambiental (Goedkoop et al., 2012), dentre as cinco categorias (Figura 8) foi possível verificar que a ecotoxicidade de água doce - EcoAD foi a que mais sofreu efeitos negativos da produção agrícola do amendoim. A seguir,

aparecem como impactantes, mas em uma proporção significativamente inferior, a ecotoxicidade terrestre - EcoT, a eutrofização de água doce - EuAD e a toxicidade humana - ToxH. A categoria mudanças climáticas - MC foi a que levou o menor impacto ambiental relativo embora seja a mais percebida pela sociedade nos dias atuais.



**Figura 8.** Normalização dos impactos entre as categorias ecotoxicidade de água doce, ecotoxicidade terrestre, eutrofização de água doce, toxicidade humana e mudanças climáticas, referentes ao ciclo de vida de 1 kg de amendoim em vagem/casca, em sistema agrícola típico do estado de São Paulo (SATAP).

As categorias ecotoxicidade de água doce e ecotoxicidade terrestre são impactadas, basicamente, pela ação no campo dos ingredientes ativos dos pesticidas e pelos metais pesados presentes como contaminantes em fertilizantes e corretivos, além de alguns micronutrientes (cobre, manganês, e outros). Com relação à categoria eutrofização de água doce, esta é impactada por nutrientes que são perdidos para a água nos processos de lixiviação e erosão, causando aumento de algas e plantas aquáticas que, ao serem decompostas, reduzem o  $O_2$  disponível e desencadeiam a posterior anaerobiose. Os nutrientes que mais contribuem para a eutrofização dos corpos d'água são o nitrato e o fósforo, sendo monitorados pela Agência Nacional de Águas, como um dos parâmetros indicadores de qualidade (<http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>).

Na ecotoxicidade de água doce, o cobre (presente nos fertilizantes aplicados como macronutrientes, e não o aplicado como micronutriente) foi o elemento responsável pelo maior impacto (40%), seguido do ingrediente

ativo clorotalonil (20%) e de outros ingredientes como lambda-cialotrina e metolaclor. Ações visando à redução nos níveis de cobre no SATAP não são simples de serem alcançadas, devido à ausência de informações sobre a composição nos rótulos dos produtos. Também é possível reduzir e otimizar o uso de pesticidas, por meio do melhor manejo fitossanitário, que pode ser obtido com o uso de genótipos tolerantes/resistentes às doenças; com a adoção de sistema de manejo integrado, com aplicações em função de nível de potencial dano econômico; ou com o uso de produtos menos tóxicos. Sabe-se que as condições climáticas das regiões produtoras de amendoim são também favoráveis à incidência de pragas e doenças na cultura (Moraes, 2006), o que dificulta o manejo, de forma geral.

Na categoria ecotoxicidade terrestre, o ingrediente ativo clorotalonil (fungicida) representou 36% do impacto, seguido pela molécula metolaclor, com 11%, e lambda-cialotrina (inseticida), com 9% do impacto. Cabe destacar que o efeito do clorotalonil era esperado, pois foi o ingrediente ativo mais aplicado (33% das emissões de pesticidas), enquanto o impacto do lambda-cialotrina surpreendeu, pois seu uso é baixo (Tabela 3). Quanto às oportunidades de melhorias que podem ser feitas pelos produtores rurais, vale a mesma observação feita na categoria ecotoxicidade de água doce.

O maior impacto na categoria eutrofização de água doce para o amendoim ocorreu, efetivamente, pela perda de fósforo para águas superficiais (Tabela 2), em função da movimentação intensa do solo, que favorece a erosão, conforme discussões anteriores. O produtor pode reduzir esse impacto controlando a erosão de suas áreas e adotando boas práticas, que incluem menor movimentação do solo, como o uso do *RipStrip*.

A categoria toxicidade humana teve a presença do arsênio e do cromo como principais substâncias causadoras de impacto (91%). Ambos aparecem como emissões (Tabela 2) e, assim como discutido para o cobre, são emitidos para o solo e água por serem contaminantes em fertilizantes, corretivos e pesticidas. Como ambos apresentam efeitos altamente tóxicos, causam impactos mesmo em quantidades relativamente baixas (88 g/ha de arsênio e 7 g/ha de cromo).

A categoria mudanças climáticas foi a última categoria do estudo, em importância relativa (segundo a normalização - Goedkoop et al., 2012), que teve impactos pela produção do amendoim em vagem (Figura 8). Essa

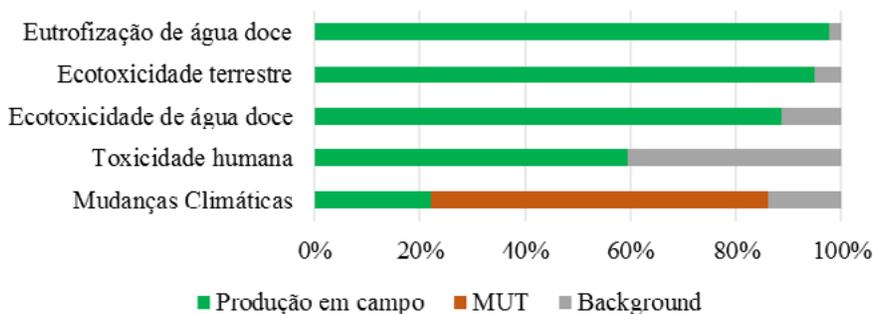
categoria representa a PC do produto, com valor de 0,616 kg de CO<sub>2</sub>eq por kg de amendoim em vagem/casca para o SATAP. A MUT foi a maior responsável pelos impactos na PC (61%) (Tabela 2). Havendo mudança de um uso da terra anterior, com maior capacidade de manter carbono no sistema, para outro com menor capacidade, as emissões decorrentes podem ser de grandes proporções. Na sequência, o segundo maior impacto foi promovido pelo uso de combustível fóssil (diesel), que respondeu por 20% do total da PC. O calcário, o uso de fertilizantes nitrogenados e a degradação de restos de cultura pós-colheita do amendoim contribuíram com 3% das emissões de GEE.

O valor das emissões de GEE pode variar, a depender do protocolo de contabilidade adotado. Assim, existem protocolos que desconsideram a etapa a montante do processo produtivo (*background*). Nesse caso, descontando-se o *background* (0,0494 kg), a soma das emissões de GEE do amendoim SATAP seria de 0,570 kg de CO<sub>2</sub>eq por kg de amendoim em vagem/casca.

Vários estudos desconsideram tanto a MUT como o *background*, como Bongiovanni et al. (2016), que verificaram emissões de GEE para o amendoim argentino de 0,087 kg de CO<sub>2</sub>eq por kg de amendoim em vagem/casca, enquanto McCarty et al. (2014) contabilizaram emissões de 0,230 kg de CO<sub>2</sub>eq por kg de amendoim em vagem/casca, para o amendoim usado na produção de pasta de amendoim nos EUA. Também Nikkhah et al. (2015), ao determinarem a ACV do amendoim iraniano, em propriedades familiares (inferiores a 5 ha), observaram emissões de 0,330 kg de CO<sub>2</sub>eq por kg de amendoim em vagem/casca. He et al. (2021) em estudo recente com o amendoim chinês, considerou as entradas de *background*, mas não a MUT e obtiveram valor médio de 1,31 kg de CO<sub>2</sub>eq por kg de amendoim em vagem/casca, um valor bastante elevado em relação ao observado em outros estudos. No caso do amendoim brasileiro, se forem desconsideradas as emissões de MUT (0,374 kg de CO<sub>2</sub>eq por kg de amendoim em vagem/casca), a soma das emissões de GEE seria de 0,242 kg de CO<sub>2</sub>eq por kg de amendoim em vagem/casca, valor próximo aos relatados, usando essa mesma premissa e inferior ao do estudo chinês (He et al., 2021).

Como a MUT responde por 61% da PC, as operações efetivas de produção em campo respondem por 31% e o *background* por 8% (Figura 9). Portanto, as alterações que o produtor pode realizar na sua área de produção afetam, no máximo, 39% da PC do estado de São Paulo. Os pontos de

melhoria envolvem, basicamente, a redução no consumo ou substituição do combustível fóssil, seguida de redução no uso de N. Notou-se que, mesmo com a alocação com outras culturas do sistema do diesel usado no preparo do solo (operações pesadas), seu impacto na PC ainda é expressivo. Para reduzir os efeitos negativos das emissões decorrentes da MUT, o produtor poderia deslocar a produção para áreas onde as emissões decorrentes da produção do amendoim tenham menor impacto.

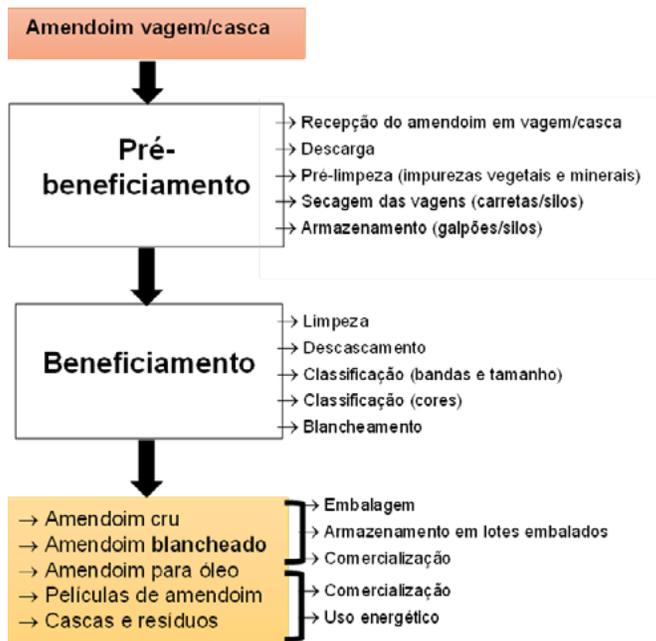


**Figura 9.** Contribuição da produção em campo, da mudança de uso da terra (MUT) e das emissões dos processos “a montante” (background) sobre o perfil ambiental da produção de 1 kg de amendoim em vagem/casca, no sistema agrícola típico do estado de São Paulo (SATAP).

## Fase Processamento Industrial

### Caracterização do sistema beneficiamento típico de amendoim

Na safra 2020, do total de amendoim produzido no país, cerca de 70% foram comercializados como grãos limpos e beneficiados (denominado aqui como *in natura*), 26% para esmagamento (gerando torta e farelo) e 4% para sementes (Federação das Indústrias do Estado de São Paulo, 2021), sendo que cerca de 2/3 da comercialização em grãos destinou-se à exportação e o restante ao mercado interno. Considerando que São Paulo contribui com 87% deste volume, pode-se inferir que o perfil no estado influenciou este valor nacional, que indica grande volume do produto comercializado na forma *in natura*, caracterizado apenas com os processos de pré-beneficiamento e o beneficiamento, com suas respectivas operações e produtos (Figura 10).



**Figura 10.** Fluxograma da produção de grãos blancheados, em sistema típico de beneficiamento do estado de São Paulo.

As mudanças mais expressivas, observadas nos últimos anos, na fase agroindustrial do estado de São Paulo, foram motivadas pela necessidade de melhoria da qualidade sanitária dos grãos já colhidos (redução de níveis de aflatoxina), sendo: a) a substituição da secagem em campo (que ocorria em condições naturais de umidade e temperatura) pelo processo controlado, em secadores instalados nas unidades de beneficiamento (carretas ou silos); e b) implantação de sistemas de amostragem e classificação automatizados (Sampaio, 2016). A secagem fora do campo melhorou a qualidade fitossanitária do produto e a classificação eletrônica auxiliou na identificação de grãos defeituosos e fora do padrão. O blanchamento ou branqueamento foi um processo implementado, num passado recente, com o objetivo de atender a mercados mais exigentes quanto à aparência do produto, aumentando seu valor agregado e sendo também uma importante etapa para a redução dos níveis de contaminação por aflatoxina. Nessa operação, a película é retirada

do grão usando um aquecimento gradual seguido de resfriamento abrupto (Sanders et al., 1999).

Na caracterização do sistema de processamento agroindustrial do amendoim, identificou-se que produto é recebido do campo ainda em vagem/casca, depois segue para uma etapa de pré-beneficiamento (Figura 11A), onde se realiza uma amostragem, que tem como objetivo verificar o cumprimento de padrões mínimos de qualidade (nível de umidade e impurezas). Quando aprovado, segue para o descarregamento e pré-limpeza (telas e sopradores), onde são retiradas as impurezas vegetais, minerais e outras sujidades. Destaca-se o baixíssimo consumo energético nessas operações iniciais.

Após a pré-limpeza, as vagens seguem para a secagem, que pode ser realizada em carretas ou silos secadores. Nos dois sistemas, o ar, com umidade relativa de 50 a 60% e temperatura média de 35° C, é injetado, passando por parede ou fundo vazado e atravessando a carga de vagens até o produto chegar à umidade próxima de 10-12%, que permite o processamento imediato ou armazenamento a granel (galpões e/ou silos). A secagem pode consumir energia elétrica do sistema nacional e/ou energia térmica da queima de diesel, resíduos (cascas) e biomassa (lenha e cavaco).

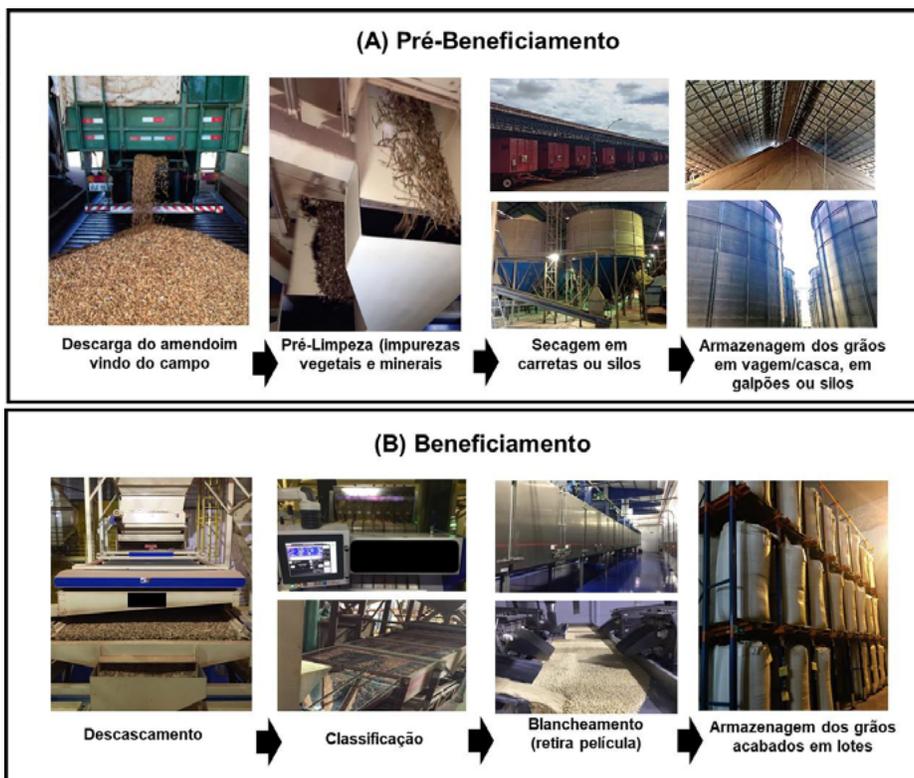
O beneficiamento em si (Figura 11B) envolve as etapas de descascamento, classificação por tamanho (mesa densimétrica) e por cor (selecionadora eletrônica) e retirada da película (blancheamento). O descascamento consiste, como o próprio nome sugere, na retirada dos grãos de suas vagens/cascas já secas. Após essa operação, as cascas estão disponíveis para comercialização ou para uso em sistemas internos de combustão, em caldeiras de geração de energia térmica. Os grãos limpos seguem para a classificação, que os separa por tamanho, depois densidade e, por último, cor.

Na separação por tamanho, há segregação entre grãos partidos (bandas) e grãos inteiros usando peneiras vibratórias. Feito isso, os grãos inteiros seguem para as mesas densimétricas, para a separação em lotes de diferentes pesos e, logo a seguir, para as seletoras eletrônicas, onde há separação dos grãos por espectros de cores, eliminando grãos escuros, despeliculados, com injúrias causadas por insetos, e outras características fora do padrão comercial, cuja quantidade pode variar de lote para lote, mas não passa de 3% (comunicação pessoal de empresas do setor). Os grãos inteiros podem ser comercializados crus com películas ou seguir para o blancheamento. Todas

essas etapas consomem energia, que pode ser energia elétrica do sistema nacional ou energia térmica da queima de diesel, resíduos e biomassa.

Os grãos de melhor qualidade e classificação seguem para a retirada da película, na operação de blanchamento. Para isso, os grãos são aquecidos, onde sofrem uma expansão e depois são resfriados rapidamente promovendo assim a remoção da película. O blanchamento é a etapa que consome maior energia em todo o beneficiamento do amendoim, podendo usar como fonte energética a energia térmica da queima de diesel, gás natural ou gás liquefeito de petróleo (GLP).

Fotos: Dantanhã J. Soares



**Figura 11.** Imagens das operações envolvidas no sistema típico de pré-beneficiamento (A) e beneficiamento (B) do estado de São Paulo.

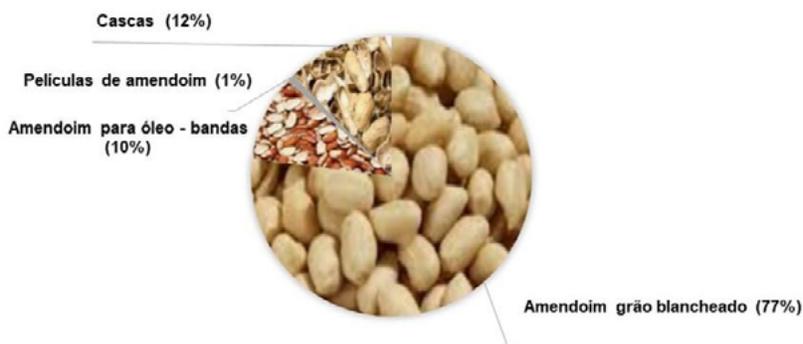
As bandas (grãos partidos) também são produtos comercializados pelas empresas; ao saírem das peneiras vibratórias, elas seguem em um processo

separado dos grãos, para as mesas densimétricas, onde são classificadas quanto ao peso. As bandas maiores e de melhor qualidade sanitária são comercializadas cruas para mercados de menor valor agregado, as intermediárias e leves, com qualidade sanitária inferior, destinam-se à indústria de extração de óleo e torta.

Assim, ao final do processo de beneficiamento são disponibilizados os produtos em ordem decrescente de valor agregado: a) amendoim em grão blanchado; b) amendoim em grão cru; c) amendoim para indústria de óleo; d) películas de amendoim e; e) cascas e resíduos (Figura 10).

### Alocação

Com a identificação dos produtos que saem do beneficiamento (Figura 10) foi possível alocar as emissões geradas na produção+beneficiamento do amendoim usando critério mássico. Com isso, foram considerados basicamente quatro produtos: a) amendoim em grão blanchado; b) amendoim para indústria de óleo; c) películas de amendoim e; d) cascas para gerar energia (Figura 12).



**Figura 12.** Representação das frações mássicas referentes ao amendoim em grão blanchado, as bandas para indústria de óleo, as películas e cascas, provenientes do sistema típico de beneficiamento do estado de São Paulo.

### Inventário de entradas da fase de beneficiamento industrial

O inventário de entradas de recursos da natureza e da tecnosfera no processo típico de beneficiamento do estado de São Paulo (SBTAP) encontra-se na Tabela 5. Verificou-se um consumo de 1,75 kg de amendoim em vagem para a obtenção de 1 kg de amendoim blanchado, além dos demais produtos da alocação (Figura 12). Houve consumo apenas de fontes energéticas, devido à simplicidade do processo. Cabe ressaltar que o transporte dos grãos do campo até a unidade de beneficiamento não foi considerado nesse escopo.

**Tabela 5.** Inventário das entradas da tecnosfera referentes a 1kg de amendoim blanchado, típico do beneficiamento do estado de São Paulo (SBTAP).

| Saídas para tecnosfera            | valor    | unidade        |
|-----------------------------------|----------|----------------|
| Amendoim blanchado                | 1,00E+00 | kg             |
| Entradas da tecnosfera            |          |                |
| Amendoim em vagem (kg)            | 1,75E-00 | kg             |
| Lenha (kg)                        | 4,02E-03 | kg             |
| Diesel fóssil A (kg)              | 1,82E-04 | kg             |
| Biodiesel -B100 (kg)              | 2,12E-05 | kg             |
| Eletricidade – grid Sudeste (kWh) | 6,35E-02 | kWh            |
| Gás natural (m <sup>3</sup> )     | 5,11E-03 | m <sup>3</sup> |
| GLP (kg)                          | 1,26E-03 | kg             |

### Inventário de emissões da fase de beneficiamento industrial

As emissões derivadas do beneficiamento do amendoim restringem-se, basicamente para o compartimento atmosférico (Tabela 6), com maior contribuição vinda de CO<sub>2</sub> fóssil, proveniente da queima dos combustíveis diesel, gás natural e GLP. A segunda emissão mais significativa foi a de CO<sub>2</sub> biogênico proveniente da queima de lenha, usada na geração de calor para a secagem e o blanchamento. Os demais gases tiveram pouco impacto no cômputo total das emissões para o ar. As emissões de óxido nitroso e o metano biogênico, observadas neste estudo, derivam do biodiesel, que é misturado ao diesel fóssil.

**Tabela 6.** Inventário de emissões para o ar para o beneficiamento de 1 kg de amendoim em casca/vagem, em SBTAP.

| Emissões para o ar                            | SBTAB    | unidade |
|-----------------------------------------------|----------|---------|
| Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)              | 3,14E-07 | kg      |
| Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), fóssil | 1,21E-02 | kg      |
| Dióxido de carbono biogênico                  | 8,16E-03 | kg      |
| Metano, fóssil (CH <sub>4</sub> )             | 7,78E-07 | kg      |
| Metano biogênico                              | 2,18E-06 | kg      |

### Perfil ambiental do amendoim blanchado

O perfil ambiental do amendoim blanchado (Tabela 7) carrega também cargas vindas do amendoim em vagem (Figura 1), que é a matéria-prima básica desse produto. Portanto, numa análise de contribuições para as cinco categorias do estudo, em média 97,3% das emissões do amendoim blanchado provêm da etapa agrícola e o restante do beneficiamento industrial.

Para a categoria de MC, 96,3% do impacto derivam da fase agrícola de produção do amendoim. As emissões da fase industrial correspondem a 2,49E-02 kg CO<sub>2</sub>eq/kg amendoim blanchado, sendo que, desse valor, 1,26E-02 kg CO<sub>2</sub>eq se deve à produção dos combustíveis e energia, com maior contribuição vinda da geração de eletricidade (83,6%), seguida da produção do GLP (9,0%), e 1,23E-02 kg CO<sub>2</sub>eq correspondem à queima dos combustíveis na indústria.

Como a fase agrícola é a predominante, em relação aos impactos das demais categorias, as mais representativas são as mesmas descritas no item 3.1.5, com seus devidos esclarecimentos. Portanto, os maiores impactos são de EcoAD, seguida por EcoT, EuAD, ToxH e por último MC, que representa também a PC do produto.

**Tabela 7.** Perfil ambiental da produção de 1 kg de amendoim blanchado paulista no SBTAP.

| Categoria de impacto       | Agrícola | Indústria | Blanchado | unidade               |
|----------------------------|----------|-----------|-----------|-----------------------|
| Ecotoxicidade de Água Doce | 5,72E-02 | 2,25E-03  | 5,95E-02  | kg 1,4-DCB            |
| Ecotoxicidade Terrestre    | 1,00E+01 | 5,64E-02  | 1,01E+01  | kg 1,4-DCB            |
| Toxicidade Humana          | 9,16E-03 | 4,87E-04  | 9,65E-03  | kg 1,4-DCB            |
| Eutrofização da Água Doce  | 2,28E-03 | 2,65E-06  | 2,28E-03  | kg P eq               |
| Mudanças Climáticas -      | 6,47E-01 | 2,49E-02  | 6,72E-01  | kg CO <sub>2</sub> eq |

## Comparativo da pegada de carbono do amendoim Brasil vs. mundo

Atualmente, muitos consumidores se norteiam na PC de um produto para sua escolha de compra e a comparação entre diferentes mercados tornou-se uma prática cada vez mais comum. Grandes produtores podem especificar a PC de seus produtos, com valores disponíveis até mesmo para lotes diferenciados, usando ferramentas especializadas, o que lhes traz potencial vantagem competitiva. Entretanto, quando isso não é possível, há a alternativa de se usar valores que representam um sistema produtivo médio, cujas informações ficam depositadas em bancos de dados (BD) internacionais. São valores “típicos”, obtidos a partir de inventários que consideram sistemas de produção mais comumente utilizados na produção em nível estadual ou nacional. Como a presente pesquisa modelou e determinou o perfil ambiental do sistema agrícola típico de produção do estado de São Paulo (SATAP), esse foi o valor utilizado para representar, genericamente, o amendoim em vagem/casca do estado de São Paulo.

A comparação desse valor “típico” com a PC do amendoim produzido em outras partes do mundo encontra-se na Tabela 8. Os dados desse estudo seguiram todas as exigências para publicação no banco de dados ecoinvent, mas podem apresentar diferenças na metodologia de contabilidade de outros bancos de dados e estudos, sendo que alguns consideram a MUT e outros não. Para evitar comparações equivocadas, fez-se a separação dessas emissões, considerando a produtividade, que representa a quantidade de produto pela qual as emissões serão divididas, a MUT, a pegada de carbono

excluindo MUT ( $PC_{\text{semMUT}}$ ) e a pegada de carbono integral (PC), onde a MUT está somada.

A produtividade de grãos diferiu entre os países analisados, considerando a diversidade nos sistemas de produção adotados em cada localidade. Enquanto o amendoim dos Estados Unidos, São Paulo, Argentina e parte da China utiliza mecanização intensiva, com elevado consumo de insumos e uso de material genético diferenciado, a produção no Irã e na Índia utiliza poucos insumos e mecanização. Com isso, se verificam diferenças quanto à PC dos produtos, pois todas as emissões são apresentadas em função da quantidade de matéria-prima produzida por área. As produtividades do estado de São Paulo e dos Estados Unidos são as maiores, seguidas da China, que historicamente é o principal produtor mundial.

Ao contrário da produtividade, quanto menor o valor da PC de um produto, mais competitivo e sustentável ele é. Assim, o amendoim do estado de São Paulo teve sua PC muito semelhante à do amendoim produzido na China, sendo: 0,616 e 0,497 kg CO<sub>2</sub>eq por kg de amendoim em vagem/casca, respectivamente (Tabela 8), considerando apenas as bases de dados oficiais onde as premissas de trabalho são as mesmas. Por outro lado, em estudos da literatura os resultados podem ser diferentes, conforme já discutido no item 3.1.6. Em relação ao mesmo produto vindo de outras partes do mundo, o amendoim do estado de São Paulo apresentou, sistematicamente, uma PC mais competitiva. O amendoim produzido em São Paulo teve desempenho ambiental 47,193 e 398% melhor que o americano, o indiano e o argentino. Também em comparação ao amendoim que representa o mercado global e a produção do resto do mundo (aqueles países que não possuem inventários de ciclo de vida para esse produto), no banco de dados ecoinvent, o amendoim do estado de São Paulo foi, respectivamente, 119 e 79% superior (isto é, gerou menor impacto ambiental). Esse valor é de alta relevância e posiciona o produto de forma bastante favorável no cenário internacional de amendoim em vagem/casca.

Um ponto de destaque é a contribuição expressiva da MUT, conforme já discutido nos itens 3.1.4 e 3.1.5, que representa 61% da PC do amendoim do estado de São Paulo, sendo uma contribuição superior em relação ao Mercado Global, que é de 34%, e mesmo em relação ao Resto do Mundo, que é de 52% (Tabela 8). No amendoim argentino, o peso das emissões de MUT na PC é ainda mais significativo (83%).

**Tabela 8.** Comparativo de produtividade em kg/ha, emissões derivadas da mudança de uso da terra (MUT), pegada de carbono sem MUT ( $PC_{semMUT}$ ) e pegada de carbono total (PC) em kg CO<sub>2</sub>eq, entre os amendoins em vagem/casca (1kg - UR) produzidos em diferentes países.

| Locais                                      | Prod (kg/ha)      | MUT                      | PC    | PC    | Dif. |
|---------------------------------------------|-------------------|--------------------------|-------|-------|------|
|                                             |                   | kg CO <sub>2</sub> eq/UR |       |       |      |
| São Paulo - SATAP <sup>1</sup>              | 4428              | 0,374                    | 0,242 | 0,616 | 1,0  |
| Estados Unidos (WFLDB) <sup>2</sup>         | 4393              | 0,010                    | 0,901 | 0,911 | 1,47 |
| China (ecoinvent 3.6)                       | 3500              | 0,015                    | 0,482 | 0,497 | 0,81 |
| Índia (ecoinvent 3.6)                       | 1000              | 0,080                    | 1,810 | 1,890 | 3,06 |
| Argentina (ecoinvent 3.6)                   | 2570              | 2,540                    | 0,300 | 3,070 | 4,98 |
| Mercado Global (ecoinvent 3.6) <sup>3</sup> | n.i. <sup>4</sup> | 0,460                    | 0,890 | 1,350 | 2,19 |
| Resto do mundo (ecoinvent 3.6) <sup>5</sup> | 3500              | 0,931                    | 0,859 | 1,790 | 1,79 |

<sup>1</sup> Sistema agrícola típico de produção do amendoim do estado de São Paulo – esse estudo.

<sup>2</sup> World Food LCA Database.

<sup>3</sup>Dataset de mercado global de amendoim: 43% de resto do mundo, 40% China, 16% Índia, 1% Argentina

<sup>4</sup> n.i. – não informado

<sup>5</sup> Dataset utilizado para todos os países que não possuem inventário de ciclo de vida para esse produto.

Além da boa produtividade, a integração da produção com a cana-de-açúcar (82%) e com a pastagem (18%) contribuíram para a PC mais competitiva do amendoim do estado de São Paulo, que quando separada da MUT ( $PC_{semMUT}$ ) foi da ordem de 0,242 kg CO<sub>2</sub>eq por kg de amendoim em vagem/casca. Esse valor é bem próximo do observado para a Argentina, que foi de 0,300 kg CO<sub>2</sub>eq por kg de amendoim em vagem/casca, na mesma condição. Em relação aos demais, a  $PC_{semMUT}$  do estado de São Paulo foi ainda mais competitiva, inclusive frente aos Estados Unidos e à China, indicando que em campo a produção do amendoim desses países gera emissões de carbono bem superiores à paulista. Com isso, entende-se que o amendoim produzido em São Paulo pode ser considerado mais ambientalmente sustentável que o dos demais países produtores.

## Considerações finais

---

O valor de PC levantado para o amendoim do estado de São Paulo representa um sistema modal típico e pode diferir de valores levantados *in loco*, com o uso de ferramentas específicas de contabilidade de carbono. Ele serve como referência em estudos de sustentabilidade da cultura e pode representar o produto produzido no estado de São Paulo, de forma genérica. O ideal seria que cada produtor contabilizasse suas emissões e PC em processos certificados, individualmente, permitindo reconhecimento do seu desempenho, porém a realidade brasileira está longe desse patamar.

A PC do amendoim do estado de São Paulo nesse sistema típico mostrou-se altamente competitiva, frente aos valores observados em outros países produtores, o que tende a melhorar a percepção dos mercados consumidores a respeito da sustentabilidade desse produto. Quando não se tinha esse valor de referência, o amendoim do estado de São Paulo era associado ao perfil ambiental na classe Resto do Mundo, que possui PC bem superior ao valor determinado nessa pesquisa.

Um ponto de alerta envolve os cuidados ao se realizar comparações de perfil ambiental e PC de produtos, pois os estudos assumem várias premissas e escolhem métodos que podem gerar valores que se comparados trazem distorções. É desejável usar ICV de produtos de um mesmo banco de dados, quando se pretende compará-los.

O bom desempenho do amendoim do estado de São Paulo frente a outros países produtores foi alavancado por: a) alta produtividade de grãos; b) uso de sistema em sucessão com cana-de-açúcar e pastagem, o que reverte em melhor uso da terra e compartilhamento de insumos e operações e; c) baixo consumo de fertilizantes nitrogenados.

Ainda existe espaço para melhorias que podem tornar a PC do amendoim ainda mais favorável, sendo elas: a) elevação da produtividade, que já é alta, mas está aquém do potencial produtivo experimental; b) otimização no uso de máquinas agrícolas, com controle e acompanhamento de rendimentos de operações, que reduzam o consumo de combustível fóssil (diesel); c) redução de perdas de nutrientes devido a perdas de solo (erosão); d) uso de controle biológico e de moléculas de pesticidas com menor toxicidade; e e) controle direcionado de pragas e doenças e uso de variedades resistentes ou tolerantes, de forma a reduzir o número de pulverizações, que também implica em redução de diesel.

## Conclusões

---

- O sistema típico de produção de amendoim do estado de São Paulo é o de 1ª safra, sempre em regime de sucessão/rotação de culturas, ocupando, predominantemente, áreas de reforma da cana-de-açúcar de ano e meio, seguidas de áreas de reforma da pastagem. Esse sistema melhora o desempenho ambiental do amendoim devido ao compartilhamento da área, insumos e operações agrícolas.
- As categorias de impacto da ACV que mais se alteram com a produção do amendoim são as relativas à Ecotoxicidade de Água Doce e Ecotoxicidade Terrestre, devido à contaminação com metais pesados contaminantes de fertilizantes e corretivos, e também pelo uso substancial de pesticidas, que mitigam as perdas ocasionadas por pragas e doenças.
- A pegada de carbono do amendoim do estado de São Paulo é de 0,672 kg de CO<sub>2</sub>eq por kg de amendoim blanchado (processado) e 0,616 kg de CO<sub>2</sub>eq por kg de amendoim em vagem/casca (saído do campo), caracterizando-se vantajosa (119% inferior) em relação à da média mundial.
- A pegada de carbono do amendoim do estado de São Paulo se deve principalmente à mudança do uso da terra (61%), seguida do consumo de diesel fóssil (20%).

## Agradecimentos

---

Agradecimentos às empresas Beatrice Peanuts e Coplana - Cooperativa Agroindustrial, por todo o apoio nas entrevistas e validação das informações. Também à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), pelo apoio fornecido na forma do projeto temático “*Integração Cana - Pecuária: modelagem e otimizações*” (Fapesp: 2017/11523-5).

## Referências

---

AGRIANUAL: anuário da agricultura brasileira, 2020. p. 128-130, 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução de Diretoria Colegiada, nº 7, de 18 de fevereiro de 2011**. Diário Oficial da União nº 37, 22 fev. 2011. Seção I, p. 72. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2011/rdc0007\\_18\\_02\\_2011\\_rep.pdf](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2011/rdc0007_18_02_2011_rep.pdf). Acesso em: 10 fev. 2023.

AMBROSANO, J. A.; CANTARELLA, H.; AMBROSANO, G. M. B.; SCHAMMAS, E. A.; DIAS, F. L. F.; ROSSI, F.; TRIVELIN, P. C. O.; MURAOKA, T.; SACHS, R. C. C.; ZACÓN, R. Produtividade da cana-de-açúcar após o cultivo de leguminosas, **Bragantia**, v. 70, n. 4, p. 810-818, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052011000400012>.

AMBROSANO, J. A.; CANTARELLA, H.; ROSSI, F.; SCHAMMANS, E. A.; SILVA, E. C.; AMBROSANO, G. M. B.; DIAS, F. L. F.; TRIVELIN, P. C. O.; MURAOKA, T. Desempenho de adubos verdes e da primeira soqueira de cana-de-açúcar, cultivados consorciadamente. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 8, n. 3, p. 80-90, 2013.

ANACHE, J. A. A.; WENDLAND, E. C.; OLIVEIRA, P. T. S.; FLANAGAN, D. C.; NEARING, M. A. Runoff and soil erosion plot scale studies under natural rainfall: a meta-analysis of brazilian experience. **Catena**, v. 152, p. 29-30, 2017.

BARCELOS, J. E. MEIOSI Cana-Alimentos (método intercalar rotacional ocorrendo simultaneamente). **Saccharum**, v. 7, n. 31, p.10-18, 1984.

BARIZON, R. R. M.; MATSUURA, M. I. S. F.; SCACHETTI, M. T.; SILVA, G. B. S. da; COSTA, M. P.; GAROFALO, D. F. T.; LANES, V. F. de; PICOLI, G.; PIGHINELLI, A. L. M. T.; MORANDI, M. A. B. **PestLCI Model**: parameterization for scenarios of Brazilian agricultural production. Jaguariúna: Embrapa Environment, 2021. 30 p. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 133).

BOLONHEZI, D.; GODOY, I. J.; SANTOS, R. C. Manejo cultural do amendoim. In: SANTOS, R. C.; FREIRE, R. M. M.; LIMA, L. M. de (org.). **O agronegócio do amendoim no Brasil**. 2 ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2013. v. 2., p. 185-237.

BOLONHEZI, D.; VISCHI FILHO, O. J.; BETIOL, O.; AMBROSIO, L. M. da S.; LEAL, E. P. R. **Erosão do solo na cultura do amendoim**. 2020. Disponível em: <https://infoamendoim.com.br/website/2021/06/16/impactos-e-medidas-de-controle-da-erosao-do-solo-no-amendoim/>. Acesso em: 10 fev. 2023.

BONGIOVANNI, R.; TUNINETTI, L.; GARRIDO, G. Huella de carbono de la cadena de mani de Argentina. **Revista de Investigaciones Agropecuarias**, v. 42, n. 3, p. 324-336, 2016.

BONKU, R.; YU, J. Health aspects of peanuts as an outcome of its chemical composition. **Food Science and Human Wellness**, v. 9, n. 1, p. 21-30, 2020.

BOOTE, K. J.; STANSELL, J. R.; SCHUBERT, A. M.; STONE, J. F. Irrigation, quarter use and water relation. In: PATEE, H. E.; YOUNG, C. T. (ed.). **Peanut science and technology**. Texas: American Press, 1982. p. 164-205.

BRITO FILHO, A. L. de; SOUZA, J. B. C.; SILVA, R. P. da. Preparo do solo para a cultura do amendoim. IN: NOVAS Tecnologias da Engenharia para aproveitamento do amendoim. Jaboticabal, 2019. p. 18-22. Disponível: [http://areajaboticabal.org.br/pdf/livro\\_01.pdf#page=18](http://areajaboticabal.org.br/pdf/livro_01.pdf#page=18). Acesso em 9 fev. 2023.

CALVO BUENDIA, E.; TANABE, K.; KRANJC, A.; BAASANSUREN, J.; FUKUDA, M.; NGARIZE S.; OSAKO, A.; PYROZHENKO, Y.; SHERMANAU, P; FEDERICI, S. (ed.). **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Geneve: IPCC, Switzerland.

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

CHAGAS, M. F.; BORDONAL, R. O.; CAVALETT, O.; CARVALHO, J. L. N.; BONOMI, A.; LA SCALA JUNIOR, N. Environmental and economic impacts of different sugarcane production systems in the ethanol biorefinery. **Biofuels, Bioproducts & Biorefining**, v. 10, n. 1, p. 89-106, 2015.

CHARLES, R.; JOLLIET, O.; GAILLARD, G.; PELLET, D. Environmental analysis of intensity level in wheat crop production using life cycle assessment. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 113, n. 1-4, p. 216-225, 2006.

CONAB. **Séries históricas**: amendoim de 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> safras. Brasília, DF, 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras?start=10>. Acesso em: 8 fev. 2023.

CONAB. **Séries históricas**: custos: amendoim: 2013 a 2021. Brasília, DF, 2019. Acesso <https://www.conab.gov.br/info-agro/custos-de-producao/planilhas-de-custo-de-producao/item/14564-serie-historica-custos-amendoim-2013-a-2020>. Acesso em: 8 fev. 2023.

FAOSTAT. **Crops and livestock products**. 2022. Acesso: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 8 fev. 2023.

FARINELLI, R.; LOBODA, M. S. Efeito da aplicação de gesso agrícola no comportamento da cultura do amendoim. **Cultura Agrônômica**, v. 15, n. 2, p. 1-20, 2005.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Agronegócio do amendoim**: produção, transformação e oportunidades. São Paulo, 2021. 37p.

GAROFALO, D. F. T.; NOVAES, R. M. L.; PAZIANOTTO, R. A. A.; MACIEL, V. G.; BRANDÃO, M.; SHIMBO, J. Z.; MATSUURA, M. I. S. F. Land-use change CO2 emissions associated with agricultural products at municipal level in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 364, Article 132549, 2022.

GILLER, P.; SILVESTRE, P. **El cacahuete o maní**. Madrid: Editorial Blume, 1970. 281 p.

GODOY, I. J. **A importância do amendoim alto oleico**. Disponível em: <https://infoamendoim.com.br/website/2021/06/16/a-importancia-do-amendoim-alto-oleico/>. Acesso em: 15 fev. 2023.

GOEDKOOP, M.; HEIJUNGS, R.; HUIJBREGTS, M.; SCHRYVER, A.; DE STRUIJS, J.; VAN ZELM, R. **ReCiPe**: a life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. 2012. Disponível em: <http://www.lcia-recipe.net/>. Acesso em: 17 fev. 2023.

GRANT, C. A.; FLATEN, D. N.; TOMASIEWICZ, D. J.; SHEPPARD, S. C. A. Importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. **Informações agrônômicas**, v. 95, p. 1-5, 2001.

HE, S.; CHEN, Y.; XIANG, W.; CHEN, X.; WANG, X.; CHEN, Y. Carbon and nitrogen footprints accounting of peanut and peanut oil production in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 291, article 125964, 2021. DOI. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125964>.

IBGE. **Indicadores de desenvolvimento sustentável, Brasil**: 2015. Rio de Janeiro, 2015. 352 p. (Estudos e pesquisas. Informação geográfica, n. 10); Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv94254.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2023.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14040**: environmental management of life cycle assessment: principles and framework. Genève, 2006a.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14044**: environmental management of life cycle assessment: requirements and guidelines. Genève, 2006b.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14067**: greenhouse gases - carbon footprint of products: requirements and guidelines for quantification. Genève: 2018. 46 p.

LOURENZANI, W. L.; LOURENZANI, A. E. B. S. Perspectivas do agronegócio brasileiro do amendoim. **Informações Econômicas**, v. 39, n. 2, p. 55-69, 2009. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/ftpiea/publicacoes/IE/2009/tec6-0209.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2023.

McCARTY, J. A.; SANDEFUR, H. N.; MATLOCK, M.; TRHORMA, G.; KIM, M. Life cycle assessment of greenhouse gas emissions associated with production and consumption of peanuts butter in the US. **Transactions of the ASABE**, v. 57, n. 6, p. 1741-1750, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.13031/trans.57.10703>.

MATSUURA, M. I. da S. F.; CARDOSO, F. H.; PIGHINELLI, A. L. M. T.; MACIEL, V. G.; RAMOS, N. P.; GAROFALO, D. F. T.; MENDES, N. C.; MOORE, C. C. S.; NOVAES, R. M. L.; MORANDI, M. A. B. **ICVCalc**: ferramenta para construção de inventários agrícolas para estudos de avaliação de ciclo de vida. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2022. 47 p. (Embrapa Meio Ambiente. Circular Técnica, 32).

MATSUURA, M. I. S. F.; DIAS, F. T.; PICOLI, J. F.; LUCAS, K. R. G.; DE CASTRO, C.; HIRAKURI, M. H. Life-cycle assessment of the soybean-sunflower production system in the Brazilian Cerrado. **The International Journal of Life Cycle Assessment**. v. 22, n. 4, p. 492-501, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11367-016-1089-6>.

MORAES, S. A. de. **Amendoim**: principais doenças, manejo integrado e recomendações de controle. 2006. Disponível em: [http://www.infobibos.com/Artigos/2006\\_2/amendoim/Index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/amendoim/Index.htm). Acesso em: 11 fev. 2021.

NEMECEK, T.; BENGUA, X.; LANSCH, J.; MOURON, P.; RIEDENER, E.; ROSSI, V.; HUMBERT, S. **World Food LCA Database**: methodological guidelines for the life cycle inventory of agricultural products: version 3.5 88. 2019.

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

NEMECEK, T.; KÄGI, T. **Life cycle inventories of agricultural production systems. ecoinvent report nº 15**. Zürich: ART, 2007. 46 p.

NEMECEK, T.; SCHNETZER, J. **Methods of assessment of direct field emissions for LCIs of agricultural production systems**. Zurich: ART, 2012. 34 p.

NIKKHAH, A.; KHOJASTEHPOUR, M.; EMADI, B.; TAHERI-RAD, A.; KHORRAMDEL, S. Environmental impacts of peanut production system using life cycle assessment methodology. **Journal of Cleaner Production**, v. 92, p. 84-90, 2015.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; TÁVORA, F. J. A. F. Ecofisiologia do amendoim (*Arachis hypogea* L.). In: SANTOS, R. C. dos (ed.). **O Agronegócio do amendoim no Brasil**. Campinas Grande. Embrapa Algodão, 2005. p. 71-122.

NOVAES, R. M. L.; PAZIANOTTO, R. A. A.; BRANDÃO, M.; ALVES, B. J. R.; MAY, A.; MATSUURA, M. I. da S. F. Estimating 20-year land-use change and derived CO<sub>2</sub> emissions associated to crops, pasture and forestry in Brazil and each of its 27 states. **Global Change Biology**, v. 23, n. 9, p. 3716-3728, 2017.

OKITO, A.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M. Nitrogen fixation by groundnut and velvet bean and residual benefit to a subsequent maize crop. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 12, p. 1183-1190, 2004.

PEREIRA, L. D. R.; IGNÁCIO, E. O. **Cadeia produtiva do óleo de amendoim**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE TECNOLOGIA EM AGRONEGÓCIO, 11., 2019, Ourinhos. **Bioeconomia: diversidade e riqueza para o desenvolvimento sustentável**: anais. Ourinhos: FATEC, 2019. p. 114-122.

RAMOS, N. P.; PIGHINELLI, A. L. M. T.; SOARES, D. J.; MACIEL, V. G.; MICHELOTTO, M. D.; MATSUURA, M. I. da S. F. Desempenho ambiental do amendoim produzido em sistema de rotação com pastagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE GESTÃO DO CICLO DE VIDA, 7., 2021. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 2021. p. 57-61. Evento on-line.

ROBERSON, G. T. Planting, harvesting, and curing peanuts. In: JORDAN, D. L.; BRANDENBURG, R. L.; BROWN, A. B.; BULLEN, S. G.; ROBERSON, G. T.; Shew, B.; Spears, J. F. **Peanut information**. Raleigh: North Carolina Cooperative Extension Service, 2009. (Series AG-331). p. 131-148.

SAMPAIO, R. M. Tecnologia e Inovação: evolução e demandas na produção paulista de amendoim. **Informações Econômicas**, v. 46, n. 4, p. 27-42, 2016.

SAMPAIO, R. M.; FREDO, C. E. Características socioeconômicas e tecnologias na agricultura: um estudo da produção paulista de amendoim a partir do Levantamento das Unidades de Produção Agropecuária (LUPA) 2016/17. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 59, n. 4, e236538, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.236538>.

SANDERS, T. H.; ADELSBERG, G. D.; HENDRIX K. W.; MCMICHAEL JR, R. W. Effect of blanching on peanut shelf-life. **Peanut Science**, v. 26, n. 1, p. 8-13, 1999.

SOUZA JUNIOR, A. F.; CASELLI, F. de T. R.; SOARES, R. D. B. Survey of the carbon footprint of the babaçu coconut production chain in the state of Piauí. **Mix Sustentável**, v. 7, n. 1, p. 73–80, 2020a. DOI: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2020.v7.n1.73-80>.

SOUZA JUNIOR, C. M.; SHIMBO, J. Z.; ROSA, M. R.; PARENTE, L. L.; ALENCAR, A. A.; RUDORFF, B. F. T.; HASENACK, H.; MATSUMOTO, M.; FERREIRA, L. G.; SOUZA FILHO, P. W. M.; OLIVEIRA, S. W. DE; 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, article 2735, 2020b. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12172735>.

VAAMONDE, G.; PATRIARCA, A.; PINTO, V. F. Effects of water activity and temperature on production of aflatoxin and cyclopiazonic acid by *Aspergillus flavus* in peanuts. **Advances in Experimental Medicine and Biology**, v. 571, p. 225-235, 2006.

VEIGA, R. F. A.; GODOY, I. J.; SAVY FILHO, A.; GERIN, M. A. N.; VALLS, J. F. M. **Descritores de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) utilizados no Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1986. 21 p. (Boletim Técnico, 28).

WANG, M.; WU, W.; LIU, W.; BAO, Y. Life cycle assessment of the winter wheat-summer maize production system on the North China Plain, **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, v. 14, n. 4, p. 400-407, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1080/13504500709469740>.

WERNET, G.; BAUER, C.; STEUBING, B.; REINHARD, J.; MORENO RUIZ, E.; WEIDEMA, B. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 21, n. 9, p.1218-1230, 2016.

WESSLER, V.; MAHL, D.; OLIVATTI, B. M. Influência da colheita mecanizada sobre impurezas e danos visíveis na cultura do amendoim. In: ENCONTRO SOBRE A CULTURA DO AMENDOIM, 4, 2007, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: Funep, 2007.

**Embrapa**

---

**Meio Ambiente**

MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA E  
PECUÁRIA



UNIÃO E RECONSTRUÇÃO