



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA PARA MENSURAÇÃO  
DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NA PRODUÇÃO DE  
ALIMENTO EXTRUSADO PARA CÃES

Autor: Jéssyka Laura Galdino Costa

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Souza Vasconcellos

Coorientador: Prof. Dr. Ferenc Istvan Bánkuti

MARINGÁ

Estado do Paraná

Março – 2022

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA PARA MENSURAÇÃO  
DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NA PRODUÇÃO DE  
ALIMENTO EXTRUSADO PARA CÃES

Autor: Jéssyka Laura Galdino Costa

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Souza Vasconcellos

Coorientador: Prof. Dr. Ferenc Istvan Bánkuti

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM ZOOTECNIA, no Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá - Área de concentração Produção Animal.”

MARINGÁ

Estado do Paraná

Março – 2022



Biblioteca Central – UEM, Maringá – PR, Brasil

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ

CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA PARA MENSURAÇÃO DOS  
IMPACTOS AMBIENTAIS NA PRODUÇÃO DE ALIMENTOS  
EXTRUSADO PARA CÃES

Autora: Jéssyka Laura Galdino Costa

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Souza Vasconcellos

Coorientador: Prof. Dr. Ferenc Istvan Bánkuti

TITULAÇÃO: Mestre em Zootecnia - Área de concentração Produção Animal

APROVADA em 30 de março de 2022.

Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>a</sup> Bruna Agy Loureiro

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** THIAGO JOSE FLORINDO  
Data: 19/09/2023 14:18:52-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Thiago José Florindo

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** RICARDO SOUZA VASCONCELLOS  
Data: 15/09/2023 13:28:49-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Ricardo Souza Vasconcellos

Orientador

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

C837

Costa, Jéssyka Laura Galdino

Avaliação do ciclo de vida para mensuração dos impactos ambientais na produção de alimento extrusado para cães / Jéssyka Laura Galdino Costa. -- Maringá, PR, 2022.

77 f.: il. color., figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Souza Vasconcellos.

Coorientador: Prof. Dr. Ferenc Istvan Bánkuti.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Zootecnia, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, 2022.

1. Impacto ambiental - Avaliação do ciclo de vida (ACV) - Mensuração. 2. Produção alimento extrusado - Cães. 3. Sustentabilidade. I. Vasconcellos, Ricardo Souza, orient. II. Bánkuti, Ferenc Istvan, coorient. III. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Zootecnia. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. IV. Título.

CDD 23.ed. 636.7

Elaine Cristina Soares Lira - CRB-9/1202

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Maringá (UEM) e ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia (PPZ) por ter possibilitado o desenvolvimento deste trabalho.

Ao CNPq (processo 132952/2020-3), pela concessão da bolsa de estudo.

Ao professor Ricardo S. Vasconcellos, pela condução fundamental na pesquisa, orientação e incentivo.

Aos professores Ferenc Istvan Bánkuti, Olívia Toshie Oiko e Bruna Agy Loureiro, pela coorientação, apoio e valiosas considerações no desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores da banca examinadora, por aceitarem o convite e contribuição no aprimoramento deste estudo.

À Manfrim Industrial (Special Dog Company), pela oportunidade, financiamento e suporte para execução deste estudo.

Aos acadêmicos, mestrandos e doutorandos do Centro de Ensino e Estudos Nutricionais em Felinos (Ceenufel) e essenciais felinos que oportunizam a realização de tantas pesquisas.

Aos meus pais, Tadeu Costa e Lírida Galdino, maiores incentivadores dos meus sonhos.

Pela dedicação e zelo na minha educação, por me guardar em oração, pelo amor e

exemplo dado.

Aos meus irmãos, Ladmilson e Lucas, que me inspiram diariamente com seus exemplos de vida, na batalha pelos meus sonhos e sucesso.

Aos integrantes da família Galdino e família Costa, pela disposição em oração e grande torcida ao longo desses anos.

À Joyce Sato, por tamanha generosidade e inesquecível ajuda. Pela amizade, incentivo e inspiração pessoal e profissional.

À Maria, Vera, Júlia e seu José, pelo acalento, abraço e amparo oferecido nos dias longe de casa, em vocês encontrei uma segunda família e lar.

Aos amigos Hellen, Heitor e Dário, pela firme companhia, incentivo, consolo e alívio diário proporcionados.

Aos conterrâneos e amigos Marina, Aires e Alan. Agradeço pelos momentos de descontração, afeto e disposição em me ajudar sempre.

À minha família na fé, encontrá-los foi motivo de ânimo e lembrete revigorante do cuidado de Deus.

Eminentemente sou grata a Deus, por sua provisão e bondade constante em minha vida.

Obrigada por cada mão ajudadora e consoladora estendida a mim. Tudo é resultado da graça do Autor da vida!

## BIOGRAFIA

Jéssyka Laura Galdino Costa, filha de José Tadeu da Costa e Lírida Magna Galdino Costa, nasceu em Campina Grande - PB, no dia 27 de setembro de 1996. Zootecnista, graduou-se em fevereiro de 2020, pela Universidade Federal da Paraíba, no Centro de Ciências Agrárias (UFPB/CCA).

Em março de 2020, ingressou no Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Estadual de Maringá (UEM/PPZ), em nível de mestrado, na área de produção animal. Durante esse período realizou estudos na área de nutrição de animais de companhia.

Em março de 2022, submeteu-se à banca na mesma instituição para defesa da dissertação.

## ÍNDICE

	Páginas
I. INTRODUÇÃO .....	19
1.1 Introdução geral.....	19
1.2 Mercado pet e indústria pet food .....	21
1.3 Sustentabilidade em pet food.....	22
1.3.1 Definição, projeções gerais e ODS .....	22
1.3.2 Iniciativa “PEFCR” .....	23
1.4 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).....	24
1.4.1 Origem e etapas de um estudo de ACV .....	24
1.4.1.1 Objetivo e escopo.....	25
1.4.1.2 Avaliação do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) .....	28
1.4.1.3 Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) .....	29
1.4.1.4 Interpretação .....	30
1.5 Software SimaPro, base de dados Ecoivent e Agri-footprint, método da pegada Ambiental (PEF).....	31
1.6 Estudos de ACV em Pet food.....	32
1.7 Impacto ambiental de cães e gatos com base em estudos.....	34
II. Referências bibliográficas.....	37



## LISTA DE QUADROS

	Páginas
Quadro 1. Opções de limites do sistema de um estudo de ACV.....	27
Quadro 2. Regras de alocação do Cradle-to-Gate em pet food .....	27

## LISTA DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1. Regras de alocação do Cradle-to-Gate em pet food .....	26

## RESUMO

O tema sustentabilidade é foco atual da comunidade científica, legisladores e empresas em diversos segmentos de mercado. A indústria pet food, tem como maior tendência para esta década o desenvolvimento de produtos e processos ambientalmente amigáveis. Apesar disto, a produção de alimentos para cães e gatos ainda possui seus encargos ambientais pouco mensurados. Pesquisas anteriores investigaram tais impactos utilizando metodologias e ferramentas como dados estocásticos, pegadas de carbono e consumo de energia para concluir suas hipóteses, baseando-se em dados extrapolados. No entanto, a caracterização ambiental dessa atividade sob a ótica da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), ainda é pouco utilizada. Tendo isto em vista, neste estudo realizou-se uma ACV de um alimento seco extrusado para cães adultos, produzido no Brasil. Considerou-se como unidade funcional (UF) as quilocalorias necessárias para atender a demanda energética de um cão de 10 kg e o fluxo de referência (FR), a quantidade de alimento diária a ser fornecida para este animal, considerando a comercialização em embalagens de 15 kg. Dados primários de produção, considerando os anos de 2019 e 2020

foram obtidos de um fabricante brasileiro de alimentos para animais de companhia. Dados secundários foram obtidos para as etapas de extração e produção de matérias-primas e embalagem. Mensuraram-se os indicadores de impacto ambiental das etapas de extração das matérias-primas, produção de embalagem, fabricação do alimento e sua distribuição (ACV do berço ao portão), pelo método EP 3.0 v.1.00 disponível no software Simapro versão 9.1.1.1. Uma análise de sensibilidade para alocação dos coprodutos foi realizada. Os resultados mostram que entre as 15 categorias de impacto consideradas, a formulação representa a maior contribuição para os impactos gerados. Ao serem normalizados, os resultados obtidos evidenciaram as categorias de Eutrofização Terrestre (ET), Eutrofização Marinha (EM), Acidificação, e Toxicidade Humana não cancerígena (TH), Material Particulado (MP) e Mudanças Climáticas (MC) como as categorias mais relevantes no sistema (80% do total dos impactos). Neste trabalho, a escolha dos ingredientes mostrou ser importante fator na mitigação dos impactos ambientais em pet food.

**Palavras-chave:** ACV, animais de companhia, impacto ambiental, pegada de carbono, sustentabilidade.

## ABSTRACT

The theme of sustainability is the current focus of the scientific community, legislators and companies in various market segments. The Pet food industry's biggest trend for this decade is the development of environmentally friendly products and processes. Despite this, the production of food for dogs and cats still has its environmental burdens little measured. Previous research has investigated such impacts using methodologies and tools such as stochastic data, carbon footprints and energy consumption to conclude their hypotheses, based on extrapolated data. However, the environmental characterization of this activity from the perspective of the Life Cycle Assessment (LCA) methodology is still little used. With this in mind, in this study an LCA of an extruded dry food for adult dogs produced in Brazil was carried out. The kilocalories necessary to meet the energy demand of a 10 kg dog were considered as the functional unit (FU) and the reference flow (FR), the daily amount of food to be provided for this animal, considering the commercialization in packages of 15 kg. Primary production data, considering the years 2019 and 2020, were obtained from a Brazilian pet food manufacturer. Secondary data were obtained for the extraction and production stages of raw materials and packaging. The environmental impact indicators of the raw material extraction, packaging

production, food manufacturing and distribution (ACV from cradle to gate) stages were measured using the EP 3.0 v.1.00 method available in Simapro software version 9.1.1.1 . A sensitivity analysis for co-product allocation was performed. The results show that among the 15 impact categories considered, the formulation represents the greatest contribution to the generated impacts. When normalized, the results obtained showed the categories of Terrestrial Eutrophication (ET), Marine Eutrophication (EM), Acidification, and non-carcinogenic Human Toxicity (TH), Particulate Matter (PM) and Climate Change (MC) as the most relevant categories in the system (80% of the total impacts). In this work, the choice of ingredients proved to be an important factor in mitigating the environmental impacts of pet food.

Keywords: LCA, companion animals, environmental impact, carbon footprint, sustainability.

## I. INTRODUÇÃO

### 1.1 Introdução geral

Sustentabilidade é um assunto emergente e tem ganhado especial atenção diante das demandas por maior suprimento mundial de alimentos, estendendo-se a todos os sistemas de produção e criação existentes (Swanson et al., 2013). Mediante a tendência de maior presença de cães e gatos nos domicílios, espera-se um crescimento constante do mercado pet food nos próximos anos, sendo esse o setor de maior representatividade na indústria pet. Do ponto de vista ambiental, a produção e o consumo de alimentos são apontados como fator de maior contribuição no impacto ambiental dos animais de companhia (Aivazidou et al., 2017; Annaheim et al., 2018; Leenstra, 2018; Okin e Crowther, 2017; Ravilious, 2009; Su, 2018; Su e Martens, 2018; Vale e Vale, 2009), uma vez que demandam consumo de recursos naturais, energia e geração de resíduos ao meio ambiente.

Em pet food é comum a comercialização de produtos formulados com elevados teores proteicos, em sua maioria advindos de fontes de proteínas de origem animal (Okin e Crowther, 2017), que geralmente possui um impacto ecológico maior em comparação com as proteínas de origem vegetal (Aiking e Boer, 2020; Pimentel e Pimentel, 2003).

Além disso, a tendência entre os tutores em fornecer o alimento em excesso, o desperdício e os dejetos gerados pelos animais de companhia são alguns fatores que amparam a visão de maior encargo ambiental gerado pela produção e consumo das dietas (Rushforth e Moreau 2013; Swanson et al. 2013; Martens et al. 2019).

Ainda existe escassez de estudos sobre o impacto ambiental do contexto que envolve cães e gatos e suas consequências (Acuff et al., 2021). Com exceção do estudo de Alexander et al. (2021), realizado, recentemente, de forma global, pesquisas anteriores sobre os impactos ambientais de alimentos para cães e gatos foram conduzidas especificamente nos EUA (Okin e Crowther, 2017), Japão (Su e Martens, 2018) e China (Su et al., 2018). Os resultados desses estudos foram gerados em cima do consumo anual das dietas, atribuindo o impacto ambiental por meio de extrapolações, o que pode negligenciar ou gerar incertezas de alguns resultados. Ainda, a maioria das avaliações (Okin e Crowther, 2017; Su e Martens, 2018; Su et al., 2018), não considerou o impacto dos subprodutos, ingredientes esses que podem constituir grande parte (cerca de 30%) do total em massa de alimentos secos para cães e gatos (Alexander et al., 2021).

A ACV é uma metodologia com procedimentos estabelecidos pelas normas ISO 14040 e 14044 (ABNTab, 2009), para quantificar impactos ambientais de diferentes sistemas, serviços ou produtos. Essa abordagem se diferencia das tradicionais, uma vez que se consideram os impactos causados além do processo de manufatura (Klopffer, 1997). Para estudos em pet food, no entanto, pode ser direcionado a partir do manual ‘‘Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCR), desenvolvido pela Comissão Europeia de Alimentos para Animais de Estimação (FEDIAF, 2018a), desenvolvido para facilitar a comparação dos resultados pelos profissionais da área.

Para que um sistema produtivo se torne ambientalmente mais sustentável é fundamental identificar e quantificar quais etapas, processos e subprocessos que ocorrem os principais e mais significativos impactos. Mensurar esses impactos de acordo com a realidade nacional torna-se importante, uma vez que os sistemas podem ser diferentes de um país para o outro, incluindo os fatores tecnológicos, disponibilidade dos recursos na região, distância de distribuição, utilização de recursos naturais, composição nutricional do produto (por exemplo, nível de umidade e proteína), especificações de embalagem, geração de resíduos, variando assim os seus resultados.



Tendo isto em vista, o objetivo principal deste estudo foi quantificar os impactos ambientais da produção de um alimento seco para cães adultos, produzido no Brasil, por meio da ACV, a fim de caracterizar os pontos críticos e identificar as possibilidades de melhorias no desenvolvimento de produtos.

## II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Mercado pet e indústria pet food

Ao longo dos anos, a população de cães e gatos tem crescido, assim como sua presença nos domicílios, sendo considerados cada dia mais como membros da família. A importância dessas espécies na sociedade e seus benefícios aos humanos têm sido evidenciado em diversos estudos, por exemplo, podem promover o aumento da atividade física, redução da pressão arterial, redução do risco de certas doenças cardíacas e benefícios psicológicos aos tutores (Friedmann e Thomas, 1995; Krittanawong et al. 2020; Serpell, 1991).

Foram estimados em todo o mundo cerca de 373 milhões de gatos e 471 milhões de cães (Sivewright e Kreuger 2019). De acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Produtos para Animais de Estimação (ABINPET), o Brasil possui cerca de 58,1 milhões de cães e 27,1 milhões de gatos, que contribui para colocação do país entre os três países do mundo com maior população de animais de estimação (ABINPET, 2022).

Economicamente falando, animais de companhia movimentam um mercado mundial bilionário, com cerca de R\$ 139,2 bilhões por ano (ABINPET, 2022), sendo o Brasil na sexta colocação (4,5%) dessa fatia. Dentro do faturamento nacional, o segmento pet food tem sido majoritariamente o mais representativo, com cerca de 79% (ABINPET, 2022). Embora o crescimento populacional e aumento contínuo da posse de animais de companhia tenha consequências positivas na expansão da indústria pet food, na economia global e brasileira, do ponto de vista ambiental, existe a preocupação de que os impactos ambientais relacionados a esse sistema estejam sendo negligenciados (Su e Martens et al. 2018; Su et al. 2018).

## 2.2 Sustentabilidade em pet food

### 2.2.1 Definição, projeções gerais e ODS

A definição apresentada de “sustentabilidade” mais difundida é da Comissão Brundtland, é pela capacidade de uma sociedade em utilizar dos recursos, atendendo as necessidades do presente, sem comprometer a capacidade destes para as gerações futuras (WCED, 1987), assim uma produção é considerada sustentável quando promove um desempenho satisfatório nas dimensões social, econômica e ambiental (triple bottom line).

Swanson et al (2013) definem como “Sustentabilidade nutricional é a capacidade de um sistema alimentar de fornecer energia suficiente e as quantidades de nutrientes essenciais necessários para manter uma boa saúde da população sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas necessidades nutricionais”.

Recentemente, Acuff et al. (2021) definiram o conceito de sustentabilidade nutricional incorporando o manejo de animais de companhia e o definiram como sendo “o manejo consciente dos recursos e resíduos necessários para atender aos requisitos fisiológicos de animais de companhia sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas necessidades ambientais, sociais ou econômicas”.

Estima-se aumento da população mundial com cerca de 10 bilhões de pessoas em 2050, com poder aquisitivo e renda cada vez maior. Espera-se que esse fator impulsione a produção de alimentos para suprir esta demanda (FAO, IFAD, UNICEF, WFP, WHO, 2022). Essas implicações também devem afetar a sustentabilidade da cadeia alimentar,

gerando a necessidade de maior utilização de recursos naturais, aumento das emissões de gases de efeito estufa e outras ameaças.

A criação dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas, composto por 17 objetivos e 169 metas faz parte de uma estratégia interligada para a promoção de práticas e soluções de desenvolvimento sustentável que contemplam os principais problemas enfrentados pela nossa sociedade e que impactam as próximas gerações. Os ODS destinam-se a estabelecer um ambiente melhor e mais viável até 2030, por meio da consecução de vários objetivos sociais, ambientais e objetivos econômicos (Nations United, 2015; 2022).

Espera-se que nos próximos anos todos os setores dos países em desenvolvimento estejam alinhados com os ODS. Por exemplo, a produção de alimentos pode ter ação direta no consumo e produção responsáveis (ODS 12), nas ações climáticas (ODS 13) e fome zero (ODS 2) produzindo com menos degradação (menor uso de energia, de água e desperdícios), aumentando a sustentabilidade da produção de alimentos (Mosna et al., 2021).

### 2.2.2 Iniciativa “PEFCR”

Além do aumento da população e posse dos animais de companhia, a “premiumização” dos alimentos e o consumo em massa desses produtos com alta qualidade (Swanson et al., 2013) têm sido visto como fator contribuinte na competição direta entre o consumo humano e de cães e gatos (Su e Martens et al. 2018; otopopova, 2021), aspectos esses que podem afetar diretamente a sustentabilidade da indústria pet food. Dessa forma, as preocupações acerca dos problemas ambientais contemporâneos têm-se intensificado, recentemente, com foco nos animais de companhia (Leenstra 2018; Okin, 2017; Su et al., 2018)

Na busca de entender e quantificar a contribuição dos cães e gatos no impacto ambiental global e a necessidade de se manter aquecido no mercado, nota-se a tendência dos fabricantes globais em incorporar os elementos de desempenho ambiental dentro da indústria pet food, destacando-se a procura por proteínas alternativas e o impacto ambiental minimizado ao nível das cadeias de abastecimento e das embalagens.

Como forma de prevenir a colisão do mercado pet food com a insegurança alimentar global prevista para os próximos anos, o novo cenário aponta para a corrida em

manter os produtos destinados à alimentação de cães e gatos dentro dos novos padrões ambientais do mercado e dos consumidores, alinhando qualidade nutricional, economia e sustentabilidade, que contribui para o alcance dos ODS.

A publicação do manual “Product Environmental Footprint Category Rules” (PEFCR), em 2018, adotado pelo FEDIAF, é um exemplo da iniciativa ‘verde’ dentro das indústrias de alimentação para cães e gatos. O PEFCR faz parte da iniciativa de Pegada Ambiental do Produto (PEF) e tem por objetivo avaliar os potenciais impactos ambientais da alimentação de cães e gatos, fornecendo orientações práticas sobre como realizar um estudo de ACV em pet food (FEDIAF, 2018a).

O manual se baseia em quatro estudos de caso realizados em grandes empresas da indústria pet food e com cenários que variam entre o alimento seco e úmido para cães e para gatos. O PEFCR considera, para fins dos cálculos dos impactos ambientais, os estágios de produção, transporte e o fim de vida das embalagens e resíduos de alimentos para animais de companhia, excluindo a etapa do fim de vida do alimento após o seu consumo (urina e fezes geradas em contato com o meio ambiente). O cumprimento de seus requisitos visa evitar inconsistências comuns, enganosas e/ou ambíguas nos estudos de ACV em pet food.

## 2.3 Avaliação do ciclo de vida (ACV)

### 2.3.1 Origem e etapas de um estudo de ACV

A ferramenta de ACV surgiu ao final dos anos 60 e início dos anos 70, nos Estados Unidos (Klopffer, 1997), sob o aspecto ambiental acerca da conservação de recursos e emissões no meio ambiente. As diretrizes para um estudo de ACV foram sendo aprimoradas ao longo dos anos e reunidas em duas principais: ISO 14.040 e ISO14.044 (International Organization for Standardization, 1997). A versão em português das normas foi publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, ISO 14.040:2009 - Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura (ABNT, 2009a) e ISO 14.044:2009 - Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e diretrizes (ABNT, 2009b), sendo este o quadro normativo atualmente em vigor.

Uma vez que a preocupação com as questões ambientais entre as populações aumentou significativamente nos últimos anos, a ACV tem sido o método

internacionalmente recomendado pela Comissão Europeia e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente no apoio à formulação de políticas de sustentabilidade (Cucurachi et al. 2019). Sua definição envolve uma compilação e avaliação das entradas, saídas e impactos ambientais potenciais de um sistema de produto, desde a aquisição da matéria-prima até a fabricação, utilização e fim da vida do produto (ABNT, 2009a).

Essa metodologia se diferencia de outras que analisam os impactos ambientais dos processos, uma vez que estuda os aspectos ambientais e os impactos potenciais durante toda a vida ativa de produtos, sistemas e serviços, sendo aplicada atualmente em empresas, no apoio de esquemas de rotulagem ecológica e declarações ambientais de produtos (Cucurachi et al. 2019). Especificamente pode ser aplicada para examinar ambientalmente por completo uma unidade de sistema, identificar processos, ingredientes e sistemas que tenham contribuição sobre impactos ambientais, melhorar e desenvolver um produto, comparar produtos funcionalmente equivalentes, viabilizar um planejamento estratégico, apoiar processos decisórios, ajudar na formulação de políticas para sustentabilidade, disponibilizar informações para consumidores.

Na última década, a metodologia convencional da ACV tem sido expandida para além das investigações ambientais, surgindo o conceito do ‘pensamento do ciclo de vida’ ou Avaliação de Sustentabilidade do Ciclo de Vida (ASCV), abordagem integrada que envolve uma estrutura transdisciplinar de métodos, ou seja, busca incluir aspectos ambientais, sociais e econômicos em conjunto (Van der Giesen et al., 2020).

Um estudo de ACV, baseado nas normas ISO, deve ser executado em quatro etapas interativas: definição de objetivos e escopo, análise de inventário do ciclo de vida, avaliação de impacto do ciclo de vida e interpretação dos resultados (ABNT, 2009a) (Figura 1).

### 2.3.2 Objetivo e escopo

Nesta primeira fase, o objetivo principal do estudo deve ser definido de acordo com os seguintes questionamentos: Qual aplicação pretendida, as razões para a realização do estudo, assim como qual o público-alvo e se os resultados serão divulgados ao público e se servirão para fins de comparação ou não (ABNT, 2009b). A definição do objetivo permite a seleção das abordagens e desenvolvimento correto do estudo.

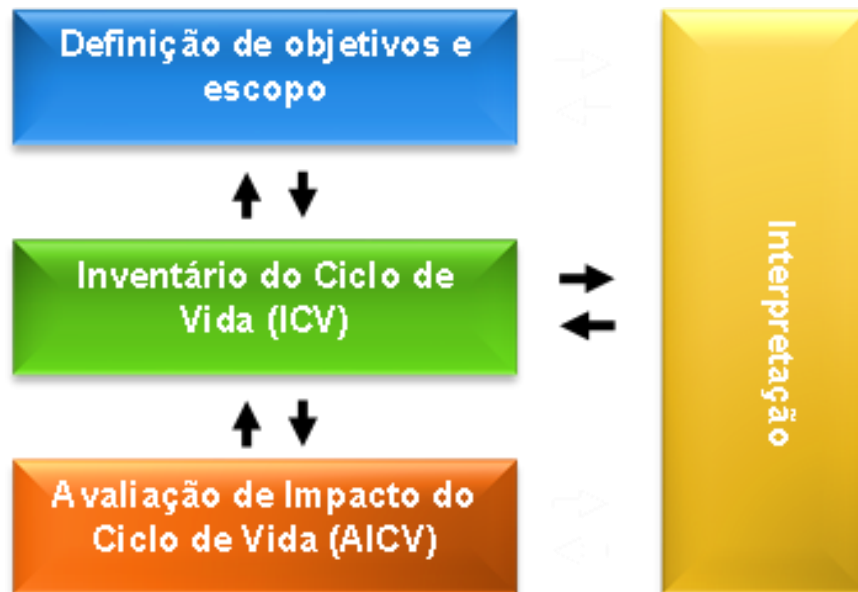


Figura 1. Estrutura da avaliação de ciclo de vida (adaptado de NBR ISO 14040 e 14044, 2009).

O escopo do estudo de ACV deve garantir que o objetivo do estudo seja alcançado e por isso concentra-se nos seguintes itens (ABNT, 2009b):

- Unidade Funcional (UF): aspecto fundamental dentro do escopo de um estudo de ACV, pois representa a função do produto de forma quantitativa. Sua definição correta garante um parâmetro de comparação para a qual os dados de entrada e saída (de energia e matéria, por exemplo) serão normalizados. Assim, ainda que existam processos diferentes avaliados dentro do sistema, esses tornam-se (funcionalmente) comparáveis. Nos estudos que envolvem a produção de alimentos é comum a UF ser definida em: kg de produção, teor de nutrientes do produto ou teor energético necessário a ser ingerido (Mosna et al., 2021; FEDIAF, 2018a).
- Limites do sistema: é a definição dos estágios do sistema que serão analisados ou excluídos da avaliação, mas também dos principais subprocessos que serão considerados na coleta de dados para a etapa do Inventário do Ciclo de Vida (ICV). Essa escolha deve ser feita em consistência com o objetivo geral do estudo, por representatividade em massa e/ou significância ambiental (ABNT, 2009b). Geralmente três opções são citadas e trabalhadas: Gate-to-Gate; Cradle-to-Gate; Cradle-to-Grave (Quadro 1).

**Quadro 1.** Opções de limites do sistema de um estudo de ACV (FEDIAF, 2018a)

Tipos de limites do sistema	Definição
Gate-to-Gate	Abordagem que investiga os processos que ocorrem dentro da etapa de produção (na indústria), excluindo as fases anteriores e seguintes.
Cradle-to-Gate	Abordagem que investiga os processos que ocorrem nas fases anteriores (extração da matéria-prima) e produção (indústria), excluindo as etapas de utilização e fim de vida útil.
Cradle-to-Grave	Abordagem mais completa que busca investigar todos os processos desde a extração da matéria-prima, produção, distribuição, uso, fim de vida útil e descarte relacionado.

•Alocação: etapa do escopo que serve para distribuir os impactos ambientais entre os processos, insumos e produtos do sistema de maneira a refletir os relacionamentos físicos subjacentes entre eles. Este processo é necessário no caso de existir uma multifuncionalidade, ao longo de um sistema. No geral, em sistemas de produção é comum a obtenção de mais de um produto ao final do processo, assim a aplicação de técnicas se faz necessário para identificar a contribuição individual dos elementos em termos de recursos e emissões. Normalmente, em pet food uma série de diferentes produtos são produzidos, o que caracteriza uma multifuncionalidade dos processos (FEDIAF 2018a), neste caso, os tipos de proporcionalidade (massa, econômico, energético, proteico ou biológico) devem ser empregados (ABNT, 2009a) (Quadro 2).

**Quadro 2.** Regras de alocação do Cradle-to-Gate em pet food (FEDIAF, 2018a)

Processos	Regra de alocação
Coprodutos à base de carne	Alocação econômica
Produção	Alocação em massa
Distribuição e armazenamento	Alocação baseada na capacidade armazenamento e tipo de produto representativo

•Alocação de coprodutos à base de carne em pet food: uma abordagem de alocação econômica tem sido sugerida como a mais relevante para os coprodutos de origem animal

em alimentos para animais de companhia (Alexander et al., 2021; FEDIAF, 2018a). Alexander et al. (2021) concluíram que a alocação em massa (que considera impactos iguais para subprodutos e produtos primários) resulta em cerca de 2,3 vezes mais emissões anuais de GEE do que as estimativas com base em alocação econômica, o que poder superestimar os resultados dos estudos. A utilização da alocação econômica pode expressar o valor dos coprodutos na proporção do incentivo financeiro que os originou. Por outro lado, esse “valor” poderá flutuar consideravelmente em razão de fatores externos de fundo mercadológico, tais como demanda, oferta e estoque, o que resulta em desvantagem para os mesmos fins (Kulay et al., 2010).

### 2.3.3 Avaliação do Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

A fase do ICV compreende a obtenção de todos os dados necessários dentro do limite do sistema incluído. Assim, todas as entradas e saídas são quantificadas para obter os rendimentos e os resultados relevantes. A terminologia “entradas e saídas” refere-se às correntes de matéria e de energia que circulam através das fronteiras que estabelecem os limites do sistema de produto em estudo (Kulay et al., 2010), que podem ser classificados como consumo de matéria-prima energética; consumo de recursos hídricos; consumo de fontes de energia; emissões para o ar, água e solo e outros encargos ambientais.

Os dados podem ser classificados como “primários” (aqueles específicos da cadeia de suprimentos analisada), que podem ser obtidos por meio de leituras de medidores, registros de compras, contas de serviços públicos, monitoramento direto, saldos de materiais / produtos ou outros métodos (FEDIAF, 2018a). Já dados “secundários” referem-se àqueles obtidos junto aos bancos de dados de softwares computacionais, valores de referência em manuais ou publicações científicas ou dados fornecidos por terceiros como empresas, órgãos do governo, laboratórios de análise, entre outros (Kulay et al., 2010). Dados “terciários”, por sua vez, são aqueles extrapolados de processos semelhantes ao analisado. Ou seja, são recomendações para suprir lacunas quando não existe um conjunto de dados primários ou secundários disponíveis. Em pet food, é importante utilizar dados primários na etapa de “primeiro plano”, (etapa mais importante de acordo com o objetivo do estudo), enquanto conexões com dados secundários deve existir para as etapas de ‘segundo plano’ (FEDIAF, 2018a).



### 2.3.4 Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV)

A terceira etapa de uma ACV visa estudar e entender a significância dos potenciais impactos ambientais. A partir dos resultados gerados pela etapa do ICV, os aspectos ambientais são associados com categorias de impacto que são indicadores de impacto específicos. Diversos métodos foram desenvolvidos ao longo dos anos e, a partir desses, é possível selecionar as categorias de impacto, os indicadores de categoria e modelos de caracterização (i), a correlação dos resultados do ICV (ii), e o cálculo dos resultados dos indicadores de categoria (iii).

Métodos de cálculo do impacto “midpoint” utilizam indicadores de caracterização que refletem a potência relativa dos impactos em um ponto médio comum dentro da cadeia de causa e efeito (antes do dano ocorrer). Essa análise minimiza a complexidade da modelagem e da incerteza dos resultados. Alguns exemplos de métodos: CML 2000, EDIP 2003, TRACI, LUCAS, ReCiPe. Já os métodos “endpoint” consideram todos os danos específicos relacionados a uma área mais ampla de proteção, como saúde humana, meio ambiente ou recursos naturais (Curran, 2006). Exemplos: EPS 2000, Eco-Indicator 99, LIME, Impact 2002+.

Os elementos obrigatórios da etapa de AICV são: *i. Categorias de impacto:* Representam as questões ambientais relevantes para as quais os resultados da ICV podem ser associados. As categorias devem ser quantificadas por meio de indicadores numéricos para que os métodos de avaliação impacto sejam aplicados. Exemplos: mudanças climáticas, destruição da camada de ozônio, acidificação, toxicidade humana, entre outros (ABNT, 2009b). *ii. Classificação:* elemento a qual todas os dados do ICV são classificados em categorias de impacto de acordo com o efeito que exercem sobre o meio ambiente (Curran, 2006). Ou seja, é realizada uma correlação dos resultados do ICV às categorias de impacto. *iii. Caracterização:* etapa que expressa o perfil ambiental do sistema. Todas as substâncias são multiplicadas por um fator que reflete a contribuição relativa do impacto ambiental. São inclusos indicadores numéricos que convertem os resultados do ICV em unidades comuns para cada categoria de impacto.

Etapas de caráter facultativo para uma AICV incluem: normalização e agrupamento/ponderação. A normalização é uma razão entre os resultados da caracterização e um valor de referência selecionado (Curran, 2006). Assim, é possível visualizar quais resultados são grandes ou pequenos, quando comparados a essa referência (Hauschild et al., 2018). Os dados normalizados facilitam a interpretação e

expressam os resultados para uma área geográfica (global, regional ou local) e o tempo especificado, ou seja, ‘‘o impacto ambiental médio produzido por um cidadão europeu durante um ano’’ (Curran, 2006; Hauschild et al., 2018).

A ponderação dos resultados da AICV cria uma única pontuação. Os resultados normalizados da AICV de cada categoria são multiplicados por um fator de ponderação que expressa a importância relativa da categoria de impacto. Os fatores numéricos da ponderação são determinados por meio de avaliações subjetivas, juízos de valor e/ou a partir de dados socioeconômicos (metas políticas estabelecidas, metas científicas disponíveis, importância monetária do impacto, grau de importância pelo senso comum). Ao final, são geradas expressões quantitativas que relatam o dano ambiental de cada categoria de impacto em relação às outras. Ao se aplicar a ponderação, benefícios e riscos são existentes, portanto, seu uso é incentivado quando não há necessidade de comparação nas investigações de impacto ambiental e/ou quando não existe exigência de divulgação dos resultados ao público comum (Curran, 2006; Hauschild et al., 2018).

### 2.3.5 Interpretação

Nos estudos de ACV é importante que esses dados sejam analisados no aspecto de qualidade, para isso, são utilizados indicadores, a exemplo: matriz pedigree (Weidema e Wesnaes, 1996) e o método do PEF-CR, que fornecem instruções próprias para lidar com a qualidade e a coleta de dados (FEDIAF, 2018a).

Na fase de interpretação, os resultados serão considerados em conjunto e analisados à luz das incertezas dos dados aplicados e das premissas que foram feitas ao longo do estudo. Uma verificação de integridade e consistência é realizada para entender se existe deficiência de informações, dados relevantes para os fluxos elementares, categorias de impacto do estudo ou se as premissas, métodos e dados são consistentes com o objetivo e escopo definidos.

A análise de incerteza também pode ser trabalhada e descreve a variabilidade dos dados da AICV (Curran, 2006), que pode ser realizada por meio de valores já pré-estabelecidos e fornecidos nas bases de dados ou por meio dos métodos como Monte Carlo ou matriz Pedigree. Na prática, os dados semiquantitativos gerados na qualidade de

dados da matriz Pedigree são utilizados como dados de entrada para simulação de Monte Carlo.

## 2.4 Software SimaPro, base de dados Ecoivent e Agri-footprint, método da pegada ambiental (PEF)

Ao longo dos anos, diversos softwares foram desenvolvidos para auxiliar os estudos de ACV em razão da quantidade e da complexidade dos dados a serem calculados e analisados. Atualmente um dos softwares comerciais amplamente reconhecido e utilizado é o Simapro (Hauschild et al., 2018), selecionado para relatar todos os resultados do presente estudo.

O SimaPro é um programa computacional desenvolvido pela PRé Consultants, na Holanda, seguindo as recomendações das normas da série ISO14040; esta ferramenta possibilita a comparação, análise e monitoramento do desempenho ambiental de produtos, serviços e processos com ciclos de vida bem complexos. Pode ser utilizado para gestão completa do ICV, cálculo dos potenciais impactos ambientais e, se for o caso, para a comparação dos resultados das fontes em consideração.

Diversos métodos estão contidos dentro do software, que tem por objetivo apoiar a etapa de ICV, por exemplo: Ecoivent, Agri-footprint, ELCD e apoiar a etapa de AICV, por exemplo: Impact 2002+, ReCiPe, IPCC 2007, CML, EcoIndicator.

No presente estudo, dados do tipo secundário foram utilizados de forma mista por meio dos conjuntos de dados na versão Ecoinvent 3.7.1 e Agri-footprint 5.0. Ecoinvent é um banco de dados suíço internacionalmente reconhecido pela quantidade e qualidade dos seus dados. Embora esta biblioteca de inventários seja de proveniência europeia, contém informações e abrangência além de europeia, mundial, com dados de inventário constantemente incluídos. Agri-footprint, é um banco de dados considerado de alta qualidade para o setor agrícola e de alimentos. Lançado em 2014, tem sido amplamente aceito e usado pela indústria de alimentos, comunidade de estudos de ACV, comunidade científica e governos mundiais (Agri-footprint, 2017).

Nos estudos de ACV é possível o emprego de mais de um método de ICV para obtenção de dados secundários. No contexto do Ecoinvent e Agri-footprint, apesar das diferenças de metodologias, existe consistência entre os dois bancos de dados (Agri-

footprint, 2017) e esses podem ser utilizados em conjunto inclusive em estudos de ACV envolvendo alimentos para cães e gatos (Mosna et al., 2021).

O método da Pegada Ambiental (EF) foi selecionado no presente estudo, uma vez que faz parte da Iniciativa de Pegada Ambiental da União Europeia (PEF), que desenvolve também as diretrizes do manual disponível para alimentos de cães e gatos. O método PEF inclui todas as categorias de impacto significativamente recomendadas para elaboração de um estudo de ACV no setor pet food, baseado no FEDIAF (2018). A descrição das categorias de impacto, representatividade geográfica e outras características contempladas podem ser consultadas no relatório “European Platform on Life Cycle Assessment” (consulte <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/EF-node/LCIAMethodList> para descrição exaustiva deste método).

## 2.5 Estudos de ACV em pet food

Nos últimos anos, a ACV tem sido aplicada no campo de estudos da produção animal e na avaliação dos seus sistemas (Bhatt e Abbassi, 2021; Boggia et al. 2010; Costantini, 2021; McAuliffe et al. 2016; Noya et al., 2017; Ruviaro et al., 2015; Soleimani e Gilbert, 2020; De Vries e Boer, 2010). Nestas áreas, a metodologia tem sido utilizada no subsídio de mudanças de procedimentos e ações de consumo e descarte. No entanto, no contexto de cães e gatos, a aplicação de estudos de ACV tem surgido lentamente, alguns estudos foram publicados utilizando essa metodologia de forma global.

Rushforth e Moreau (2013) conduziram um estudo de ACV pela Universidade Estadual do Arizona. Os autores examinaram a produção de energia associada à fabricação de alimentos para animais de companhia de uma fábrica específica, utilizando os dados médios dos EUA e considerando os ingredientes à base de carne bovina e ovina. Foram relatados valores anuais de 1,06 ha necessário para que um fabricante de rações produza 1 tonelada de ração para cães, o que significa 11,72 m<sup>2</sup> por kg de ração e 45,09 m<sup>2</sup> por kg de proteína. Para mudanças climáticas, os autores estimaram o valor de 23,14 CO<sub>2</sub> eq por kg da ração canina e 88,99 por kg de proteína. O estudo mostrou que, em termos de impactos ambientais, usar carne magra na comida de cães é melhor do que usar vísceras (pelo conteúdo de proteína da carne magra satisfazer mais facilmente as necessidades de proteína de um cão) e que a agricultura de grãos é responsável por aproximadamente 27% do potencial global de aquecimento global associado à produção de alimentos industriais para cães.

Annaheim et al. (2018) examinaram, na Suíça, por meio da ACV, o impacto ambiental da criação de diferentes animais domésticos, incluindo cães e gatos. Os autores consideraram a alimentação, consumo de água potável diária, embalagem da dieta, despesas médias anuais (coleiras, cobertores, brinquedos, tigelas, adestramento e escola do animal, transportes para o veterinário e passeios), resíduos (fezes) das espécies como indicadores. Os resultados obtidos mostraram que um cão de 29 kg, consumindo dieta úmida, gera cerca de 950 kg de CO<sub>2</sub> eq. ao ano. Já para se manter um gato de 4,2 kg, foi estimada a emissão de 390 kg de CO<sub>2</sub> eq. ao ano. Em ambas as espécies, a produção de alimentos foi apontada como responsável pela maior parte da poluição ambiental, representando 64% e 51%, respectivamente, da carga ambiental de cães e gatos.

Yavor et al. (2020) investigaram todo o ciclo de vida da espécie canina. Para isso, foi modelada a etapa, de um alimento úmido, referente aos excrementos (urina e fezes) de um cão de porte médio (15 kg), considerando a possibilidade de serem diretamente emitidas na natureza ou coletadas em sacos e posteriormente descartadas em lixeiras. Os resultados obtidos foram utilizados em conjunto com os fornecidos pelo FEDIAF (2018). Os autores estimaram que um cão (15 kg) emite cerca de 630 kg CO<sub>2</sub> eq/ ano. Para as 15 categorias de impacto consideradas, a principal contribuição ambiental do ciclo de vida veio do estágio de produção de embalagens necessárias à dieta úmida. Enquanto a urina do cão impactou principalmente na categoria de eutrofização de água doce (44%), as fezes contribuíram significativamente na eutrofização de água doce (43%) e ecotoxicidade de água doce (50%). Por meio de uma análise de cenário, os autores consideraram um cão de pequeno (7,5 kg) e grande porte (30 kg) e estimaram um impacto anual de 375 kg CO<sub>2</sub> eq e 1056 kg CO<sub>2</sub> eq, respectivamente.

Mosna et al. (2021) avaliaram o impacto ambiental da 'fração da carne' derivada de resíduos de alimentos (para humanos) na ração para animais de companhia. O limite do sistema em pet food contemplou a criação dos animais, o abate, a produção da ração (úmida), produção de embalagens, transporte e o impacto da fração da carne descartada em aterros. Quatro variantes de produtos foram avaliadas: três produtos com composições à base de tecido muscular (Natura), um advindo de bovinos, outro de suínos e outro de aves e mais um produto (Patê) dessa vez, baseado em um mix de resíduos de abate misturado com vegetais, aditivos e substâncias gelificantes.

Mosna et al., (2021) concluíram que a cada 1 kg de alimento úmido fabricado, o total de 0.91 kg de CO<sub>2</sub> eq (para aquecimento global), 0.00119 m<sup>2</sup> (para uso da terra),

0.03 kg eq (para recurso fóssil) e 0.00036 m<sup>3</sup> (para uso de água) são emitidos e utilizados. Nesse estudo, a fase de ‘produção de carne’ foi a mais impactante nas categorias de uso da terra (até 89,71%) e aquecimento global (até 57,73%), para todas as três variantes do Natura. No entanto, para a variante Patê, a maior contribuição para aquecimento global veio da embalagem (60,07%), seguido do processo de produção de pet food (31,42%). Para uso de água e recursos fósseis, a ordem de maior contribuição foi embalagem (>40%), produção de pet food (até 32,84%) e produção de carne (até 26,71%) para os produtos Natura. Para o Patê, a maior contribuição esteve a partir da etapa de embalagem, seguido da produção de pet food, ambos >50%.

## 2.6 Impacto ambiental de cães e gatos com base em estudos

Cães e gatos estão associados a atividades, uso de recursos e geração de emissões impactantes ao meio ambiente (Acuff et al., 2021; Okin, 2017; Protopopova et al., 2021; Su et al. 2018;). Com a população cada vez mais significativa, esses animais necessitam de alimento e espaço que pode competir de certa forma com os seres humanos (Su e Martens, 2018), além disso, tendências como humanização, ‘premiumização’ (alto teor nutricional com fontes ‘grau humano’), altos teores proteicos, superalimentação, obesidade e desperdícios são fatores associados às consequências ambientais. A produção e consumo de alimentos tem sido apontada como o fator que demanda alto uso de recursos naturais e gera alta degradação ambiental (Alexander et al., 2021; Okin, 2017; Su e Martens, 2018;).

Poucos estudos investigaram a magnitude dos impactos ambientais da posse de animais de estimação e da produção industrial de alimentos para animais de companhia. O estudo de Vale e Vale (2009) promoveu o início das discussões de impacto ambiental no contexto de animais de companhia. Partindo da estimativa de que 1 kg de frango e 1 kg de cereais necessita de 43,3 m<sup>2</sup> de terra arável ao ano para sua produção e de que cães e gatos consomem cerca de 164 kg de carne e 95 kg de cereais ao ano, os pesquisadores chegaram à conclusão de que os animais de companhia necessitam de cerca de 0,84 a 1,1 ha de terra arável para produção de alimento seco comercial, variando conforme o porte, a pegada ambiental anual de um cão de porte pequeno foi de 0,18 ha, 0,27 ha para porte médio e 0,36 ha para cães grandes.

Su e Martens (2018) utilizaram os indicadores ecológicos da dieta ‘Ecological Paw Print’ (EPP) e emissões de GEEs para cálculos de impacto ambiental dos animais

de companhia no Japão. Aqui, foram consideradas o método de Pegada Ecológica (EF) e, especificamente, as terras bioprodutivas de caráter arável e pastagens. Os autores assumiram o ingrediente ‘frango inteiro’ como principal fonte de proteína de uma dieta composta por cereal, milho trigo e arroz (com níveis de inclusão de 25,67% de PB). Os resultados indicaram que um cão de porte médio (10–25 kg), com expectativa de vida de 12 anos, consumindo cerca de 18,75–122,80 kg/ano, possui um EPP de 4,01 a 26,28 ha ao ano, responsável pela liberação de até 1,52 a 9,97 ton de CO<sub>2</sub> eq de GEE ao ano. Para gatos de porte médio (2-6 kg), com expectativa de vida de 14 anos, foram observados um EPP de 4,46–7,80 ha ao ano e outro de 1,69 a 2,96 ton de CO<sub>2</sub> eq de GEE. Esses achados foram equivalentes acerca de 4,62 a 19,79 milhões de ha ao ano de um cidadão japonês e 2,52 a 10,70 milhões de ton de GEE ao ano por meio da dieta ou 1-4% do gerado pela produção de alimentos para humanos no Japão.

Na China, utilizando a mesma metodologia (EPP e emissões de GEEs), Su et al. (2018) estudaram o impacto ambiental de diferentes portes e consumo de cães. Incluíram os ingredientes alimentícios, a produção e o transporte de alimentos em sua investigação. Ao considerar uma dieta baseada em um alimento seco comercial (à base de frango), os resultados mostraram que um cão de tamanho pequeno (1,5-10 kg) possui um EPP dietético de 0,10-1,23 ha ao ano e é responsável por 0,005-0,063 ton. de emissões de CO<sub>2</sub> eq. de GEE ao ano, um cão de porte médio (10-25 kg) possui um EPP dietético de 0,82 a 4,20 ha ao ano e é responsável por 0,037-0,190 ton. de emissões de CO<sub>2</sub> eq de GEE ao ano, um cão de porte grande (25-70 kg) possui um EPP dietético de 2,32-10,05 ha que é responsável por até 0,099-0,427 ton. emissões de CO<sub>2</sub> eq. de GEE ao ano. A contribuição total de um cão de porte médio, considerando uma expectativa de vida de 12 anos, consumindo alimento seco, ao longo dos anos foi EPP de 9,92-50,49 ha ao ano e cerca de 0,449-2,285 milhões de CO<sub>2</sub> de eq de GEE lançados ao ano, equivalente a 2,6% e 13,5% da população chinesa, respectivamente.

Okin e Crowther (2017) calcularam nos EUA o consumo de energia dietética total e o consumo de energia de produtos de origem animal para cães e gatos juntos. Os autores relataram o consumo de 19% ± 2% da quantidade de energia dietética que os humanos consomem e estimaram que dentro do total de 260 milhões ton CO<sub>2</sub>-eq ao ano produzidos pela produção da pecuária nos EUA, cães e gatos consomem cerca de 48-80 milhões de ton de CO<sub>2</sub>-eq GEE. Ou seja, por meio da sua dieta (considerando a produção de proteína de origem animal usada, quando comparada a um substituto de proteína vegetal), cães e

gatos constituem de 25-30% dos impactos ambientais da produção animal usado para alimentar humanos em termos de uso da terra, água e combustível fóssil (total de 260 milhões de ton CO<sub>2</sub> eq GEE ao ano).

De forma semelhante, Leenstre et al. (2018) verificaram que a produção de proteína de origem animal, usada para alimentar animais de companhia nos EUA, emite cerca de 52,83 e 18,70 milhões de ton de CO<sub>2</sub>-eq ao ano para cães e gatos, respectivamente (ou 288 kg CO<sub>2</sub>/ano/MS e 863 CO<sub>2</sub>/ano/MS) com resultados próximos também para Europa (51,37 e 18,85 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>-eq ao ano). Em termos de uso da terra, os autores concluíram que a produção de alimentos para animais de companhia necessita de, no mínimo, 10% da terra arável dos humanos para a produção dos seus produtos, sendo de 13,4% (EUA) e 19,8 % (Europa) o que corresponde a cerca de 24,1 milhões de ha ao ano.

Nessas pesquisas, (Okin e Crowther, 2017; Su e Martens, 2018; Su et al., 2018) os subprodutos tiveram seus impactos desconsiderados ou associados ao impacto ambiental de outros produtos de origem animal como a carne. No entanto, supor que os subprodutos não geram impacto relativo (ou seja, impacto 0) não parece adequado, uma vez que esses constituem cerca de 30% da dieta para cães e gatos, fornecem fonte adequada e acessível de proteína e contribuem no desenvolvimento da indústria pet food (Alexander et al., 2021). Por outro lado, os subprodutos normalmente não são comestíveis aos humanos e possuem valor relativamente baixo no mercado de alimentação humana e em relação a outros produtos pecuários, o que torna o resultado da atribuição de massa (por exemplo, atribuir a mesma taxa de impacto de 1 kg de subproduto a 1 kg de carne nobre), superestimado (Alexander et al., 2021).

Alexander et al., (2021) sugerem que a produção de alimentos para animais de estimação emite globalmente o total de 56,3–151,2 Mt CO<sub>2</sub> eq. (equivalente a 1,1%-2,9% das emissões globais de GEE agrícolas). Em termos de terras agrícolas usadas para a produção, foram encontrados valores de 40,7-57,6 Mha anualmente (representando 0,8-1,2% do uso global de terras agrícolas). Os autores também estimaram a captação de água doce associada à produção do produto (5,1-10,8 km<sup>3</sup>) ao ano, equivalente a 0,2–0,4% da retirada global de água doce agrícola. Caso os dados fossem alocados em massa, isso acarretaria em resultados maiores, cerca de 2,3 para emissões de GEEs, 2,1–2,4 maiores para terras agrícolas usadas e 1,6 para retiradas de água doce.



### III.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABINPET. Associação Brasileira da Indústria de Produtos para Animais de Estimação. Mercado Pet Brasil. 2022.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 14040: Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro. 2009.

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

ACUFF, H. L.; DAINTON, A. N.; DHAKAL, J.; KIPROTICH, S.; ALDRICH, G. Sustainability and Pet Food: Is There a Role for Veterinarians? *Veterinary Clinics of North America - Small Animal Practice*, v. 51, n. 3, p. 563–581, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2021.01.010>>.

AIVAZIDOU, E.; TSOLAKIS, N. Assessing the water footprint of pets: The case of small breed dogs. *Chemical Engineering Transactions*, v. 57, n. December, p. 517–522, 2017.

AIKING, H.; DE BOER, J. The next protein transition. *Trends in Food Science and Technology*, v. 105, p. 515–522, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.07.008>>.

ALEXANDER, P.; BERRI, A.; MORAN, D.; REAY, D.; ROUNSEVELL, M. D. A. The global environmental paw print of pet food. *Global Environmental Change*, v. 65, n. March, p. 102153, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102153>>.

ANNAHEIM, J.; JUNGBLUTH, N.; JUNGBLUTH, N. Ökobilanz von Haus- und Heimtieren Praktikums- arbeit. 2018.

BHATT, A.; ABBASSI, B. Review of environmental performance of sheep farming using life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 2021.

BOGGIA, A.; PAOLOTTI, L.; CASTELLINI, C. Environmental impact evaluation of conventional, organic and organic-plus poultry production systems using life cycle assessment. *World's Poultry Science Journal*, 2010.

COSTANTINI, M.; FERRANTE, V.; GUARINO, M.; BACENETTI, J. Environmental sustainability assessment of poultry productions through life cycle approaches: A critical review. *Trends in Food Science and Technology*, 2021.

CUCURACHI, S.; SCHERER, L.; GUINÉE, J.; TUKKER, A. Life Cycle Assessment of Food Systems. *One Earth*, 2019.

FEDIAF. C&D Foods; FACCO, Chambre Syndicale des Fabricants d'Aliments pour Chiens, Chats, Oiseaux et autres Animaux Familiers (the French Pet Food Association for Dogs, Cats, Birds, Other Domestic Pets); Mars PetCare Europe; Nestlé Purina PetCare Europe; saturn petcare gmbh, Quantis. Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs): Prepared Pet Food for Cats and Dogs. 2018a. Final version. European Commission: Brussels, Belgium.

FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. The State of Food Security and Nutrition in the World 2022. Repurposing food and agricultural policies to make healthy diets more affordable. Rome, FAO. 2022. <https://doi.org/10.4060/cc0639en>

FRIEDMANN, E.; THOMAS, S. A. pet Ownership, Social Year Survival After Infarction in the Cardiac Suppression trial.

HAUSCHILD, M. Z.; ROSENBAUM, R. K.; OLSEN, S. I. Life Cycle Assessment Theory and Practice. Springer International Publishing. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56475-3>.

KLÖPPFER, W. Life Cycle Assessment: From the beginning to the current state. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 4, n. 4, p. 223–228, 1997.

KRITTANAWONG, C.; KUMAR, A.; WANG, Z.; et al. Pet Ownership and Cardiovascular Health in the US General Population. *American Journal of Cardiology*, v. 125, n. 8, p. 1158–1161, 2020.

KULAY, L.A.; SEO, E.S.M. Orientações conceituais para elaboração de inventários de ciclo de vida. *Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente. INTERFACHES*. 2006.

LEENSTRA, F.; VELLINGA, T. V.; BESSEL, W. Environmental footprint of meat consumption of cats and dogs. *L. Information*, v. 52, n. 1, 2011.

MARTENS, P.; SU, B.; DEBLOMME, S. The ecological paw print of companion dogs and cats. *BioScience*, v. 69, n. 6, p. 467–474, 2019.

MCAULIFFE, G. A.; CHAPMAN, D. V.; SAGE, C. L. A thematic review of life cycle assessment (LCA) applied to pig production. *Environmental Impact Assessment Review*, 2016.

MOSNA, D.; BOTTANI, E.; VIGNALI, G.; MONTANARI, R. Environmental benefits of pet food obtained as a result of the valorisation of meat fraction derived from packaged food waste. *Waste Management*, v. 125, p. 132–144, 2021.

NATIONS UNITED. Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development. New York: United Nations, Department of Economic and Social Affairs. 2015.

NATIONS UNITED. The Sustainable Development Goals Report. 2022.

NOYA, I.; VILLANUEVA-REY, P.; GONZÁLEZ-GARCÍA, S.; et al. Life Cycle Assessment of pig production: A case study in Galicia. *Journal of Cleaner Production*, v. 142, p. 4327–4338, 2017.

OKIN, G. S. Environmental impacts of food consumption by dogs and cats. *PLOS ONE*, v. 12, n. 8, p. e0181301, 2017.

PIMENTEL, D.; PIMENTEL, M. Sustainability of meat-based and plant-based diets and the environment. 2003.

RAVILIOUS, K. How green is your pet? *New Scientist*, v. 204, n. 2731, p. 46–47, 2009. Reed Business Information Ltd, England

RUSHFORTH, R.; MOREAU, M. Finding your dog's ecological 'pawprint': A hybrid EIO-LCA of dog food manufacturing. Center for Earth Systems Engineering and Management, p. 17, 2013.

RUVIARO, C. F.; DE LÉIS, C. M.; LAMPERT, V. D. N.; BARCELLOS, J. O. J.; DEWES, H. Carbon footprint in different beef production systems on a southern Brazilian farm: A case study. *Journal of Cleaner Production*, v. 96, p. 435–443, 2015.

SERPELL, J. Beneficial effects of pet ownership on some aspects of human health and behaviour. *Journal of the Royal Society of Medicine*, v. 84, n. 12, p. 717–720, 1991.

SIVEWRIGT J., AMERICAS, P., KRUEGER, NL, segundo vencedor em PetCare. [https://www.nestle.com/sites/default/files/assetlibrary/documents/library/presentations/investors\\_events/investor-seminar-2019/petcare.pdf](https://www.nestle.com/sites/default/files/assetlibrary/documents/library/presentations/investors_events/investor-seminar-2019/petcare.pdf).

SOLEIMANI, T.; GILBERT, H. An approach to achieve overall farm feed efficiency in pig production: environmental evaluation through individual life cycle assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 26, n. 3, p. 455–469, 2021.

SU, B.; MARTENS, P. Environmental impacts of food consumption by companion dogs and cats in Japan. *Ecological Indicators*, v. 93, n. May, p. 1043–1049, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.06.015>>.

SU, B.; MARTENS, P.; ENDERS-SLEGERS, M. J. A neglected predictor of environmental damage: The ecological paw print and carbon emissions of food consumption by companion dogs and cats in China. *Journal of Cleaner Production*, v. 194, p. 1–11, 2018.

SWANSON, K. S.; CARTER, R. A.; YOUNT., T. P.; PRESTON, J. A.; BUFF, R. 2013. Nutritional Sustainability of Pet Foods. *Advances in Nutrition*, 4:141-150. <https://doi.org/10.3945/an.112.003335>.

VALE, B.; VALE, R. J. D. Time to Eat the Dog? The Real Guide to Sustainable Living. Londres: Thames & Hudson, 2009.

VAN DER GIESEN, C.; CUCURACHI, S.; GUINÉE, J.; KRAMER, G. J.; TUKKER, A. A critical view on the current application of LCA for new technologies and recommendations for improved practice. *Journal of Cleaner Production*, v. 259, 2020.

WCED, 1987. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future Towards Sustainable Development. Oxford University Press, Oxford, NY. 1987.

WEIDEMA, M., WESNAES S. Data quality management for life cycle inventories—an example of using data quality indicators. *Journal of Cleaner Production*. v. 4, p. 167-174, 1996. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(96\)00043-1](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(96)00043-1).

YAVOR, K.M., LEHMANNh, A., FINKBEINER, M., 2020. Environmental Impacts of a Pet Dog: An LCA Case Study. *Sustainability* 12, 3394. <https://doi.org/10.3390/su12083394>

#### IV. OBJETIVO GERAL

Caracterizar os impactos ambientais por meio da ACV, considerando as etapas de obtenção das matérias-primas, produção de embalagem, processamento industrial do alimento e distribuição do produto acabado ('berço ao portão'), de um alimento seco extrusado para cães adultos, produzido no Brasil. Pretende-se ainda identificar os pontos críticos e identificar oportunidades de melhorias no ecodesign de pet food.

Artigo redigido conforme as normas da revista Journal of Cleaner Production.

### **I. Life cycle assessment in measuring the environmental impacts of extruded dog food production**

Jéssyka L. G. Costa<sup>a</sup>, Ferenc I. Bánkuti<sup>a</sup>, Mariana Monti<sup>b</sup>, Bruna A. Loureiro<sup>c</sup>, Thiago José Florindo<sup>d</sup>, Ricardo S. Vasconcellos<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> *Department of Animal Science, Center for Agricultural Sciences, State University of Maringá, Maringá, PR, 87020-900, Brazil*

<sup>b</sup> *Special Dog Company, Santa Cruz do Rio Pardo, SP, 18900-000, Brazil*

<sup>c</sup> *Department of Animal Science, Center for Agricultural Sciences, Federal University of Paraíba, Areia, PB, 58397-000, Brazil*

<sup>d</sup> *Federal University of Mato Grosso do Sul, Nova Andradina, MS, 79750-000, Brazil*

\* Corresponding author. E-mail address: ricardo.souza.vasconcellos@gmail.com

Tel: +55 (44) 99700-3434

## **Abstract**

The global pet food market has grown rapidly over the past years. Perhaps because of the great focus given to humanization, commercial trends do not always converge toward sustainability. Measuring the environmental impacts of pet food production and animal breeding is the first step to identify limiting factors and develop mitigating strategies. Life cycle assessment (LCA) is recommended by the European Pet Food Industry Federation (FEDIAF) as a tool to improve the standardization of information on the environmental impacts of pet food production. LCA procedures are described in the Product Environmental Footprint Category Rules. This study aimed to examine the environmental impacts associated with the development, production, and distribution (cradle-to-gate) phases of extruded dog food production in Brazil. Here, one functional unit (FU) was defined as the amount of metabolizable energy required to meet the energy needs of an active 10 kg adult dog. The reference flow (RF) was calculated from the daily amount of food provided to each animal, considering the production of 15 kg bags. LCA was performed using the environmental footprint method 3.0 (v. 1.00) of SimaPro software (v. 9.1.1.1). Ingredients were modeled for study conditions. Production and transportation data from a 2-year period were collected directly from the manufacturing company. The raw material selection phase was the most relevant, accounting for at least 70% of total environmental impacts. The main impact categories were terrestrial eutrophication, marine eutrophication, acidification, particulate matter, and climate change, which accounted for 80% of the impacts of all phases. It was estimated that the production of extruded dry food to feed a medium-sized dog in Brazil leads to the emission of 88.73 kg CO<sub>2</sub>-eq year<sup>-1</sup> or 1.37 kg CO<sub>2</sub>-eq kg<sup>-1</sup> distributed food. The dog food analyzed here was based on cereals commonly used as animal feed (corn, sorghum, and rice) and co-products of animal and plant origin (soybean bran, poultry offal meal, meat and bone meal, and

poultry fat), which possibly contributed to reducing environmental impacts in the raw material selection phase. Ingredient selection was found to be an important factor in mitigating the environmental impacts of pet foods. The results of the current study are similar to FEDIAF estimates on a FU basis.

*Keywords:* LCA; Pets; Eutrophication; Environmental impacts

**Abbreviations:**

FEDIAF, European Pet Food Industry Federation; FU, functional unit; LCA, life cycle assessment; MBM, meat and bone meal; PEFCR, Product Environmental Footprint Category Rules; POM, poultry offal meal; RF, reference flow.



## 1. Introduction

As a result of population growth, higher per capita income, lifestyle changes, and novel market demands in developing countries, food production is expected to grow substantially in the coming years (FAO, IFAD, UNICEF, WFP, WHO, 2022). From the perspective of environmental preservation, the challenge lies in increasing food production without causing a similar increase in productive areas. It is essential not only to increase food production but also to optimize food use, as minimizing waste and excess material consumption is one of the most efficient ways to contribute to sustainability (Swanson et al., 2013).

Humans and dogs share a history of more than 10,000 years. This relationship has grown increasingly close owing to the intensive humanization of our pet companions (Sykes et al., 2020). It is not surprising that the growth of the human population, projected to reach 8.5 billion people by 2030, has been accompanied by the growth of the dog population, demonstrated by the increase in the number of pet-owning households. These trends fostered the expansion of the pet food market (Okin, 2017). Advances in the pet food market, however, have been controversial in terms of environmental sustainability. Product development is often not based on technical standards or research and development guidelines, but rather on specific consumer niches (Swanson et al. 2013; Okin and Crowther, 2017; Martens et al., 2019).

It is crucial to monitor the environmental impacts arising from pet food production in order to address points of attention and contribute to the sustainability of the sector. As dogs and cats have high protein and amino acid requirements, commercial pet foods typically contain larger quantities of meat co-products, such as poultry offal meal (POM), meat and bone meal (MBM), fish meal, and mechanically separated meat. Such an

ingredient composition likely contributes to sustainability, as it promotes waste reutilization from human food production and nutrient recyclability (Swanson et al., 2013), minimizing environmental impacts (Alexander et al., 2021). However, there is limited information on the environmental impacts associated with dog and cat ownership, and the available studies are frequently contradictory in their findings (Okin and Crowther, 2017; Su and Martens, 2018; Su et al., 2018; Alexander et al., 2021). Estimates of the climate change impact of a medium-sized dog range from just over 100 kg CO<sub>2</sub>-eq year<sup>-1</sup> to more than 1000 kg CO<sub>2</sub>-eq year<sup>-1</sup> (Acuff et al., 2021). These expressive discrepancies may be due to methodological differences in impact assessment, animal life phases, and geographical region, among other factors.

In view of the need for methodological standardization of environmental impact assessment methods in pet food production, the European Pet Food Industry Federation (FEDIAF) developed the Product Environmental Footprint Category Rules - Prepared Pet Food for Cats and Dogs (PEFCR). This guide recommends the use of life cycle assessment (LCA) in pet food research in order to produce standardized and comparable results. Guidelines are available for four types of products, namely dry and wet foods for dogs and cats (FEDIAF, 2018A). With LCA, it is possible to estimate environmental impacts at different phases of a product's life cycle, including raw material extraction, product design, production, packaging, distribution, and reuse (ABNT, 2009a). This study aimed to apply LCA to assess the environmental impacts associated with the production of extruded dry food for adult dogs in Brazil and identify critical control points and opportunities for improvement toward pet food eco-design.

## 2. Material and methods

### 2.1. Functional unit (FU), reference flow (RF), and system boundaries

LCA was performed according to PEFCR recommendations (FEDIAF, 2018a). A 15 kg dog food product sold in Brazil was used as reference food. One FU was defined as the daily amount of metabolizable energy ( $\text{kcal day}^{-1}$ ) needed to meet the energy requirements of a 10 kg adult dog, calculated using Eq. (1) (FEDIAF, 2018b):

$$\text{Metabolizable energy} = 110 \times (\text{Body weight})^{0.75}$$

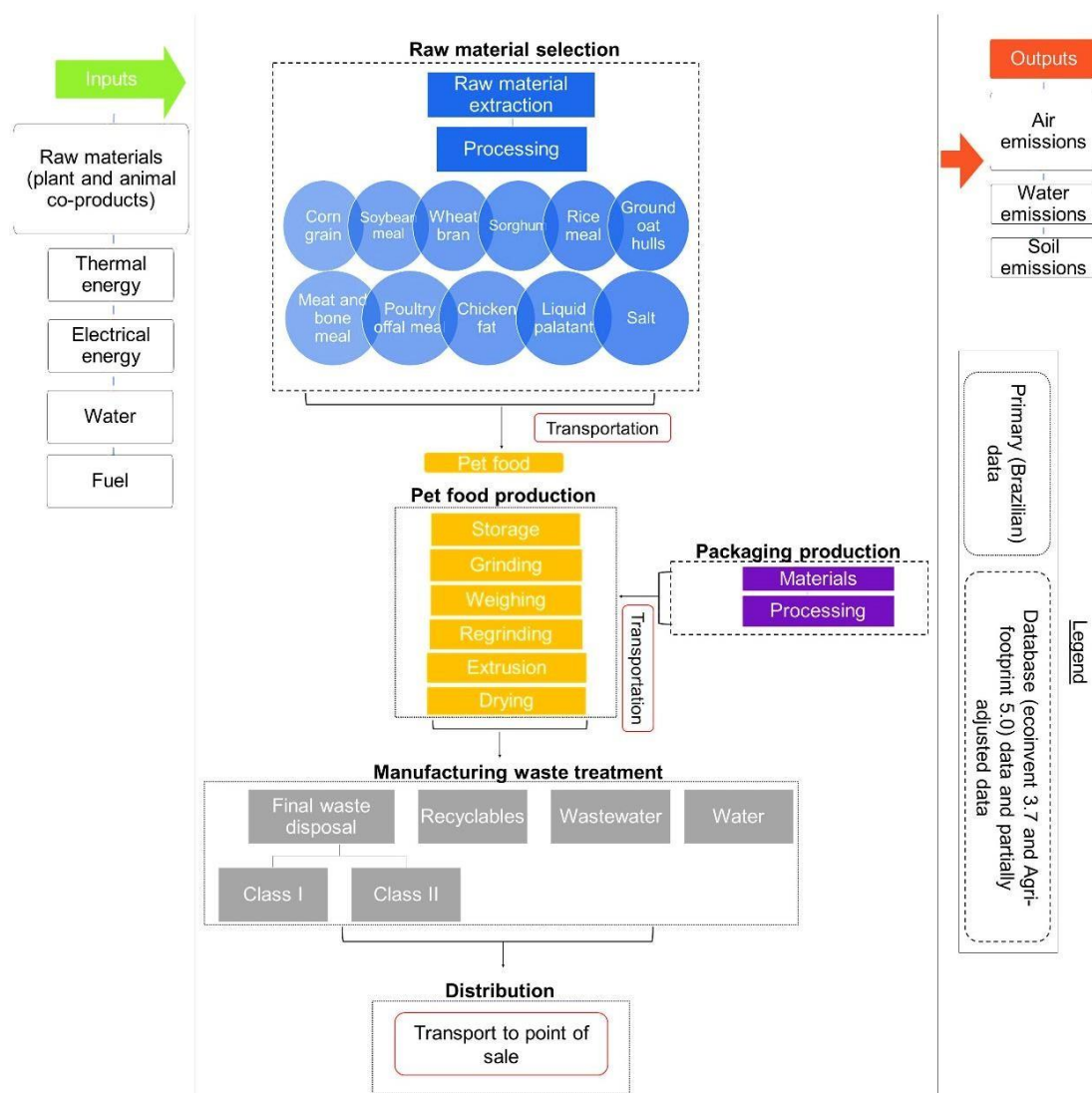
(1)

The reference flow (RF) was defined as the amount of food needed to meet the FU, assuming a metabolizable energy content of  $3.48 \text{ kcal g}^{-1}$  food. The metabolizable energy content of the food product was calculated from chemical composition data (FEDIAF, 2018b). The daily food requirement ( $\text{g day}^{-1}$ ) was calculated using Eq. (2). Based on these calculations, the RF was estimated at  $177.3 \text{ g food day}^{-1}$ .

$$\text{Daily food requirement} = \frac{\text{Metabolizable energy requirement}}{\text{Metabolizable energy content}}$$

(2)

System boundaries included the product's life cycle from cradle to gate (Fig. 1), encompassing the phases of raw material production, extruded food production, packaging production, and distribution of the finished product, according to FEDIAF recommendations (2018a). All direct and indirect inputs and emissions from food production and processing, energy sources, materials, and packaging were considered. Equipment and building production and maintenance, chemical reagents, and post-use phases were not included in the analysis (Table 1).



**Fig. 1.** Flowchart of subprocess steps and boundaries of the pet food production system.

**Table 1.** Steps and processes included and excluded from the scope of the study (cradle to gate).

Included steps and processes	
Raw materials	Extraction, processing, and transportation of all ingredients. These phases are not performed by the pet food manufacturer; therefore, environmental assessment was based on available secondary data.
Extruded food production	Thermal and electrical energy consumption, water consumption, product processing operations, transportation, and waste treatment.

Packing production	Packaging materials, processing, and transportation to the pet food plant.
Manufacturing waste	Final waste disposal (classes I and II), recyclables, water, and wastewater.
Distribution	Transportation of the finished product to points of sale.
<b>Excluded steps and processes</b>	
Product use and post-use	Excluded because of data unavailability.
Facilities and equipment	Excluded because of its limited relevance.
Premix and additives	With the exception of preservatives, additives were excluded because they represented only 2% of total inputs.

## *2.2. Life cycle inventory analysis: data sources, step modeling, reprocessing, and allocation of meat co-products*

Primary data were collected from a pet food industry located in southeast Brazil. The industry is a licensed manufacturer with a well-structured quality management system. The product brand and its 15 kg variety were chosen as a reference because of their great representativeness within the company and within the selected brand, respectively (Table 2). All ingredients were modeled based on their respective contents in the formulation, distance traveled by suppliers for delivery to the company, and datasets available in the consulted databases (ecoinvent 3.7.1 and Agri-footprint 5.0). Theselected datasets were chosen taking into account the study location (Brazil). When Brazilian data were not available in either database, data related to the most similar location in terms of geographical, technological, and climate characteristics or the average of a wider region (e.g., global data) were used. The datasets were then adjusted to the Brazilian reality of transportation, material input, and energy flow conditions. Changes are described in detail in Table A4 (Supplementary material).

**Table 2.** General product information.

Food product	Dry pet food
Animal species/life phase	Adult dogs
Processing method	Extrusion
Packaging material	32 $\mu$ m PE + PE
Net weight	15 kg
Reference period	2019–2020
Production site	Southeast Brazil
Consumer market	National

PE, polyethylene.

Analysis of the production phase was performed using the average of primary data provided by the industry for the 2019–2020 period (transport freight and distance by supplier, ingredient consumption, energy consumption, steam and water consumption, waste generation, packaging consumption, transport distance of the finished product). These data were used for mass allocation, whereby data for the product under analysis were used to generate estimates for the total food production of the plant, given that the other products represent a closed system.

The distance traveled for delivery of raw materials to the pet food industry and the distance traveled for delivery of the finished product were calculated from the actual location of the plant, suppliers, and points of sale. A weighted average distance was used to account for differences between distances, as shown in Eq. (3). Freight processes were retrieved from the databases by using the strings "Transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5 {RoW}| transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5" and "Transport, freight, lorry 16-32 metric ton, euro5 {RoW}| market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 | APOS, U". These processes refer to the emissions and environmental burdens related to trucks used for transportation (up to 32 ton or greater than 32 ton), according to information provided by the company.

Transport = (Average freight) × (Weighted average distance)

(3)

Reference products were used to model preservatives and palatants in the dataset, as per PEFECR recommendations (FEDIAF, 2018a). Preservatives were represented by the string "Ascorbic acid {RoW}| ascorbic acid production | APOS, U)", whereas palatants were denoted "Protein feed, 100% crude {GLO}| fodder yeast to generic market for protein feed | APOS, U)".

For greater consistency of results, reprocessing was treated as part of ingredient processing in the impact assessment. In the reference industry, reprocessing is defined as any operation to which processed products are subjected to because they do not meet market standards, such as grinding and new entry in the production line to avoid waste. Reprocessing can be treated in different ways in impact analysis. Here, it was not considered an avoided impact but a component of the production system, given that reuse occurs within the system itself (sometimes from different processing lines), in agreement with the ISO 14040 definition of a closed system (ABNT, 2009a). Of note, the composition of the reprocessed fraction can vary, and exact data were not available for this parameter. Thus, in an attempt to bring the model as close as possible to real life conditions via a transparent approach, we opted to use the same composition of the pet food product and set the content of the reprocessed fraction at 9%, based on the average annual content informed by the manufacturing company.

Meals of animal origin were subjected to an economic allocation procedure, in line with previous recommendations (FEDIAF, 2018A; Alexander et al., 2020). Economic allocation consists in the assignment of environmental burdens proportional to the financial incentive that originated them, minimizing the likelihood of underestimation (zero impact) or overestimation (mass allocation) of environmental impacts. POM,

MBM, and poultry fat yield data were obtained from the annual report of the Brazilian Association of Animal Recycling (ABRA, 2020). Co-product price quotes were obtained from a commodity website (ABOISSA, Santa Cecília, Brazil). Co-product datasets were modeled on the basis of literature data adapted to the Brazilian reality. Industrial electrical energy consumption for POM, MBM, and poultry fat production was adapted from Campos et al. (2020), food production parameters from Prudêncio et al. (2014), and cattle and poultry production parameters (rearing to slaughter) from Menezes et al. (2020) (Table 3).

**Table 3.** Parameters used for economic and mass allocation of animal meals and fats.

<b>Parameter</b>	<b>MBM<sup>1</sup></b>	<b>POM<sup>2</sup></b>	<b>Poultry fat</b>
Human consumption <sup>3</sup>	45%	69%	69%
Animal recycling <sup>4</sup>	55%	22%	22%
Co-product yield <sup>5</sup>	11%	3.96%	2.42%
Price (R\$ kg <sup>-1</sup> ) <sup>6</sup>	2.5	4.45	6.35
Mass allocation	11%	4%	2%
Economic allocation	2.03%	2.77%	2.42%

<sup>1</sup> MBM, meat and bone meal.

<sup>2</sup> POM, poultry offal meal.

<sup>3</sup> Proportion of carcass destined for human consumption.

<sup>4</sup> Proportion of carcass used for the production of animal meal and fat ingredients.

<sup>5</sup> Yield in relation to animal weight at slaughter. Data obtained from ABOISSA (2021) and ABRA (2019).

### *2.3. Life cycle impact analysis: software, method, and impact categories*

SimaPro 9.1.1.1 software (PRé Consultants, Netherlands) was used to process life cycle inventories. This software is widely used in environmental studies to estimate



potential environmental impacts (Oele, 2020). Among the several assessment tools available in SimaPro, we chose to use the environmental footprint method 3.0 v. 1.00, developed by the European Union Product Environmental Footprint, an initiative responsible for producing PEFCR guidelines (FEDIAF, 2018A). Environmental footprint method 3.0 v. 1.00 has a global scope and can be used for analysis of midpoint impact categories, including characterization, normalization, and weighting factors (Zampori and Pant, 2019).

We analyzed all 16 impact categories of the environmental footprint, which are as follows: climate change; ozone layer depletion; ionizing radiation; photochemical oxidation; particulate matter; human toxicity, cancer; human toxicity, non-cancer; acidification; freshwater eutrophication; marine eutrophication; terrestrial eutrophication; freshwater ecotoxicity, land use; water use; resource use, fossils; and resource use, minerals and metals.

#### *2.4. Result interpretation: possible scenarios, sensitivity analysis, and uncertainty analysis*

After characterization of the environmental impacts of the reference product, we performed a comparative analysis of different ingredients commonly used in pet food according to nutrient categories (starch, lipid, or protein sources). This step was aimed at providing information on the substitution potential of the food formulation for reduced environmental impacts. Comparative results are expressed in terms of unit weight (kg) for starch and lipid ingredients. As for protein ingredients, results are corrected for protein content.

After comparative analysis of ingredients, the next step was to formulate isonutritive diets for adult dogs according to Livestock and Poultry Environmental Learning Community procedures (LPELC, 2019). Diets were formulated using pet food formulation software (TD Software, Supercrac Pet, Viçosa, Brazil) by combining two approaches, namely minimization of climate change impact (carbon footprint) and minimization of water use impact (water footprint). These simulations helped to illustrate the potential of raw material selection to contribute to the mitigation of environmental impacts in pet food production.

Sensitivity analysis was performed for animal co-products (POM, MBM, and poultry fat) using SimaPro software (v. 9. 1.1.1). Simulations were carried out assuming a 50% increase or decrease (50% to 150%) in the economic allocation results of POM and MBM. Uncertainty analysis was performed for the raw material selection phase using the Monte Carlo simulation model of SimaPro, with 1,000 iterations at a significance level of  $p > 0.05$  based on the environmental footprint 3.0 midpoint method. This analysis uses coefficient of variation (CV) indicators or a normalized indicator of dispersion in the category indicator.

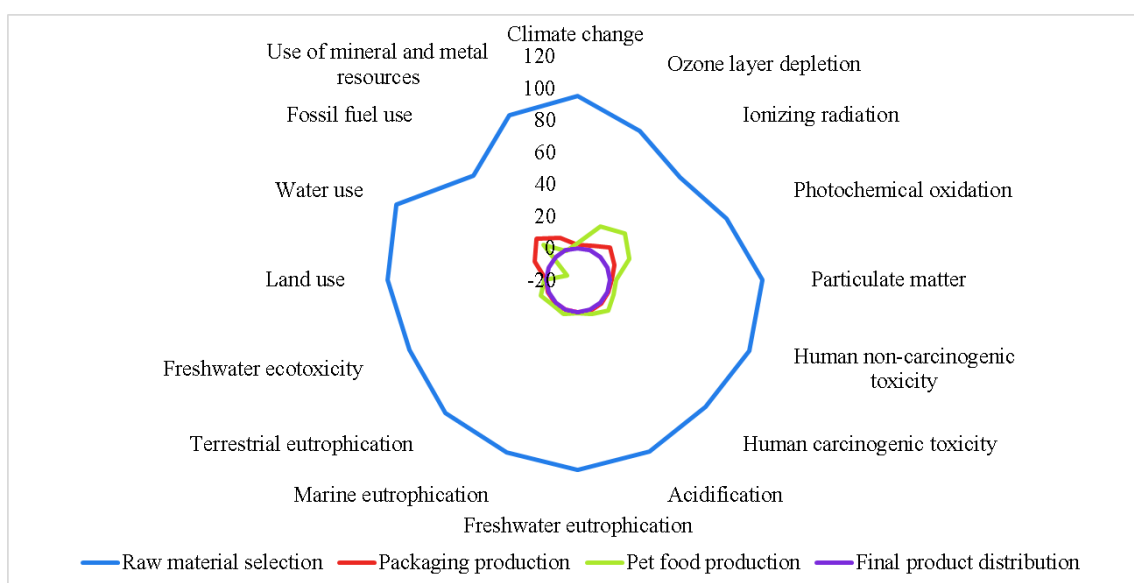
### **3. Results**

#### *3.1. Environmental impact assessment according to product life phase*

Results (absolute data) are presented as Supplementary Tables A1-5. Analysis of the environmental profile of the reference product based on the 16 impact categories revealed that the raw material selection phase contributed the most to total environmental impact. The lowest contribution was to fossil fuel use (72.42%,  $5.54E-01$  MJ-eq 177.3

$\text{g}^{-1} \text{day}^{-1}$ ) and the highest to water use ( $\sim 100\%$ ,  $3.10\text{E}-02 \text{ m}^3\text{-eq } 177.3 \text{ g}^{-1} \text{ day}^{-1}$ ) (Fig. 2). The contribution of this phase was greater than 90% for 12 of the 16 impact categories.

The production phase was the second largest contributor to the environmental impacts of the reference product. The most relevant ( $>10\%$  contribution) impact categories were ozone layer depletion (16.15%,  $6.48\text{E}-10 \text{ CFC}^{-11}\text{-eq } 177.3 \text{ g}^{-1} \text{ day}^{-1}$ ), photochemical oxidation (14.62%,  $4.43\text{E}-05 \text{ NMVOC}\text{-eq } 177.3 \text{ g}^{-1} \text{ day}^{-1}$ ), and fossil fuel use (10.8%,  $8.26\text{E}-02 \text{ MJ- } 177.3 \text{ g}^{-1} \text{ day}^{-1}$ ). It is noteworthy that the contribution to water use was negative ( $-12.51\%$ ,  $-3.77\text{E}-03 \text{ m}^3\text{-eq } 177.3 \text{ g}^{-1} \text{ day}^{-1}$ ). The contribution of the packaging production phase was relevant for fossil fuel use, accounting for 16.8% ( $1.28\text{E}-01 \text{ MJ}\text{-eq } 177.3 \text{ g}^{-1} \text{ day}^{-1}$ ) of the total impacts in this category. The finished product distribution phase did not contribute significantly to the environmental impacts of the studied system ( $\leq 0.00148\%$ ).

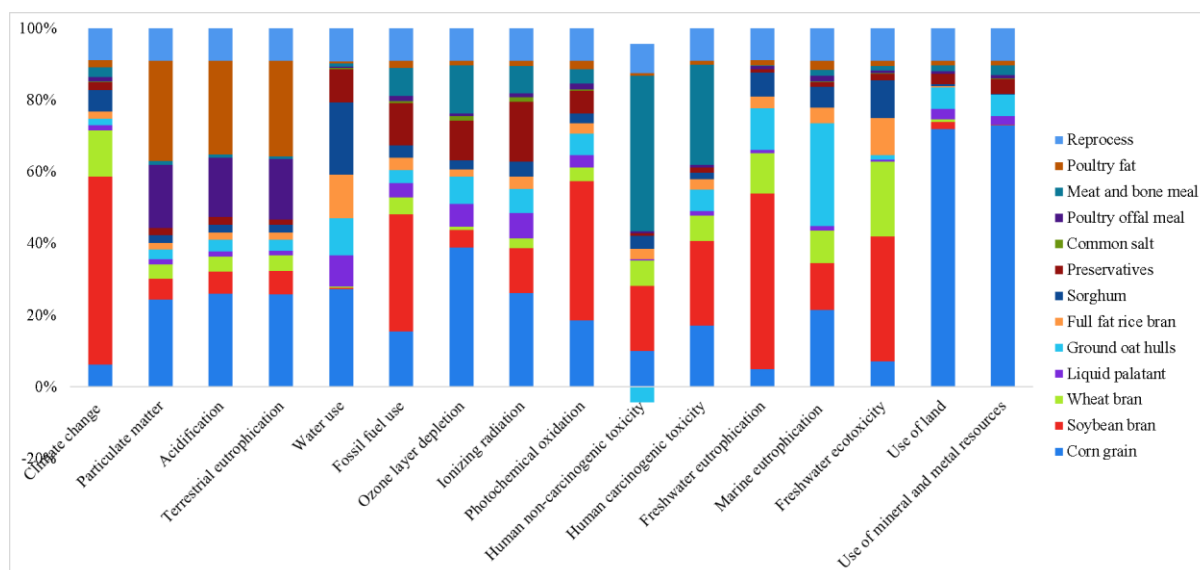


**Fig. 2.** Percentage contribution of the main phases of pet food production to environmental impacts in the base scenario, according to estimates produced by the environmental footprint 3.0 v. 1.00 method.

Given that the raw material selection phase was the most relevant, we proceeded with data characterization to estimate the environmental contribution of food ingredients (Fig. 3). Among ingredients of plant origin, soybean meal had the greatest contribution to climate change (57.6%), freshwater eutrophication (53.7%), photochemical oxidation (42.5%), freshwater ecotoxicity (38.2%), fossil fuel use (32.6%), human carcinogenic toxicity (25.8%), and human non-carcinogenic toxicity (21.7%).

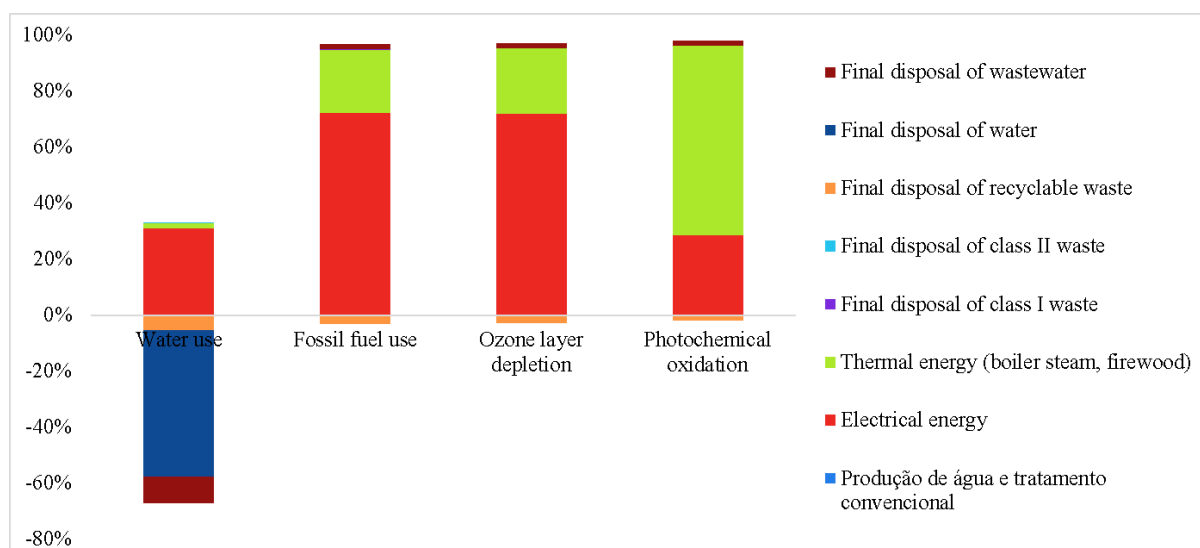
Corn grain was the major ingredient in the formulation. It contributed mainly to use of mineral and metal resources (73%), land use (78.9%), ozone layer depletion (42.7%), ionizing radiation (28.7%), particulate matter (26.9%), terrestrial eutrophication (26.4%), acidification (28.6%), marine eutrophication (23.6%), and photochemical oxidation (20.4%). Wheat bran contributed to freshwater ecotoxicity (22.8%), whereas oat hull contributed more to marine eutrophication (31.5%). The other ingredients of plant origin, namely sorghum and full fat rice bran, contributed mainly to water use (22.1% and 13.5%, respectively).

Among ingredients of animal origin, which accounted for 17.8% of the original formulation, POM and poultry fat had relevant contributions to the impact of the final product on particulate matter (46.2%), terrestrial eutrophication (47.8%), and acidification (46.8%). On the other hand, MBM was more relevant to human non-carcinogenic toxicity (52%) and human carcinogenic toxicity (30.7%).



**Fig. 3.** Percentage contribution of ingredients in the raw material selection phase, as assessed by midpoint characterization (environmental footprint 3.0 v. 1.00).

In the reference food production phase, electrical energy was the most relevant for ozone layer depletion (76.2%) and fossil fuel use (77.1%). Another relevant process in extruded food production was the generation of thermal energy (steam), which was the main contributor to photochemical oxidation (70.3%). Water use had a negative impact on the manufacturing phase, attributed to water treatment (Fig. 4).



**Fig. 4.** Percentage contribution of extruded food production steps, as assessed by midpoint characterization (environmental footprint 3.0 v. 1.00).

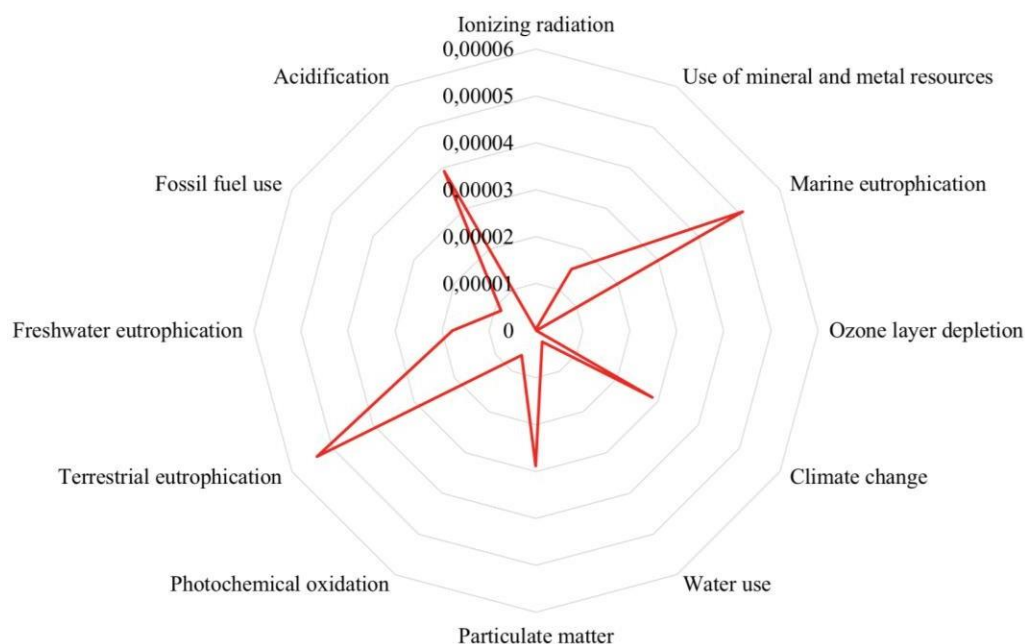
In the packaging production phase, the impact of fossil fuel use was expressive, accounting for 98.9% of the calculated environmental impacts. This step includes materials used for packaging and transportation to pet food factories. Packaging film (low-density polyethylene) was the main contributor to environmental impacts, and freight had a low contribution.

### *3.2. Normalized impacts*

Data normalization revealed the raw material selection phase to mainly impact terrestrial eutrophication (21%), marine eutrophication (20%), acidification (16%), particulate matter (12%), and climate change (11%). Together, these burdens accounted for 80% of the total environmental impact of raw material selection (Fig. 5). In this study, global normalization factors were calculated using environmental footprint 3.0 version 1.00 (Zampori and Pant, 2019).

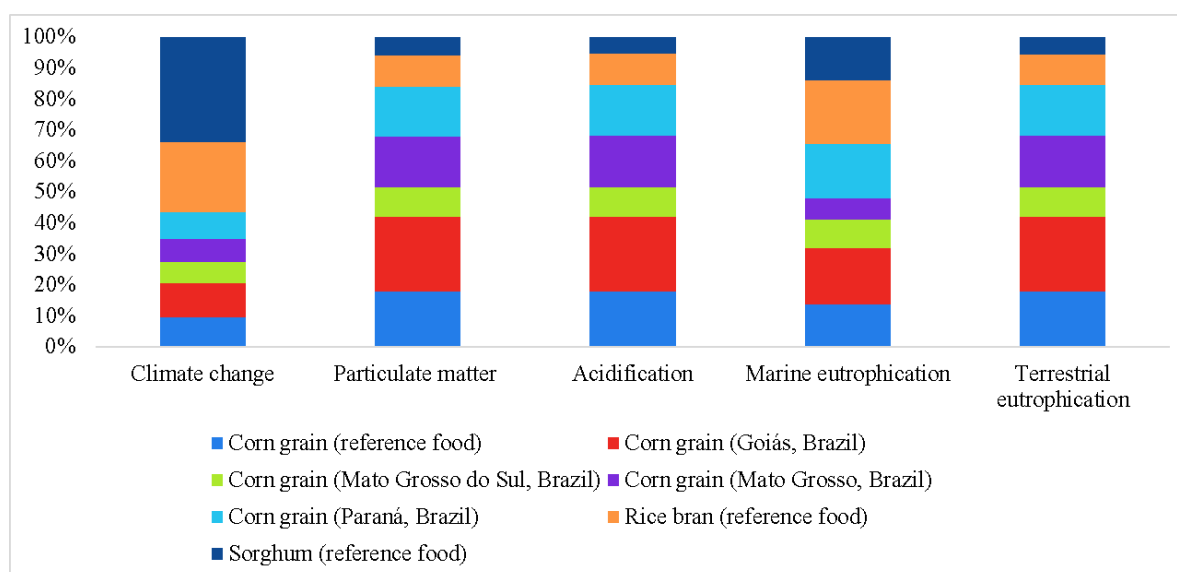
### *3.3. Environmental contribution of ingredients*

Given that the raw material selection phase was responsible for a large part of the environmental impacts of extruded food production, we compared the impacts of ingredients used in the reference formulation with those of alternative ingredients. Only the categories with the highest environmental impacts were selected for the analysis (terrestrial eutrophication, marine eutrophication, acidification, particulate matter, and climate change).



**Fig. 5.** Contribution of impact categories based on normalized and absolute data of the raw material selection step (environmental footprint 3.0 v. 1.00).

Regarding starch sources, corn was compared with sorghum and rice bran. These ingredients are part of the reference formulation (Fig. 6). However, for analysis of the impact of corn, we analyzed the region of the country in which it is produced. Sorghum (reference formulation) and rice bran (reference formulation) had greater contributions to climate change and marine eutrophication but lower contributions to the other categories than corn grain. Important differences were observed for corn grain produced in different regions. Corn produced in Goiás (GO) contributed the most to the five impact categories assessed, particularly to terrestrial eutrophication (24.16%). By contrast, with the exception of marine eutrophication, corn from Mato Grosso (MT) had the lowest contribution (mean of 8.9%) to impact categories compared with other corn grains.



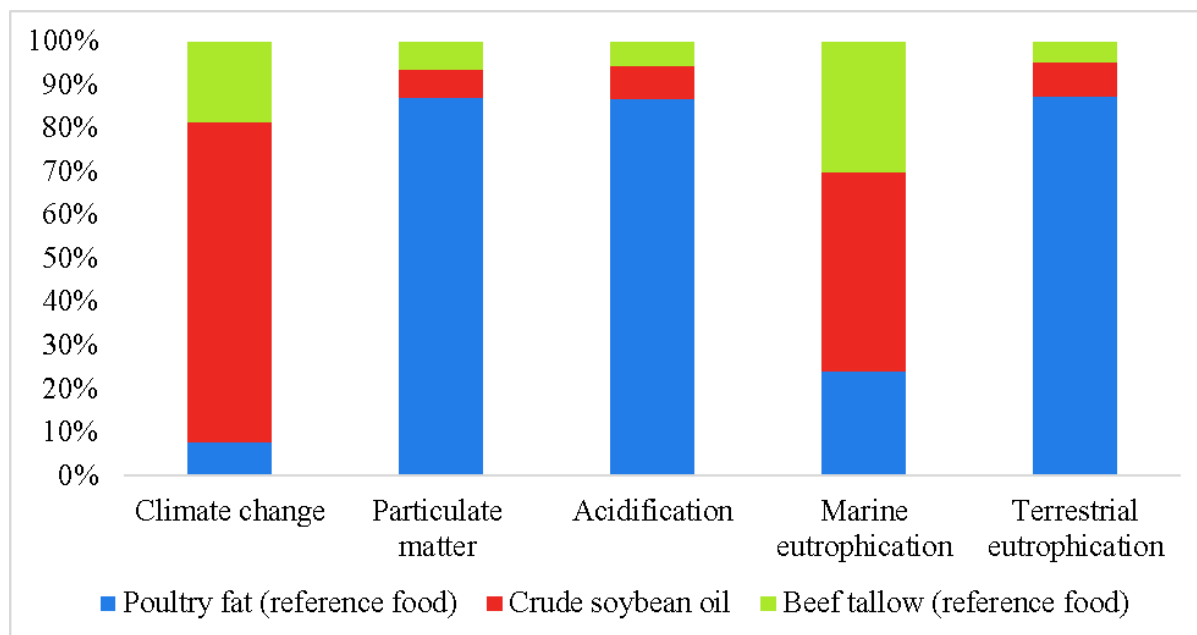
**Fig. 6.** Comparison of the environmental impact of different starch ingredients (environmental footprint 3.0 v. 1.00).

In comparing the impact of fat sources (Fig. 7), it was found that poultry fat had the greatest contribution to particulate matter (86.86%), acidification (86.64%), and terrestrial eutrophication (87.19%). Soybean oil contributed mainly to climate change (73.7%) and marine eutrophication (45.72%). Beef tallow seemed to be an environmentally friendly source, as it did not contribute significantly to any of the five impact categories.

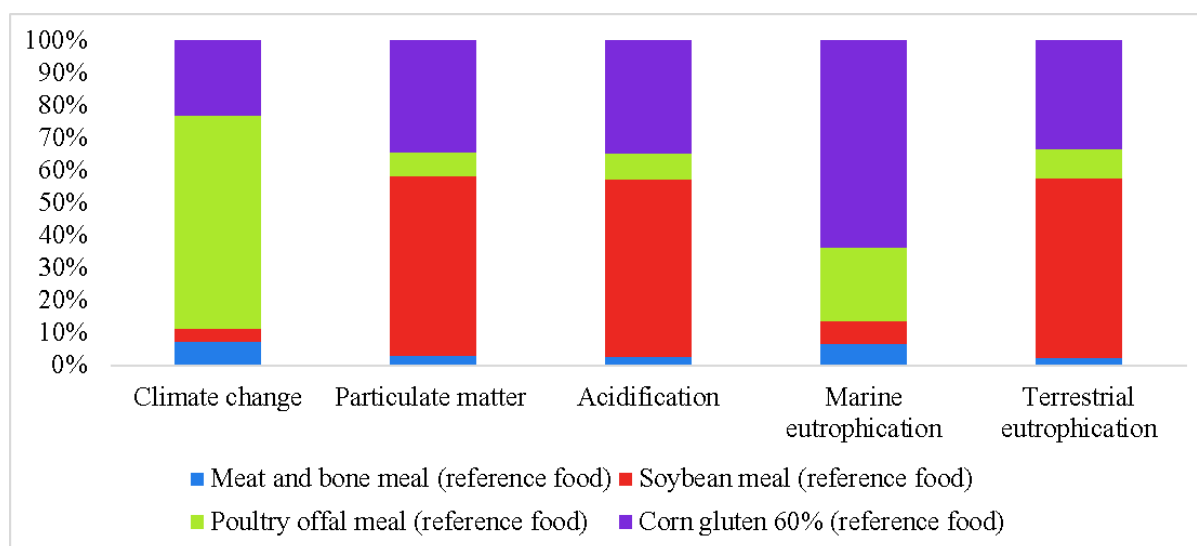
Figs. 8 and 9 show the results of the comparisons of protein ingredients, expressed per kilogram and per unit protein ( $\text{kg kg}^{-1}$  of crude protein). On a weight basis, it was found that soybean meal had a greater contribution to climate change (65.65%). POM contributed mainly to terrestrial eutrophication (55.4%), particulate matter (55.16%), and acidification (54.44%). Unlike the other ingredients, corn gluten contributed to marine eutrophication (63.91%). In considering the protein equivalent of ingredients (amount needed to achieve 1 kg of crude protein), we observed no significant changes in impact



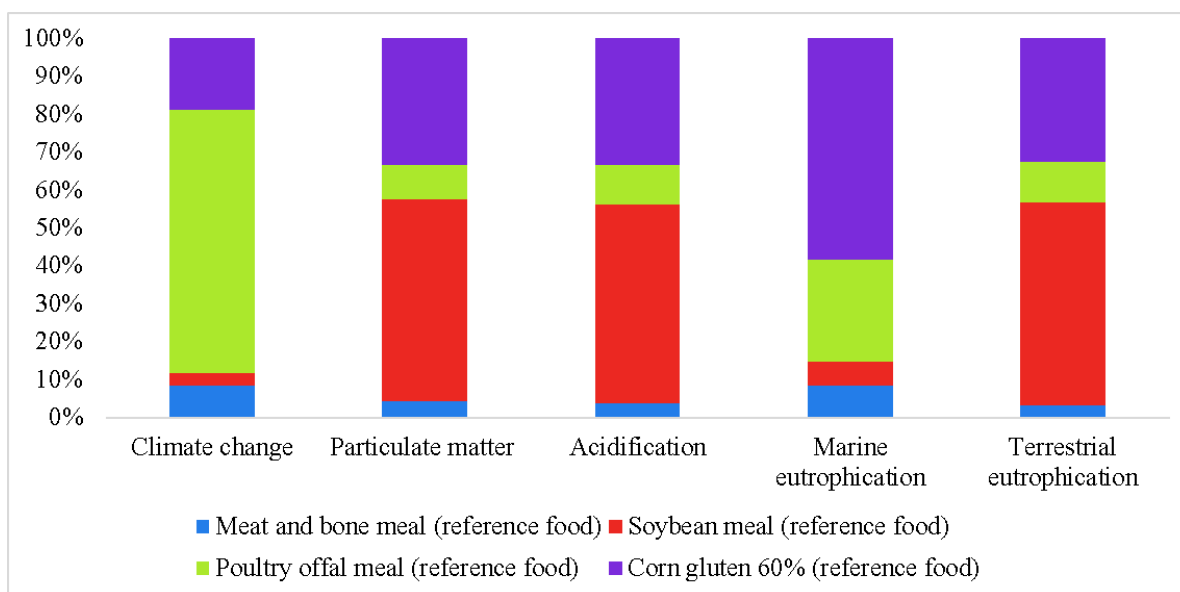
categories. Similar to beef tallow, MBM had the lowest contribution (in four of the five categories) among protein sources.



**Fig. 7.** Comparison of the environmental impact of different fat sources (environmental footprint 3.0 v. 1.00).



**Fig. 8.** Comparison of the environmental contribution of different protein sources, considering ingredient weight.



**Fig. 9.** Comparison of the environmental contribution of different protein sources, considering protein equivalents.

## 4. Discussion

### 4.1. Contributions of pet food production to environmental impacts per life cycle phase

In this study, as in previous studies on other animal species, raw material selection was the phase that contributed the most to environmental impacts. This result is in accordance with those of PEFCR guidelines (FEDIAF, 2018a) and shows that the burden generated by raw material selection (sourcing, processing, and transport) is determinant of the total environmental impact of dry food production. Although food processing and packaging did not account for the major part of the impact of extruded food production, together, they corresponded to about 30% of the total environmental impact. Ozone layer depletion and fossil fuel use can be minimized by better managing electrical energy consumption and photochemical oxidation during thermal energy generation. Use of

renewable energy sources, such as wind, solar, bioenergy, and mineral coal, are important alternatives to mitigate environmental damage and meet decarbonization goals, as discussed in the National Energy Plan 2050 (PNE, 2020).

The low impact of the packaging step might be related to the type of food analyzed; it is possible that packaging would have a greater impact on wet food production (FEDIAF, 2018a; Mosna et al., 2021). A limitation of this study is that we did not evaluate the pollution generated by the disposal of packaging material. The findings showed that reducing or replacing polyethylene (PE + PE) film is important for minimizing fossil fuel use. Replacements for petroleum-based films are being explored, such as bioplastics, a type of plastic generated from natural resources (starch and vegetable oils), with polylactic acid being the most promising (Naser et al., 2021). Agricultural wastes, such as those from carrot production, have shown potential for the development of biodegradable biocomposites (Otoni et al., 2018). Other alternative materials and strategies include recycled plastic resins, use of renewable energy sources, and use of monolayer products (Tamoor et al., 2022).

The findings suggest that the distribution phase can be disregarded in future studies of pet food LCA, as it accounted for less than 1% of the total environmental impact. This result can be attributed to the distance of suppliers, mode of transport, and type of vehicles used by the company. The evaluated production plant uses local and/or regional suppliers. The final product does not require refrigerated transport, medium/heavy duty vehicles can be used, and minimal waste is generated during transport. Furthermore, the company has adopted reduced pollution technologies, as proposed by the Air Pollution Control Program for Motor Vehicles (PROCONVE) (PROCONVE, 2016). These factors explain the efficiency of this step. Nevertheless, it should be noted that distribution between sale

points and consumers' residences was not accounted for in this study and that the trade-offs that may occur in this final phase are diverse and critical (Rai, 2021).

#### *4.2. Most relevant impact categories*

Data normalization in LCA studies is relevant for result interpretation and decision-making. In recent years, the robustness of factors has been improved (Crenna et al., 2019; Roesch et al., 2020). Despite the progress, normalized results should be analyzed with caution, as their estimates still have intrinsic limitations (Curran, 2006; Sala et al., 2017; Hauschild et al., 2018; Crenna et al., 2019; Roesch et al., 2020). Here, the categories related to toxicity (freshwater eutrophication and human carcinogenic and non-carcinogenic toxicity) were not the most relevant, according to PEFCR guidelines (FEDIAF, 2018a). These categories are considered complex and challenging to evaluate, as they involve a large number of chemical substances and their normalization factors have a high level of uncertainty (Crenna et al., 2019) and a low level of robustness (Sala et al., 2017). More refined inventories were suggested (Crenna et al., 2019; Leclerc et al., 2019). Land use assessment was also excluded, as normalized data resulted in data extrapolation. The environmental footprint 3.0 method uses the LANCA<sup>®</sup> model (Beck et al., 2010) to perform estimates of land use; however, the reliability of the model has been associated with relevant errors, necessitating better factor calibration (Terranova et al., 2021). Therefore, investigation of impacts on land use remains widely debated in Brazilian LCA studies (Novaes et al., 2017; RAICV, 2019).

Terrestrial and marine eutrophication were the most significant impact categories, accounting for 41% of the total environmental impacts of raw material selection. Such impacts are due to the large accumulation of nutrients in the environment, including

generation and release of nitrates, nitrogen oxides ( $\text{NO}_x$ ), ionized ammonia ( $\text{NH}_4^+$ ), and non-ionized ammonia ( $\text{NH}_3$ ) in air and water. These emissions might be related to inadequate agricultural management, excessive use of nitrogen, and generation of volatilized residues in animal production. Poultry fat, POM, and corn grain contributed the most to terrestrial eutrophication and ground oat hull and corn grain contributed the most to marine eutrophication. The relationship of ingredients with environmental impacts can be attributed to emissions related to animal production (Liua et al., 2022), application of organic correctives, and nitrogen fertilizers, which, in excess, can trigger nitrate leaching and, consequently, soil erosion, reduced crop yields, groundwater contamination, high biomass production in water bodies, and damage to aquatic life (Kopittke et al., 2019; Liua et al., 2022).

Acidification can be triggered by excessive use of nitrogen-based fertilizers (Carvalho et al., 2021). The release of  $\text{H}^+$ , especially in media with low buffering capacity, leads to reductions in the pH (increase in acidity) of soil, air, or water, representing a threat to plant and animal diversity, by affecting pollinating agents (Stevens et al., 2018). Here, the acidification impact was  $2.17\text{E}-03 \text{ mol H}^+\text{-eq } 177.3 \text{ g}^{-1} \text{ day}^{-1}$  for the raw material selection step and main contributors (corn grain, POM, and poultry fat), 87% of which ( $1.97\text{E}-03 \text{ mol H}^+\text{-eq } 177.3 \text{ g}^{-1} \text{ day}^{-1}$ ) was associated with air emissions of ammonia.

In the study of Campos et al. (2019), POM and poultry fat were associated with eutrophication and acidification. Together, the co-products accounted for 73% and 68% of the total impact in each category, respectively; however, compared with fish meal and fish oil, the poultry products were less environmentally damaging. Here, POM contributed more to environmental impacts (eutrophication, acidification, particulate

matter) than MBM (human toxicity), representing a trade-off associated with nutritional quality versus economic and environmental aspects.

When normalized, particulate matter ( $1.72\text{E}-08$  case incidence  $177.3 \text{ g}^{-1} \text{ day}^{-1}$ ) and climate change ( $2.3\text{E}-01 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$   $177.3 \text{ g}^{-1} \text{ day}^{-1}$ ) had similar importance in the dry food life cycle. Emission of complex particles into the air is associated with adverse and detrimental effects on human health and mortality (Cohen et al., 2017; Wang et al., 2017; Belotti et al., 2020; Giusti et al., 2022). In this study, particulate emissions were mainly related to poultry fat and POM production and, secondarily, to  $\text{NH}_3$  release into the air. Soybean meal and wheat bran were the main contributors to climate change. This finding is mainly due to land use and transformation ( $70\%$ ,  $1.6\text{E}-01 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$   $177.3 \text{ g}^{-1} \text{ day}^{-1}$ ), followed by fossil ( $27\%$ ,  $6.3\text{E}-02 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$   $177.3 \text{ g}^{-1} \text{ day}^{-1}$ ) and biogenic ( $3\%$ ,  $5.8\text{E}-03 \text{ kg CO}_2\text{-eq}$   $177.3 \text{ g}^{-1} \text{ day}^{-1}$ )  $\text{CO}_2$  emissions. Similar results can be observed in LCA studies of monogastric animals, such as rabbits (Cesari et al., 2018), broilers (Cesari et al., 2017), and pigs (Bava et al., 2017).

The production chain of primary soybean is strongly related to climate change, given the implications for land use and transformation (Castanheira and Freire, 2013; Maciel et al., 2016; Brito et al., 2021). In Brazil, soybean cultivation has undergone agricultural expansion in the Cerrado biome and Amazon, leading to deforestation. In this case, partial replacement of soybean meal is indicated. Nevertheless, there are policies in force aiming to reduce the impact of soybean production and achieve low carbon agriculture, such as allocation of soybean crops to already deforested areas (Gibbs et al., 2015). The models used to estimate the impacts of land use and transformation need to be improved to consider recent changes in the current scenario (Brito et al., 2021).

#### *4.3. Environmental contribution of different ingredients*

In comparing the environmental impacts of different ingredients, we found that corn grain produced in Goiás should be avoided and replaced with corn grain from Mato Grosso. Bovine tallow and MBM were found to be "greener" lipid and protein sources, respectively. The analysis suggests that formulations should be based on corn grain (Mato Grosso), poultry fat, and POM to mitigate climate change and marine eutrophication or on sorghum, rice bran, MBM, and bovine tallow to minimize acidification, terrestrial eutrophication, and particulate matter generation.

Changes in diet formulations as a strategy to mitigate the environmental impact of pet dry food production should be made with caution, as each source contributes to some extent to an impact category. It is important to first define which impact category should be mitigated, as improving one category may affect another. Furthermore, the challenges of trade-offs between nutritional quality, economic performance, and environmental impacts must be considered, as suggested by Matlock et al. (2015).

#### *4.4. Sensitivity and uncertainty analyses*

Here, the greatest environmental impacts were not caused by ingredients of animal origin, as demonstrated by assessment of meat co-products, which were allocated economically. When analyzing the ingredients on a weight basis, the final environmental impacts of co-products tend to be overestimated, as they are treated in the same way as human-grade meat products. On the other hand, animal meals contribute to the revenue of the livestock industry, and their impacts should not be considered negligible. This factor underscores the importance of economic allocation, which allows attributing

environmental impacts proportional to a product's economic value (FEDIAF, 2018a; Alexander et al., 2021).

Sensitivity analysis was conducted to understand the impact of uncertainty on the price of co-products. Prices may fluctuate and differ according to region, affecting the results of the study (Mosna et al., 2021). Here, sensitivity analysis of POM and MBM revealed that, despite a variation of 50% to 150% in market value, all environmental impacts remained in agreement with the original formulation. In other words, price fluctuations did not substantially influence the results (<10% variation in the final results). Uncertainty analysis of the selected impact categories showed that 97.5% of the data followed a normal log distribution and only 2.5% were undefined. A high level of uncertainty was observed in water use (CV = 1011.48%) and human toxicity (CV > 559%), but these categories were not the most impactful in the present study.

#### *4.5. Impacts, comparisons, and final considerations*

Understanding the environmental implications of a product is a complex task. There are few LCA studies on extruded dry foods in the literature, which makes it difficult to compare our results. However, climate change and water use are commonly investigated. It was estimated that about 11 m<sup>3</sup> of water is used to produce 64.71 kg of extruded dry food per year, representing 0.17 m<sup>3</sup> of water per kg of food consumed per year. Alexander et al. (2021) found a water use of 0.19–0.41 m<sup>3</sup> per kg of food consumed per year. Our findings are lower than those reported by PEFCR, namely 379.25 m<sup>3</sup> of water (FEDIAF, 2018a). The manual states that this value might be overestimated.

The production of 64.71 kg of dry food per year for a 10 kg dog generates 88.70 kg CO<sub>2</sub>-eq per year or 1.37 kg CO<sub>2</sub>-eq per kg of distributed food per year. These results are



similar to those reported by PEFCR guidelines (106.52 kg CO<sub>2</sub>-eq year<sup>-1</sup>) (FEDIAF, 2018). Alexander et al. (2021), in considering a global production of 26.6 million t food year<sup>-1</sup>, estimated emissions of 2.12–5.68 kg CO<sub>2</sub>-eq per kg of distributed food per year. Considering a 13-year lifespan for dogs, about 1.152 million kg CO<sub>2</sub>-eq will be emitted by food production, a value similar to that estimated in the Netherlands (1 to 2.480 million kg CO<sub>2</sub>-eq) (Martens et al., 2019).

For the main impact categories analyzed here, it is estimated that the production of 1 kg of dry dog food generates annual emissions of 0.055 mol N-eq (terrestrial eutrophication), 0.01 kg N-eq (marine eutrophication), 0.013 mol H<sup>+</sup>-eq (acidification), and 1.02E-07 incidence cases with particulate matter. For all these impact categories, including climate change, raw material selection is responsible for more than 95% of the environmental impacts generated.

Our results showed that, in the industrial sector, process improvement and choice of ingredients are key to increasing the environmental efficiency of dry food production. This is particularly interesting for the pet food industry, given the trends in using human-grade food and operating with nutritional excess. Optimistic alternatives that aim to mitigate the damage associated with raw material selection can be found in the use of insects, algae, and "green" legumes as protein and lipid sources. These products have lower biological cost and are less prone to competition with human food supply. Insects and algae do not require large areas nor complex diets for their production, whereas crop rotation reduces environmental impacts.

Such alternatives may promote partial or complete replacement of meat-based proteins or soybean bran, which contributed greatly to climate change. However, if the aim is to replace conventional co-products (e.g., POM and MBM) with alternative sources, it is necessary to conduct more in-depth investigations. In this case, economic

and social factors should be analyzed together with environmental factors for decision-making (triple bottom line) (Elkington, 1999). In the scientific sector, it is encouraged to advance research in the area. Future studies should aim at expanding boundaries (cradle-to-grave assessment), comparing alternative sources, and improving Brazilian databases. The government should focus on developing policies, legislation, tax incentives, and educational campaigns of environmental responsibility that include from product purchase to disposal. Together, these sectors should be striving to meet the Sustainable Development Goals of the 2030 Agenda in the following years.

## **5. Conclusion**

In pet food production, similar to feed production, raw material selection is the most relevant phase, being responsible for at least 70% of the total environmental impacts of the process. Although many studies focus on climate change, our findings revealed the importance of monitoring other impact categories in the assessment of extruded dog food production. Terrestrial eutrophication, marine eutrophication, acidification, particulate matter, and climate change were the major impact categories, accounting for 80% of the total environmental impacts of raw material selection.

The findings showed that formulation of extruded dog food with cereals commonly used in animal feed (corn, sorghum, and rice bran) and plant and animal co-products (soybean bran, meals, and animal fat) contributes to minimizing the environmental impact of the pet food sector. This study did not analyze the use phase, but it should be noted that high nutrient use efficiency is relevant to minimize emissions associated with pet food consumption.

## References

- ABINPET. Associação Brasileira da Indústria de Produtos para Animais de Estimação. Mercado Pet Brasil. 2023.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 14040: Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro. 2009.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 14044: Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e orientações. Rio de Janeiro. 2009.
- ABOISSA, 2019. Cotações diárias. Disponível em: <https://aboissa.com.br/pt/cotacoes>. (accessed 7.22.22).
- ABRA, 2019. Associação Brasileira de Reciclagem Animal. Anuário ABRA. <https://abra.ind.br/publicacoes/> (accessed 7.25.22).
- ACUFF, H. L.; DAINTON, A. N.; DHAKAL, J.; KIPROTICH, S.; ALDRICH, G. Sustainability and Pet Food: Is There a Role for Veterinarians? *Veterinary Clinics of North America - Small Animal Practice*, v. 51, n. 3, p. 563–581, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2021.01.010>>.
- ALEXANDER, P.; BERRI, A.; MORAN, D.; REAY, D.; ROUNSEVELL, M. D. A. The global environmental paw print of pet food. *Global Environmental Change*, v. 65, n. March, p. 102153, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102153>>.
- BAVA, L., ZUCALI, M., SANDRUCCI, A., TAMBURINI, A., 2017. Environmental impact of the typical heavy pig production in Italy. *Journal of Cleaner Production* 140, 685–691. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.029>

- BECK, T.; BOS, U.; WITTSTOCK, B.; BAITZ, M.; FISCHER, M.; SEDLBAUER, K., 2010. LANCA - land use indicator value calculation in life cycle assessment. Fraunhofer, Stuttgart.
- BELOTTI, J.T., CASTANHO, D.S., ARAUJO, L.N., da SILVA, L. v., ALVES, T.A., TADANO, Y.S., STEVAN, S.L., CORRÊA, F.C., SIQUEIRA, H. v., 2020. Air pollution epidemiology: A simplified Generalized Linear Model approach optimized by bio-inspired metaheuristics. *Environmental Research* 191. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110106>
- BRITO, T., FRAGOSO, R., MARQUES, P., FERNANDES-SILVA, A., ARANHA, J., 2021. LCA of Soybean Supply Chain Produced in the State of Pará, Located in the Brazilian Amazon Biome †. <https://doi.org/10.3390/IECAG2021>
- CAMPOS, I., PINHEIRO, V. L.M., MATOS, E., MARQUES, P., FFREIRE, F., 2020. Life-cycle assessment of animal feed ingredients: Poultry fat, poultry by-product meal and hydrolyzed feather meal. *Journal of Cleaner Production* 252. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119845>
- CARVALHO, L.S., WILLERS, C.D., SOARES, B.B., NOGUEIRA, A.R., de ALMEIDA, J.A., RODRIGUES, L.B., 2022. Environmental life cycle assessment of cow milk in a conventional semi-intensive Brazilian production system. *Environmental Science and Pollution Research* 29, 21259–21274. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-17317-5>
- CASTANHEIRA, É.G., FREIRE, F., 2013. Greenhouse gas assessment of soybean production: Implications of land use change and different cultivation systems. *Journal of Cleaner Production* 54, 49–60. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.05.026>

- CESARI, V., ZUCALI, M., BAVA, L., GILSON, G., TAMBURINI, A., TOSCHI, I.,  
2018. Environmental impact of rabbit meat: The effect of production efficiency.  
Meat Science 145, 447–454. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.07.011>
- CESARI, V., ZUCALI, M., BAVA, L., GILSON, G., TAMBURINI, A., TOSCHI, I.,  
2017. Environmental impact assessment of an Italian vertically integrated broiler  
system through a Life Cycle approach. Journal of Cleaner Production 143, 904–  
911. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.030>
- COHEN, A.J., BRAUER, M., BURNETT, R., ANDERSON, H.R., FROSTAD, J.,  
ESTEP, K., BALAKRISHNAN, K., BRUNEKREEF, B., DANDONA, L.,  
DANDONA, R., FEIGIN, V., FREEDMAN, G., HUBBEL, B., JOBLING, A., et  
al. 2017. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable  
to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases  
Study 2015. The Lancet 389, 1907–1918. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)30505-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)30505-6)
- CRENNA, E., SECCHI, M., BENINI, L., SALA, S., 2019. Global environmental  
impacts: data sources and methodological choices for calculating normalization  
factors for LCA. International Journal of Life Cycle Assessment 24, 1851–1877.  
<https://doi.org/10.1007/s11367-019-01604-y>
- CURRAN, M.A., 2006. US EPA Life Cycle Assessment: Principles and Practice.
- ELKINGTON, J., 1994. Towards the sustainable corporation: Win-win-win business  
strategies for sustainable development. California Management Review, v.36, n.2,  
p.90-100.
- European Commission. 2018. Product Environmental Footprint Category Rules  
(PEFCRs) Prepared Pet Food for Cats and Dogs.

- FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. The State of Food Security and Nutrition in the World 2022. Repurposing food and agricultural policies to make healthy diets more affordable. Rome, FAO. 2022. <https://doi.org/10.4060/cc0639en>.
- FEDIAF. C&D Foods; FACCO, Chambre Syndicale des Fabricants d'Aliments pour Chiens, Chats, Oiseaux et autres Animaux Familiers (the French Pet Food Association for Dogs, Cats, Birds, Other Domestic Pets); Mars PetCare Europe; Nestlé Purina PetCare Europe; saturn petcare gmbh, Quantis. Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs): Prepared Pet Food for Cats and Dogs. Final version. European Commission: Brussels, Belgium. 2018a.
- FEDIAF. Diretrizes Nutricionais Para alimentos complementares para cães e gatos. Brasil: European Pet Food Industry Federation, 2018b.
- GIBBS, H.K., RAUSCH, L., MUNGER, J., SCHELLY, I., MORTON, D.C., NOOJIPADY, P., SOARES-FILHO, B., BARRETO, P., MICOL, L., WALKER, N.F., 2015. Brazil's Soy Moratorium: Supply-chain governance is needed to avoid deforestation. *Science* (1979). <https://doi.org/10.1126/science.aaa0181>
- GIUSTI, G., Vieira, J.G.V., TADANO, Y., SILVA, D.A.L., FANTKE, P., 2022. Health effects of particulate matter formation in Life Cycle Impact Assessment: critical review and recommendation of models for Brazil. *International Journal of Life Cycle Assessment* 27, 868–884. <https://doi.org/10.1007/s11367-022-02068-3>
- LECLERC, A., SALA, S., SECCHI, M., LAURENT, A., 2019. Building national emission inventories of toxic pollutants in Europe. *Environment International* 130. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.03.077>
- LIUA, L., XU, W., LU, XIANKA, ZHONG, B., GUO, Y., LU, XIAO, ZHAO, Y., HE, W., WANG, S., ZHANG, X., LIU, X., VITOUSEK, P., 2022. Exploring global changes in agricultural ammonia emissions and their contribution to nitrogen

- deposition since 1980. *Proc Natl Acad Sci U S A* 119.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.2121998119>
- LPELC. Livestock and poultry environmental learning community. University of Arkansas. 2019. Disponível em: <[lpec.org/feeding-strategies-to-mitigate-cost-and-environmental-footprint-of-pig-production-in-the-us/](http://lpec.org/feeding-strategies-to-mitigate-cost-and-environmental-footprint-of-pig-production-in-the-us/)>. Acesso em: 15 de mar. 2022.
- KOPITTKE, P.M., MENZIES, N.W., WANG, P., MCKENNA, B.A., LOMBI, E., 2019. Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078>
- OELE. 2020. What's new in Simapro 9.1? <https://simapro.com/2020/whats-new-in-simapro-9-1/> (accessed 7.25.22).
- OKIN, G. S. Environmental impacts of food consumption by dogs and cats. *PLOS ONE*, v. 12, n. 8, p. e0181301, 2017.
- MACIEL, V.G., ZORTEA, R.B., GRILO, I.B., LIE UGAYA, C.M., EINLOFT, S., SEFERIN, M., 2016. Greenhouse gases assessment of soybean cultivation steps in southern Brazil. *Journal of Cleaner Production* 131, 747–753.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.100>
- MARTENS, P.; SU, B.; DEBLOMME, S. The ecological paw print of companion dogs and cats. *BioScience*, v. 69, n. 6, p. 467–474, 2019.
- MATLOCK, G., PUTMAN, M., BUREK, B., 2015. A Life Cycle Analysis of Land Use in US Pork Production, Meat Science Commons.
- MENEZES LIMA, J. A.; CORREA, M. F. F. J.; CONSTANTINO, M.; FORMAGINI, E. L. Techno-economic and performance evaluation of energy production by anaerobic digestion in Brazil: bovine, swine and poultry slaughterhouse effluents. *Journal of Cleaner Production*, v. 277, 2020.

- MOSNA, D., BOTTANI, E., VIGNALI, G., MONTANARI, R., 2021. Environmental benefits of pet food obtained as a result of the valorisation of meat fraction derived from packaged food waste. *Waste Management* 125, 132–144. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.02.035>
- NASER, A.Z., DEIAB, I., DARRAS, B.M., 2021. Poly (lactic acid) (PLA) and polyhydroxyalkanoates (PHAs), green alternatives to petroleum-based plastics: a review. *RSC Advances*. <https://doi.org/10.1039/d1ra02390j>OECD/FAO 2021.
- NOVAES, R.M.L., PAZIANOTTO, R.A.A., BRANDÃO, M., ALVES, B.J.R., MAY, A., Folegatti-Matsuura, M.I.S., 2017. Estimating 20-year land-use change and derived CO<sub>2</sub> emissions associated with crops, pasture and forestry in Brazil and each of its 27 states. *Global Change Biology* 23, 3716–3728. <https://doi.org/10.1111/gcb.13708>
- PROCONVE. Programa de controle da poluição do ar por veículos automotores. <http://www.ibama.gov.br/emissoes/veiculos-automotores/programa-de-controle-de-emissoes-veiculares-proconve> (accessed 7.25.22).
- PRUDÊNCIO, S. V., VAN, W. H.M.G., SOARES, S.R., CORSON, M.S., 2014. Environmental impacts of French and Brazilian broiler chicken production scenarios: An LCA approach. *Journal of Environmental Management* 133, 222–231. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.12.011>
- RAI, B. H., BROEKAERT, C., VERLINDER, S., MACHARIS, C., 2021. Sharing is caring: How non-financial incentives drive sustainable e-commerce delivery. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 93. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102794>



- RAICV. Rede de Pesquisa de Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida, 2019. Recomendação de modelos de Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida para o contexto brasileiro. Brasília, DF: Ibict, p.165. ISBN 978-85-7013-154-6
- ROESCH, A., SERENELLA, S., JUNGBLUTH, N., 2020. Normalization and weighting: the open challenge in LCA, in: International Journal of Life Cycle Assessment. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, pp. 1859–1865. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01790-0>
- SALA S., CRENNNA E., SECCHI M., PANT, R., Global normalisation factors for the Environmental Footprint and Life Cycle Assessment, EUR (28984), Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2017, ISBN 978-92-79-77213-9, doi:10.2760/88930
- SU, B.; MARTENS, P. Environmental impacts of food consumption by companion dogs and cats in Japan. *Ecological Indicators*, v. 93, n. May, p. 1043–1049, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.06.015>>.
- SU, B.; MARTENS, P.; ENDERS-SLEGERS, M. J. A neglected predictor of environmental damage: The ecological paw print and carbon emissions of food consumption by companion dogs and cats in China. *Journal of Cleaner Production*, v. 194, p. 1–11, 2018.
- STEVENS, C.J., DAVID, T.I., STORKEY, J., 2018. Atmospheric nitrogen deposition in terrestrial ecosystems: Its impact on plant communities and consequences across trophic levels. *Functional Ecology* 32, 1757–1769. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13063>
- SWANSON, K. S.; CARTER, R. A.; YOUNT., T. P.; PRESTON, J. A.; BUFF, R. 2013. Nutritional Sustainability of Pet Foods. *Advances in Nutrition*, 4:141-150. <https://doi.org/10.3945/an.112.003335>.

- SYKES, N. Humanity's best friend: a dog-centric approach to addressing global challenges. *Animals*, 10, 502. 2020. doi: 10.3390 / ani10030502.
- TAMOOR, M., SAMAK, N.A., YANG, M., XING, J., 2022. The Cradle-to-Cradle Life Cycle Assessment of Polyethylene terephthalate: Environmental Perspective. *Molecules* 27. <https://doi.org/10.3390/molecules27051599>
- TERRANOVA, D.; BALUGANI, E.; RIGHI, S.; MARAZZA, D. An applicability assessment and sensitivity analysis of land use impact models: application of the LANCA model in site-specific conditions. *International Journal of Life Cycle Assessment*, v. 26, n. 11, p. 2215–2231, 2021.
- ZAMPORI, L.; PANT, R., Suggestions for updating the Product Environmental Footprint (PEF) method, EUR 29682 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019. ISBN 978-92-76- doi:10.2760/424613.
- WANG, J., XING, J., MATHUR, R., PLEIM, J.E., WANG, S., HOGREFE, C., GAN, C.M., WONG, D.C., HAO, J., 2017. Historical trends in PM2.5-related premature mortality during 1990–2010 across the Northern Hemisphere. *Environmental Health Perspectives* 125, 400–408. <https://doi.org/10.1289/EHP298>

