



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO MINISTRO PETRONIO PORTELA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL

DONÁRIA MIRANDA DE SOUSA

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV) DA PRODUÇÃO DE OVOS E DE
RAÇÃO EM GRANJA COMERCIAL**

TERESINA - PI

2022

DONÁRIA MIRANDA DE SOUSA

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV) DA PRODUÇÃO DE OVOS E DE RAÇÃO EM
GRANJA COMERCIAL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Ciência Animal da Universidade Federal do Piauí (UFPI)
na área de Produção Animal, como requisito para
obtenção do título de Doutora em Ciência Animal.

Área de Concentração: Produção Animal

Orientadora: Prof^ª. Dra. Leilane Rocha Barros Dourado

Coorientadora: Prof^ª. Dra. Nathalie Barbosa Reis
Monteiro

TERESINA - PI

2022

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Setorial do CCA
Serviço de Representação da Informação

S725a Sousa, Donária Miranda de.
Avaliação do ciclo de vida (ACV) da produção de ovos e de ração em granja comercial / Donária Miranda de Sousa. -- 2022.
133 f. : il.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Piauí, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Teresina, 2022.

“Orientadora: Profa. Dra. Leilane Rocha Barros Dourado.”

1. Ração (Produção). 2. Ovos. 3. Meio Ambiente. 4. Impacto Ambiental . I. Dourado, Leilane Rocha Barros. II. Título.

CDD 636.08

Bibliotecário: Rafael Gomes de Sousa - CRB3/1163

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV) DA PRODUÇÃO DE OVOS E DE RAÇÃO EM GRANJA COMERCIAL

DONÁRIA MIRANDA DE SOUSA

Tese aprovada em: 30/06/2022

Banca Examinadora:

Leilane Rocha Barros Dourado

Prof. Dra. Leilane Rocha Barros Dourado (Presidente) / DZO/UFPI

Nathalie Reis

Prof. Dra. Nathalie Barbosa Reis Monteiro (Externa) / UPM

Natanael Pereira da Silva Santos

Prof. Dr. Natanael Pereira da Silva Santos (Interno) / DZO/CCA/UFPI

JOSSIVALDO DE CARVALHO
PACHECO 69580080372

Academia de Ferris digital 200
JOSSIVALDO DE CARVALHO
PACHECO 69580080372
Data: 2022/06/28 17:13:09 -03'00'

Prof. Dr. Jossivaldo de Carvalho Pacheco (Externo) / CTT/UFPI

Lucas Rosse Caldas

Prof. Dr. Lucas Rosse Caldas (Externo) / UFRJ

Documento assinado digitalmente
gouvbr PAULO HENRIQUE FRANCO ROCHA
Data: 30/06/2022 17:06:25-03:00
Verifique em <https://verificador.jf.br>

Prof. Dr. Paulo Henrique Franco Rocha (Externo) / IFMA

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me conduzido nesta caminhada, por me capacitar e direcionar e por me dar forças todos os dias para continuar persistindo em busca dos meus sonhos.

Ao meu esposo, e toda minha família, assim como amigos e colegas que sempre me apoiaram, e que de alguma maneira me ajudaram a chegar até onde estou.

A minha orientadora professora Leilane, que sempre me apoiou e me direcionou durante todos estes anos, por todo incentivo, e por acreditar na minha capacidade.

A minha coorientadora professora Nathalie, que contribuiu sobremaneira para que este trabalho fosse realizado, pelo incentivo, apoio e por acreditar que seria possível essa realização.

Agradeço a oportunidade cedida pelo presidente da empresa para a realização do estudo no setor de produção de ração e produção de ovos, e aos gerentes dos setores pela atenção e colaboração.

A Universidade Federal do Piauí, e todos os profissionais que fazem parte da instituição, pela oportunidade de fazer parte e contribuir para o crescimento científico do público acadêmico.

E a todos que de alguma forma me ajudou chegar até aqui, pois são muitos os que fizeram e fazem parte da minha história, tantos nomes e lembranças que não seria justo citar alguns e deixar de mencionar outros, mas em fim sou grata pelas palavras de motivação e afeto, que com certeza fizeram toda diferença no meu bem-estar e me fez ter ânimo em meio a batalha, para assim continuar lutando pelos os meus objetivos.

Muito obrigada a todos!

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
CAPÍTULO 1: Revisão Bibliográfica.....	17
1 Panorama da produção de ovos e ração para galinhas poedeiras comerciais no Brasil, Nordeste e Piauí	17
2 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).....	19
3 Métodos de Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV).....	22
4 Panorama dos principais estudos na produção de ovos e ração para galinhas poedeiras comerciais utilizando ACV.....	26
5 Referências Bibliográficas.....	31
CAPÍTULO 2: Avaliação do Ciclo de Vida da Produção de Ração para Galinhas Poedeiras	35
1 Introdução.....	38
2 Metodologia.....	39
2.1 Definição do objetivo, escopo e unidade funcional.....	40
2.2 Análise do Inventário do Ciclo de Vida (ICV).....	43
2.3 Estimativa de incerteza.....	46
2.4 Caracterização geral da fábrica de ração e descrição do processo produtivo.....	50
3 Resultados.....	52
3.1 Resultado da Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida.....	52
3.2 Resultado da análise de incerteza	61
5 Discussão.....	63
6 Conclusão	68
7 Referências	69
CAPÍTULO 3: Avaliação do Ciclo de Vida da Produção de Ovos	74
1 Introdução.....	77
2 Metodologia.....	78
2.1 Definição do objetivo, escopo e unidade funcional.....	79
2.2 Análise do Inventário do Ciclo de Vida	82
2.3 Estimativa de incerteza.....	85
2.4 Caracterização geral da produção de ovos e descrição do processo produtivo	88
3 Resultados.....	89
3.1 Resultado da Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida.....	89
3.2 Resultado da comparação entre o método CML (baseline) e ReCiPe.....	97
3.3 Resultado da análise de incerteza	109
5 Discussão.....	111
6 Conclusão	119
7 Referências	119

	vii
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	127
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	130
APÊNDICE 1	132
APÊNDICE 2	133

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1: Revisão Bibliográfica

Figura 1 – Fases de uma Avaliação do Ciclo de Vida..... 21

CAPÍTULO 2: Avaliação do Ciclo de Vida da Produção de Ração para Galinhas Poedeiras

Figura 2 – Representação esquemática do fluxograma com as entradas e saídas do processo de fabricação de ração 42

Figura 3 – Representação do desvio padrão em relação à média obtida na simulação de Monte Carlo. 62

CAPÍTULO 3: Avaliação do Ciclo de Vida da Produção de Ovos

Figura 4 – Representação esquemática do fluxograma com as entradas e saídas do processo de produção dos ovos 80

Figura 5 – Comparação do impacto das categorias entre os métodos CML e ReCiPe para a produção média mensal de ovos 99

Figura 6 – Potencial de acidificação..... 101

Figura 7 – Potencial de aquecimento global..... 103

Figura 8 – Potencial de depleção da camada de ozônio 104

Figura 9 – Potencial de toxicidade humana..... 106

Figura 10 – Potencial de ecotoxicidade marinha..... 107

Figura 11 – Potencial de ecotoxicidade terrestre..... 108

Figura 12 – Representação do desvio padrão em relação à média obtida na simulação de Monte Carlo. 110

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Figura 13 – Comparação gráfica do resultado do Impacto do Ciclo de Vida com o método CML da produção de ração e da produção de ovos 128

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2: Avaliação do Ciclo de Vida da Produção de Ração para Galinhas Poedeiras

Tabela 1 – Inventário do ciclo de vida da produção de ração para galinhas poedeiras 44

Tabela 2 – Quantidade de fazendas e distância média em Km percorridos em 2020 para carregamento de matéria-prima 50

Tabela 3 – Resultado do Impacto do Ciclo de Vida da produção de ração para galinhas poedeiras 53

Tabela 4 – Resultado da análise de incerteza utilizando a combinação da Matriz Pedigree com a simulação Monte Carlo (1.000 interações e 95% de confiança).....62

CAPÍTULO 3: Avaliação do Ciclo de Vida da Produção de Ovos

Tabela 5 – Inventário do Ciclo de vida da produção de ovos 83

Tabela 6 – Resultado do Impacto do Ciclo de Vida da Produção de Ovos para o método CML.....89

Tabela 7 – Resultado da AICV para os métodos CML e ReCiPe para a produção média mensal de ovos..... 99

Tabela 8 – Resultado da análise de incerteza utilizando a combinação da Matriz Pedigree com a simulação Monte Carlo (1.000 interações e 95% de confiança)..... 110

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tabela 9 – Comparação gráfica do resultado do Impacto do Ciclo de Vida com o método CML da produção de ração e da produção de ovos 127

LISTA DE QUADROS

CAPÍTULO 1: Revisão Bibliográfica

Quadro 1 – Categorias de impacto disponíveis nos diversos métodos de AICV.....23

Quadro 2 – Principais estudos realizados com ACV sobre a produção de ovos 28

CAPÍTULO 2: Avaliação do Ciclo de Vida da Produção de Ração para Galinhas Poedeiras

Quadro 3 – Matriz Pedigree.....49

CAPÍTULO 3: Avaliação do Ciclo de Vida da Produção de Ovos

Quadro 4 – Matriz Pedigree..... 87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida

AICV – Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida

CO₂ – Dióxido de Carbono

EUA – Estados Unidos da América

Eq – Equivalente

g – Grama

GCV – Gestão do Ciclo de Vida

GEE – Gases de Efeito Estufa

ICV – Inventário do Ciclo de Vida

ISO – International Organization for Standardization

kg – Quilograma

km – Quilômetro

kWh – Quilowatt-hora

l – Litro

LCA – Life Cycle Assessment

MJ – Megajoule

N – Nitrogênio

NBR – Normas Brasileiras

NH₃ – Amônia

NO_x – Óxidos de Nitrogênio

ONU – Organização das Nações Unidas

P – Fósforo

PI – Piauí

PO₄ – Fosfato

SO_x – Óxidos de Enxofre

SO₂ – Dióxido de enxofre

t – Tonelada

Mt – Milhões de toneladas

RESUMO

A avicultura de postura tem se destacado cada vez mais, em 2018 a produção global de ovos atingiu 83.4 milhões de toneladas, demonstrando um crescente avanço no setor avícola. A redução dos impactos ambientais na cadeia de produção se tornou imprescindível, isto se deve principalmente ao crescimento acelerado da produção de alimentos de origem animal, requisitos relacionados a qualidade do produto e à própria exigência do consumidor final. O uso de ferramentas para avaliar e mensurar esses impactos é cada vez mais comum e metodologias como a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). No presente estudo foi realizada a ACV da produção de ração para galinhas poedeiras e ovos em uma indústria localizada no Centro-Norte do estado do Piauí, Nordeste do Brasil. Foram realizadas coletas de dados primários para construção do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) por meio de visitas aos setores de fábrica de ração e no setor de produção de ovos. O estudo foi baseado nas normas NBR ISO 14040 e 14044. O principal foco das visitas foi conhecer o processo produtivo da ração e do ovo e colher dados através de entrevistas com os gerentes de cada setor, envolvendo tanto dados reais (controle de registro de produção), quanto dados estimados. Para isso, foram elaborados questionários contemplando todas as informações necessárias para a construção do ICV, que propõe a identificação de todas as entradas e saídas durante a produção de um produto na indústria. No universo de dados primários constam: quantidade e tipo de matéria prima, consumo de energia elétrica, consumo de água, quantidade e tipos de resíduos, quantidade e tipos de embalagem, produção de cada setor, descrição dos processos produtivos, dentre outros. Os dados secundários foram coletados a partir da literatura científica e em relatórios especializados do setor e foi adotado o método de Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) CML *baseline*. Os resultados para o estudo da ACV da produção de ração para galinhas poedeiras demonstraram que os processos mais impactantes foram a produção de soja, milho e descarte de resíduos plásticos, ou seja, são os processos mais influentes no potencial impacto ambiental dessa atividade. Estes processos contribuíram em todas as categorias avaliadas e indicam que as emissões geradas para a produção de ração causam impactos ambientais. Dessa forma, assume-se o impacto gerado através da produção dos grãos, principalmente nas fases de preparação do solo no cultivo da soja e milho, também se faz necessário a manutenção da gestão dos resíduos sólidos gerados no processo de fabricação da ração. Os processos mais impactantes no ciclo de vida global da produção de ovos foram o descarte de resíduos plásticos, a geração de efluentes, e a produção de ração. Estes processos contribuíram em todas as categorias avaliadas, exceto a categoria de depleção da camada de ozônio, e indicam que as emissões geradas para a produção de ovos causam impactos ambientais. A disposição final dos resíduos apresentou como uma das fontes que mais geraram impacto negativo para as categorias, principalmente o descarte de plásticos. Na granja são adotados os procedimentos de coleta seletiva para lixo recicláveis, assim há um fluxo de saída destes materiais para a reciclagem, o que reduz o impacto gerado através destes processos, assim, é possível ressaltar a importância do gerenciamento destes resíduos na granja. A produção de ração, também contribuiu gerando impacto para a atividade, e está relacionada principalmente ao cultivo e transporte dos grãos, estes processos liberam emissões gerando impactos ambientais. Este trabalho contribui com estudos de ACV aplicados a produção de ovos no Brasil e no mundo, gerando subsídios para que os setores de produção de ração e ovos melhorem ainda mais os seus processos produtivos e reduza os impactos ambientais negativos. Devido a existência de poucas pesquisas na área, faz-se necessário novos trabalhos com ACV para a área em estudo.

Palavras-chave: produção; impacto ambiental; ovos; ração; meio ambiente.

ABSTRACT

Laying poultry has been increasingly prominent, in 2018 global egg production reached 83.4 million tons, showing a growing advance in the poultry sector. The reduction of environmental impacts in the production chain has become essential, this is mainly due to the accelerated growth of food of animal origin, requirements related to product quality and the requirement of the final consumer. The use of tools to assess and measure these impacts is increasingly common and methodologies such as the Life Cycle Assessment (LCA). In the present study, the LCA of the production of feed for laying hens and eggs was carried out in an industry located in the Center-North of the state of Piauí, Northeast Brazil. Primary data were collected for the construction of the Life Cycle Inventory (LCI) through visits to the feed factory sectors and the egg production sector. The study was based on the NBR ISO 14040 and 14044 standards. The main focus of the visits was to get to know the feed and egg production process and collect data through interviews with the managers of each sector, involving both real data (production record control), and estimated data. To this end, questionnaires were prepared covering all the information necessary for the construction of the LCI, which proposes the identification of all inputs and outputs during the production of a product in the industry. The universe of primary data includes: quantity and type of raw material, electricity consumption, water consumption, quantity and types of waste, quantity and types of packaging, production of each sector, description of production processes, among others. Secondary data were collected from scientific literature and specialized industry reports and the baseline CML Life Cycle Impact Assessment (LCIA) method was adopted. The results for the LCA study of feed production for laying hens showed that the most impacting processes were the production of soy, corn and plastic waste disposal, that is, they are the most influential processes in the potential environmental impact of this activity. These processes contributed in all the categories evaluated and indicate that the emissions generated for the production of feed cause environmental impacts. In this way, the impact generated through the production of grains is assumed, mainly in the phases of soil preparation in the cultivation of soybeans and corn, it is also necessary to maintain the management of solid waste generated in the process of manufacturing the feed. The most impacting processes in the global life cycle of egg production were the disposal of plastic waste, the generation of effluents, and the production of feed. These processes contributed in all the categories evaluated, except the ozone layer depletion category, and indicate that the emissions generated for the production of eggs cause environmental impacts. The final disposal of waste presented as one of the sources that generated the most negative impact for the categories, especially the disposal of plastics. At the farm, selective collection procedures for recyclable waste are adopted, so there is an outflow of these materials for recycling, which reduces the impact generated through these processes, thus, it is possible to emphasize the importance of managing these wastes on the farm. Feed production also contributed to generating an impact on the activity, and is mainly related to the cultivation and transport of grains, these processes release emissions generating environmental impacts. This work contributes with LCA studies applied to egg production in Brazil and in the world, generating subsidies for the animal feed and egg production sectors to further improve their production processes and reduce negative environmental impacts. Due to the existence of few researches in the area, further work with LCA is necessary for the area under study.

Keywords: production; environmental impact; eggs; feed; environment

INTRODUÇÃO

A avicultura de postura tem se destacado cada vez mais no cenário do setor avícola, em 2018 a produção global de ovos atingiu 83.4 milhões de toneladas, e os dados por região demonstram que na América do sul foram produzidos 5.8 milhões de toneladas de ovos em 2018, o equivalente a 6,9 % da produção total. Embora este percentual seja menor em relação a produção mundial de ovos, os dados demonstram um avanço expressivo a cada ano (FAOSTAT, 2020).

No Brasil, o ovo possui importância para o desempenho econômico da avicultura de postura, a maior parte da comercialização dos ovos no ano de 2020 foram destinados para o mercado interno. Os ovos foram comercializados em maior parte na forma “*in natura*” (64,45%), enquanto que apenas um baixo percentual (35,55%) foram industrializados (ABPA, 2021). Para chegar até a mesa do consumidor o ovo percorre várias etapas, incluindo a coleta, limpeza, classificação, estocagem, embalagem e transporte, assim todas as medidas quanto ao ajuste de equipamentos e treinamentos das equipes são fundamentais para obter o melhor resultado produtivo (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

A qualidade do ovo é um dos fatores que os produtores e consumidores buscam, pois estão associados diretamente à higiene, sanidade, saúde e bem-estar dos animais (TRINDADE; NASCIMENTO; FURTADO, 2007). Outros fatores também se tornaram motivo de preocupação para os consumidores como, a geração de resíduos, o uso dos recursos naturais, a eficiência dos processos de produção, e a educação socioambiental, bem como o destino e reutilização dos subprodutos na indústria, assim a sustentabilidade ambiental também tem sido considerada como um fator relevante na produção de alimentos de origem animal.

A produção de ração é o setor chave para garantir o abastecimento de alimento para as aves e manutenção da produção diária satisfatória de ovos. De acordo com Tongpool *et al.* (2012) o cultivo dos ingredientes para rações, o transporte e o processo de produção da ração consomem recursos naturais e liberam emissões como gases de efeito estufa, compostos químicos, metais, resíduos sólidos, e águas residuais, que prejudicam a qualidade do ar, água e solo.

Segundo Mazzuco (2008) faz-se necessário a busca por indicadores de sustentabilidade nas cadeias produtivas em função da crescente exigência dos consumidores por informações que antes não eram consideradas na escolha de um produto. Dessa forma, para avaliar os indicadores, é imprescindível à utilização de ferramentas específicas, que visam quantificar as emissões, entradas e saídas dos recursos utilizáveis para o suprimento da cadeia de produção, bem como os resíduos gerados no processo de produção.

A Avaliação do Ciclo de Vida – ACV, é uma das metodologias mais utilizadas atualmente, a ACV se baseia em dados quantitativos, no qual os resultados numéricos configuram as categorias de impacto, permitindo comparações entre produtos semelhantes, além de identificação dos pontos críticos, possibilitando melhorias nos processos produtivos (ABNT, 2014). Dessa forma, é possível fazer uma análise do desempenho ambiental da ração e do ovo abrangendo todas as etapas de produção, identificando os principais impactos gerados pela produção na indústria.

O processo metodológico da ACV foi padronizado pela *International Organization for Standardization* (ISO) na série padrão ISO 14040-14044 (ISO – 2006). A ACV responde rigorosamente a perguntas sobre mudanças nos impactos de sustentabilidade da produção de alimentos ao longo do tempo de forma semelhante, e requer uma abordagem do ciclo de vida que leva em conta as mudanças na prática, como preços e eficiências de produção ao longo de todo o fornecimento da cadeia produtiva (PELLETIER, 2017; PELLETIER *et al.*, 2014).

Diversos estudos com diferentes metodologias avaliaram os principais impactos ambientais na cadeia de produção de ovos, principalmente aqueles relacionados a alimentação e ao esterco das aves (PELLETIER, 2017). A importância da ACV na produção de ovos é cada vez mais necessária, já que a avicultura é um importante setor da agroindústria que movimenta a economia, gera emprego e renda e fornece proteína de qualidade para a população, assim a avaliação do ciclo de vida da produção de ovos permite aos gestores e produtores identificar os principais impactos ambientais gerados, direcionando-os para tomar a melhor decisão. Em decorrência do elevado crescimento na produção intensiva de aves e da demanda de produto (ovos e carne) é necessário quantificar as emissões geradas durante o processo de fabricação destes alimentos (ERSHADI *et al.*, 2021).

Uma série de fatores afeta a qualidade da produção de ovos durante o ciclo de vida produtivo, dessa forma, é imprescindível uma gestão adequada desses fatores para uma produção ideal (OMOMULE; AJAYI; OROGUN, 2020). Assim, faz-se necessário também o gerenciamento das atividades relacionadas aos principais impactos ambientais, bem como gestão dos resíduos gerados ao longo da cadeia produtiva, sendo importante o incentivo de mais estudos na área para garantir novas tecnologias e formas de serviço que viabilizem a produção e processamento do produto causando menos impacto ao ambiente e tornando o produto cada vez mais sustentável.

Em um estudo realizado com quatro tipos diferentes de sistema Leinonen, *et al.* (2012) encontraram diferenças em muitas categorias de impactos ambientais entre os quatro sistemas de produção de ovos avaliados, pois a maioria estava relacionado às diferenças na eficiência de produção, consumo de ração (e produção de esterco) e uso de materiais e energia. Dessa forma, é

fundamental avaliar os impactos gerados nas atividades de produção, para que melhorias possam ser adotadas com a finalidade de tornar a produção de ovos e ração mais sustentáveis.

O estudo contribui para o preenchimento da lacuna devido a falta de pesquisas sobre ACV em produção de ovos e de produção de ração para galinhas poedeiras no Brasil, além de gerar subsídios para ampliar o conhecimento, e também servirá de base para outras pesquisas na área de produção de ovos e de produção de ração para galinhas poedeiras em diversos países do mundo, já que existe poucos estudos sobre ACV em produção de ovos e ração para galinhas poedeiras. Outros benefícios estão relacionados com oportunidades de aperfeiçoamento na cadeia de produção de aves, tanto para produtores como para empresas fornecedoras de insumos, e conscientização da importância da sustentabilidade ambiental na produção animal para a população em geral.

Este trabalho objetiva avaliar os principais impactos no processo de produção de ovos e de ração para galinhas poedeiras, em uma granja comercial situada no centro-norte do Piauí, para identificar os principais processos que contribuem para os impactos ambientais em cada categoria avaliada.

Esta Tese está estruturada conforme normas do Manual de Normalização de Monografia, Dissertação e Tese da Universidade Federal do Piauí. O estudo foi segmentado em Capítulos a fim de melhorar e acomodar os diferentes tópicos. Inicialmente, tem-se o Capítulo 1 que versa um apanhado da literatura, englobando os temas abordados nos Capítulos 2 e 3, bem como as respectivas referências bibliográficas utilizadas. O capítulo 2 segue normas de publicação da revista *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental* (ISSN 1413-4152) abordando a temática *Avaliação do Ciclo de Vida da Produção de Ração para Galinhas Poedeiras*. O Capítulo 3 versa sobre *Avaliação do Ciclo de Vida da Produção de Ovos* e está estruturado conforme normas do periódico *Revista Anais da Academia Brasileira de Ciências* (ISSN 0001-3765). A finalização da pesquisa é alcançada com as *Considerações Finais*.

CAPÍTULO 1: Revisão Bibliográfica

1 Panorama da produção de ovos e ração para galinhas poedeiras comerciais no Brasil, Nordeste e Piauí

No Brasil o setor avícola destinado a produção de ovos avança a cada ano, entre o período de 2010 e 2020 a produção brasileira de ovos saltou de 28,8 bilhões para 53,5 bilhões de unidades de ovos produzidos por ano, e o consumo per capita de ovos no mesmo período também saltou de 148 em 2010 para 251 ovos por habitante em 2020 (ABPA, 2021). O aumento do consumo de ovos na última década no Brasil ocorreu principalmente pelo aumento do poder de compra das classes mais baixas da população (IBGE, 2020).

Na região Nordeste, o estado de Pernambuco se destaca como maior produtor de ovos. Em 2020 foram produzidas 275.856 mil dúzias e o estado ocupou o 6º lugar no ranking nacional, sendo a cidade de São Bento do Una a maior produtora do estado, considerada como a capital do ovo, no qual produziu 93.665 mil dúzias (IBGE, 2020).

Segundo os dados do IBGE (2020), o estado do Piauí em 2020 ocupou o 21º lugar no ranking nacional, com uma produção de 26.369 mil dúzias. A maior produção de ovos no estado do Piauí está localizada na cidade de Valença do Piauí, com 6.536 mil dúzias, representando cerca de 25% de toda a produção do estado, seguida por Floriano (12,5%) e Teresina (9,8%) (IBGE, 2020).

Os dados acima demonstram que, no Brasil, alguns fatores contribuem para o crescente avanço na produção de ovos, tal como à disponibilidade de território para a produção de grãos, que é a base para alimentação animal, o avanço da tecnologia e organização dos setores que tem contribuído para o impulso na produção avícola. A medida que se aumenta o plantel de aves a demanda na produção de alimentos para as galinhas poedeiras aumenta cada vez mais, em 2020 o alojamento de aves para postura comercial no Brasil foi de 124.317.339 milhões de cabeça, um aumento de 4,7% em relação ao ano de 2019 (ABPA, 2021). Isso contribui com maior demanda nos setores de produção de grãos, principalmente os ingredientes que compõem o maior percentual nas rações como milho e a soja.

A soja constitui um dos principais ingredientes da nutrição das aves, sendo caracterizada como um dos principais grãos cultivado no Brasil e no mundo, no qual está agregado ao seu grande potencial de produção e ao seu valor nutritivo, obtendo inclusão em grandes quantidades nas dietas tanto na nutrição humana como na nutrição animal, desempenhando ainda,

grande papel econômico para o país, além de constituir a matéria prima necessária para o funcionamento de vários setores (GOUVEIA, 2012; MAUAD *et al.*, 2010).

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, o Brasil é o maior produtor e exportador mundial de soja e o segundo maior exportador de milho. Em 2020 o Brasil alcançou o primeiro lugar com 126 milhões de toneladas de soja produzidas, mais de um terço da produção mundial e 84 milhões de toneladas exportadas, respondendo por 50% do comércio mundial de soja. As exportações brasileiras do grão somaram US\$ 30 bilhões em 2020, e US\$ 346 bilhões nas duas últimas décadas (EMBRAPA, 2021).

O Brasil possui grande capacidade de multiplicar a produção de grãos nos próximos anos, isto se deve tanto pelo aumento da produtividade, quanto pelo potencial de expansão da área cultivada, e de acordo com os dados do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) a produção brasileira de soja pode ultrapassar 123 milhões de toneladas em 2023 (GAZZONI, 2013).

A produção de milho no Brasil também está avançando, em 2020 o país ocupou a terceira posição na produção mundial com 100 milhões de toneladas, representando 8,2% do total produzido, superado apenas pelos Estados Unidos e China. Em 2020 o país exportou 38 milhões de toneladas de milho, ou seja 19,8% das exportações totais do produto, e o país cresceu nas exportações deslocando do terceiro para o segundo lugar no ranking mundial (EMBRAPA, 2021). Segundo Contini *et al.* (2019), o milho é um produto fundamental para a agricultura brasileira, sendo este cultivado em todas as regiões do Brasil. Sua produção ocorre em diferentes épocas, face às condições climáticas das regiões.

A cultura do milho é considerada estratégica para o alicerce da agricultura brasileira, o milho compõe diversos sistemas de cultivo, seja na sucessão após a colheita da soja, em cultivo consorciado com gramíneas forrageiras para compor sistemas integrados de produção lavoura-pecuária, ou mesmo compondo esquema de rotação de culturas no sistema plantio direto na região Sul do Brasil. A diversidade de tecnologias empregadas nas regiões produtoras deste cereal torna dinâmica não só a oferta de grãos no mercado brasileiro, como também impactam diretamente nos preços das commodities agrícolas e/ou pecuárias que compõem os sistemas produtivos em que o milho está inserido (CONTINI *et al.*, 2019).

O milho tem duas safras, a primeira sendo a de verão, e a segunda, de inverno, chamada ‘safrinha’. O plantio é zoneado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e tem alto potencial produtivo, se observada a época correta do plantio, que sofre influência da temperatura, da umidade e da radiação solar. O período de plantio, na Região Sul, é de agosto a

setembro; no Centro Oeste e Sudeste, de outubro a novembro. No Nordeste (principalmente Bahia e Piauí), o plantio é concentrado no final de novembro e durante dezembro (COELHO, 2018).

Na região Nordeste o destaque na produção de milho está no cerrado (Maranhão, Bahia e Piauí), encampado na região do Matopiba, além de algumas microrregiões que cultivam o milho em regime intensivo, como Sergipe, que tem a maior previsão de produtividade da Região, de 4.028 kg/hectare, embora não tenha área de Cerrado (COELHO, 2018).

A produção de milho no cerrado nordestino é o principal fornecedor para a avicultura do nordeste (Bahia, Pernambuco e Ceará). A produção do grão no cerrado nordestino é responsável por 88% da produção de milho total produzido no Nordeste e 6% da produção nacional, com base em sistemas de produção de alta tecnologia, constituindo assim uma base importante para logística e impulso da avicultura na região (COELHO, 2018; OLIVEIRA; NOGUEIRA FILHO; EVANGELISTA, 2008).

No cerrado piauiense os municípios de Baixa Grande do Ribeiro, Uruçuí, Bom Jesus, Ribeiro Gonçalves, Santa Filomena, Currais, Gilbués, Monte Alegre do Piauí, Sebastião Leal e Palmeira do Piauí foram responsáveis por 76% de toda a produção agrícola do estado. O município Uruçuí patenteia relevante performance sobre o rendimento médio da produção granífera, sobretudo, a soja (BARBOSA *et al.*, 2020; SILVA; MONTEIRO; BARBOSA, 2017).

2 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

A crescente preocupação com a conscientização ambiental é cada vez mais comum, a importância quanto aos possíveis impactos relacionados aos produtos, incluindo a fabricação e consumo deste, intensifica a relevância para o desenvolvimento de métodos afim de melhor compreender e lidar com os impactos, uma das técnicas de gestão ambiental é avaliação do ciclo de vida (ACV) (ABNT, 2014).

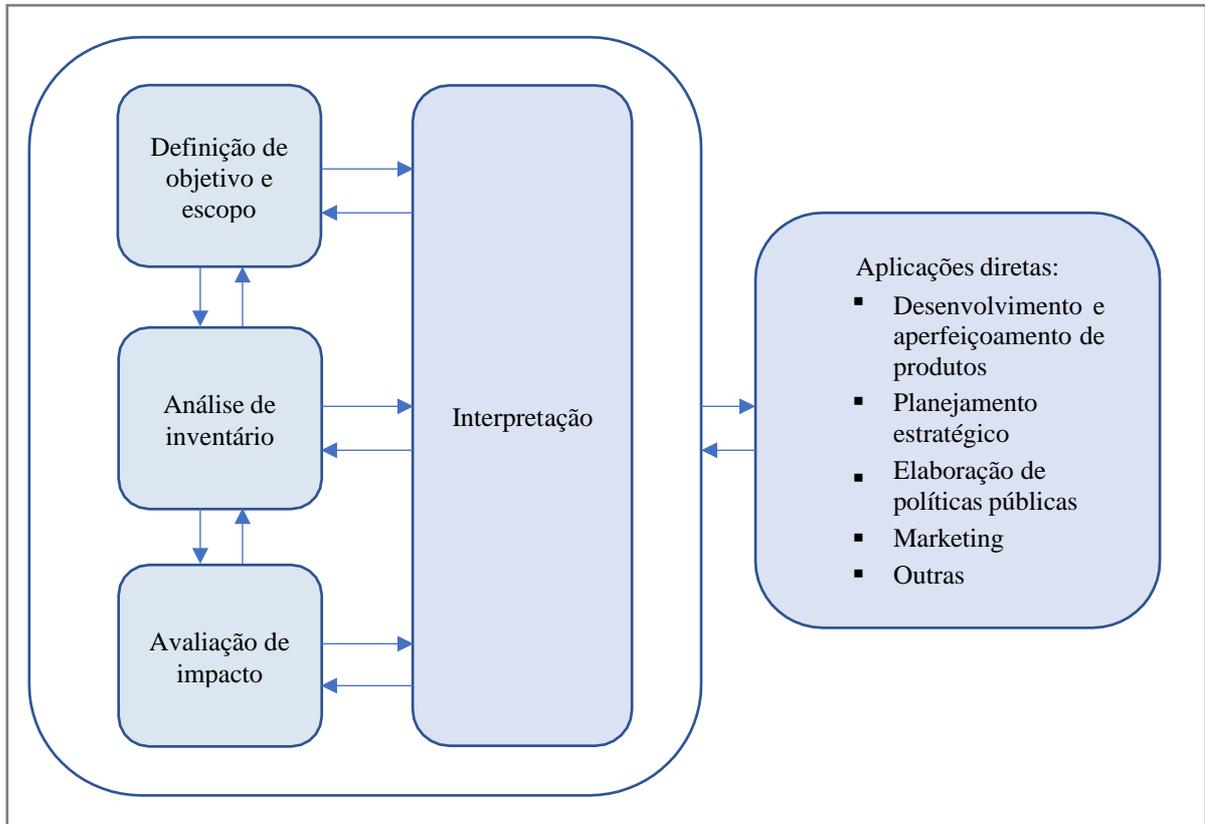
A Avaliação do Ciclo de Vida é caracterizada como uma metodologia que possibilita a identificação e mensuração dos potenciais impactos ambientais associados a produtos, processos e serviços, ao longo do seu ciclo de vida. Envolve a compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais, sendo que os impactos são avaliados desde a aquisição da matéria-prima, passando pela produção, pelo uso, tratamento pós-uso, reciclagem até a disposição final (ABNT, 2014).

Essa metodologia é regulamentada pelas normas NBR 14040 (ABNT, 2014) e NBR 14044 (ABNT, 2014a), podendo ser utilizada para subsidiar a identificação de oportunidades de melhoria

do desempenho ambiental de produtos, auxiliar nas tomadas de decisões, quanto a viabilidade ambiental de um produto, escolha do tipo de processos produtivos e matérias-primas menos impactantes ao meio ambiente, além de orientar sobre o marketing, melhorando a apresentação do produto final sob ponto de vista ambiental (ABNT, 2014). A norma NBR ISO 14040 estabelece que a análise seja realizada mediante um inventário de entradas e saídas do sistema do produto; a avaliação dos impactos relacionados a essas entradas e saídas; e, por fim, é feita a interpretação dos resultados em função dos objetivos do estudo (ABNT, 2014).

O estudo de ACV é um processo iterativo, sendo composto por quatro fases (Figura 1): fase de definição de objetivo e escopo, que inclui a fronteira do sistema com todo detalhamento de acordo com o objeto ou produto, no qual a profundidade e abrangência da ACV podem variar em decorrência do objetivo no estudo; fase de análise de inventário do ciclo de vida (ICV), no qual se refere a um inventário dos dados de entrada/saída relacionados ao sistema adotado, e são coletados todos os dados necessários para consecução dos objetivos do estudo; fase de avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV), que tem como objetivo propagar informações adicionais para auxiliar na avaliação dos resultados do ICV de um sistema de produto adotado, tencionando a melhor compreensão de sua significância ambiental; e a fase de interpretação do ciclo de vida (ICV), que constitui a fase final do procedimento de ACV, nesta fase os resultados de um ICV e/ou de uma AICV, ou de ambos, são sintetizado e discutidos como base para conclusões, recomendações e tomada de decisão de acordo com a definição de objetivo e escopo abordados (ABNT, 2014).

Figura 1: Fases de uma Avaliação do Ciclo de Vida



Fonte: Adaptado de ABNT (2014)

Em um estudo de ACV, faz-se importante a análise adicional da qualidade dos dados da AICV, no qual técnicas e informações adicionais podem ser necessárias para entender melhor a significância, incerteza e sensibilidade dos resultados da AICV, de maneira que auxilia a distinguir se diferenças significativas estão ou não presentes, identificar resultados não significativos do ICV, ou orientar o processo iterativo da AICV (ABNT, 2014a). Tanto a necessidade, como a escolha das técnicas dependerão da precisão e do nível de detalhamento para atender o objetivo e escopo da ACV. A análise de incerteza é uma das técnicas específicas, e é definida como um procedimento para determinar como as incertezas nos dados e pressupostos se propagam nos cálculos e como afetam a confiabilidade dos resultados da AICV (ABNT, 2014a).

3 Métodos de Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV)

Existem uma diversidade de métodos de AICV e de fontes para composição dos bancos de dados, o que contribui para melhor executar estudos de ACV. Os métodos são conceituado como um conjunto de categorias de impacto da AICV, e seleção é realizada antes mesmo de calcular um sistema (ou projeto de produto), tencionando aquele que melhor se adapta às necessidades do estudo aplicado, já os modelos e fatores de caracterização contidos nos métodos de AICV são os meios para julgar a significância ambiental dos resultados do inventário (ACERO; RODRÍGUEZ; CIROTH, 2016).

Diversas instituições do mundo desenvolveram métodos de AICV: Eco-Indicator 99 (Holanda), EDIP 2003 (Dinamarca), CML (Holanda), EPS 2000 (Suécia), Impact 2002+ (Suíça), LUCAS (Canadá) TRACI (EUA), LIME (Japão) (MENDES; BUENO; OMETTO, 2016). As categorias de impacto mais comuns que podem ser encontradas nos diferentes métodos está apresentada no Quadro 1.

Quadro 1 – Categorias de impacto disponíveis nos diversos métodos de AICV

Método	Acidificação	Mudança Climática	Depleção de recursos	Ecotoxicidade	Uso de energia	Eutrofização	Toxicidade Humana	Radiação ionizante	Uso da terra	Odor	Depleção da camada de ozônio	Material particulado/ Inorgânico Respiratórios	Oxidação Fotoquímica
CML (baseline)	✓	✓	✓	✓		✓	✓				✓		✓
CML (non baseline)	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓
ReCiPe Endpoint (E) (H) (I)	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
ReCiPe Midpoint (E) (H) (I)	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
Cumulative Energy Demand					✓								
Eco-indicator 99 (E) (H) (I)	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓	✓	
Eco-Scarcity 2006			✓										
ILCD 2011, Endpoint	✓	✓				✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
ILCD 2011, Midpoint	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓
TRACI 2.1	✓	✓	✓	✓		✓	✓				✓	✓	✓
USEtox				✓			✓						

Fonte: Adaptado de Acero, Rodríguez e Ciroth (2016)

No Brasil ainda não há um método desenvolvido de acordo com as condições do país, tornando assim difícil a seleção de métodos. Uma das formas de diminuir as incertezas nos estudos brasileiros se dá através da escolha de mais de um método de AICV, assegurando maior confiabilidade dos resultados (PIEKARSKI *et al.*, 2012). Assim como não existe uma metodologia adaptada ao contexto brasileiro, a escolha de um método que atenda adequadamente os critérios de aplicabilidade no Brasil torna-se necessário.

Neste estudo foi utilizados dois métodos de AICV: o CML (*baseline*) e ReCiPe *Midpoint (H)*. O método CML *baseline* foi selecionado, tanto para o estudo da ACV na fábrica de ração, como para o estudo da ACV da produção de ovos, devido este método apresentar um escopo de aplicação global para todas as categorias abordadas, com exceção para acidificação e formação de oxidantes fotoquímicos, enquanto o método ReCiPe *Midpoint (H)*, foi utilizado somente para o estudo da ACV da produção de ovos.

O método CML foi originado na Holanda pela Universidade de Leiden em 2001, e inclui mais de 1.700 fluxos diferentes, e foi publicado um manual (GUINÉE *et al.*, 2002). O Manual Holandês de ACV (*Dutch Handbook on LCA*) oferece as diretrizes operacionais para a realização de um estudo “passo-a-passo” de ACV, fundamentado por um documento de base científica, de acordo com as normas ISO para ACV. Em 2002 foi publicada a versão revisada deste método intitulado como “*Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards*” (GUINÉE *et al.*, 2002).

O método CML aborda as seguintes categorias de impactos: uso da terra, depleção de recursos abióticos, mudança climática, toxicidade humana, ecotoxicidade aquática (água doce), depleção de ozônio estratosférico, ecotoxicidade aquática (marinha), ecotoxicidade terrestre, formação de foto-oxidantes, acidificação e eutrofização. Podem ser adicionadas algumas categorias de impactos de acordo com escopo do estudo, que são: perda de função de suporte à vida, ecotoxicidade em água doce (sedimentos), perda de biodiversidade, ecotoxicidade marinha (sedimentos), mau cheiro do ar, impactos da radiação ionizante, ruído, calor residual, acidentes, letal, não letal, depleção de recursos bióticos, dessecação e mau cheiro da água (EC-JRC, 2010; GUINÉE *et al.*, 2002). Este método apresenta um escopo de aplicação global, exceto para as categorias de impacto acidificação e formação de foto-oxidantes, as quais apresentam o escopo de aplicação regional para a Europa (EC-JRC, 2010).

O método CML é indicado para utilização em estudos desenvolvidos no Brasil, devido a abrangência global de aplicação, este método divide-se em *baseline* e *non baseline*, sendo que o

primeiro contém as categorias de impacto mais comuns, usadas na ACV (MENDES, BUENO; OMETTO, 2016).

No ano de 2000 em Brighton foi organizada uma sessão com especialistas em ACV, no qual concluíram que seria desejável ter uma estrutura comum envolvendo os métodos *midpoint* e *endpoint*, em que ambos os indicadores pudessem ser usados. Esse consenso tornou-se a base do método ReCiPe (GOEDKOOPE *et al.*, 2009). O método ReCiPe consiste em uma continuação dos métodos Eco-indicador 99 e CML 2002, este método integra e harmoniza as abordagens *midpoint* e *endpoint* em uma estrutura consistente e, atualmente, todas as categorias de impacto têm sido remodeladas e atualizadas, exceto radiação ionizante.

O método ReCiPe foi desenvolvido no ano de 2008 com a finalidade de combinar os métodos Eco-Indicador 99 e CML, em uma versão atualizada. Dessa forma, o método distingue dois níveis de indicadores, os quais são: indicadores de ponto médio (*midpoint*) e indicadores de ponto final (*endpoint*) com as seguintes categorias: danos à saúde humana, danos aos ecossistemas e danos à disponibilidade de recursos (ACERO; RODRÍGUEZ; CIROTH, 2016).

Para o método ReCiPe as categorias de impacto abordadas são: depleção de ozônio, mudança climática, acidificação terrestre, eutrofização aquática (água doce), eutrofização aquática (marinha), toxicidade humana, formação de matéria particulada, formação de oxidantes fotoquímicos, ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade aquática (água doce), ecotoxicidade aquática (marinha), radiação ionizante, uso da terra agrícola, uso da terra urbana, transformação de terra natural, esgotamento de recursos fósseis, esgotamento de recursos de água doce e esgotamento de recursos minerais (EC-JRC, 2010; GOEDKOOPE *et al.*, 2009). Esse método tem escopo de aplicação global para as categorias de impacto mudança climática, destruição da camada de ozônio e consumo de recursos e escopo de aplicação válido para a Europa para as demais categorias de impacto (EC-JRC, 2010).

Existem diversas razões para a escolha de um método de impacto em vez de outro, e podem ser considerados alguns critérios como: abrangência (global/regional?), robustez (quão incertos são os impactos calculados?), compreensibilidade (o público pode entender o método?), abertura (é preciso pagar para usar o método?), atualidade (o método está desatualizado?), etc (MONTEIRO, 2021).

Em cada abordagem do método ReCiPe (*midpoint* e *endpoint*) contém fatores de acordo com três perspectivas culturais, no qual representam um conjunto de opções, como tempo ou expectativas de que o gerenciamento adequado, ou o desenvolvimento da tecnologia, possam evitar danos futuros: (I) *Individualist* (individualista; (H) *Hierarchist* (hierarquista; (E) *Egalitarian*

(igualitário). Esse método é muito utilizado nas pesquisas desenvolvidas no Brasil, por apresentar escopo de aplicação global para as categorias de impacto de mudanças climáticas, consumo de recursos e depleção da camada de ozônio (HUIJBREGTS *et al.*, 2017).

Neste estudo os métodos utilizados para a AICV proporcionaram o conhecimento dos potenciais impactos associados à fabricação de ração e produção de ovos de galinhas poedeiras comerciais em uma granja situada no estado do Piauí, os resultados desta pesquisa contribui para possíveis melhorias na gestão do ciclo de vida dos produtos, além de fornecer informações para bancos de dados primários no Brasil, auxiliando para futuras pesquisas na área, e de forma geral o fornecimento de informações para estudos de ACV nos diversos países do mundo.

4 Panorama dos principais estudos na produção de ovos e ração para galinhas poedeiras comerciais utilizando ACV

Os sistemas de produção de alimentos no mundo estão enfrentando grandes desafios em decorrência da alta demanda por alimentos. A alimentação humana tem uma grande relevância no âmbito dos impactos ambientais, pois os produtos de origem animal são os principais responsáveis pelos efeitos ambientais adversos, como mudanças climáticas, poluição da água, do ar, a degradação da terra e perda da biodiversidade (CRENNA; SINKKO; SALA, 2019; FLACHOWSKY; MEYER; SÜDEKUM, 2018; POORE; NEMECEK, 2018).

A crescente conscientização quanto à importância da proteção ambiental e os possíveis impactos associados aos produtos e/ou serviços, tanto na sua fabricação quanto no consumo, têm aumentado o interesse no desenvolvimento de metodologias para melhor compreender e lidar com os impactos gerados pela produção de um determinado produto, e a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma das técnicas em desenvolvimento com esse objetivo (ABNT, 2014).

Neste sentido Pelletier *et al.* (2014), refere-se ao pensamento do ciclo de vida como uma abordagem de gestão da sustentabilidade de toda cadeia de suprimento associada a um produto ou serviço e considera relevante toda a atividade que entra no processo. Essa abordagem facilita a identificação de oportunidades para melhorar a eficiência de recursos e reduzir as emissões ao mesmo tempo em que está ciente da potencial transferência de carga, que pode ocorrer entre diferentes tipos de impactos ou diferentes estágios da cadeia de suprimentos tendo como resultado a decisão dos gestores em prol de melhorias, além de fornecer base para intervenções de gestão diferenciadas visando as principais variáveis da cadeia de abastecimento (PELLETIER *et al.*, 2014).

Existem poucos estudos utilizando a metodologia da ACV para a produção de ovos. Isso ocorre devido a ACV ser uma metodologia pouco explorada para o setor, no entanto, os trabalhos que foram realizados em diferentes países do mundo serve como parâmetros para novas pesquisas relacionadas à área. Estes estudos foram conduzidos em países como, no Irã (GHASEMPOUR; AHMADI, 2016); na Itália (COSTANTINI *et al.*, 2020); no Canadá (ERSHADI *et al.*, 2021; PELLETIER, 2017, 2018); na Espanha (ABÍN *et al.*, 2018); na Holanda (DEKKER *et al.*, 2011, 2013); no Reino Unido (LEINONEN *et al.*, 2012); nos Estados Unidos (PELLETIER; IBARBURU; XIN, 2013, 2014); no Japão (DENTE *et al.*, 2020), também foram realizadas revisões de literatura sobre ACV envolvendo a produção de ovos (FLACHOWSKY; MEYER; SÜDEKUM, 2018; KANANI *et al.*, 2020), conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 – Principais estudos realizados com ACV sobre a produção de ovos.

Título do artigo	Autor	Local do Estudo	Revista
Ecological and economic evaluation of Dutch egg production systems	Dekker <i>et al.</i> (2011)	Holanda	Livestock Science
Predicting the environmental impacts of chicken systems in the United Kingdom through a life cycle assessment: Egg production systems	Leinonen <i>et al.</i> (2012)	Reino Unido	Poultry Science
Effect of origin and composition of diet on ecological impact of the organic egg production chain	Dekker <i>et al.</i> (2012)	Holanda	Livestock Science
A carbon footprint analysis of egg production and processing supply chains in the Midwestern United States	Pelletier, Ibarburu, e Xin (2013)	Estados Unidos	Journal of Cleaner Production
Comparison of the environmental footprint of the egg industry in the United States in 1960 and 2010	Pelletier, Ibarburu, e Xin (2014)	Estados Unidos	Poultry Science
Environmental assessment of three egg production systems — Part II. Ammonia, greenhouse gas, and particulate matter emissions	Shepherd <i>et al.</i> (2015)	Estados Unidos	Poultry Science
Assessment of environment impacts of egg production chain using life cycle assessment	Ghasempour, Ahmadi (2016)	Alborz. província, Irã	Journal of Environmental Management
Life cycle assessment of Canadian egg products, with differentiation by hen housing system type	Pelletier (2017)	Canadá	Journal of Cleaner Production
Environmental assesment of intensive egg production: A Spanish case study	Abín <i>et al.</i> (2018)	Espanha	Journal of Cleaner Production
Invited review: Resource inputs and land, water and carbon footprints from the production of edible protein of animal origin	Flachowsky, Meyer, Südekum (2018)		Archives Animal Breeding
Changes in the life cycle environmental footprint of egg production in Canada from 1962 to 2012	Pelletier (2018)	Canadá	Journal of Cleaner Production
Social Sustainability Assessment of Canadian Egg Production Facilities: Methods, Analysis, and Recommendations	Pelletier (2018)	Canadá	Sustainability
Investigating on the environmental sustainability of animal products: The case of organic eggs	Costantini <i>et al.</i> (2020)	Itália	Journal of Cleaner Production
Life cycle environmental impact assessment of biomass materials in Japan	Dente <i>et al.</i> (2020)	Japão	Journal of Cleaner Production
Waste valorization technology options for the egg and broiler industries: A review and recommendations	Kanani <i>et al.</i> (2020)		Journal of Cleaner Production
Comparative life cycle assessment of technologies and strategies to improve nitrogen use efficiency in egg supply chains	Ershadi <i>et al.</i> (2021)	Canadá	Resources, Conservation & Recycling

Fonte: Autor (2022)

Conforme os estudos apresentados no Quadro 2, as pesquisas sobre ACV em produção de ovos realizadas em diferentes países, podem ser melhor aplicados para o contexto da região em que foram realizados, considerando o tipo de sistema e suas características, incluindo a estrutura e quantidade de aves na criação, entre outros. Contudo, os estudos servem de parâmetro para demais estudos na área, principalmente para países que ainda não possuem estudos, ou que possuem poucas pesquisas de ACV em produção de ovos e ração.

Vários autores destacam a relevância de seus estudos levando em consideração os dados dos resultados da ACV, entre estes estudos Pelletier (2017), avaliou o ciclo de vida do ovo e relatou que os dados geraram grande variedade de informação nos quais são importantes para compreender e melhorar a sustentabilidade ambiental na produção de ovo em indústrias canadense, principalmente para melhorar a eficiência dos recursos da cadeia de abastecimento e para reduzir a intensidade de emissões das atividades associadas à indústria de ovos.

Leinonen *et al.* (2012) encontraram diferenças em muitas categorias de impactos ambientais entre os quatro diferentes sistemas de produção de ovos avaliados, essas diferenças estavam relacionadas na maioria das categorias a eficiência de produção, ao consumo de ração, uso de materiais e energia, e a produção de resíduos.

O estudo conduzido por Ershadi *et al.* (2021) utilizando a ACV como metodologia para identificar os principais impactos ambientais a fim de melhorar a eficiência do uso de nitrogênio (NUE) no setor de ovos e reduzir as emissões nas principais etapas da cadeia de produção, obtiveram que a aplicação combinada de todas as estratégias aumentou o NUE em 15% em comparação com o cenário de linha de base e observaram redução da acidificação, do aquecimento global e do potencial de eutrofização, mas por outro lado verificaram que elevou o consumo de energia, e como conclusão relataram que cada estratégia pode ser mais ou menos adequada dependendo dos impactos ambientais considerados em cada estudo.

A produção de ração é um dos principais parâmetros avaliados nos estudos, pois está relacionada à entrada de ingredientes que causam impactos ao meio ambiente, principalmente alterações de transformação de áreas naturais, mudanças climáticas e acidificação do solo, isso ocorre devido ao uso de extensas áreas territoriais para as plantações, como a soja, o milho e o trigo (OLIVEIRA *et al.*, 2020). Estudo realizado por Leinonen *et al.* (2012) ao comparar os grupos de fluxo de material e energia verificaram que a alimentação causou impactos ambientais gerais mais elevados do que quaisquer outros materiais envolvidos na produção.

Pacheco, Moita Neto e Silva (2018) avaliando os potenciais impactos da produção de rações para aves de corte verificaram que os maiores impactos estão relacionados ao uso de

ingredientes com alto teor energético e protéico, como milho e soja, e atribuíram que os impactos ambientais negativos estavam associados à produção agrícola desses materiais, bem como ao transporte entre as fazendas e a fábrica de rações, e destacaram também o impacto na categoria de transformação de área natural, no qual teve a soja como principal contribuinte, seguido pelo milho, ao que se deve entre outros fatores o desmatamento recente e à distância das fazendas à fábrica.

O parâmetro de produção de frangas também deve ser avaliado, já que a fase de recria requer uma maior atenção para preparar as aves para a fase de postura, fornecendo para estas uma dieta de alta qualidade. De acordo com Costantini *et al.* (2020) em seu experimento realizado com produção de ovos orgânicos, avaliaram que a produção de frangas é responsável por uma participação que varia de 10% a 14% para todas as categorias de impacto avaliadas, este percentual de impacto foi atribuído principalmente ao consumo de ração necessário para alimentação das frangas em crescimento na granja.

O transporte dos ingredientes até a fábrica de ração e da fábrica para a granja envolve uma logística de disponibilidade de produtos, distância, quantidade e preço da matéria-prima, entre outros. É importante destacar que no transporte os veículos (caminhões, e carretas) utilizados emitem grande quantidade de gás poluente, principalmente CO₂. Nessa perspectiva Pacheco, Moita Neto e Silva (2018) relatam que quanto maior a distância, maior o consumo de diesel dos caminhões que transportam os grãos e, portanto, maior a quantidade de CO₂ na atmosfera.

Estudos realizados com ACV demonstram que o fluxo de eletricidade para a produção de ovos causa impactos ao ambiente, principalmente o que está relacionado à radiação ionizante. As emissões de gases também contribuem para causar impactos no ambiente, como acidificação terrestre e mudanças climáticas. Abín, *et al.* (2018) em pesquisa realizada observaram que a eletricidade foi responsável por 12% e 7% da radiação ionizante e depleção de metais.

A energia elétrica é responsável por abastecer toda cadeia de produção dos ovos, como a produção de ração, uso de máquinas na agricultura, transporte, e também equipamentos avícolas, incluindo sistemas de aquecimento e resfriamento, sistemas de alimentação, bebedouro, coleta de ovos e outros equipamentos utilizados na produção de ovos, e que estão associados a maior parte do consumo de energia. Ghasempour, e Ahmadi (2016) verificaram que na produção de ração, os três principais ingredientes para aves (milho, soja e trigo) tiveram o maior percentual de consumo de energia entre as categorias de impacto avaliadas no estudo.

Os resíduos gerados na produção de ovos causam impactos negativos se não forem manejados da forma correta. Os resíduos que causam maiores impactos ao ambiente estão relacionados ao esterco por possuir altos níveis de N, P, e K, além de conter material contaminante,

sendo assim considerado como uma fonte poluidora, e a principal atenção se devem aos seus poluentes potenciais, como os minerais, substâncias que demandam oxigênio, materiais em suspensão e patógenos encontrados nas excretas das aves, pois podem alcançar os lençóis freáticos e contaminar as fontes de água (SEIFFERT, 2000).

5 Referências Bibliográficas

ABÍN, R.; LACA, A.; LACA A.; DÍAZ, M. Environmental assesment of intensive egg production: A Spanish case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 179, p. 160–168, 2018.

ABNT. **ABNT NBR ISO 14044 :2009: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações.** [s.l: s.n.].

_____. NBR ISO 14040: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Versão corrigida. Rio de Janeiro, 2014.

_____. NBR ISO 14044: Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e orientações. Versão corrigida. Rio de Janeiro, 2014a.

ABPA. Relatório Anual. **Associação Brasileira de Proteína Animal**, p. 80, 2021.

ACERO, A. P.; RODRIGUEZ, C.; CIROTH, A. LCIA methods: Impact assessment methods in life cycle assessment and their impact categories. Version 1.5.6. **Green Delta**, n. 23, p. 1–23, 2016.

BARBOSA, J. R. FILHO, J. V. P.; OLIVEIRA, V. M.; SOUSA, G. G.; GOES, G. F.; LEITE, K. N. Produtividade da cultura da soja irrigada com déficit hídrico regulado no cerrado piauiense. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 14, n. 4, p. 4200-4210, 2020.

COÊLHO, J. D. Produção de grãos: feijão, milho e soja. **Caderno Setorial ETENE**, v. 3, n. 51, p. 1–13, 2018.

CONTINI, E. MOTA, M. M.; MARRA, R.; BORGHI, E.; MIRANDA, R. A.; SILVA, A. F.; SILVA, D. D.; MACHADO, J. R. A.; COTA, L. V.; COSTA, R. V.; MENDES, S. M. Milho- Caracterização e Desafios Tecnológicos. **Embrapa**, v. 5, n. 1, p. 1–45, 2019.

COSTANTINI, M.; LOVARELLI, D.; ORSI, L.; GANZAROLI, A.; FERRANTE, V.; FEBO, P.; GUARINO, M.; BACENETTI, J. Investigating on the environmental sustainability of animal products: The case of organic eggs. **Journal of Cleaner Production**, v. 274, p. 123046, 2020.

CRENNA, E.; SINKKO, T.; SALA, S. Biodiversity impacts due to food consumption in Europe. **Journal of Cleaner Production**, v. 227, p. 378–391, 2019.

DEKKER, S. E. M.; BOER, I. J M.; VERMEIJ, I.; AARNINK, A. J. A.; GROOT KOERKAMP, P.W.G. Ecological and economic evaluation of dutch egg production systems. **Livestock Science**, v. 139, n. 1–2, p. 109–121, 2011.

DEKKER, S. E. M.; BOER, I. J. M.; VAN KRIMPEN, M.; AARNINK A. J. A.; GROOT KOERKAMP, P.W.G. Effect of origin and composition of diet on ecological impact of the organic egg production chain. **Livestock Science**, v. 151, n. 2–3, p. 271–283, 2013.

DENTE, S. M. R.; CHIHIRO KAYO, C.; CHIKA AOKI-SUZUKI, C.; TANAKA, D.; HASHIMOTO, S. Life cycle environmental impact assessment of biomass materials in Japan. **Journal of Cleaner Production**, v. 257, 2020.

EC-JRC - JOINT RESEARCH CENTRE OF THE EUROPEAN COMMISSION. Analysis of existing Environmental Impact Assessment methodologies for use in Life Cycle Assessment - background document. **ILCD Handbook - International Reference Life Cycle Data System**, European Union. 2010.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. O agro no Brasil e no Mundo: uma síntese do período de 2000 a 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/62619259/brasil-e-o-quarto-maior-produtor-de-graos-e-o-maior-exportador-de-carne-bovina-do-mundo-diz-estudo>. Acessado em 30 de novembro de 2021.

ERSHADI, S. Z. HEIDARI, M. D.; DUTTA, B.; DIAS, G.; PELLETIER, N. Comparative life cycle assessment of technologies and strategies to improve nitrogen use efficiency in egg supply chains. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 166, p. 105275, 2021.

FLACHOWSKY, G.; MEYER, U.; SÜDEKUM, K. H. Invited review: Resource inputs and land, water and carbon footprints from the production of edible protein of animal origin. **Archives Animal Breeding**, v. 61, n. 1, p. 17-36, 2018.

GAZZONI, D. A sustentabilidade da soja no contexto do agronegócio brasileiro e mundial. Londrina: **Embrapa Soja**, v. 21, n.344, p. 50, 2013.

GHASEMPOUR, A.; AHMADI, E. Assessment of environment impacts of egg production chain using life cycle assessment. **Journal of Environmental Management**, v. 183, p. 980–987, 2016.

GOEDKOOP M.; HEIJUNGS R.; HUIJBREGTS M. A. J.; DE SCHRYVER A.; STRUIJS J.; VAN ZELM R. **ReCiPe 2008**: A life cycle impact assessment method which comprises harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level. First edition. Report I: Characterisation. Ruimte em Milieu Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening em Milieubeheer, jan, 2009.

GOUVEIA N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1503-1510, 2012.

GUINÉE, J. B.; GORRÉE, M.; HEIJUNGS, R.; HUPPES, G.; KLEIJN, R.; KONING, A. DE; OERS, L. VAN; WEGENER SLEESWIJK, A.; SUH, S.; UDO DE HAES, H. A.; BRUIJN, H. DE; DUIN, R. VAN; HUIJBREGTS, M. A. J. Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. Kluwer Academic Publishers, 2002, 692p.

HUIJBREGTS; M. A. J.; STEINMANN, Z. J. N.; ELSHOUT, P. M. F.; STAM, G.; VERONES, F.; VIEIRA, M. D. M.; HOLLANDER, A.; ZIJP, M.; VAN ZELM, R. **ReCiPe 2016 v 1.1: A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level**. National Institute for Public Health and the Environment, 2017, 201p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Industrial Anual – Produto (Pecuária ovos). **IBGE**, 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pi/pesquisa/18/16459?localidade1=26&tipo=ranking&indicador=16569&ano=2019&localidade2=221130>. Acessado em 03 de abril de 2021.

KANANI, F. HEIDARI, M. D.; GILROYED, B. H.; PELLETIER, N. Waste valorization technology options for the egg and broiler industries: A review and recommendations. **Journal of Cleaner Production**, v. 262, p. 121129, 2020.

LEINONEN, I.; WILLIAMS, A. G.; WISEMAN, J.; GUY, J.; KYRIAZAKIS, I. Predicting the environmental impacts of chicken systems in the united kingdom through a life cycle assessment: Egg production systems. **Poultry Science**, v. 91, n. 1, p. 26–40, 2012.

MAUAD, M.; SILVA, T. L. B.; ALMEIDA NETO, A. I.; ABREU, V. G. Influência da densidade de semeadura sobre características agrônômicas na cultura da soja. **Revista Agrarian**, Dourados, v.3, n.9, p.175-181, 2010.

MENDES, N. C.; BUENO, C.; OMETTO, A. R. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos. **Production**, v. 26, n. 1, p. 160-175, 2016.

MONTEIRO, N. B. R. Gestão do ciclo de vida: bases para a aplicação da economia circular em indústrias de concreto da construção civil. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal do Piauí, Teresina -PI, p. 245, 2021.

OLIVEIRA, A. A. P.; NOGUEIRA FILHO, A.; EVANGELISTA, F. R. A avicultura industrial no Nordeste: aspectos econômicos e organizacionais – Fortaleza: **Banco do Nordeste do Brasil**, n. 23, p. 1-160. 2008.

OLIVEIRA, H. F.; CARVALHO, D. P.; ISMAR, M. G.; REZENDE, P. M.; CAMARGO, S. M. P.; SOUTO, C. N.; OLIVEIRA, S. B. Fatores intrínsecos a poedeiras comerciais que afetam a qualidade físico-química dos ovos. **Pubvet**, v. 14, n. 3, p. 1-11, 2020.

PACHECO, J. C.; MOITA NETO, J. M.; SILVA, E. A. Environmental performance of feed production for broiler in Piauí state, Brazil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 4, p. 707-716, 2018.

PELLETIER, N. Life cycle assessment of Canadian egg products, with differentiation by hen housing system type. **Journal of Cleaner Production**, v. 152, p. 167–180, 2017.

PELLETIER, N. Social sustainability assessment of Canadian egg production facilities: Methods, analysis, and recommendations. **Sustainability (Switzerland)**, v. 10, n. 5, p. 1-17, 2018.

PELLETIER, N.; IBARBURU, M.; XIN, H. A carbon footprint analysis of egg production and processing supply chains in the Midwestern United States. **Journal of Cleaner Production**, v. 54, p. 108-114, 2013.

PELLETIER, N.; IBARBURU, M.; XIN, H. Comparison of the environmental footprint of the egg industry in the United States in 1960 and 2010. **Poultry Science**, v. 93, n. 2, p. 241-255, 2014.

PELLETIER, N.; MAAS R.; GORALCZYK, M.; WOLF, M. Conceptual basis for development of the European Sustainability Footprint. **Environmental Development**, v. 9, n. 1, p. 12-23, 2014.

PIEKARSKI, C. M.; LUZ, L. M.; ZOCCHÉ, L.; FRANCISCO, A. C. Métodos de avaliação de impactos do ciclo de vida: uma discussão para adoção de métodos nas especificidades brasileiras. **Revista Gestão Industrial**, v. 8, n. 3, p. 222-240, 2012.

POORE, J.; NEMECEK, T. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. **Science**, v. 360, n. 6392, p. 987-992, 2018.

SEIFFERT, N. F. Planejamento da atividade avícola visando qualidade ambiental. **Simpósio de Resíduos da Produção Avícola**, Concórdia - SC, p. 1-20, 2000.

SILVA, A. J.; MONTEIRO, M. S. L.; BARBOSA, E. L. Territorialização da agricultura empresarial em Uruçuí/PI: de “espaço vazio” aos imperativos do agronegócio. **Caderno de Geografia**, v. 27, n. 1, p. 138, 2017.

CAPÍTULO 2: Avaliação do Ciclo de Vida da Produção de Ração para Galinhas Poedeiras
Revista Engenharia Sanitaria e Ambiental

Avaliação do Ciclo de Vida da Produção de Ração para Galinhas Poedeiras

Donária Miranda de Sousa¹, Nathalie Barbosa Reis Monteiro², Leilane Rocha Barros Dourado¹

¹Universidade Federal do Piauí – Teresina, PI

²Universidade Presbiteriana Mackenzie – UPM

Resumo

O estudo teve como objetivo realizar a avaliação do ciclo de vida da produção de ração para galinhas poedeiras em uma fábrica situada no Centro-Norte do estado do Piauí, para identificar os principais processos que contribuem para o impacto ambiental nas categorias avaliadas. Foram coletadas todas as informações necessárias para a construção do Inventário do Ciclo de Vida diretamente com o responsável. Para a análise dos dados foi utilizado o *software* OpenLCA 1.8. Para a coleta da base de dados secundária utilizada no estudo foi usado o Ecoinvent 3.7.1 *Cut-Off unit regionalized*. O método escolhido para a AICV foi o CML (*baseline*). Todas as categorias de impacto do método CML (*baseline*) foram selecionadas para análise. Os processos mais impactantes foram a produção de soja, milho e descarte de resíduos plásticos. Estes processos contribuíram em todas as categorias avaliadas e indicam que as emissões geradas para a produção de ração causam impactos ambientais. Estes impactos ambientais negativos estão associados a produção dos grãos, principalmente nas fases de preparação do solo no cultivo da soja e milho, e devido as etapas de descarte de resíduos sólidos comumente realizado em várias regiões do país. Esta pesquisa contribui com estudos de ACV aplicados a produção de ração para alimentação de aves no Brasil e em outros países, além de gerar subsídios para que as indústrias melhorem cada vez mais os processos produtivos dentro e fora do sistema de produto.

Palavras-chave: ciclo de vida, impacto ambientais, produção de grãos, descarte de resíduos.

Life Cycle Assessment of Feed Production for Laying Hens

Donária Miranda de Sousa¹, Nathalie Barbosa Reis Monteiro² Leilane Rocha Barros Dourado¹

¹Universidade Federal do Piauí – Teresina, PI

²Universidade Presbiteriana Mackenzie – UPM

Abstract

The study aimed to carry out a life cycle assessment of feed production for laying hens in a factory located in the Center-North of the state of Piauí, to identify the main processes that contribute to the environmental impact in the categories evaluated. All the necessary information was collected for the construction of the Life Cycle Inventory directly with the person in charge. For the analysis of the data cited in the study, the OpenLCA 1.8 software was used. To collect the secondary database used in the study, the Ecoinvent 3.7.1 Cut-Off unit regionalized was used. The method chosen for the LCIA was the CML (baseline). All impact categories of the CML method (baseline) were selected for analysis. The most impacting processes were the production of soy, corn and plastic waste disposal. These processes contributed in all the categories evaluated and indicate that the emissions generated for the production of feed cause environmental impacts. These negative environmental impacts are associated with grain production, especially in the soil preparation phases in soybean and corn cultivation, and due to the solid waste disposal steps commonly carried out in various regions of the country. This research contributes to LCA studies applied to the production of feed for poultry in Brazil and in other countries, in addition to generating subsidies for industries to increasingly improve production processes inside and outside the product system. Keywords: life cycle, environmental impact, grain production, waste disposal.

1 Introdução

A produção de ovos avança a cada ano, o volume mundial de ovos produzidos no ano de 2020 ultrapassou 86,67 milhões de toneladas métricas, acima dos 74,14 milhões de toneladas métricas em 2016 (FAOSTAT, 2020). A produção brasileira de ovos vem aumentando cada ano, em 2020 a produção foi de 53,5 bilhões de ovos, o consumo per capita de ovos também vem superando os anos anteriores com 251 ovos por habitante, e no mesmo ano foram alojadas mais de 124 milhões de cabeças de galinhas comerciais de postura (ABPA, 2021). O crescente aumento da produção de ovos, e do plantel de galinhas comerciais consequentemente eleva também o consumo de ração.

As rações são parte integrante dos sistemas de criação das aves e na maioria das vezes os ingredientes que compõem tais dietas são produzidos em lugares distantes, envolvendo o transporte até a fábrica, e além do transporte as matérias-primas seguem as etapas de produção iniciando pelo recebimento destes ingredientes, seguindo para o processamento, até a finalização da ração pronta para o consumo das aves (PACHECO; MOITA NETO; SILVA, 2018). A produção de ingredientes para fabricação das rações, o transporte e o processo de produção nas fábricas de rações consomem recursos naturais e liberam emissões no ar, na água e no solo, gerando impactos ambientais em várias categorias como aquecimento global, eutrofização de água doce, depleção de recursos abióticos, entre outros (TONGPOOL *et al.*, 2012).

Na etapa de produção da ração, os principais impactos observados segundo Cappelaere *et al.* (2021) são as mudanças climáticas associadas ao consumo de energia, as emissões de óxido nitroso dos campos e o impacto da mudança no uso da terra de safras cultivadas em florestas ou pastagens recentemente convertidas, principalmente para o cultivo da soja, no qual é produzida na América do Sul e amplamente utilizada na Europa e na Ásia como fonte de proteína para ração animal. As emissões do campo, devido à fertilização, também são importantes contribuintes para a acidificação e eutrofização. Com essa perspectiva uma das principais preocupações com relação à criação de animais são os impactos ambientais causados principalmente pela produção de ração (DOURMAD *et al.*, 2014; GERBER *et al.*, 2013).

A Avaliação do Ciclo de Vida é a metodologia mais apropriada para avaliação dos impactos na produção em escala agrícola, e tem sido cada vez mais usada para avaliação dos impactos na produção animal, além disso, ainda há poucas pesquisas com ACV realizadas em áreas mais específicas (CAPPELAERE *et al.*, 2021). A ACV é uma metodologia utilizada mundialmente que possibilita identificar e mensurar todos os impactos ambientais associados a produtos, processos e

serviços, ao longo do seu ciclo de vida. A técnica é regulamentada pelas normas NBR ISO 14040 (ABNT, 2014) e NBR ISO 14044 (ABNT, 2014a), os estudos de ACV podem auxiliar na identificação de oportunidades para melhoria do sistema ambiental de produtos em diversos pontos do ciclo de vida. A ACV avalia de forma sistemática, os aspectos e impactos ambientais de um sistema de produto, desde a aquisição da matéria-prima até a disposição final.

Pacheco, Moita Neto e Silva (2018) em estudo realizado com Avaliação do Ciclo de Vida em produção de ração para aves destacam alguns temas relevantes que são constantemente citados na literatura, como a qualidade de produção, a saúde das aves e meio ambiente onde vivem, e ressaltam que a produção agrícola deve estar alinhada aos princípios da sustentabilidade ambiental. No Brasil, o fator que mais contribui para os impactos ambientais gerais na produção agrícola está relacionado ao desmatamento, no qual aumenta substancialmente os impactos das cadeias produtivas que utilizam grãos, assim ressaltam a importância de futuros estudos de ACV que incluam soja ou milho considerando explicitamente sua região de produção no Brasil (SILVA *et al.*, 2014).

Estudo realizado por Silva *et al.* (2014) menciona que a ACV é uma metodologia eficaz para análise global de toda a cadeia produtiva na avicultura. Segundo Pacheco (2017) as vantagens dos estudos de ACV se estende ainda a possibilidade de utilizar diversas categorias de impacto ambiental no mesmo estudo, podendo expressar resultados independentes em cada uma delas. Este estudo objetiva realizar a ACV da produção de ração para galinhas poedeiras em uma fábrica situada no Centro-Norte do estado do Piauí, para identificar os principais processos que contribuem para o impacto ambiental nas categorias avaliada.

2 Metodologia

A produção de ração para poedeiras comerciais envolve várias etapas de processos para a obtenção do produto final, iniciando desde a obtenção das matérias primas, até a expedição da ração pronta, incluindo as etapas de recepção, armazenamento, moagem, extrusão, pesagem e mistura de todos os insumos para compor a ração. Este processo também envolve o transporte de matérias primas, maquinário, análise de ingredientes, consumo de energia, consumo de água, resíduos e efluentes gerados pelo processo de fabricação.

Para a obtenção das informações do sistema de produção foram realizadas visitas à uma fábrica de ração, em um município localizado no Centro-Norte Piauiense, com o objetivo de acompanhar as etapas de produção da ração, bem como coletar os dados por meio de entrevista

com o gerente da unidade de produção da empresa. De acordo com o Termo de Confidencialidade firmado entre pesquisador/indústria, o nome da empresa será preservado no estudo.

Foram recolhidas todas as informações necessárias para a construção do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) diretamente com o responsável (Apêndice 1). A aplicação do ICV tencionou identificar todas as entradas e saídas do processo produtivo. Para a composição dos dados primários foram coletadas informações de: quantidade e tipo de insumos utilizados, energia, água; descrição de máquinas e equipamentos; quantidade e tipo de resíduos produzidos; quantidade de ração produzida; tipo, capacidade e raio de quilômetros do transporte dos insumos, entre outros. Os dados secundários foram obtidos com base na literatura científica e em relatórios especializados do setor.

2.1 Definição do objetivo, escopo e unidade funcional

A pesquisa teve como objetivo realizar a ACV da produção de ração para galinhas poedeiras em uma fábrica situada no Centro-Norte do estado do Piauí, para identificar os principais processos que contribuem para o impacto ambiental nas categorias avaliada. A coleta de dados foi realizada de forma agregada, isto é, os insumos foram contabilizados como um todo, para a caracterização do desempenho ambiental do produto. O público-alvo desse estudo são as granjas avícolas, principalmente, granjas de criação de galinhas poedeiras, indústrias e comércios nas áreas de produção avícolas em seus diferentes setores de atuação, bem como a comunidade científica. A função do produto é suprir as necessidades nutricionais das aves.

A unidade funcional adotada foi de 1kg de ração produzida na fábrica. O fluxo de referência consiste na produção mensal média de 1.300 ton de ração. A cobertura temporal desse estudo teve como base o ano de 2020. Quanto a cobertura geográfica a pesquisa foi realizada em uma fábrica de ração situada no Centro-Norte Piauiense, região Nordeste do Brasil. Em relação a cobertura tecnológica refere-se ao processo produtivo da ração, no qual foi necessário o conhecimento de todo sistema de produção dentro da fábrica para posterior construção de fluxograma retratando as diversas etapas de produção da ração para poedeiras, desde a obtenção da matéria-prima, até o produto final.

Os principais processos envolvidos para a fabricação de ração contemplam a: recepção de matéria-prima (controle de qualidade); pré-limpeza e armazenamento; moagem; pesagem; extrusão e expedição. Tais procedimentos podem contribuir de forma significativa no

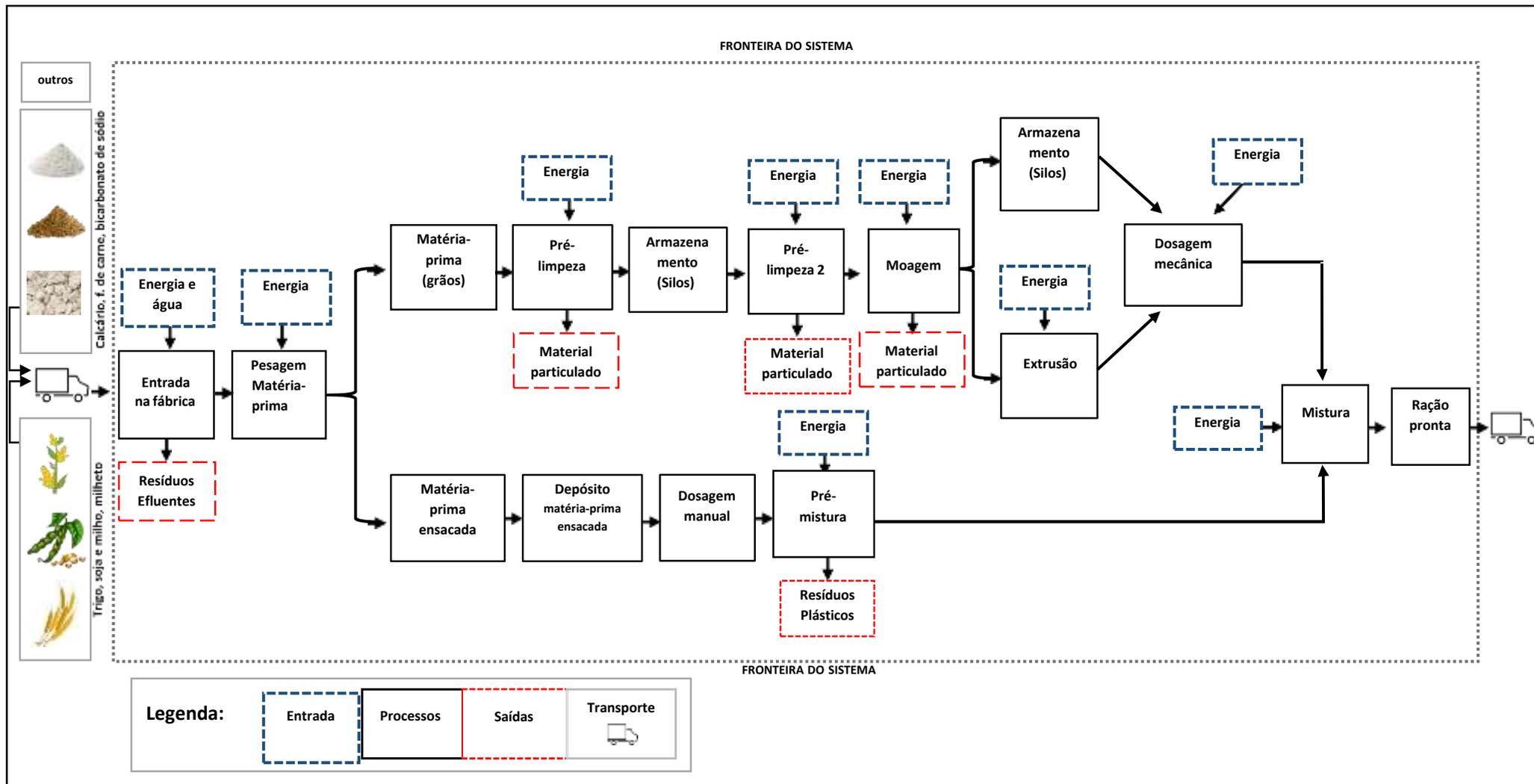
aproveitamento dos nutrientes e reduzir as excreções por parte dos animais (PACHECO, 2017; COUTO, 2008).

A coleta de dados conteve fontes primárias que foram coletadas em campo, e dados secundários coletados a partir do banco de dados do Ecoinvent 3.7.1 (ECOINVENT, 2021). As coletas de dados de entrada de insumos (tipo e quantidade) para a fabricação da ração, consumo de energia, quantidade de produção de ração anual, foram coletadas na própria indústria a partir de dados contabilizados nos sistemas de registro da empresa. Também foram considerados os dados estimados, nos quais são aqueles relativos ao consumo de água, geração de resíduos (resíduos sólidos – referente aos resíduos de embalagem e toda matéria de descarte decorrente da produção), e a distância percorrida pelos caminhões (raio de quilometragem) para o carregamento de matérias-primas. A geração de resíduos foi estimada pela medição parcial do descarte de papel e plástico das embalagens de insumos utilizados na indústria.

A geração de efluentes foi estimada com base no documento da *United Nations Environment Programme* (UNEP) (2000), que considera que 80% da água utilizada em processos industriais como frigoríficos, abatedouros, granjas, é descartada como efluente. É importante ressaltar que no setor de agroindústria há um grande consumo de água em seu processo industrial, sobretudo nas operações de lavagem de máquinas e equipamentos.

A fronteira do sistema analisado é do berço a portão da atividade industrial, acrescido, a jusante, o transporte do produto até o consumidor final. As etapas de produção verificadas foram: recebimento dos insumos, retirada de amostras para análises, pesagem da carga total. Processamento após o recebimento: armazenamento (premix, sal, farinha de carne, farelo de soja, farelo de trigo, calcário, bicarbonato de sódio e aminoácidos); moega (soja, milho e milho); pré-limpeza (soja, milho e milho); armazenamento temporário dos grãos (silos a granel: soja, milho e milho); processamento individual do milho (transferência para o silo pulmão, passagem pela segunda pré-limpeza, moinho, e transferência para o silo de milho moído); processamento individual da soja (moinho, armazenamento em caixa para soja moída, extrusora, armazenamento no silo para soja extrusada); processamento individual do milho (transferência do silo a granel para o silo pulmão de milho); processamento individual do farelo de soja (estocagem temporária no silo pulmão para farelo de soja); pesagem proporcional de cada ingrediente (premix, sal, farinha de carne, soja, milho, farelo de soja, milho, farelo de trigo, calcário, bicarbonato de sódio, aminoácidos); pré-mistura (premix, bicarbonato de sódio e aminoácidos); misturador (todos os ingredientes); armazenamento da ração pronta no silo pulmão para ração e por fim o transporte da ração pronta para a granja. Conforme o fluxograma apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Representação esquemática do fluxograma com as entradas e saídas do processo de fabricação de ração



Para a análise dos dados citados no estudo foi utilizado o *software* OpenLCA 1.8, (versão gratuita), de código aberto, utilizado para análises de ACV (OpenLCA, 2020). O método escolhido para a AICV foi o CML (*baseline*), o qual possui as seguintes categorias de impacto: depleção da camada de ozônio, aquecimento global, acidificação, toxicidade humana, ecotoxicidade terrestre, de água doce e marinha, depleção de recursos abióticos (fósseis e minerais), eutrofização, oxidação fotoquímica (ACERO; RODRIGUEZ; CIROTH, 2016).

O método CML possui escopo de aplicação global para todas as categorias abordadas, com exceção para acidificação e formação de oxidantes fotoquímicos, e por possuir abrangência global de aplicação este método é recomendado para utilização em estudos desenvolvidos no Brasil (MENDES; BUENO; OMETTO, 2015).

2.2 Análise do Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

A etapa de ICV ocorreu logo após a definição do objetivo e escopo, dessa forma os dados referentes à entrada e saída de produtos foram contabilizados tendo em vista a produção de 1kg de ração (unidade funcional). O Ecoinvent 3.7.1 *Cut-Off unit regionalized*, foi utilizado como base de dados para o estudo. Na versão 3.7 do banco de dados Ecoinvent estão inseridos 1.000 dados atualizados, incluindo dados brasileiros, além de apresentar mais de 900 conjuntos de dados novos (ECOINVENT, 2021). Em decorrência dessa atualização, a conjunção de dados Ecoinvent inclui mais de 100 produtos, expandindo a cobertura do banco de dados. Em consequência da participação da associação Ecoinvent em vários projetos e colaborações com associações em diferentes setores industriais do mundo foi possível a atualizar o sistema e realizar acréscimos na versão 3.7 (ECOINVENT, 2021).

No modelo utilizado, o *Cut-Off* todas as trocas intermediárias (ou seja, trocas dentro da tecnosfera) são classificadas em "subprodutos alocáveis", "materiais recicláveis" ou "resíduos". Na concepção de especialistas essa classificação é fundamentada sobre o valor de uma troca, potencial de uso e destino previsto (STEUBING *et al.*, 2016; WERNET *et al.*, 2016). Esse modelo foi utilizado em outros trabalhos desenvolvidos sobre essa temática (CAMPOS *et al.*, 2020; NGUYEN *et al.*, 2012).

Na Tabela 1 estão descritos os *inputs* e os *outputs* do inventário do ciclo de vida da produção de ração, de acordo com as escolhas efetuadas no banco de dados do Ecoinvent, para o sistema de produto estudado. É relevante destacar que a reprodutibilidade e transparência do estudo está referida devida a importância de relacionar as escolhas no banco de dados utilizado.

Tabela 1 – Inventário do ciclo de vida da produção de ração para galinhas poedeiras

Inputs				
Fluxo	Quant.	Un	Provedor	Notas Pedigree
<i>transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5</i>	4,95E+04	km*t	<i>market for transport, freight, lorry >16-32 metric ton, EURO5 transport, freight, lorry >16-32 metric ton, EURO5 Cutoff, U – RoW</i>	(2;2;1;1;1)
<i>transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5</i>	3,30E+04	km*t	<i>market for transport, freight, lorry >16-32 metric ton, EURO5 transport, freight, lorry >16-32 metric ton, EURO5 Cutoff, U – RoW</i>	(2;2;1;1;1)
<i>transport, freight, lorry >32 metric ton, EURO5</i>	2,48E+04	km*t	<i>market for transport, freight, lorry >16-32 metric ton, EURO5 transport, freight, lorry >16-32 metric ton, EURO5 Cutoff, U – RoW</i>	(2;2;1;1;1)
<i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5</i>	3,50E+01	km*t	<i>market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 Cutoff, U – RoW</i>	(2;2;1;1;1)
<i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5</i>	3,00E+01	km*t	<i>market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 Cutoff, U – RoW</i>	(2;2;1;1;1)
<i>tap water</i>	2,78E+04	kg	<i>market for tap water tap water Cutoff, U - BR</i>	(3;2;1;1;1)
<i>electricity, medium voltage</i>	2,27E+04	kWh	<i>electricity voltage transformation from high to medium voltage electricity, medium voltage Cutoff, U - BR-North-eastern grid</i>	(1;2;1;1;1)
<i>compost</i>	5,69E+03	kg	<i>market for compost compost Cutoff, U - GLO</i>	(1;2;1;1;1)
<i>wheat grain</i>	2,70E+04	kg	<i>market for wheat grain wheat grain Cutoff, U - RoW</i>	(1;2;1;1;1)
<i>limestone, crushed, for mill</i>	6,08E+04	kg	<i>market for limestone, crushed, for mill limestone, crushed, for mill Cutoff, U - RoW</i>	(1;2;1;1;1)
<i>maize grain</i>	6,60E+05	kg	<i>market for maize grain maize grain Cutoff, U - BR</i>	(1;2;1;1;1)
<i>meat and bone meal</i>	4,14E+04	kg	<i>market for meat and bone meal meat and bone meal Cutoff, U - RoW</i>	(1;2;1;1;1)
<i>millet</i>	2,05E+05	kg	<i>market for millet millet Cutoff, U - GLO</i>	(1;2;1;1;1)
<i>sodium bicarbonate</i>	1,72E+03	kg	<i>market for sodium bicarbonate sodium bicarbonate Cutoff, U - GLO</i>	(1;2;1;1;1)
<i>soybean</i>	1,44E+05	kg	<i>market for soybean soybean Cutoff, U – BR</i>	(1;2;1;1;1)
<i>soybean meal</i>	1,95E+05	kg	<i>market for soybean meal soybean meal Cutoff, U - BR</i>	(1;2;1;1;1)
<i>soybean oil, refined</i>	5,38E+02	kg	<i>market for soybean oil, refined soybean oil, refined Cutoff, U - GLO</i>	(1;2;1;1;1)
<i>potash salt</i>	2,75E+03	kg	<i>market for potash salt potash salt Cutoff, U - RoW</i>	(1;2;1;1;1)
Outputs				
Fluxo	Quant.	Unid.	Notas Pedigree	
<i>ração para galinhas poedeiras</i>	1,30E+06	kg	(1;1;1;1;1)	
<i>plastic waste</i>	6,61E+02	kg	(4;2;1;1;1)	
<i>waste paper, unsorted</i>	3,33E+01	kg	(4;2;1;1;1)	
<i>Wastewater, average</i>	2,22E+04	1	(4;2;1;1;1)	

Fonte: Autor (2022)

Para a tomada de decisão sobre a escolha dos *inputs*, disponíveis no banco de dados do Ecoinvent 3.7.1, foram consideradas as características do inventário do processo produtivo

estudado. O conjunto de dados para o milho representa o transporte de 1 kg de grão de milho do local de produção para a fazenda onde o grão de milho é usado como ração animal. A atividade começa no portão da fazenda de produção de milho em grão e termina com o fornecimento de milho para ser utilizado como ração animal. O conjunto de dados do milheto representa a produção de 1 kg de matéria fresca para uso como ração animal. O conjunto de dados do sal é uma mistura de consumo, representando o fornecimento de " sal de potássio " das atividades que o produzem, para as atividades que o consomem dentro da geografia deste conjunto de dados, Global.

Para a soja, o conjunto de dados representa o transporte de 1 kg de soja da fazenda de produção para a planta de produção de farelo de soja e óleo de soja. A atividade começa no portão da fazenda de cultivo de soja e se encerra com o fornecimento de grãos de soja para a unidade de produção de farelo e óleo de soja. O conjunto de dados do farelo de soja representa o transporte de 1 kg de farelo de soja da unidade de moagem para a fazenda onde o farelo de soja é usado como mistura para fabricação da ração das galinhas. A atividade começa na porta da moenda e se encerra com o fornecimento de farelo de soja para a fazenda que é utilizado como ração animal. O conjunto de dados do óleo de soja representa a produção de óleo de soja refinado a partir do óleo de soja bruto, desde o recebimento no portão da refinaria até o refino.

O conjunto de dados do trigo representa a produção de 1 kg de grão de trigo (matéria fresca) e inclui todas as operações da máquina e infraestrutura. Para a farinha de carne, o conjunto de dados representa o transporte de 1 kg de farinha de carne e osso do tratamento de resíduos de matadouro, transformando, para o mercado associado, ou seja, farinha de carne e osso para o mercado genérico de ração protéica. A atividade começa na porta da unidade de produção de farinha de carne e ossos (tratamento de resíduos de matadouro) e termina com o fornecimento para o mercado. O conjunto de dados do bicarbonato de sódio representa o mercado de 1 kg de bicarbonato de sódio. A atividade começa no portão da fábrica, com o produto acabado pronto para transporte.

O conjunto de dados da água descreve a água encanada disponível ao usuário, no Brasil. Essa atividade começa com água canalizada, sob pressão, na estação de tratamento e alimentada na rede de distribuição e termina com 1 kg de água no consumidor (industrial ou doméstico). O conjunto de dados da água inclui a rede de distribuição e as perdas de água durante a transmissão. O conjunto de dados do calcário inclui os processos: britagem primária, lavagem e transporte por correia transportadora, com abrangência global (ECOINVENT, 2021).

O conjunto de dados da energia elétrica inclui a produção de eletricidade na região nordeste do Brasil. Esta atividade começa com a eletricidade de média tensão chegando à estação transformadora e termina com 1 kWh de eletricidade de média tensão. Para o transporte, o conjunto de dados representa o serviço de transporte de carga de 1 t*km em um caminhão da classe de tamanho entre 16 e 32 toneladas métricas de peso bruto do veículo (GVW) e classe de emissões Euro IV (caminhões com mais de 6 anos de fabricação). Os conjuntos de dados de transporte se referem a todo o ciclo de vida do transporte (ECOINVENT, 2021).

Em relação aos *outputs* foram selecionados os fluxos correspondentes aos resíduos e efluentes. Os resíduos de papel e plástico incluem atividades como 'papel e plástico residual, não classificado' sendo disponibilizado para a instalação de triagem ou aterro. O conjunto de dados do efluente é caracterizado por ser o efluente, em média, tratado no mesmo local em que é produzido. Por isso que as atividades de mercado regionais são, neste caso, adequadas.

2.3 Estimativa de incerteza

Nos estudos de ACV é fundamental a qualidade e representatividade dos dados coletados, dessa forma, faz-se necessário que os fluxos declarados sejam fiéis ao sistema estudado e que seja declarada a sua incerteza (ABNT, 2014a). É importante diferenciar as categorias de incerteza para melhor avaliação dos dados. Nos estudos de ACV geralmente as incertezas são, inerentes aos dados (incerteza de parâmetro), aos cenários considerados ou quanto os modelos utilizados na representação da realidade, sendo que as incertezas de parâmetro parecem ser as mais influentes nos resultados da avaliação

Dessa maneira, a incerteza de parâmetro está relacionada às entradas e saídas dos processos e características tecnológicas. Para o desenvolvimento deste estudo foram realizadas coletas de dados primários no setor da Fábrica de ração, com isso foi possível calcular a incerteza. A incerteza de cenário como aquela que abrange definições sobre a unidade funcional, horizontes de tempo e procedimentos de alocação, por exemplo. No caso em estudo, houve fixação do cenário inexistindo incerteza a ele relacionada. Já a incerteza de modelo inclui o cálculo dos indicadores na fase de avaliação de AICV. Após a escolha de determinado modelo de AICV (CML), o uso de banco de dados secundários traz a incerteza inerente a esses dados secundários.

A Matriz Pedigree faz-se necessária, pois contabiliza precisamente a qualidade dos dados utilizados pela sua origem, e foi aplicada com esta finalidade, assim as fontes de dados

são avaliadas de acordo com cinco características independentes: confiabilidade, abrangência, correlação temporal, correlação geográfica e correlação tecnológica. Os bancos de dados secundários utilizados já trazem as informações características e, portanto, suas próprias incertezas para a Matriz Pedigree.

É importante avaliar as incertezas para discutir adequadamente os resultados de ACV. Todo estudo realizado em que há produção de dados primários é fundamental esta avaliação, tanto para discussão como para posterior uso como banco de dados secundários em outros trabalhos.

Neste estudo, a incerteza, no qual pode ocorrer devido a diversas fontes, está relacionada à qualidade dos dados do inventário, que foi obtidos a partir das fontes primárias, e este foi avaliado através da Matriz Pedigree que está disponível no software OpenLCA. Desse modo, a análise de incerteza foi realizada pela técnica Monte Carlo, com 1.000 interações para a determinação da propagação da incerteza nos resultados, com um coeficiente de confiança de 95% para cada uma das categorias associadas ao método (GOEDKOOOP *et al.*, 2016).

As estimativas de incerteza são fornecidas para cada ponto de dados no nível do processo unitário. O intervalo de confiança de 95% dos resultados cumulativos do LCI é calculado com a ajuda da simulação de Monte-Carlo. Os valores de 2,5% e 97,5%, calculados com simulação de Monte-Carlo, são mostrados para cada troca elementar individual dos resultados de ICV (WEIDEMA *et al.*, 2013).

Os valores médios probabilísticos (ou seja, os resultados cumulativos determinados com simulação de Monte Carlo) diferem ligeiramente dos valores médios determinísticos (ou seja, os resultados cumulativos derivados da média valores dos dados brutos do processo unitário apenas sem o uso dos fatores de incerteza). Os valores médios determinísticos são mostrados no banco de dadosecoinvent, e tem como vantagem que os valores médios dos resultados de LCI são reproduzíveis. Além disso, a confiabilidade dos valores médios do processo unitário os dados brutos são considerados muito mais altos em comparação com o desvio padrão geométrico aproximadamente estimado (FRISCHKNECHT *et al.*, 2007). Para estas situações Frischknecht *et al.* (2007) propõe o uso da matriz pedigree para estimativa as incertezas. Esta ferramenta gera valores de desvio padrão para cada fluxo de entrada ou saída a partir de um questionário aplicado por especialistas.

- Matriz Pedigree

Segundo Gregory, Montalbo, Kirchain (2013), uma das metodologias mais aplicadas nos estudos de ACV para estimativa de incertezas é a Matriz Pedigree. A matriz de qualidade dos dados juntamente com seus indicadores, está representada no Quadro 3, em que cada indicador recebe uma pontuação, em que se limita de 1 a 5, na qual a melhor nota é representada pelo número 1, e a pior pelo número 5, em relação à qualidade do dado.

As notas da Matriz Pedigree neste trabalho foram estabelecidas considerando a qualidade dos dados coletados, neste sentido, o uso da Matriz Pedigree implica decisões, com base nos conhecimentos obtidos em campo. Os dados foram discutidos coletivamente entre especialistas na área de ACV a fim de aumentar a qualidade e diminuir a subjetividade na aplicação do método.

Para os insumos milho, soja, trigo, farelo de soja, farelo de carne, milheto, sal, bicarbonato de sódio, calcário, óleo de soja, premix/aminoácidos e energia: em relação à confiabilidade, foi atribuída a nota (1), pois a quantidade do material foi medida no local; o indicador completeza recebeu nota (2), pois é representativo para as empresas estudadas e para o período, mas pode variar em outras regiões. Para correlação temporal e geográfica, a pontuação atribuída foi (1), uma vez que são dados de um ano de produção e coletados na área de estudo. O indicador correlação tecnológica foi pontuado com nota 1, pois são dados de empresa, processo e materiais sob estudo.

O consumo de água foi estimado, recebendo nota (3) no quesito confiabilidade. O indicador completeza foi pontuado com nota (2), é representativo para as empresas estudadas e para o período, mas pode variar em outras indústrias. Para correlação temporal, geográfica e tecnológica a pontuação foi (1), pois são dados de um ano de produção, coletados na área de estudo e são dados de empresa, processo e materiais sob estudo. O transporte recebeu nota (2) para confiabilidade e completeza pois o dado é representativo para as empresas estudadas e para o período, mas pode variar em outras regiões/indústrias. Para correlação temporal, geográfica e tecnológica a pontuação foi (1), pois são dados de um ano de produção, coletados na área de estudo e são dados de empresa, processo e materiais sob estudo.

Quadro 3 – Matriz Pedigree

Pontuação do indicador	1	2	3	4	5
Confiança	Dados verificados baseados em medidas	Dados verificados parcialmente baseados em estimativas ou dados não verificados baseados em medidas	Dados não verificados parcialmente baseados em estimativas qualificadas	Estimativas qualificadas (ex. perito industrial):	Estimativas não qualificadas
Completeza	Dados representativos de todos os locais relevantes para o mercado considerado e com período superior e adequado para compensar flutuações normais	Dados representativos de > 50% dos locais relevantes para o mercado considerado com período superior e adequado para compensar flutuações normais	Dados representativos de somente alguns locais (< 50%) relevante para o mercado considerado ou > 50% dos locais, mas com períodos curtos	Dados representativos de apenas um local relevante para o mercado considerado ou alguns locais com períodos curtos	Representatividade desconhecida ou dados de um pequeno número de locais e períodos curtos
Correlação temporal	Menos de 3 anos de diferença para o período do conjunto de dados	Menos de 6 anos de diferença para o período do conjunto de dados	Menos de 10 anos de diferença para o período do conjunto de dados	Menos de 15 anos de diferença para o período do conjunto de dados	Idade do dado desconhecida ou mais de 15 anos de diferença para o período do conjunto de dados
Correlação geográfica	Dados da área de estudo	Dados médios da grande área na qual a área de estudo está incluída	Dados da área com condições de produção semelhantes	Dados de área com condições de produção ligeiramente similares	Dados da área desconhecida ou área com muita diferença nas condições de produção
Correlação tecnológica	Dados de empreendimentos, processos e materiais em estudo	Dados de processos e materiais em estudo (ex. tecnologia idêntica), mas de empresas diferentes	Dados de processos e materiais em estudo, mas de diferentes tecnologias	Dados de processos ou materiais relacionados	Dados de processos relacionados em escala laboratorial ou de diferentes tecnologias

Fonte: Adaptado de Weidema *et al.* (2013)

Em relação às saídas do sistema, os efluentes e resíduos de plástico e papel obtiveram nota (4) para completeza, pois foram dados estimados, (2) para confiabilidade e completeza pois o dado é representativo para as empresas estudadas e para o período, mas pode variar em outras regiões/indústrias. Para correlação temporal, geográfica e tecnológica a pontuação foi

(1), pois são dados de um ano de produção, coletados na área de estudo e são dados de empresa, processo e materiais sob estudo.

Após a obtenção dos resultados com o preenchimento da Matriz Pedigree, prosseguiu com a análise estatística de Monte Carlo, disponível no *software* Open LCA, desse modo, foi possível calcular a incerteza absoluta, a qual é amplamente utilizada nos estudos de ACV (COSTANTINI *et al.*, 2020).

2.4 Caracterização geral da fábrica de ração e descrição do processo produtivo

A produção de ração na fábrica é rotineira, no entanto é uma atividade dinâmica, já que é realizada diferentes tipos. As rações destinadas para galinhas poedeiras são produzidas com a finalidade de atender a demanda da própria empresa, setor de Granja avícola, para suprir as exigências nutricionais das aves, e garantir a produção de ovos continuamente.

O transporte das matérias primas é realizado pela própria empresa, na qual possui veículos apropriados (modelo carreta Bitrem graneleiro) que transportam, em média, 55 toneladas de grãos da fazenda fornecedora até a fábrica de ração. A quantidade e distância média das fazendas/empresas fornecedoras das principais matérias-primas que abastecem a indústria está descrita na Tabela 2. A cidade que mais se destacou com maior número de fornecedor de grãos durante o ano de 2020 possui distância média de 505 km da fábrica onde é produzida a ração das aves.

Tabela 2 – Quantidade de fazendas e distância média em Km percorridos em 2020 para carregamento de matéria-prima

Matéria-prima	Quantidade de Fazendas	Distância média (km)
Milho	14	477
Soja	22	505
Farelo de soja	03	400
Farinha de carne e ossos	02	510
Calcário	01	540
Farelo de trigo	08	458
Milheto	11	495

Fonte: Autor (2022)

As máquinas e equipamentos utilizados na fábrica é constituído por uma balança de pesagem de matéria-prima; pré-misturador; misturador; caçamba de descarga; silo de armazenamento de milho a granel; silo de armazenamento de milheto; silo para farelo de soja;

moinho; silo a granel de soja; moinho da soja; extrusora e silo para ração pronta. Além dos caminhões tipo carreta para carregamento de matérias-primas e trucados para movimentação interna entre os setores da empresa.

A equipe de colaboradores que atuam no processamento para produção de ração é composta por: um gestor encarregado pelo setor de produção (administrativo/e técnico); uma equipe que trabalha na parte de descarregamento e carregamento/organização das matérias-primas e insumos; operador de mistura de microingredientes; operador e auxiliar do processo de extrusão da soja; supervisor de manutenções dos equipamentos; operador do controlador central da produção de ração (abertura dos silos pulmões de milho moído, soja extrusada, farelo de soja, farelo de trigo e milheto e óleo; gestão do misturador e controle das saídas de rações prontas para os silos de armazenamento temporário) e os colaboradores da equipe de limpeza, além dos motoristas e outros que compõe as equipes de apoio (procedentes de empresas terceirizada que prestam serviços de manutenções como por exemplo: empresa de manutenção da eletricidade, empresa de manutenção da internet, etc).

A recepção das matérias-primas é a primeira etapa, ao chegar na fábrica, os caminhões graneleiros são descarregados prontamente. No momento do descarregamento é realizada inspeção visual e testes de qualidade, além de coletas de amostras para realização de análises. No processo de descarregamento os grãos (milho, soja e milheto) passam pela moega de recebimento para realizar a pré-limpeza, que tem como função a retirada de impurezas e restos de culturas trazidas da lavoura, bem como separar grãos defeituosos, assim como acontece em outras fábricas semelhantes (PACHECO; MOITA NETO; SILVA, 2018).

A pré-limpeza auxilia para o processo de armazenamento dos grãos, segundo Couto, (2008), a etapa de armazenamento tem como função manter os insumos sem a perda das suas características por um determinado período, até que sejam utilizados para a produção de ração. Após a pré-limpeza os grãos são armazenados em silos, estas estruturas podem ser de diversos materiais (metálicos ou de alvenaria por exemplo), além de manter a qualidade e proteção destes ingredientes, os silos são fundamentais para conservar e assegurar uma grande quantidade de grãos para produção de ração.

Em seguida é realizado o processo de moagem que possui a função de reduzir o tamanho dos ingredientes para facilitar o processamento e melhorar a digestibilidade dos nutrientes contidos nos ingredientes (BUTOLO, 2010). Além disso a moagem auxiliar no processo de mistura, pois a qualidade da moagem está diretamente ligada a uniformidade das partículas, e

quanto mais uniforme forem as partículas dos componentes a serem misturados, maior será a chance de obter uma boa mistura (KLEIN, 1999).

A próxima etapa é a pesagem dos ingredientes que compõe a ração, este procedimento requer atenção do colaborador, pois é a etapa em que os ingredientes são dosados de acordo com o previsto em cada formulação (NETO; COSTA NETO; MARTINS, 2013). Em seguida, é realizado o processo de mistura, que envolve a adição de todos ingredientes na proporção adequada, de acordo com cada formulação, esta etapa tem como função homogeneizar os ingredientes da ração de forma eficiente.

A etapa de extrusão da soja ocorre em uma instalação específica anexa setor principal da fábrica onde os grãos de soja passam pela extrusora. A extrusão consiste em um processamento térmico no qual envolve a aplicação de alta temperatura, alta pressão e forças de cisalhamento a uma massa não cozida, como alimentos à base de cereais, com esse processo ocorre uma série de alterações químicas no alimento, incluindo gelatinização das moléculas de amido, ligações cruzadas de proteínas e a geração de sabores (RIHA, *et al.*, 1996; KIM; TAE, 2016). Este processo inicia primeiramente pela extrusão que ocorre após a moagem dos grãos de soja para posteriormente serem dosadas no misturador (PACHECO; MOITA; SILVA, 2018). A expedição é caracterizada como a etapa final de todo processo. Nesta etapa as rações prontas são armazenadas a granel nos silos de expedição, ou em forma de sacarias. O armazenamento da ração pronta nesta etapa é temporário, pois constantemente há um grande fluxo de saída. A próxima e última etapa é o transporte da ração pronta para abastecimentos dos silos no setor de criação de galinhas poedeiras.

3 Resultados

3.1 Resultado da Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida

Após a inserção dos dados no *software* Open LCA foram elaborados os processos baseados nos dados levantados no estudo ou encontrados na base de dados do Ecoinvent 3.7.1. Logo após a determinação dos processos, foi possível a elaboração de um sistema de produto que gera a análise do inventário, no qual está representada na Tabela 3. Os resultados são apresentados de acordo com cada uma das categorias de impacto do método CML (*baseline*).

Tabela 3 – Resultado do Impacto do Ciclo de Vida da produção de ração para galinhas poedeiras

Categoria de impacto	Resultado	Unidade de referência
Depleção de recursos abióticos (minerais)	4,63E+00	kg Sb eq
Depleção de recursos abióticos (combustíveis fósseis)	3,06E+06	MJ
Acidificação	6,21E+03	kg SO ₂ eq
Eutrofização	6,04E+03	kg PO ₄ --- eq
Ecotoxicidade de água doce	2,64E+05	kg 1,4-DB eq
Aquecimento global	1,15E+06	kg CO ₂ eq
Toxicidade humana	3,14E+05	kg 1,4-DB eq
Ecotoxicidade marinha	2,70E+08	kg 1,4-DB eq
Depleção da camada de ozônio	3,15E-02	kg CFC-11 eq
Oxidação fotoquímica	5,76E+02	kg C ₂ H ₄ eq
Ecotoxicidade terrestre	4,07E+03	kg 1,4-DB eq

Fonte: Autor (2022)

Todas as categorias de impacto do método CML (baseline) foram selecionadas para análise. De forma geral, os processos mais impactantes no ciclo de vida global da produção de ração para frango de corte foram produção de soja, milho e descarte de resíduos plásticos, ou seja, são os processos mais influentes no potencial impacto ambiental dessa atividade. Cada categoria de impacto é apresentada detalhadamente, a partir dos resultados da AICV.

- Depleção de recursos abióticos (minerais e combustíveis fósseis)

Na categoria de depleção de recursos abióticos o impacto é medido em Megajoule (MJ), para recursos fósseis, e em kg de antimônio equivalente (kg Sb eq), para os recursos minerais (GOEDKOOOP *et al.*, 2013). Nos resultados encontrados para esta categoria, os processos mais impactantes foram: a mineração (calcário e extração de petróleo) e descarte de plásticos.

Na formulação da ração para as galinhas poedeiras, o elemento calcário é fundamental, pois é fonte de cálcio, e é um dos principais ingredientes que compõe a dieta. De acordo com Scott *et al.* (1982) a utilização do cálcio na ração das galinhas poedeiras possui importância para a formação dos ossos, principalmente, na fase de crescimento, e para formação da casca do ovo na fase de produção. O cálcio pode ser derivado de fontes inorgânicas (rochas) ou orgânicas (farinha de ossos, conchas ou algas), no entanto as fontes inorgânicas, as quais são oriundas de rochas, como calcário e os fosfatos (monocálcico, monobicálcico, bicálcico e tricálcico), sendo mais conhecido o fosfato bicálcico são as fontes mais comumente utilizada na alimentação das aves (principalmente o calcário), isto se deve ao fato de serem mais abundantes e possuírem menores custos (ROSTAGNO *et al.*, 2017; MELO; MOURA, 2009).

A extração do petróleo também contribuiu para impacto na categoria, a atividade é importante para que haja o fornecimento da matéria-prima para a fabricação de combustíveis, os quais são utilizados como formas de energia (energia cinética) para acionar motores de veículos. Essa atividade gera impactos ambientais, além de gerar impactos sociais também, tanto diretamente quanto indiretamente, visto que a atividade se constitui na intervenção do meio ambiente para extração de um recurso natural, com potenciais impactos ambientais (GURGEL *et al.*, 2013). O uso dos combustíveis é imprescindível para atividade, os caminhões e carretas percorrem longas distâncias para trazerem as matérias-primas e para a distribuição do produto pronto nos setores de vendas.

O descarte de plástico também foi relevante para a contribuição do impacto desta categoria, no entanto, foram utilizados dados secundários para composição do AICV. Os resíduos sólidos são destinados ao gerenciamento do município, o processo geralmente utilizado é o aterro sanitário.

▪ Acidificação

Segundo Bolin, Smith (2011), o indicador de impacto da acidificação refere-se aos fatores com potencial relativo de substâncias químicas dispensadas para formação de ácidos na atmosfera, ou seja, esse indicador avalia o potencial de emissões para o ar que sucedem em deposição de chuva ácida na superfície da Terra. Essas deposições atmosféricas de substâncias inorgânicas (como sulfatos, nitratos e fosfatos) causa uma alteração na acidez do solo, denominado de acidificação, entre os quais as principais emissões acidificantes são NO_x , NH_3 e SO_2 (GOEDKOOP *et al.*, 2013).

Importante ressaltar que o potencial de acidificação descreve o destino e a deposição de substâncias acidificantes e é expresso em kg de dióxido de enxofre equivalente (kg SO_2 eq.) (MONTEIRO, 2021). As substâncias acidificantes quando depositadas nos solos causam uma ampla gama de impactos em diversas categorias ambientais, afetando a biodiversidade (águas superficiais, águas subterrâneas, organismos, ecossistemas e outros) (PRÉ CONSULTANTS, 2019).

O descarte de plástico e efluentes gerados no processo de fabricação da ração e a produção do milho são os maiores contribuintes para a categoria de acidificação. Para o estudo foram utilizados dados secundários para o processo de tratamento de resíduos sólidos. Os resíduos são destinados ao gerenciamento de resíduos sólidos do município. O impacto gerado

decorrente do descarte de plástico ocorre principalmente devido a etapa final, o processo comumente utilizado é o aterro sanitário, que contribui para potencial impacto na categoria.

Nos resultados encontrados a produção de milho contribuiu com a acidificação do solo, esse achado corrobora com Prudência da Silva *et al.* (2010), pois além do desmatamento de grandes áreas de terra para plantios, as emissões de compostos de nitrogênio e fósforo nas atividades agrícolas, uso de pesticidas no controle de pragas e herbicidas nas ervas daninhas nas fazendas de produção de milho e soja são as principais causas de impacto ambiental negativo.

Ainda de acordo com Hanacleto; Carvalho; Silva (2016) na produção de milho os processos de acidificação e eutrofização do solo estão diretamente relacionados à presença de compostos de nitrogênio, como: amônia, óxidos de nitrogênio (nitrato, nitrito etc.), presentes em plantações de milho ligada à utilização de fertilizantes para crescimento e desenvolvimento da cultura.

▪ Eutrofização

Schindler *et al.*, (2016) afirma que o aumento da produção agrícola e resíduos de indústrias decorrentes de fabricação de alimentos para a crescente população humana aumentarão os insumos de fósforo, conseqüentemente aumenetando a eutrofização nas próximas décadas, e que decisões sobre a mitigação da eutrofização serão tomadas no contexto de múltiplas ameaças ambientais devido às mudanças climáticas, uso da terra e outros fatores associados.

Os processos mais impactantes foram a geração de efluentes, a produção de milho e o descarte de plásticos. A disposição final de resíduos pode ser considerada como a maior contribuinte com os potenciais impactos nesta categoria em função das emissões de curto e longo prazo, para solo e para os corpos de água, provenientes de efluentes residuais. No entanto, os dados sobre efluentes na fábrica de ração foram dados estimados, utilizados a partir de fontes secundárias, devido a não possibilidade de estimativa destes dados no setor de produção.

Na região a onde foi realizado o estudo a principal fonte de água se constitui de reservatório originada de poço tubular. Os dados para geração de efluentes foram dados secundários. No entanto, é importante ressaltar que a produção das matérias-primas, principalmente dos grão que compõe a dietas das aves contribui para o desmatamento (SILVA *et al.*, 2010). E com o desmatamento de grandes áreas, juntamente com os resíduos devido ao uso de fertilizantes, pesticidas e herbicidas contribuem para contaminação de rios e lagos, além

da lixiviação destes componentes que podem chegar as águas mais profundas nos períodos de chuvas (TONGPOOL *et al.*, 2012; SILVA *et al.*, 2010).

Paula Filho *et al.* (2014) em estudo sobre a emissão de nitrogênio (N) e fósforo (P) para o delta do Rio Parnaíba no Nordeste do Brasil, mostraram que as emissões em áreas destinadas à agricultura representam importante fonte de emissão para os rios, e relata que dentre as culturas mais utilizadas, a soja e o milho possuem de alto a médio percentual da carga de N e P emitidos.

▪ Ecotoxicidade de água doce

A ecotoxicidade está relacionada ao potencial de toxicidade de águas doces de diversas fontes na natureza. Nesta categoria são avaliadas as substâncias tóxicas, que têm seus valores expressos em kg de 1,4-diclorobenzeno equivalente (kg 1,4-DB eq). A ecotoxicidade, reflete o potencial que uma substância possui para causar um efeito danoso a um organismo vivo ou a um ecossistema, como o aquático. O grau de toxicidade é determinado de acordo com a concentração e propriedades da substância química à qual o organismo, ou ambiente, é exposto, além tempo de exposição (COSTA *et al.*, 2008).

No método CML, esses indicadores de categoria referem-se ao impacto nos ecossistemas, como resultado das emissões de substâncias tóxicas no ar, na água e no solo. O potencial de ecotoxicidade é calculado descrevendo o destino, a exposição e os efeitos de substâncias tóxicas, com horizonte temporal infinito (PRÉ CONSULTANTS, 2019).

Para essa categoria os processos mais impactantes neste estudo, foram a geração de efluentes e tratamento de resíduos (papel e plástico). Os dados para efluentes foram coletados a partir de dados secundários, e quanto aos resíduos gerados a partir do processo de produção da ração estão relacionados ao tratamento destes resíduos que ocorre fora da fábrica de ração, estes resíduos são decorrentes das embalagens de insumos utilizados na fábrica. E são destinados para unidade de gerenciamento de resíduos sólidos do município. Em geral as preocupações estão relacionadas, principalmente, aos locais de armazenamento e de disposição final dos resíduos sólidos, já que a destinação inadequada desses resíduos gera poluentes atmosféricos (GOUVEIA, 2012).

▪ Aquecimento global

O potencial de emissões atmosféricas (gases de efeito estufa) nessa categoria que contribuem para o aquecimento global, é expresso em um horizonte temporal de 100 anos, em

kg de Dióxido de Carbono equivalente (kg CO₂ eq). O aquecimento global contribui para as mudanças climáticas que podem ocasionar efeitos adversos na saúde humana, nos ecossistemas e também nos bens materiais. Os fatores de caracterização no método CML são baseados no modelo desenvolvido pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) (PRÉ CONSULTANTS, 2019; IPCC, 2020).

Nas etapas dos processos de fabricação de ração a produção de soja apresentou elevado impacto para a categoria de aquecimento global. Isso pode ser explicado devido à grande quantidade de grãos para fabricação da ração para as galinhas poedeiras. Segundo Zortea *et al.* (2019), a avaliação da intensidade de emissões gases de efeito estufa (GEE) proveniente do plantio de uma determinada cultura é complexa e os resultados podem variar principalmente se as mudanças do uso da terra for contabilizada. Estudos demonstram que a substituição da vegetação natural por um novo cultivo de plantas com finalidades energéticas pode reduzir de forma consistente a fixação de carbono (ZORTEA *et al.*, 2019).

Para construção da AICV atividade de produção de soja considerada no estudo iniciou no portão da fazenda de cultivo de soja, o que contribuiu para o elevado impacto na categoria, principalmente devido a utilização de extensas áreas para cultivos dos grãos e consequentemente modificação no uso da terra. A vegetação natural possui formas de armazenamento de carbono orgânico, esta forma de estocagem pode ser classificada em três grupos: na vegetação (incluindo as raízes), na palhada (incluindo madeira morta) e no solo (AMEZAGA; VON MALTILZ; BOYES, 2010; CHERUBINI, 2010).

Quando há modificação na utilização da terra, esses reservatórios podem ser alterados ao longo do tempo para alcançar um novo estado de equilíbrio, assim, durante a transição para esse novo nível de equilíbrio ocorre uma emissão (ou remoção) líquida de CO₂. Portanto, trata-se de um aspecto importante, em razão das grandes quantidades de carbono na matéria orgânica do solo, considerando que esses reservatórios de carbono são tão grandes que qualquer variação, por mínima que seja, pode representar grande relevância no balanço de GEE (AMEZAGA; VON MALTILZ; BOYES, 2010; CHERUBINI, 2010).

- Toxicidade humana

De acordo com PRÉ Consultants (2019), essa categoria está relacionada aos efeitos de substâncias tóxicas no meio ambiente humano, sendo que os Potenciais de Toxicidade Humana (HTP), são calculados descrevendo o destino, a exposição e os efeitos das substâncias tóxicas.

Para cada substância tóxica, os HTP são expressos como 1,4-diclorobenzeno equivalentes/kg de emissão. O escopo geográfico deste indicador determina o destino de uma substância e pode variar entre a escala local e global.

Os processos mais impactantes foram o tratamento de resíduos (papel e plástico) e geração de efluentes. Os dados coletados para ambos processos foram dados secundários e portanto, o uso destes dados influenciaram no resultado, que pode ser não representativo para o processo de produção na fábrica em estudo, no entanto, a quantidade de embalagem utilizada contribui para o potencial impacto na categoria.

- Ecotoxicidade marinha

A ecotoxicidade marinha refere-se aos impactos de substâncias tóxicas nos ecossistemas marinhos. O Potencial de Ecotoxicidade é calculado descrevendo o destino, a exposição e os efeitos das substâncias tóxicas, com horizonte de tempo infinito. Para esta categoria os fatores de caracterização são expressos como equivalentes de 1,4-diclorobenzeno/kg de emissão. O indicador aplica-se à escala global/continental/regional e local (PRÉ CONSULTANTS, 2019).

A vulnerabilidade do ambiente aquático às substâncias químicas depende de alguns fatores como, das propriedades físicas e químicas dos contaminantes e dos produtos resultantes de sua transformação, da concentração dos contaminantes no ecossistema, da duração e do tipo de descarga dos contaminantes (descarga intermitente ou contínua), dentre outros (COSTA, 2008).

O processo mais impactante para a categoria foi o tratamento de resíduos (papel e plástico). O tratamento de resíduo é realizado fora da fábrica em estudo, no entanto a quantidade de resíduos plásticos contribuem para impacto negativo. Uma forma de redução deste impacto, que é realizada pelo próprio setor da fábrica é a seleção destes materiais, com a finalidade reaproveitamento da maioria das embalagens utilizadas, o que contribui positivamente para o meio ambiente, já os resíduos plásticos não reaproveitados são destinados à coleta do município. A reutilização de embalagens, e reciclagem são recomendadas para minimizar estes efeitos (FAGUNDES; MISSIO, 2019).

- Depleção da camada de ozônio

A intensa emissão de clorofluorcarbonos (CFCs) causa a destruição da camada de ozônio através de um processo catalítico, em que o cloro causa a destruição de milhares de moléculas de ozônio. Por causa da redução do ozônio estratosférico, uma fração maior da

radiação UV-B atinge a superfície da Terra, causando efeitos nocivos sobre a saúde humana e animal, os ecossistemas terrestres e aquáticos, os ciclos bioquímicos e os materiais (PRÉ CONSULTANTS, 2019).

Esta categoria está relacionada à produção em escala global, cujo modelo de caracterização é desenvolvido pela Organização Meteorológica Mundial (WMO) e define o potencial de destruição da camada de ozônio de diferentes gases (kg CFC-11 equivalente/kg emissão), apresentando intervalo de tempo infinito (PRÉ CONSULTANTS, 2019). Para essa categoria, os processos mais impactantes foram a produção de petróleo, o transporte e descarte de plásticos, decorrente da extração de recursos não renováveis e do processo de combustão devido ao uso de derivados do petróleo, tais como óleo diesel.

Problemas ambientais, como as mudanças climáticas e depleção da camada de ozônio estratosférico são globais, estão interligadas a questões de emissões atmosféricas e são temas que estão em constantes pautas governamentais, principalmente, no que se refere a contribuição da indústria de petróleo, na qual se faz necessária a busca por procedimentos e tecnologias que visem minimizar as emissões atmosféricas (GILBERT *et al.*, 2018).

O dióxido de carbono que é o principal composto resultante da combustão completa de combustíveis, é considerado um dos gases de maior importância para o efeito estufa. Não existe, no momento, nenhuma opção de combustível prontamente disponível para gerar economias significativas em poluentes locais e emissões de gases de efeito estufa, em conjunto (GILBERT *et al.*, 2018).

Amaral, Bocalon (2009) declaram que a utilização de petróleo como energia automotiva produz diversas formas de impacto ambiental, iniciando pela extração do combustível fóssil, e que a queima de óleo diesel lança no meio ambiente diversos compostos químicos, como hidrocarbonetos, dióxido de carbono e enxofre. Apesar das ações de redução impostas por diversos países, a preocupação ambiental advém em virtude de o óleo diesel ser o combustível mais utilizado em muitos países no mundo, inclusive no Mercosul (AMARAL, BOCALON, 2009).

- Oxidação fotoquímica

A formação de foto-oxidantes se refere a formação de substâncias reativas (principalmente ozônio) que são prejudiciais à saúde humana e aos ecossistemas e que, também, podem causar danos às plantações. O Potencial Fotoquímico de Criação de Ozônio (POCP) para a emissão de substâncias ao ar é calculado incluindo destino, e expresso em kg

equivalentes de etileno/kg de emissão, com intervalo de tempo de 5 dias e a escala geográfica varia entre a escala local e continental (GOEDKOOOP *et al.*, 2008).

Na natureza o ozônio é produzido em pequenas quantidades, mas a alta produção conduz à emissão de poluentes, que tem efeito adverso na saúde humana e nos ecossistemas (BERKNER; MARSHALL, 1965). Os processos mais impactantes para a categoria foram produção de petróleo, descarte de plásticos e produção de farelo de soja.

De acordo com os resultados encontrados por Ghasempour, Ahmadi (2016) para produzir cada kg de ovos são distribuídos cerca de 2,05g equivalente de C₂ H₄ para o meio ambiente contribuindo para a formação de oxidantes fotoquímicos, sendo que a produção da ração, incluindo a soja, tem a maior participação no valor deste indicador.

O descarte de plásticos causam emissões também para esta categoria, e ocorre devido a disposição final deste material, geralmente pelo processo de aterro sanitário. O processo ocorre fora do estabelecimento, no entanto a quantidade gerada está diretamente relacionada as embalagens utilizadas para a produção de ração.

- Ecotoxicidade terrestre

Esta categoria se refere aos impactos de substâncias tóxicas nos ecossistemas terrestres. O potencial é calculado descrevendo o destino, a exposição e os efeitos das substâncias tóxicas, com horizonte de tempo infinito. Para esta categoria, os fatores de caracterização são expressos como equivalentes de 1,4-diclorobenzeno/kg de emissão. O indicador aplica-se à escala global/continental/regional e local (PRÉ CONSULTANTS, 2019).

Os processos mais impactantes foram a produção de soja e milho e geração de efluentes. Em geral a produção de grãos está relacionada ao uso de agrotóxicos, fertilizantes, além de, extensão territorial devido a novas áreas para cultivo e desmatamento de florestas (HANACLETO; CARVALHO; SILVA, 2016; SILVA *et al.*, 2010).

Os dados de geração de efluentes foram coletados a partir de informações secundárias de relatórios de indústrias do setor, devido a não possibilidade de uma estimativa real do estabelecimento. Assim, a disposição final dos efluentes causam impactos em indústrias do setor de produção, principalmente devido a lixiviação dos nutrientes que podem causar contaminação dessas áreas.

3.2 Resultado da análise de incerteza

Os estudos de ACV requerem transparências nos resultados, já que não existe dados científicos que não é conhecida a incerteza (medida ou estimada). Assim torna-se possível estabelecer comparações entre resultados e descobrir diferenças que são significativas, ou não, e garantir a confiabilidade dos resultados, por meio da análise de incertezas. Em situações em que as incertezas não podem ser medidas, a partir da qualidade dos dados coletados existe a possibilidade de se fazer estimativas (exemplo: o desvio padrão). No entanto é necessário conhecer a origem dos dados e sua aplicabilidade aos sistemas de estudo, dessa forma é possível construir uma Matriz Pedigree (MONTEIRO, 2021).

A função da Matriz Pedigree é atribuir aos dados valores padronizados de incerteza básica, de acordo com a sua qualidade, enquanto a incerteza adicional está incluída o método (CML). É importante salientar que existem casos em que diferentes parâmetros (com incertezas variadas) interagem por meio de uma relação complexa. Nessas situações, a incerteza dos resultados pode ser mais convenientemente encontrada através de uma simulação de Monte Carlo. Os valores aleatórios são determinados através da simulação com os dados de entrada de acordo com a distribuição probabilística informada para cada dado coletado. A técnica utilizada de Monte Carlo é amplamente utilizada para analisar incertezas em diversos produtos como nas áreas de pesquisas e setores industriais (POMPONI; D'AMICO; MONCASTER, 2017). Desse modo o método executado está em sintonia com os mais eficientes procedimentos científicos de determinação de incertezas em tais situações, pois os métodos de simulação de Monte Carlo são de baixa convergência e demandam grande esforço computacional para atingir resultados aceitáveis.

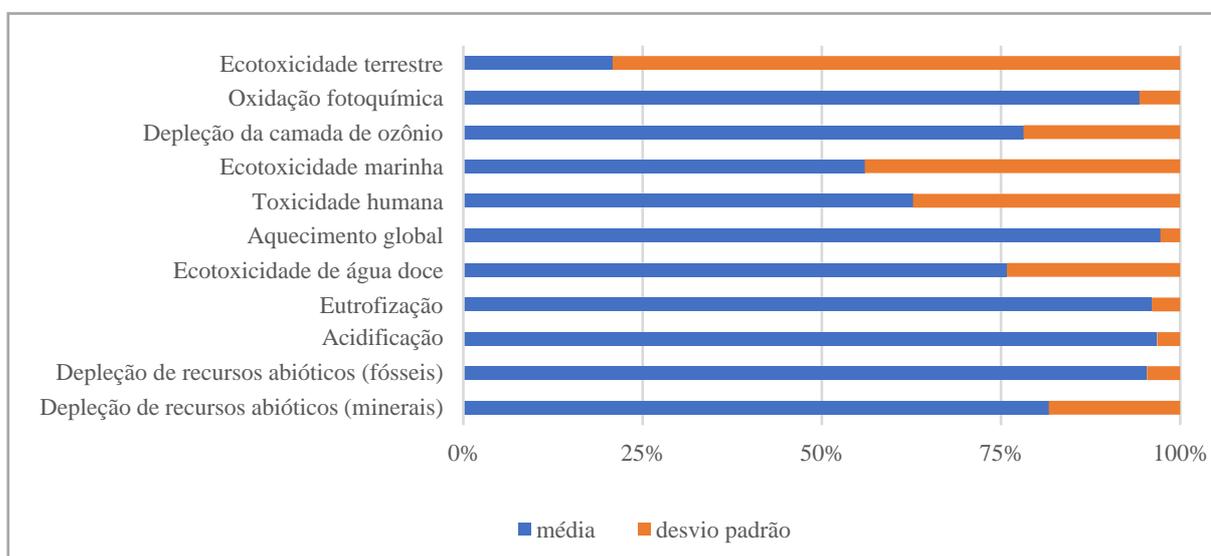
No estudo realizado, a análise foi executada com 1.000 interações, com distribuição log normal e intervalo de confiança de 95% para cada uma das categorias associadas ao método CML. A recomendação é que deve ser utilizada no mínimo, 1.000 interações quando se deseja representar a distribuição de resultados graficamente (GOEDKOOOP *et al.*, 2016). O resultado da média e do desvio padrão da análise de incerteza utilizando a combinação da Matriz Pedigree com a simulação Monte Carlo (1.000 interações e 95% de confiança) está representado na Tabela 4, para cada categoria, com as respectivas unidades de referência e na Figura 3 consta a representação aproximada do desvio padrão em relação à média encontrada na análise. Uma análise comparativa das incertezas, frente aos valores médios de cada categoria de impacto, pode ser obtida pelo desvio padrão relativo ou coeficiente de variação.

Tabela 4 – Resultado da análise de incerteza utilizando a combinação da Matriz Pedigree com a simulação Monte Carlo (1.000 interações e 95% de confiança)

Categoria de impacto	média	desvio padrão	unidade de referência	Coefficiente de variação (%)
Depleção de recursos abióticos (minerais)	5,84E+00	1,31E+00	kg Sb eq	22,43
Depleção de recursos abióticos (fósseis)	3,30E+06	1,60E+05	MJ	4,85
Acidificação	6,42E+03	2,15E+02	kg SO ₂ eq	3,35
Eutrofização	6,26E+03	2,61E+02	kg PO ₄ --- eq	4,17
Ecotoxicidade de água doce	3,67E+05	1,17E+05	kg 1,4-DB eq	31,88
Aquecimento global	1,17E+06	3,36E+04	kg CO ₂ eq	2,87
Toxicidade humana	4,64E+05	2,76E+05	kg 1,4-DB eq	59,48
Ecotoxicidade marinha	4,61E+08	3,62E+08	kg 1,4-DB eq	78,52
Depleção da camada de ozônio	3,97E-02	1,11E-02	kg CFC-11 eq	27,96
Oxidação fotoquímica	5,97E+02	3,60E+01	kg C ₂ H ₄ eq	6,03
Ecotoxicidade terrestre	4,60E+03	1,75E+04	kg 1,4-DB eq	380,43

Fonte: Autor (2022)

Figura 3 – Representação do desvio padrão em relação à média obtida na simulação de Monte Carlo



De acordo com o método utilizado no estudo (CML), os resultados apresentados no gráfico da Figura 3, demonstram que os maiores valores de incerteza analisados foram para ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade marinha e toxicidade humana. Enquanto, que os menores

valores foram para oxidação fotoquímica, eutrofização, acidificação e depleção de recursos abióticos (combustíveis fósseis).

Pode-se concluir que as maiores incertezas foram destacadas nas categorias de ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade marinha e toxicidade humana, nos quais apresentaram alto valor de dispersão, indicados pela variância no desvio padrão. O impacto referente à ecotoxicidade terrestre e marinha se deve, não apenas pelo descarte de plásticos, mas também, devido aos processos que envolvem a produção de grãos, nos quais são utilizados em grande quantidade na avicultura. A preparação de do solo para plantio de soja e milho, novas áreas para expansão da produção, uso de fertilizantes, contribuem diretamente para o aumento de emissões no solo e contaminação das águas.

Os resultados obtidos permitiram analisar que o estudo realizado avaliando o processo produtivo da ração contribuiu gerando dados e subsídios para que outras indústrias possam tornar mais eficiente os processos produtivos dentro e fora do sistema de produto. Além de servir como base para o direcionamento de tomada de decisão na própria indústria em que foi realizado o estudo visando estabelecer melhorias do processo de produção. Para Tongpool *et al.* (2012) melhorias no desempenho ambiental dos alimentos em todos os aspectos ambientais seriam úteis, não apenas para as empresas produtoras de alimentos, mas também para a sustentabilidade em toda cadeia alimentar no mundo.

5 Discussão

Neste estudo os processos mais impactantes no ciclo de vida global da produção de ração para galinhas poedeiras foram produção de soja, milho e descarte de resíduos plásticos, ou seja, são os processos mais influentes no potencial impacto ambiental dessa atividade. Uma das formas de reduzir o impacto das emissões de gases de efeito estufa, que afetam diretamente a categoria de aquecimento global, é através da melhoria no processo de cultivo da soja e da substituição de materiais plásticos como por exemplo adoção de uso de embalagens biodegradável, verificando a possibilidade de acordo com a aplicação pretendida.

Nas formulações em uso para nutrição das galinhas poedeiras no presente estudo, a soja constitui a principal fonte de proteína, sendo um dos ingredientes que possui maior percentual na constituição da ração, após o milho que é o ingrediente que entra em maior proporção total. O resultado encontrado neste estudo apresenta conformidade com Ghasempour e Ahmadi (2016) no qual avaliaram todas as etapas de produção em uma granja, e como resultado o

principal contribuinte para o impacto na categoria de aquecimento global foi a produção de ração para galinhas poedeiras e, entre os componentes da dieta, a soja se destacou em relação aos outros parâmetros avaliados.

O farelo de soja é a fonte de proteína vegetal mais utilizada em formulações de dietas para frangos de corte e galinhas poedeiras, devido à alta qualidade e quantidade de proteína e ao perfil de aminoácidos adequado (VELDKAMP *et al.*, 2012). Mas, o uso massivo de soja esta relacionada a grave preocupações ambientais, já que o aumento do cultivo de soja causa desmatamento, alto consumo de água e utilização de produtos químicos (BIASATO *et al.*, 2018; VELDKAMP *et al.*, 2012).

Uma das principais alternativas pode esta relacionada a substituição da soja e milho, por outros ingredientes que causem menos impacto ambiental. Costantini *et al.* (2021) afirma que o uso de fontes alternativas de proteína para a alimentação animal em grande escala é pouco difundida atualmente e ainda é parcial ou totalmente limitado pelas regulamentações em vigor em muitos países. Entretanto, Tallentire *et al.* (2018) apontam novos ingredientes como microalgas, concentrado de proteína de levedura, farelo de proteína bacteriana, e concentrado de proteína com farelo de inseto.

Estudo aponta a viabilidade de rações derivadas de insetos como uma alternativa útil à soja na nutrição animal, já que no futuro a utilização de ração será mais desafiadora devido à disponibilidade limitada de recursos naturais, mudanças climáticas em curso e a competição alimento-ração-combustível (MAKKAR *et al.*, 2014). Farinha de minhoca também foi indicada como um possível ingrediente capaz de melhorar a sustentabilidade dos sistemas avícolas (KAHN *et al.*, 2018 ; PAROLINI *et al.*, 2020). No entanto, ainda são necessárias mais pesquisas sobre a inclusão desses ingredientes, no qual apresentam boas perspectivas, porém, ainda não possuem características e eficiência (econômica e ambiental) que justifiquem sua difusão em larga escala no mercado de rações, especialmente se considerados em competição com a soja (COSTANTINI *et al.*, 2021).

Nguyen *et al.* (2012), no qual realizaram estudo sobre a avaliação dos impactos ambientais potenciais das fórmulas de rações para aves, afirmam que os impactos ambientais tendem a aumentar com o conteúdo de energia e proteína das fórmulas. Costantini *et al.* (2020) em um estudo realizado sobre a sustentabilidade ambiental em uma produção de ovos orgânicos, avaliando doze categorias de impacto, e obtiveram como resultado que a produção de ração afeta o impacto total na categoria de mudanças climáticas apresentando 72% de contribuição, seguido por emissões relacionadas ao esterco (12%), produção de frangas (11%),

eletricidade (4%) e outros insumos (1%). O impacto geral das mudanças climáticas, expressa em kg CO₂ eq., é causado, principalmente, pelas emissões de CO₂ (58%), seguido de N₂O (34%) e, por último CH₄ (8%), estes gases contribuem de forma relevante para o aumento de gases de efeito estufa (GEE).

O cultivo dos grãos também preocupam quanto ao uso dos fertilizantes e pesticidas agrícolas, que contribuem para impacto nas categorias de ecotoxicidade marinha e terrestre e acidificação. Segundo Costantini *et al.* (2020) a produção de ração é o principal emissor, pois grandes quantidades de CO₂ são emitidas durante as operações de campo mecanizadas e processamento de alimentação, enquanto N₂O e CH₄ são emitidos a partir do armazenamento de fertilizantes orgânicos, manuseio e utilização nos campos. A produção de ração é o principal fator ambiental, sendo o principal impulsionador do impacto para todas as categorias avaliadas com 49% para acidificação terrestre e ecotoxicidade terrestre. Nordborg *et al.* (2017) afirma que embora os pesticidas ofereça benefícios, também têm efeitos negativos.

De acordo com Pacheco, Moita Neto, Silva (2018) o milho foi o maior contribuinte em quinze das dezoito categorias analisadas na produção de ração para frango, apresentando 79-93% de impacto na categoria de ecotoxicidade terrestre. Outro estudo realizado em produção de aves realizado por Abín *et al.* (2018) em uma fazenda espanhola com 55.000 galinhas poedeiras, obtiveram que a alimentação das galinhas apresentou maior impacto ambiental em quase todas as categorias consideradas, e que a alimentação foi responsável por mais de 90% do impacto na ecotoxicidade terrestre e em áreas de transformação natural.

Dessa forma, o impacto ocasionado pela produção de soja e milho está relacionado principalmente as fases de cultivo, pois a alteração da microbiota do solo é recorrente principalmente devido ao uso de fertilizantes agrícolas utilizados para preparações do solo para os plantios. Nesta perspectiva Kunz *et al.* (2011) afirma que estudos relacionados ao impacto ambiental da avicultura nos solos ainda são escassos por falta de sensibilização para a importância destes.

Nas etapas dos processos de fabricação de ração os resíduos plásticos também contribuíram na maioria das categorias de impacto avaliadas. O descarte das embalagens na fábrica é decorrente do uso dos insumos para a fabricação da ração, a quantidade de embalagens varia de acordo com a quantidade de produtos utilizados em cada fase, no geral, as embalagens são reaproveitadas ou descartadas de acordo com a utilidade, sendo que as embalagens descartadas são decorrentes de embalagens dos aminoácidos, premix, adsorvente, entre outros. As embalagens reaproveitadas são decorrentes dos sacos de farelo de soja, farelo de trigo,

calcário, e farinha de carne e ossos, as quais são utilizadas pela própria empresa em outro setor de produção. As embalagens não reaproveitadas são destinadas para unidade de gerenciamento de resíduos sólidos do município.

No Brasil a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, a ABRELPE é a representante oficial no país da ISWA – International Solid Waste Association, a principal entidade mundial dedicada às questões relacionadas aos resíduos sólidos. Segundo a ABRELPE, ainda há deficiências na gestão de resíduos sólidos dos municípios. A disposição final dos resíduos sólidos gera preocupação, pois a destinação inadequada desses resíduos propicia emissão de partículas e outros poluentes atmosféricos que podem ser gerados, diretamente pela queima de lixo ao ar livre, assim os impactos dessa degradação estendem-se para além das áreas de disposição final dos resíduos, afetando toda a população (GOUVEIA, 2012).

Em busca de melhorias na gestão de resíduos sólidos, o Governo brasileiro, no final de 2009, assumiu o compromisso nacional voluntário de implementar ações de mitigação, com vistas à redução das emissões nacionais na faixa de 36,1% a 38,9%, em relação à sua projeção para 2020. Este compromisso foi consolidado na Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que instituiu a Política Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC), sendo que no final de 2010, o Decreto nº 7.390, de 9 de dezembro, regulamentou a PNMC (ABRELPE, 2018).

A mineração contribuiu para impacto na categoria de depleção de recursos naturais, e ocorreu principalmente devido a utilização do calcário e de combustíveis fósseis. Em geral, a forma de obtenção do calcário é através da extração das rochas de calcário (proveniente de pedreiras ou depósitos), podendo alcançar grandes extensões e espessura, estes depósitos podem atingir até centenas de metros, e pode levar ao esgotamento desse recurso, uma vez que são recursos não renováveis e não podem, de nenhuma forma, ser repostos na natureza (SILVA, 2009). Embora as fontes inorgânicas sejam mais utilizadas para inclusão na alimentação animal, as buscas de novas alternativas com origem orgânicas devem ser consideradas como uma oportunidade para ser explorada, devido a maior biodisponibilidade destas fontes (MELO; MOURA, 2009).

Em relação ao impacto do transporte, a etapa de extração do petróleo é a atividade que gera maior impacto ambiental, além de gerar também impactos sociais, tanto diretamente quanto indiretamente, visto que a atividade se constitui na intervenção do meio ambiente para extração de um recurso natural, com potenciais impactos ambientais, um dos principais impactos ambientais é a água contaminada decorrente deste processo, e ocorre ao tentar

manterem-se condições adequadas de pressão na rocha-reservatório para a migração do petróleo (GURGEL *et al.*, 2013).

O uso de combustíveis, principalmente os diesel utilizados para o transporte de matérias-primas, como para carregamento de grãos de soja, milho e milheto, envolve a queima de combustíveis fósseis, uma vez que os caminhões são movidos à diesel (MONTEIRO, 2021). Para chegar até a fábrica de ração os caminhões são carregados com grãos nas fazendas de produção, com a distância média de 488 km para o transporte do milho, e média de 600 km para soja. É importante considerar que a região produtora de grãos está localizada no próprio estado, onde foi realizado o estudo.

Para Pacheco, Moita Neto, Silva (2018) estudos de ACV são considerados os impactos negativos associados ao transporte dos grãos até o portão da fábrica, assegurando que quanto maior a distância, maior o consumo de diesel dos caminhões que transportam os grãos e, portanto, maior a quantidade de CO₂ na atmosfera, além de interferir na qualidade da água e do solo e na biodiversidade.

Outros processos que também contribuíram nas demais categorias foram os resíduos de efluentes. Os efluentes gerados na fábrica de ração são aqueles devido ao uso para desinfecção de veículos, para higienização pessoal, e de algumas atividades de limpeza para lavagem de equipamentos e limpeza de instalações, no entanto, a maior parte da limpeza é realizada a seco, sem utilização de água. Os resultados que apontam para este processo, está relacionado ao uso de dados estimados coletados a partir de banco de dados secundários, que contribuíram para impacto nas diversas categorias. Dessa forma, faz-se necessários novos estudos com a utilização de dados primários para o setor de produção de alimentos para aves.

No que está relacionado a análise de incerteza do estudo, é possível concluir que ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade marinha e toxicidade humana apresentaram alto coeficiente de variação. O uso de alguns dados secundários não regionalizados (brasileiros) e estimados, como por exemplo a geração de efluentes, pode ser uma das razões para a incerteza nessas categorias, reforçando a necessidade de aprofundar a construção de base de dados primários, com maior qualidade, para reduzir as incertezas.

As categorias que apresentaram resultados mais precisos na análise de incerteza foram aquecimento global e acidificação, uma das explicações é devido a utilização de dados primários para os processos que causam impacto nas categorias citadas, os processos que mais destacaram foram a produção de soja, produção de milho, descarte de plásticos, os quais são dados primários coletados a partir de arquivos do setor da fábrica de ração.

Devido a falta de estudos na mesma perspectiva dessa pesquisa, torna inviável a comparação entre resultados. Costantini *et al.*, (2021) não recomenda fazer comparações acríticas entre os resultados de diferentes estudos de ACV, pois alega que além da variabilidade e incerteza relacionadas aos próprios dados da atividade, algumas escolhas metodológicas podem ter influência significativa.

Embora a substituição da soja seja difícil devido a própria disponibilidade dos ingredientes alternativos, devido estes ainda não possuírem eficiência comprovada da viabilidade econômica e ambiental que fundamentem sua difusão em larga escala no mercado de rações, no presente estudo é possível apontar o potencial do setor da fábrica de ração para contribuir com outras melhorias relacionada ao processo produtivo, realizando a gestão adequada dos resíduos e buscando alternativas de produtos que utilizem embalagens biodegradáveis com a finalidade de contribuir para a sustentabilidade ambiental.

6 Conclusão

Ao utilizar a metodologia ACV foi possível identificar os potenciais impactos ambientais negativos gerados no processo de produção de ração para galinhas poedeiras. Os processos mais impactantes no ciclo de vida global da produção de ração foram a produção de soja, milho e descarte de resíduos plásticos, ou seja, são os processos mais influentes no potencial impacto ambiental dessa atividade. Estes processos contribuíram em todas as categorias avaliadas e indicam que as emissões geradas para a produção de ração causam impactos ambientais.

Portanto assume-se que a produção de milho e soja são responsáveis por causar impacto ambientais nas diversas categorias avaliadas, entre os quais se dá principalmente devido o uso de fertilizantes, pesticidas e herbicidas utilizados na produção dos grãos. Além dos grãos, faz-se necessário a manutenção da gestão de materiais (resíduos sólidos) gerados através do processo de fabricação da ração, já que estes processos também contribuíram para impacto ambiental.

Não foram encontrados estudos de ACV que abordam a produção de ração para galinhas poedeiras com a mesma perspectiva deste estudo e de acordo com o método utilizado, tornando, assim difícil realizar possíveis comparações. Evidenciando que é preciso pesquisas na área para maior conhecimento dos impactos ambientais na produção de ração.

A ACV se mostra uma metodologia eficaz para utilização em indústrias do setor agropecuário. Esta pesquisa contribui com estudos de ACV aplicados a produção de ração para alimentação de aves no Brasil e em outros países, gerando assim subsídios para que as indústrias melhorem cada vez mais os processos produtivos dentro e fora do sistema de produto.

7 Referências

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14044 :2009: **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações.** [s.l: s.n.].

_____. NBR ISO 14040:2014. **Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura.** Versão corrigida. Rio de Janeiro, 2014.

_____. NBR ISO 14044:2014 **Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e orientações.** Versão corrigida. Rio de Janeiro, 2014a.

ABPA – Associação Brasileira de Proteína Animal (2021). **Relatório Anual**, p. 44-49, 2021.

ABRELPE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Atlas Brasileiro de Emissões de GEE e Potencial Energético na Destinação de Resíduos Sólidos.** São Paulo-SP, p. 172, 2018.

ACERO, A. P.; RODRIGUEZ, C.; CIROTH, A. LCIA methods: Impact assessment methods in life cycle assessment and their impact categories. Version 1.5.6. **Green Delta**, n. 23, p. 1–23, 2016.

AMARAL, F. B.; BOCALON, V.; L.; S. Emprego de óleo vegetal puro como substituto de combustíveis derivados de petróleo em motores agrícolas dos associados da Cooperfronteira, Santa Catarina, Brasil: um estudo de caso. **Visão Global**, Joaçaba, v. 12, n. 2, p. 175-196, 2009.

AMEZAGA, J. M.; VON MALTITZ, G.; BOYES, S. Assessing the Sustainability of Bioenergy Projects in Developing Countries: A framework for policy evaluation. **Newcastle University**, p. 179, 2010.

BARE, J. C. Traci. *J. Ind. Ecol.* v. 6, p. 49 – 78, 2002.

BERKNER, L.; MARSHALL, L. N. A. S. Symposium on the evolution of the earth's atmosphere: history of major atmospheric components. **Proceedings of the National Academy of Sciences.** United States of América, v. 53, p. 1215, 1965. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC219811/>. Acesso em 06 de dezembro de 2021.

BOLIM, C. A.; SMITH, S. T. Life cycle assessment of pentachlorophenol-treated wooden utility poles with comparisons to steel and concrete utility poles. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, p. 2475–2486, 2011.

BUTOLO, J. E. **Qualidade dos ingredientes na alimentação animal**. Campinas: Colégio Brasileiro de Nutrição Animal (CBNA), v 2, 2010.

CAMPOS, I.; VALENTE, L. M. P.; MATOS, E.; MARQUES, P.; FREIRE, F. Life-cycle assessment of animal feed ingredients: Poultry fat, poultry by-product meal and hydrolyzed feather meal. **Journal of Cleaner Production**, v. 252, p. 119845, 2020.

CAPPELAERE, L. GRANDMAISON, J. L. C.; MARTIN, N.; LAMBERT, W. Amino Acid Supplementation to Reduce Environmental Impacts of Broiler and Pig Production: A Review. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 8, p. 1-14, 2021.

CHERUBINI, F. GHG balances of bioenergy systems – Overview of key steps in the production chain and methodological concerns. **Renewable Energy**, v. 35 p. 1565-1573, 2010.

COSTA, C. R.; OLIVI, P.; BOTTA, C. M. R.; ESPINDOLA, E. L. G. A toxicidade em ambientes aquáticos: Discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, v. 31, n. 7, p. 1820-1830, 2008.

COSTANTINI, M.; LOVARELLI, D.; ORSI, L.; GANZAROLI, A.; FERRANTE, V.; FEBO, P.; GUARINO, M.; BACENETTI, J. Investigating on the environmental sustainability of animal products: The case of organic eggs. **Journal of Cleaner Production**, v. 274, p. 123046, 2020.

COUTO, H. P. **Fabricação de rações e suplementos para animais: gerenciamento e tecnologias**. Viçosa: Aprenda Fácil, p. 263, 2008.

DOURMAD, J. Y.; RYSCHAWY, J.; TROUSSON, T.; BONNEAU, M.; GONZÁLEZ, J.; HOUWERS, H.; HVIID, M.; BZIMMER, C.; NGUYEN, T. L. T.; MORGENSEN, L. Avaliação dos impactos ambientais de contrastar os sistemas de suinocultura com a avaliação do ciclo de vida. **Animal**. v.8, n. 12, p. 2027-2037, 2014.

ECOINVENT. New Data in Ecoinvent 3.7.1. 2021. Disponível em: <https://www.ecoinvent.org/database/ecoinvent-37/new-data-in-ecoinvent-37/new-data-in-ecoinvent-37.html>. Acesso em 03 de dezembro, 2021.

FAGUNDES, L. M.; MISSIO, E. Resíduos plásticos nos oceanos: ameaça à fauna marinha. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 3, p. 2396-2401, 2019.

FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations). **FAO Online Statistical Database**, 2020. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 01 de junho de 2021.

GERBER, P. J.; STEINFELD, H.; HENDERSON, B.; MOTTET, A.; OPIO, C.; DIJKMAN, J.; FALCUCCI, A.; TEMPIO, G. Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. Rome: **United Nations Food and Agriculture Organization (FAO)**, p. 1- 139, 2013.

GHASEMPOUR, A.; AHMADI, E. Assessment of environment impacts of egg production chain using life cycle assessment. **Journal of Environmental Management**, v. 183, p. 980-987, 2016.

GILBERT, P.; WALSH, C.; TRAUT, M.; KESIEME, U.; PAZOUKI, K.; MURPHY, A. Assessment of full life-cycle air emissions of alternative shipping fuels. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 855-866, 2018.

GOEDKOOP, M.; HEIJUNGS, R.; HUIJBREGTS, M.; DE SCHRYVER, A.; STRUIJS, J.; ZELM, R. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. **ReCiPe 2008**. 2013. Disponível em: https://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/publications/recipe_characterisation.pdf. Acesso em 25 novembro, 2021.

GOEDKOOP, M.; OELE, M.; LEIJTING, J.; PONSIOEN, T.; MEIJE, L. **Introduction to LCA with SimaPro**. 2016. Disponível em: <https://www.pre-sustainability.com/download/SimaPro8IntroductionToLCA.pdf>. Acesso em 01 dezembro, 2021.

GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência e Saúde Coletiva**, v.17, n. 6, p. 1503-1510, 2012.

GREGORY, J. R.; MONTALBO, T. M.; KIRCHAIN, R. E. Analyzing uncertainty in a comparative life cycle assessment of hand drying systems. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 8, p. 1605-1617, 2013.

GURGEL, C. A. V. et al. Impactos De Extração Do Petróleo (Óleo E Gás) No Rio Grande Do Norte, Na Região Do Alto Do Rodrigues/RN. **Holos**, v. 3, p. 130, 2013.

HANACLETO, N.; CARVALHO, G. A.; SILVA, B. A. H. Análise dos impactos do cultivo do milho por meio da Análise do Ciclo de Vida (ACV). **Universidade Estadual de Maringá (UEM) - Simpósio de Engenharia de Produção**, 2016.

IPCC- The Intergovernmental Panel on Climate Change. **Documentation**. 2020. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/documentation/>. Acesso em 01 jan 2022.

KIM, T. H.; TAE, S. H. Proposal of environmental impact assessment method for concrete in South Korea: An application in LCA (life cycle assessment). **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 13, n. 11, 2016.

KLEIN, A. A. Pontos críticos do controle de qualidade em fábricas de ração — uma abordagem prática. **I Simpósio Internacional ACAV - EMBRAPA sobre Nutrição de aves**, p. 1-21, 1999.

KUNZ, A.; VIOLA E. S.; LIMA, G. J. M. M.; MAZZUCO, H.; CORRÊA, J. C.; PALHARES, J. C. P.; AUGUSTO, K. V. Z.; MIELE, M.; VIOLA, T. H.; AVILA, V. S.; SILVA, V. S. Manejo Ambiental na Avicultura. **Embrapa Suínos e Aves**, Concórdia-SC, p. 221, 2011.

MELO T.V.; MOURA, A. M. A. Utilização da farinha de algas calcáreas na alimentação animal. **Archivos de Zootecnia**, v. 58, p. 99 – 107, 2009.

MENDES, N. C.; BUENO, C.; OMETTO, A. R. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos. **Production**, v. 26, n. 1, p. 160-175, 2016.

MONTEIRO, N. B. R. Gestão do ciclo de vida: bases para a aplicação da economia circular em indústrias de concreto da construção civil. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal do Piauí, Teresina -PI, p. 245, 2021.

NETO, F. B. O.; COSTA-NETO, J. C.; MARTINS, R. M. **Fábrica de Rações: Processo de dosagem, mistura e peletização**. Revista Novo Tempo, 2013.

NGUYEN, T. T. H.; BOUVAREL, I.; PONCHANT, P.; VAN DER WERF, H. M. G. Using environmental constraints to formulate low-impact poultry feeds. **Journal of Cleaner Production**, v. 28, p. 215-224, 2012.

NORDBORG, M.; DAVIS, J.; CEDERBERG, C.; WOODHOUSE, A. Freshwater ecotoxicity impacts from pesticide use in animal and vegetable foods produced in Sweden. **Science of the Total Environment**, v. 581–582 p. 448-459, 2017.

OPEN LCA. **Data**. 2020. Disponível em: <https://www.openlca.org/lca-data/>. Acesso em 07 mar 2020.

PACHECO, J. C. Impactos ambientais na produção de ração para frango de corte em uma cooperativa de avicultores piauiense. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) Universidade Federal do Piauí, Teresina - PI, p. 133, 2017.

PACHECO, J. C.; MOITA NETO, J. M.; SILVA, E. A. Environmental performance of feed production for broiler in Piauí state, Brazil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 4, p. 707-716, 2018.

PAULA FILHO, F. J.; LACERDA, L. D.; MARINS, R. V.; AGUIAR, J. E.; PERES, T. F. Background values for evaluation of heavy metal contamination in sediments in the Parnaíba River Delta estuary, NE/Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.08.022>.

POMPONI, F.; D'AMICO, B.; MONCASTER, A. M. A method to facilitate uncertainty analysis in LCAs of buildings. **Energies**, v. 10, n. 4, 2017.

PRÉ CONSULTANTS. **SimaPro Database Manual**. Methods library. Version 4.14.2. p. 75, 2019.

RIHA, W. E.; HWANG C.; KARWE, M. V.; HARTMAN, T. G.; HO, C. Effect of Cysteine Addition on the Volatiles of Extruded Wheat Flour. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 44, n. 7, 1996.

ROSTAGNO, H. S. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. Viçosa, MG: UFV, DZO, 4. ed. p. 237 – 251, 2017.

SCOTT, M. L.; NESHEIM, M. C.; YOUNG, R. J. Essential inorganic elements - nutrition of the chicken. New York: **M.L Scott Associates**, v. 3, p. 287-304, 1982.

SILVA, J. O. Produto RT 55, Perfil do calcário agrícola. Ministério de Minas e Energia. J. Mendo Consultoria, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, **Banco Mundial**: Projeto Estal. Setembro, 2009.

SILVA, V. P.; VAN DER WERF, H. M. G.; SOARES, S. R.; CORSON, M. S. Environmental impacts of French and Brazilian broiler chicken production scenarios: an LCA approach. **Journal of Environmental Management**, v. 133, p. 222-231, 2014.

STEUBING, B.; WERNET, G.; REINHARD, J.; BAUER, C.; MORENO-RUIZ, E. The Ecoinvent database version 3 (part II): analyzing LCA results and comparison to version 2. **International Journal of Life Cycle Assessment**. v. 21, p. 1269-1281, 2016.

TONGPOOL, R. PHANICHAVALIT, N.; CHANTANA YUVANIYAMA, C.; MUNGCHAROEN, T. Improvement of the environmental performance of broiler feeds: A study via life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 35, p. 16-24, 2012.

UNEP - United Nations Environment Programme e Danish Environmental Protection Agency. **Cleaner Production Assessment in Meat Processing**. Dinamarca, p. 83, 2000.

WEIDEMA, B. P.; BAUER, C.; HISCHIER R, MUTEL C, NEMECEK T, REINHARD J, VADENBO C O, WERNET G. Overview and methodology: Data quality guideline for the Ecoinvent database version 3 **Ecoinvent Report**, v. 3, n. 1, p. 169, 2013.

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

ZORTEA, R. B.; MACIEL, V. G. ; MENEZES, W.; CYBIS, L. F. A.; SEFERIN, M. Calculation of CO₂ emission derived from land-use change from soybean production at Rio Grande do Sul state, Brazil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 4, p. 727-735, 2019.

CAPÍTULO 3: Avaliação do Ciclo de Vida da Produção de Ovos
Revista Anais da Academia Brasileira de Ciências

Avaliação do Ciclo de Vida da Produção de Ovos

Donária Miranda de Sousa¹, Nathalie Barbosa Reis Monteiro², Leilane Rocha Barros Dourado¹

¹Universidade Federal do Piauí – UFPI

²Universidade Presbiteriana Mackenzie – UPM

Resumo

A produção de ovos é uma das principais atividades da pecuária em todo o mundo, o setor é um importante contribuinte para o fornecimento desse alimento. Neste estudo objetivou-se realizar a ACV da produção de ovos comerciais em uma granja situada no Centro-Norte Piauiense, para identificar os principais processos que contribuem para o impacto ambiental nas categorias avaliadas. A coleta de dados conteve fontes primárias e dados secundários do banco de dados do Ecoinvent 3.7.1. A fronteira do sistema analisado foi do berço ao portão da atividade industrial, acrescido, a jusante, o transporte do produto até o consumidor final. Os processos mais impactantes no ciclo de vida global da produção de ovos foram o descarte de resíduos plásticos, a geração de efluentes, e a produção de ração. Estes processos contribuíram em todas as categorias avaliadas, exceto a categoria de depleção da camada de ozônio, e indicam que as emissões geradas para a produção de ovos causam impactos ambientais. A disposição final dos resíduos apresentou como uma das fontes que mais geraram impacto negativo para as categorias, principalmente o descarte de plásticos. Na granja são adotados os procedimentos de coleta seletiva para o lixo, com o fluxo de saída destes materiais para a reciclagem reduz o impacto gerado através destes processos, assim, é possível ressaltar a importância do gerenciamento destes resíduos na granja. A produção de ração, também contribuiu gerando impacto para a atividade, e está relacionada principalmente ao cultivo e transporte dos grãos, estes processos liberam emissões gerando impactos ambientais. Este trabalho contribui com estudos de ACV aplicados a produção de ovos no Brasil e no mundo, fornecendo informações relevantes sobre os potenciais impactos gerados pela atividade, além de gerar subsídios para que os setores de produção de ovos melhorem ainda mais os seus processos produtivos e reduza os impactos ambientais negativos.

Palavras-chave: sustentabilidade; impactos; produção de alimento; gestão.

Life Cycle Assessment of Egg Production

Donária Miranda de Sousa¹, Nathalie Barbosa Reis Monteiro², Leilane Rocha Barros Dourado¹

¹Universidade Federal do Piauí – UFPI

²Universidade Presbiteriana Mackenzie – UPM

Abstract

Egg production is one of the main livestock activities around the world, the sector is an important contributor to the supply of this food. This study aimed to carry out the LCA of commercial egg production in a farm located in the Center-North Piauiense, to identify the main processes that contribute to the environmental impact in the evaluated categories. The data collection contained primary sources and secondary data from the Ecoinvent 3.7.1 database. The frontier of the analyzed system was from the cradle to the gate of the industrial activity, plus, downstream, the transport of the product to the final consumer. The most impacting processes in the global life cycle of egg production were the disposal of plastic waste, the generation of effluents, and the production of feed. These processes contributed in all the categories evaluated, except the ozone layer depletion category, and indicate that the emissions generated for the production of eggs cause environmental impacts. The final disposal of waste presented as one of the sources that generated the most negative impact for the categories, especially the disposal of plastics. At the farm, selective collection procedures for garbage are adopted, with the outflow of these materials for recycling, it reduces the impact generated through these processes, thus, it is possible to emphasize the importance of managing these wastes on the farm. Feed production also contributed to generating an impact on the activity, and is mainly related to the cultivation and transport of grains, these processes release emissions generating environmental impacts. This work contributes to LCA studies applied to egg production in Brazil and in the world, providing relevant information on the potential impacts generated by the activity, in addition to generating subsidies for egg production sectors to further improve their production processes and reduce negative environmental impacts.

Keywords: sustainability; impacts; food production; management.

1 Introdução

A produção mundial de alimentos tem sido questionada diante de diferentes cenários, principalmente referente ao futuro da população humana, já que os dados demonstram uma estimativa crescente da população, e as preocupações com a insegurança alimentar e a sustentabilidade ambiental desafiam os setores de abastecimento de alimentos, incluindo a agricultura e pecuária. Estas preocupações surgem devido as tendências em produzir cada vez mais, e de forma sustentável, respeitando o meio ambiente, além de adoção de políticas robustas voltadas para a economia e para o desenvolvimento do setor agrícola (FAO, 2018).

Com o aumento da população, da renda e da urbanização, aumenta também a demanda por alimentos, com preferência os que são mais rentáveis e processados (FAO, 2018). Dessa forma, os agricultores enfrentam grandes desafios com as demandas para aumentar a produção de alimento, e reduzir o impacto ecológico em seus sistemas de produção intensivas (DARNHOFER *et al.*, 2016).

Os produtos de origem animal são contribuintes para efeitos ambientais adversos e contribuem para o declínio da biodiversidade, interferindo no uso do solo, da água e dos demais recursos ambientais (GONZÁLEZ-GARCÍA *et al.*, 2014; POORE, NEMECEK 2018; CRENNNA; SINKKO; SALA, 2019). Com uma população crescente, há uma grande necessidade para produzir mais alimentos, porém com maior exigências para reduzir os impactos ambientais na produção animal.

A avicultura desempenha uma das mais importantes atividades das cadeias produtivas de produtos de origem animal, o setor está em crescente avanço na produção de alimento, e está fortemente ligado aos usos dos recursos ambientais (GONZÁLEZ-GARCÍA *et al.*, 2014; COSTANTINI *et al.*, 2020). A produção de ovos é uma das principais atividade da pecuária em todo o mundo, a produção mundial de ovos em 2020 ultrapassou 86 milhões de toneladas métricas (PELLETIER, IBARBURU, XIN, 2013; FAOSTAT, 2020). A produção brasileira em 2022 ultrapassou os 54 bilhões de unidades de ovos, e o consumo de ovos também elevou, chegando a 257 unidade de ovos por habitante (ABPA, 2022).

Os ovos estão presentes na mesa dos consumidores e são considerados como uma fonte primária de proteína animal em países desenvolvidos e em desenvolvimento (MENCH, SUMNER, ROSEN-MOLINA, 2011). No entanto, as preocupações com a sustentabilidade ambiental vêm aumentando cada vez mais, e tem sido discutido amplamente nos diversos países produtores de ovos juntamente com outros temas relevantes como por exemplo o bem-estar das

aves. Segundo Mench, Sumner, Rosen-Molina (2011), a sustentabilidade é um tema complexo, e ainda não existe uma definição consensual do que constitui um sistema agrícola sustentável para a produção animal, entretanto incluem temas sobre a economia, efeitos ambientais, saúde, segurança humana e bem-estar animal, além dos valores sociais, assim no futuro qualquer aspecto relacionado à sustentabilidade terá que ser levado em consideração no desenvolvimento de sistemas de criação de galinhas poedeiras.

Faz-se cada vez mais necessária a identificação dos impactos ambientais gerados pelas atividades de produção de ovos, devido a importância do consumo deste alimento para a população humana, e por ser considerada uma importante atividade para a economia no Brasil e no mundo, visando contribuir com melhorias futuras para a sustentabilidade ambiental do produto. O uso de metodologias aliadas as tecnologias é uma oportunidade para o direcionamento de tomadas de decisão, frente a essa perspectiva, o uso a Avaliação do Ciclo de Vida – ACV, tem sido uma metodologia eficaz, utilizada em pesquisas por diferentes autores como: Costantini *et al.* (2020); Ershadi *et al.* (2021); Pelletier (2017, 2018); Abín *et al.* (2018); Dekker *et al.* (2011, 2013); Leinonen *et al.* 2012) e Pelletier; Ibarburu; Xin (2013, 2014).

A ACV é caracterizada como uma das metodologias que possibilita a identificação e mensuração dos potenciais impactos ambientais associados a produtos, processos e serviços, ao longo do seu ciclo de vida. Envolve a compilação e avaliação das entradas, e saídas dos potenciais impactos ambientais, sendo que os impactos são avaliados desde a aquisição da matéria-prima, passando pela produção, pelo uso e pela disposição final (ABNT, 2014). Portanto, este estudo objetiva realizar a ACV da produção de ovos comerciais em uma granja situada no Centro-Norte Piauiense, para identificar os principais processos que contribuem para o impacto ambiental nas categorias avaliadas.

2 Metodologia

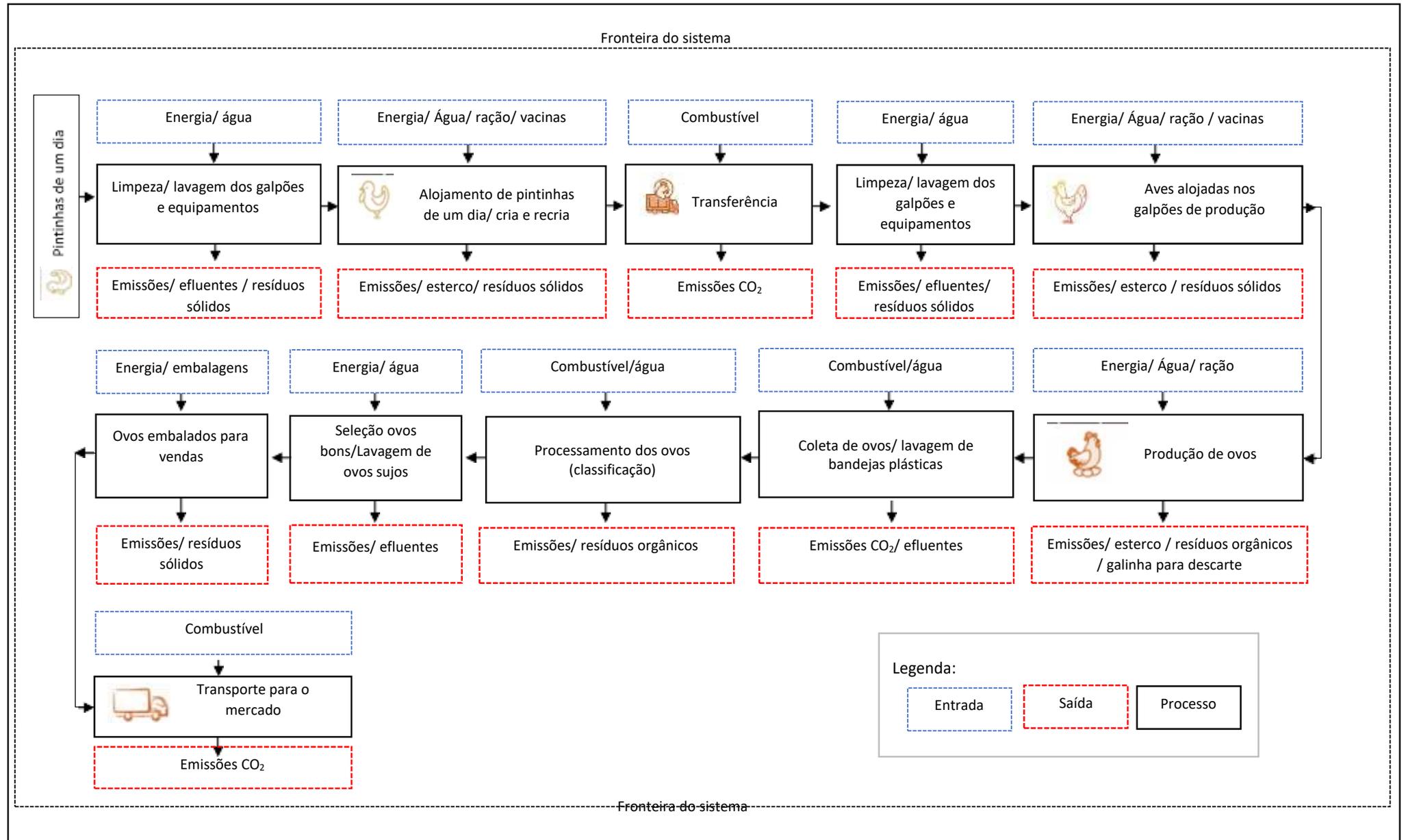
A produção de ovos comerciais envolve uma dinâmica de atividades e processos, os quais se destacam: o fornecimento de ração, fornecimento de energia elétrica para funcionamento dos maquinários e iluminação, fornecimento de água para o consumo das aves e para limpeza das instalações, embalagens, e alojamento de aves de um dia. Para obtenção das informações do sistema de produção do estudo foram realizadas visitas à granja de galinhas poedeiras comerciais para acompanhar as etapas de produção dos ovos, e para realizar a coleta dos dados por meio de entrevista com o gerente da unidade de produção.

2.1 Definição do objetivo, escopo e unidade funcional

Este estudo objetiva realizar a ACV da produção de ovos comerciais em uma granja situada no Centro-Norte Piauiense, para identificar os principais processos que contribuem para o impacto ambiental nas categorias avaliadas, cujo público alvo são as granjas produtoras de ovos, empresas produtoras de insumos para produção animal, os consumidores, bem como a comunidade científica. Quanto a finalidade da produção de ovos é atender o mercado consumidor, com distribuição para comércios regionais e interestaduais, afim de atender as demandas da empresa.

A unidade funcional adotada é igual ao fluxo de referência, ou seja, a produção média mensal da granja de 6.258.610 ovos. Em em estudo realizado por Abin *et al.*, (2018) também foi adotado fluxo de referência igual a unidade funcional. Quanto a cobertura temporal dos dados, este estudo teve como referência o ano de 2020, no que se refere a cobertura geográfica a indústria de produção de ovos fica situada no centro Norte do estado do Piauí, Nordeste do Brasil. Em relação a cobertura tecnológica foi considerado o processo produtivo comumente utilizado em indústrias de produção de ovos com sistema de criação de galinha em gaiolas convencionais e em piso, assim como a estrutura e instalações usadas nessas criações, além da produção de ração e dos insumos (LEINONEN, 2012; PELLETIER, 2017; ABIN *et al.*, 2018). As etapas verificadas no estudo foram: limpeza e lavagem dos galpões e equipamentos (pinteiros); alojamento de pintinhas, etapas de cria e recria, transferência, limpeza e lavagem dos galpões e equipamentos (galpões de produção); criação de galinhas em produção, produção de ovos, coleta de ovos e lavagem de bandejas plásticas, processamento dos ovos (classificação), seleção de ovos bons e lavagem de ovos sujos, ovos embalados para vendas e transporte para o mercado. O fluxograma do processo de produção de ovos com as entradas e saídas é apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Representação esquemática do fluxograma com as entradas e saídas do processo de produção dos ovos



A coleta de dados conteve fontes primárias e dados secundários do banco de dados do Ecoinvent 3.7.1. Dessa forma, foi elaborado um questionário (Apêndice 2), contemplando todas as informações necessárias para a construção do Inventário do Ciclo de Vida (ICV), o qual visa identificar todas as entradas e saídas do processo produtivo. Para a composição dos dados primários foram coletadas informações sobre: quantidade de funcionários, aves do plantel, galinhas para descarte, embalagens, consumo de energia, ovos produzidos, efluentes, consumo de água, resíduos sólidos, resíduos orgânicos, água para limpeza e lavagem de equipamentos e instalações, quantidade, capacidade e distância percorrida pelos caminhões e descrição de máquinas e equipamentos. Os dados secundários foram obtidos com base na literatura científica e em relatórios especializados do setor.

A geração de efluentes foi estimada com base no documento da *United Nations Environment Programme* (UNEP) (2000), que considera que 80% da água utilizada em processos industriais como frigoríficos, abatedouros, granjas, é descartada como efluente. Nesse tipo de agroindústria há um grande consumo de água em seu processo industrial, sobretudo nas operações de lavagem de máquinas e equipamentos, bem como no pátio onde ficam os animais, resultando em um elevado volume de efluentes líquidos. A geração de resíduos foi estimada pela medição parcial do descarte das embalagens de plástico, esterco e aves para venda e abate. A fronteira do sistema analisado foi do berço ao portão da atividade industrial, acrescido, a jusante, o transporte do produto até o consumidor final.

Nesta pesquisa foi utilizado *software* gratuito OpenLCA 1.8 de código aberto, utilizado para análises de ACV (OpenLCA, 2020). A base de dados usada foi o Ecoinvent 3.7.1 *Cut-Off unit regionalized*. O método utilizado foi o CML (*baseline*) para avaliação de cada categoria de impacto. Também foi realizada uma comparação entre os métodos CML e ReCiPe *Midpoint (H)*, na qual foram comparadas somente as categorias de impacto de mesma unidade de referência.

O método CML (*baseline*) apresenta as seguintes categorias de impacto: depleção da camada de ozônio, aquecimento global, acidificação, toxicidade humana, ecotoxicidade terrestre, de água doce e marinha, depleção de recursos abióticos (fósseis e minerais), eutrofização, oxidação fotoquímica (ACERO; RODRÍGUEZ; CIROTH, 2016). As categorias de impacto abordadas pelo método CML e que foram analisadas neste estudo foram: depleção de recursos abióticos (minerais), depleção de recursos abióticos (fósseis), acidificação, eutrofização, ecotoxicidade de água doce, aquecimento global, toxicidade humana, depleção da camada de ozônio, oxidação fotoquímica, e ecotoxicidade terrestre. O método CML possui escopo de aplicação global para todas as categorias abordadas, com exceção para acidificação e formação de oxidantes

fotoquímicos e é indicado para utilização em estudos desenvolvidos no Brasil, por sua abrangência global de aplicação (MENDES, BUENO, OMETTO, 2016).

O método ReCiPe 2008 compreende dois conjuntos de categorias de impacto com conjuntos de fatores de caracterização associados, o método compreende dezoito categorias de impacto, nas quais são abordadas no nível intermediário: depleção da camada de ozônio, aquecimento global, acidificação, toxicidade humana cancerígena, toxicidade humana não cancerígena, ecotoxicidade de água doce, depleção de recursos abióticos (fósseis), ecotoxicidade marinha, ecotoxicidade terrestre, depleção de recursos abióticos (minerais), eutrofização, formação de ozônio fotoquímico, formação de material particulado, radiação ionizante, uso da terra, eutrofização de água doce, eutrofização marinha, esgotamento de recursos hídricos (GOEDKOOP *et al.*, 2009)

O ReCiPe *Midpoint (H)* tem origem a partir do método CML e Ecoindicador, ou seja é a união de dois métodos, que integra e harmoniza as abordagens *midpoint* e *endpoint* em uma estrutura comum e consistente, além disso o método possui dois níveis de indicadores que se distingue: indicadores de ponto médio (*midpoint*) e indicadores de ponto final (*endpoint*) apresentando as categorias seguintes: danos à saúde humana, danos ecossistemas e danos à disponibilidade de recursos (ACERO; RODRÍGUEZ; CIROTH, 2016; BALDINI *et al.*, 2017). O método ReCiPe tem sido usado em vários estudos de ACV focados em indústrias de alimentos no mundo e mais especificamente utilizou este método em estudos sobre ACV em indústrias de ovos (ARZOUMANIDIS *et al.*, 2017; BALDINI *et al.*, 2017; NOYA *et al.*, 2017; ABÍN *et al.*, 2018).

2.2 Análise do Inventário do Ciclo de Vida

Para realizar a etapa de ICV os dados referentes à entrada e saída de produtos foram contabilizados a partir do fluxo de referência, ou seja, a produção média mensal de 6.258.610 ovos. Foi utilizada a base de dados do Ecoinvent 3.7.1 *Cut-Off unit regionalized*, com a versão 3.7 do banco de dados Ecoinvent foram incluídas mais de 900 conjuntos de dados novos e 1.000 dados atualizados (incluindo brasileiros), assim, o cenário de dados da *Ecoinvent* expandiu sua cobertura, com a inclusão de mais de 100 produtos, essas atualizações e acréscimos da versão 3.7 foram resultado da participação da associação *Ecoinvent* em diversos projetos e colaborações com associações em diferentes setores industriais em todo o mundo (ECOINVENT, 2021).

No modelo adotado no estudo (*Cut-Off*) todas as trocas intermediárias, que são aquelas trocas que ocorrem dentro da tecnosfera, são classificadas em "subprodutos alocáveis", "materiais

recicláveis" ou "resíduos", essa classificação é baseada no julgamento de especialistas sobre o valor de uma troca, potencial de uso e em seu destino previsto (STEUBING *et al.*, 2016; WERNET *et al.*, 2016). A base de dados do *Ecoinvent* adotada no estudo também foi utilizada em outros trabalhos desenvolvidos na mesma área, envolvendo produção de ovos (DEKKER, *et al.*, 2013; PELLETIER, 2017; ABÍN, *et al.*, 2018).

Os *inputs* e *outputs* do ICV da produção de ovos estão descritos na Tabela 5, de acordo com as escolhas feitas no banco de dados do *Ecoinvent*, para o sistema de produção neste trabalho. A reprodutibilidade dos dados e transparência da pesquisa, está diretamente relacionada a importância das escolhas realizada no estudo.

Tabela 5 – Inventário do Ciclo de vida da produção de ovos

<i>Inputs</i>				
Fluxo	Quant.	Un	Provedor	Notas Pedigree
<i>transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO4</i>	1,79E+03	km*t	<i>market for transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO4 transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO4 Cutoff, U – RoW</i>	(2;2;1;1;1)
<i>transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO4</i>	5,50E+02	km*t	<i>market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO4 transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO4 Cutoff, U – RoW</i>	(2;2;1;1;1)
<i>transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4</i>	3,52E+03	km*t	<i>market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO4 Cutoff, U - RoW</i>	(2;2;1;1;1)
<i>tap water</i>	1,28E+06	kg	<i>market for tap water tap water Cutoff, U - BR</i>	(3;2;1;1;1)
<i>electricity, medium voltage</i>	5,78E+04	kWh	<i>electricity voltage transformation from high to medium voltage electricity, medium voltage Cutoff, U - BR-North-eastern grid</i>	(1;2;1;1;1)
<i>chicken for slaughtering, live weight</i>	5,93E+04	kg	<i>market for chicken for slaughtering, live weight chicken for slaughtering, live weight Cutoff, U - GLO</i>	(1;2;1;1;1)
<i>polystyrene, general purpose</i>	3,62E+06	kg	<i>market for polystyrene, general purpose polystyrene, general purpose Cutoff, U - GLO</i>	(1;2;1;1;1)
<i>Outputs</i>				
Fluxo	Quant.	Unid.	Notas Pedigree	
<i>ovos</i>	6,26E+06	iten	(1;1;1;1;1)	
<i>chicken for slaughtering, live weight</i>	4,13E+04	Kg	(4;2;1;1;1)	
<i>plastic waste</i>	1,20E+03	kg	(4;2;1;1;1)	
<i>waste polystyrene</i>	6,08E+03	kg	(4;2;1;1;1)	
<i>poultry manure, fresh</i>	3,08E+05	kg	(4;2;1;1;1)	
<i>wastewater, average</i>	1,03E+06	l	(4;2;1;1;1)	

Fonte: Autor (2022)

Para a tomada de decisão sobre a escolha dos *inputs*, disponíveis no banco de dados do *Ecoinvent 3.7.1*, foram consideradas as características do inventário do processo produtivo estudado. O conjunto de dados para as aves representa uma estimativa aproximada para descrever a produção de ovos. O inventário inclui as emissões do processo. A atividade começa com a chegada das pintinhas no galpão e termina com o fim da vida das aves. O conjunto de dados das embalagens (plástico) envolve sua produção para usos gerais, inclusive embalagens, e contém dados agregados para todos os processos, desde a extração da matéria-prima até a entrega na granja (ECOINVENT, 2021).

O conjunto de dados da água descreve a água encanada disponível ao usuário, no Brasil. Essa atividade começa com água canalizada, sob pressão, na estação de tratamento e alimentada na rede de distribuição e termina com 1 kg de água no consumidor (industrial ou doméstico). O conjunto de dados da água inclui a rede de distribuição e as perdas de água durante a transmissão (ECOINVENT, 2021).

O conjunto de dados da energia elétrica inclui a produção de eletricidade na região nordeste do Brasil. Esta atividade começa com a eletricidade de média tensão chegando à estação transformadora e termina com 1 kWh de eletricidade de média tensão. Para o transporte, o conjunto de dados representa o serviço de transporte de carga de 1 t*km em um caminhão da classe de tamanho entre 3,5 - 7,5, 7,5 - 16 e 16 - 32 toneladas métricas de peso bruto do veículo (GVW) e classe de emissões Euro IV (caminhões com mais de 6 anos de fabricação). Os conjuntos de dados de transporte se referem a todo o ciclo de vida do transporte (ECOINVENT, 2021).

Em relação aos *outputs* foram selecionados os fluxos correspondentes aos resíduos e efluentes. Além disso, foram incluídas as aves descartadas para venda/abate. Os resíduos de plástico incluem dados de mercado da modelagem da mistura de descarte para 1 kg de poliestireno residual no Brasil usando dados específicos do país. A atividade começa na origem da produção de resíduos (coleta de resíduos) e termina no portão da estação de tratamento de resíduos. O conjunto de dados do efluente é caracterizado por ser o efluente, em média, tratado no mesmo local em que é produzido. Por isso que as atividades de mercado regionais são, neste caso, adequadas (ECOINVENT, 2021).

O inventário do conjunto de dados do esterco contém a demanda de energia necessária para o processamento posterior de esterco de aves para obter um fertilizante comercial (ou seja, secagem e granulação). Foram consideradas as emissões do processo e, também, a produção de resíduos (incluindo a produção de resíduos relacionados ao acondicionamento do produto final no local de fabricação). Foram incluídos os transportes das granjas para o estabelecimento onde

ocorre a classificação e embalagem e do estabelecimento para o armazém regional. A infraestrutura e o uso do solo foram considerados por meio de dados *proxy* (ECOINVENT, 2021).

2.3 Estimativa de incerteza

A análise de incerteza é um procedimento sistemático para quantificar a incerteza introduzida nos resultados de uma análise de inventário do ciclo de vida pelos efeitos cumulativos da imprecisão dos modelos, relacionadas a incerteza das entradas e a variabilidade dos dados. Nos estudos de ACV a qualidade e representatividade dos dados são fundamentais para análises posteriores, dessa forma, é importante que os fluxos declarados sejam fiéis ao sistema estudado e que seja declarada a sua incerteza, na qual pode ser dividida em três categorias: parâmetros, cenário e modelo (ABNT, 2014a).

A incerteza de parâmetro está relacionada às entradas e saídas dos processos e características tecnológicas. No presente trabalho foi possível calcular a incerteza, pois trabalhou-se com dados primários de uma indústria de produção de ovos. A variação de seus quantitativos no resultado final aponta as incertezas nos parâmetros, que correspondem a entradas e saídas do processo de produção de ovos na indústria avaliada neste estudo. A incerteza de cenário, engloba as definições quanto a unidade funcional, por exemplo: horizontes de tempo e procedimentos de alocação. Para este estudo realizou-se a fixação do cenário, inexistindo incerteza a ele relacionada. Quanto a incerteza de modelo (modelo escolhido no estudo foi o CML) este inclui o cálculo dos indicadores na fase de avaliação de AICV, assim, o uso do banco de dados secundários traz a incerteza inerente a esses dados secundários, conforme o modelo escolhido.

Para contabilizar precisamente a qualidade dos dados de acordo com a origem foi aplicado a Matriz Pedigree. Assim as procedências dos dados foram avaliadas de acordo com cinco características independentes, as quais são: confiabilidade, abrangência, correlação temporal, correlação geográfica e correlação tecnológica. A utilização dos bancos de dados secundários já inclui as suas próprias incertezas para a Matriz Pedigree de acordo com as suas informações características. Para trabalhos com ACV realizados com uso de dados primários como este, se faz imprescindível a avaliação da incerteza para que os resultados de ACV sejam discutidos de forma adequada, e posteriormente possam ser aplicados também como banco de dados secundários em outros estudos.

A análise neste estudo foi realizada pela técnica Monte Carlo, utilizando 1.000 interações, com distribuição log normal e intervalo de confiança de 95% para cada uma das categorias

associadas ao método CML. É recomendado utilizar no mínimo, 1.000 interações quando se deseja representar a distribuição de resultados graficamente (GOEDKOOOP *et al.*, 2016), como apresentado em outros estudos (LEINONEN, *et al.*, 2012; COSTANTINI, *et al.*, 2020).

- Matriz Pedigree

Nos estudos de ACV a matriz pedigree é a metodologia mais utilizada para realizar a estimativa de incerteza (GREGORY; MONTALBO; KIRCHAIN, 2013). A matriz de qualidade dos dados e seus indicadores está representada no Quadro 4. Cada indicador possui uma pontuação que varia de 1 a 5, em que 1 representa a melhor nota, e 5 a pior, em relação à qualidade do dado.

A utilização da Matriz Pedigree envolve julgamentos com base nos conhecimentos dos dados obtidos em campo, neste trabalho os dados foram discutidos e avaliados com o objetivo de elevar a qualidade dos dados coletados e diminuir a subjetividade quando da aplicação do método, dessa maneira, as notas da Matriz Pedigree foram estabelecidas levando em consideração a qualidade dos dados coletados em campo.

Para os insumos eletricidade, aves e embalagens: em relação à confiabilidade, foi atribuída a nota (1), pois a quantidade do material foi medida no local; o indicador completeza recebeu nota (2), pois é representativo para as empresas estudadas e para o período, mas pode variar em outras regiões. Para correlação temporal e geográfica, a pontuação atribuída foi (1), uma vez que são dados de um ano de produção e coletados na área de estudo. O indicador correlação tecnológica foi pontuado com nota 1, pois são dados de empresa, processo e materiais sob estudo.

O consumo de água foi estimado, recebendo nota (3) no quesito confiabilidade. O indicador completeza foi pontuado com nota (2), é representativo para as empresas estudadas e para o período, mas pode variar em outras indústrias. Para correlação temporal, geográfica e tecnológica a pontuação foi (1), pois são dados de um ano de produção, coletados na área de estudo e são dados de empresa, processo e materiais sob estudo. O transporte recebeu nota (2) para confiabilidade e completeza pois o dado é representativo para as empresas estudadas e para o período, mas pode variar em outras regiões/indústrias. Para correlação temporal, geográfica e tecnológica a pontuação foi (1), pois são dados de um ano de produção, coletados na área de estudo e são dados de empresa, processo e materiais sob estudo.

Quadro 4 – Matriz Pedigree

Pontuação do indicador	1	2	3	4	5
Confiança	Dados verificados baseados em medidas	Dados verificados parcialmente baseados em estimativas ou dados verificados baseados em medidas	Dados não verificados parcialmente baseados em estimativas qualificadas	Estimativas qualificadas (ex. perito industrial):	Estimativas não qualificadas
Completeza	Dados representativos de todos os locais relevantes para o mercado considerado e com período superior e adequado para compensar flutuações normais	Dados representativos de > 50% dos locais relevantes para o mercado considerado com período superior e adequado para compensar flutuações normais	Dados representativos de somente alguns locais (< 50%) relevante para o mercado considerado ou > 50% dos locais, mas com períodos curtos	Dados representativos de apenas um local relevante para o mercado considerado ou alguns locais com períodos curtos	Representatividade desconhecida ou dados de um pequeno número de locais e períodos curtos
Correlação temporal	Menos de 3 anos de diferença para o período do conjunto de dados	Menos de 6 anos de diferença para o período do conjunto de dados	Menos de 10 anos de diferença para o período do conjunto de dados	Menos de 15 anos de diferença para o período do conjunto de dados	Idade do dado desconhecida ou mais de 15 anos de diferença para o período do conjunto de dados
Correlação geográfica	Dados da área de estudo	Dados médios da grande área na qual a área de estudo está incluída	Dados da área com condições de produção semelhantes	Dados de área com condições de produção ligeiramente similares	Dados da área desconhecida ou área com muita diferença nas condições de produção
Correlação tecnológica	Dados de empreendimentos, processos e materiais em estudo	Dados de processos e materiais em estudo (ex. tecnologia idêntica), mas de empresas diferentes	Dados de processos e materiais em estudo, mas de diferentes tecnologias	Dados de processos ou materiais relacionados	Dados de processos relacionados em escala laboratorial ou de diferentes tecnologias

Fonte: Adaptado de Weidema *et al.* (2013).

Em relação às saídas do sistema, os efluentes e resíduos de plástico, vidro, papel esterco e efluentes obtiveram nota (4) para completeza, pois foram dados estimados, (2) para confiabilidade e completeza pois o dado é representativo para as empresas estudadas e para o período, mas pode variar em outras regiões/indústrias. Para correlação temporal, geográfica e tecnológica a pontuação foi (1), pois são dados de um ano de produção, coletados na área de estudo e são dados de empresa, processo e materiais sob estudo.

2.4 Caracterização geral da produção de ovos e descrição do processo produtivo

A produção de ovos é uma atividade complexa por possuir um ciclo longo (aproximadamente dois anos) e várias fases de criação das aves, estas fases podem ser divididas em cria, recria, e aves em produção. O processo de produção dos ovos envolve a entrada de diversos recursos para manter a produção diariamente. As aves são alimentadas com a ração que é produzida pela própria empresa no setor da fábrica de ração, a água é utilizada com a finalidade de consumo para as aves, lavagem de equipamentos e instalações, e também para o consumo e uso para higienização de todas as pessoas que trabalham no setor, a energia elétrica é utilizada para iluminação, uso de máquinas e equipamentos, e demais utilidades comuns.

O sistema de produção de galinhas para postura de ovos comerciais na indústria é caracterizado por sistema de criação em piso, criação em gaiolas convencionais e criação em gaiolas automatizadas em galpões climatizados. No sistema de criação de galinhas em piso, as aves são alojadas em galpões com cama (material comumente utilizado é a palha de arroz) desde a fase de pintinhas e depois são transferidas para galpões de produção com o mesmo sistema de criação (piso), as aves são criadas soltas no galpão que é separado em quatro blocos para evitar amontoamento das aves, nestes sistemas há presença de ninhos (madeira), ventiladores e nebulizadores, a coleta de ovos é realizada manualmente, com a utilização de um carrinho para ajudar na coleta.

No sistema de criação em gaiolas convencionais as galinhas são criadas em baterias de gaiolas suspensas em forma de pirâmide, o arração é realizado através de carrinhos automáticos, a água é distribuída através de canos de policloreto de vinila (PVC) em várias linhas, as aves têm acesso a água em bebedor tipo taça (copinhos), a coleta de ovos é realizada manual em alguns galpões e automática em outros, os galpões possuem ventiladores e nebulizadores, o esterco é retido embaixo das gaiolas em alguns galpões durante boa parte de alojamento do lote, sendo retirado apenas quando é necessário ou ao final do lote, e em outros é retirado com a frequência de duas vezes na semana através de esteiras automáticas. Já no sistema automatizado as galinhas são criadas em gaiolas sobrepostas (em torno de quatro a cinco baterias de gaiolas) verticalmente, com disponibilidade de água para consumo em bebedouros tipo *nipple*, arração automático, coleta de ovos através de esteiras automáticas, o esterco é retirado duas vezes por semana através de esteiras automáticas.

Após a coleta dos ovos nos galpões de produção, a próxima etapa é a classificação dos ovos que envolve um subsetor com recepção, pré-classificação (separação de ovos sujos e trincados),

processamento (lavagem, ovoscopia, classificação por peso), embalagem e armazenamento. A equipe geral que atua em todo processo de produção de ovos na indústria é ampla e de forma resumida é composta por um gerente de produção e por duas equipes, cada uma com um encarregado, que é responsável por distribuição e organização das atividades, além dos motoristas e equipes de apoio das empresas terceirizada que prestam serviços de manutenções como por exemplo, eletricista. Os ovos são produzidos com a finalidade de atender a demanda dos clientes dentro e fora do estado. No processo de expedição, o produto acabado é transportado através de caminhões da própria empresa para centros de distribuição de vendas.

3 Resultados

3.1 Resultado da Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida

Ao inserir os dados no *software Open LCA* foram gerados os processos baseados nos dados levantados ou aqueles encontrados na base de dados do *Ecoinvent 3.7.1* utilizado neste estudo. Os resultados são apresentados na Tabela 6 de acordo com cada uma das categorias de impacto do método CML (*baseline*), a partir da unidade de referência de cada categoria.

Tabela 6 – Resultado do Impacto do Ciclo de Vida da Produção de Ovos para o método CML

Categoria de impacto	Resultado	Unidade de referência
Depleção de recursos abióticos (minerais)	8,25E+00	kg Sb eq
Depleção de recursos abióticos (combustíveis fósseis)	2,90E+08	MJ
Acidificação	5,22E+04	kg SO ₂ eq
Eutrofização	2,26E+04	kg PO ₄ --- eq
Ecotoxicidade de água doce	1,51E+06	kg 1,4-DB eq
Aquecimento global	1,46E+07	kg CO ₂ eq
Toxicidade humana	1,69E+06	kg 1,4-DB eq
Ecotoxicidade marinha	5,19E+09	kg 1,4-DB eq
Depleção da camada de ozônio	1,07E-01	kg CFC-11 eq
Oxidação fotoquímica	3,30E+03	kg C ₂ H ₄ eq
Ecotoxicidade terrestre	1,74E+04	kg 1,4-DB eq

Fonte: Autor (2022)

Todas as categorias de impacto do método CML (*baseline*) foram selecionadas para análise. De forma geral, os processos mais impactantes no ciclo de vida global da produção de ovos foram o descarte de resíduos de plásticos, a geração de efluentes e a produção de ração, ou

seja, são os processos mais influentes no potencial impacto ambiental dessa atividade. Cada categoria de impacto será analisada detalhadamente, a partir dos resultados da AICV.

- **Depleção de recursos abióticos (minerais e combustíveis fósseis)**

Nesta categoria os processos mais impactantes foram o descarte de plásticos, e mineração para a produção de plásticos, e combustíveis. Para medir o impacto na categoria de recursos fósseis é utilizado o Mega joule (MJ), enquanto para recursos minerais é medido em kg de antimônio equivalente (kg Sb eq). Os impactos são promovidos através da mineração, pois na atividade os recursos minerais/fósseis são retirados do ambiente por meio de vários processos que levam à depleção destes (GOEDKOOOP *et al.*, 2013). Os valores encontrados foram de 8,25E+00kg Sb eq para depleção de recursos abióticos (minerais) e de 2,90E+08 MJ para depleção de recursos abióticos (combustíveis fósseis).

O impacto provocado pelo descarte de plástico, se refere aos resíduos procedentes das embalagens de cartelas de ovos (plásticas), e de outros materiais como: material de limpeza, produtos utilizados para desinfecção, resíduos de frascos de medicamentos, e todo material constituído de plástico provenientes das atividades diária da indústria. O impacto foi gerado principalmente na etapa de descarte, se referindo ao processo final nas áreas de tratamento de resíduos comumente encontrado no Brasil, este processo ocorre fora da granja onde foi realizado o estudo.

- **Acidificação**

A acidificação está relacionada ao potencial relativo de substâncias químicas dispensadas para formação de ácidos na atmosfera, ou seja, essa categoria avalia o potencial de emissões para o ar que sucedem em deposição de chuva ácida na superfície da Terra. Portanto, essas deposições atmosféricas de substâncias inorgânicas (como sulfatos, nitratos e fosfatos) causa uma alteração na acidez do solo, denominado de acidificação, entre os quais as principais emissões acidificantes são óxidos de nitrogênio (NO_x), amônia (NH₃) e dióxido de enxofre (SO₂). O potencial de acidificação determina o destino e a deposição de substâncias acidificantes, este é expresso em kg de dióxido de enxofre equivalente (kg SO₂ eq.) (BOLIN; SMITH, 2011; GOEDKOOOP *et al.*, 2013; MONTEIRO, 2021).

Uma série de impactos em diversas categorias ambientais estão correlacionadas com a presença de substâncias acidificantes que podem ser depositadas na natureza, como nos solos, nas águas superficiais, organismos, ecossistemas e águas subterrâneas (PRÉ CONSULTANTS, 2019). A acidez do solo afeta negativamente a fertilidade, e ocorre por diversos fatores como a baixa disponibilidade de bases devido as própria condições do solo, ou devido a intensa lixiviação ou remoção de bases (K, Ca, Ma, Na) pelas culturas (solos podem ter acidez aumentada devido o aumento do cultivo e devido ao processo de adubações), sendo que é causada principalmente pela lavagem de Ca e Mg do solo pela água da chuva ou irrigação, remoção de nutrientes pelas colheitas e pela utilização da maioria dos fertilizantes químicos (OLIVEIRA *et al.*, 2005).

Os processos mais impactantes avaliados neste estudo para a categoria são: descarte de plásticos, efluentes, esterco e produção de ração. O impacto gerado decorrente do descarte de plástico, está relacionada a quantidade de material plástico utilizado na indústria e principalmente os resíduos destas materias que são descartados. O resíduos plásticos que não são recicláveis são encaminhados para o sistema de tratamento de resíduos sólidos do município, assim o processo de descarte de materias plásticos comunmente realizada nos municípios brasileiros, e a forma de disposição final causam impacto nesta categoria.

A geração de efluentes na indústria de produção de ovos ocorre principalmente devido à utilização da água para lavagem das instalações e equipamentos. E aqueles gerados diariamente no processo de classificação dos ovos, esses efluentes são conduzidos para o tratamento por fossa séptica para retenção dos dejetos e filtração da água residual.

A deposição de efluentes causam impactos devido a poluição ambiental, por serem constituídos de materiais orgânicos os efluentes contribuem para a dispensação de diferentes substâncias no solo e água por exemplo. A poluição dos corpos d'água se deve principalmente à propagação de matéria orgânica afetando o consumo de oxigênio dissolvido, que ocorre devido ao fenômeno da autodepuração, isto é, o restabelecimento do equilíbrio no meio aquático, após as modificações que são impelidas pelos despejos de afluentes (VON SPERLING, 2005).

A produção de ração também causa impacto na categoria de acidificação, e está relacionada a produção dos grãos, principalmente aqueles que entram em maior quantidade. O impacto na categoria de acidificação ocorre principalmente devido à emissão de amônia, decorrente do uso de fertilizantes orgânicos usados na preparação do solo (JÚNIOR, UGAIA, GIMENES, 2017).

▪ **Eutrofização**

A eutrofização das águas significa seu enriquecimento por nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, que leva ao crescimento excessivo das plantas aquáticas, tanto plantaônicas quanto aderidas, com conseqüente desequilíbrio do ecossistema aquático e progressiva degeneração da qualidade da água dos corpos lânticos, e um dos problemas principais é a proliferação de cianobactérias em detrimento de outras espécies aquáticas. Muitos gêneros de cianobactérias quando submetidas a determinadas condições ambientais podem produzir toxinas que podem ser até mesmo fatais tanto aos animais, como para seres humanos (FIGUEIRÊDO *et al.*, 2007).

Os processos mais impactantes foram a geração de efluentes, descarte de plásticos e produção de ração. Os despejos de efluentes que contém elevadas quantidades de nutrientes (como nitrogênio e fósforo) gera impacto para a categoria (PEREIRA-RAMIREZ *et al.*, 2003; FIGUEIRÊDO *et al.*, 2007; VON SPERLING, 2005). No entanto, os dados para efluentes foram coletados de dados secundários a partir de relatórios específico do setor de produção de outras empresas, para a composição do ICV do estudo, o que influenciou o resultado final, já que pode variar em outras regiões ou indústria, na região onde foi realizado o estudo não possui rios ou lagos próximos.

A produção de ração também contribuiu nesta categoria, e pode está relacionada com a geração de efluentes no processo de fabricação. Os dados sobre geração de efluentes para a produção da ração também foram dados estimados, o que contribuiu para o resultado, pois pode variar de acordo com cada região e também de acordo com a empresa.

▪ **Ecotoxicidade de água doce**

A categoria de impacto está relacionada ao potencial de toxicidade de águas doces de diversas fontes na natureza, e para análise do impacto são avaliadas as substâncias tóxicas, os valores são expressos em kg de 1,4-diclorobenzeno equivalente (kg 1,4-DB eq). A ecotoxicidade é refletida através do potencial que uma substância possui para causar um efeito danoso a um organismo vivo ou a um ecossistema, enquanto que o grau de toxicidade é determinado de acordo com a concentração e as propriedades da substância química à qual o organismo, ou ambiente, é exposto, além do tempo de exposição (COSTA *et al.*, 2008). Para o método CML, tais indicadores

de categoria referem-se ao impacto nos ecossistemas, como resultado das emissões de substâncias tóxicas no ar, na água e no solo (PRÉ CONSULTANTS, 2019).

A geração e tratamento dos resíduos contribuem de forma acentuada para o impacto nesta categoria (papel, plástico, vidro e esterco). O papel é usado para embalar as cartelas de ovos, no setor de produção de ovos, a medida que são utilizadas as cartelas, o papel residual é retirado e armazenado em um local específico, esse material é comercializado mensalmente para reciclagem. Os materiais plásticos e de vidro também são selecionados e encaminhados para a reciclagem, os que não são reaproveitados são descartados como lixo. O esterco gerado pela produção de galinhas é retirado e encaminhado para outro setor, onde ocorre o tratamento e a transformação do esterco em adubo.

A produção de ração também é realizada pela própria empresa, as matérias primas provêm de diversos lugares, os principais ingredientes são comercializados em fazendas no sul do estado. O impacto da categoria está relacionado ao efeito de utilização de fertilizantes para preparação da terra durante o plantio desses componentes, principalmente os que possuem maior teor de proteína e energia, como a soja, milho e milheto, e que são os ingredientes que compõem as formulações em maiores quantidades.

▪ **Aquecimento global**

Para a categoria avaliada, o descarte de plásticos e de vidro são os processos mais impactantes para a produção de ovos. O descarte dos resíduos gera grande preocupação devido seus efeitos para o ambiente e para a população. A disposição de resíduos sólidos contribui de forma significativa para o processo de mudanças climáticas. Os resíduos plásticos que não são recicláveis são encaminhados para o sistema de tratamento de resíduos sólidos do município, assim o processo de descarte de materiais plásticos comumente realizada nos municípios brasileiros, e a forma de disposição final causam impacto nesta categoria. A decomposição anaeróbica da matéria orgânica na maioria das vezes presente nos resíduos, também contribui, gerando grandes quantidades de Gases Efeito Estufa, principalmente o metano (CH₄), que é o segundo gás em importância dentre os considerados responsáveis pelo aquecimento global (GOUVEIA, 2012).

▪ Toxicidade humana

No método CML esta categoria considera que as emissões são horizonte de tempo infinito, e está relacionada aos efeitos de substâncias tóxicas no meio ambiente humano, para calcular os Potenciais de Toxicidade Humana (HTP), é necessário descrever o destino, a exposição e os efeitos das substâncias tóxicas. Desta maneira, para cada substância tóxica, os HTP são expressos como 1,4-diclorobenzeno equivalentes/kg de emissão. Neste indicador o escopo geográfico determina o destino de uma substância e pode variar entre a escala local e global (PRÉ CONSULTANTS, 2019).

Os resíduos sólidos industriais apresentam composição variada, dependendo do processo industrial. A NBR 10.004 – resíduos sólidos – classificação (ABNT, 2004), tem por objetivo classificar os resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública. Esta classificação é estabelecida em função das substâncias neles identificadas e em testes laboratoriais complementares, onde vários parâmetros químicos são analisados na massa bruta e nos extratos lixiviados e solubilizados dos resíduos. São previstas na norma as seguintes categorias: resíduos classe I - perigosos; resíduos classe II – Não perigosos (resíduos classe II A – não inertes; resíduos classe II B – inertes) (ABNT, 2004).

O tratamento de resíduos foram os que mais contribuíram para a categoria, tanto resíduos plásticos como resíduos de esterco podem afetar a saúde humana. Estudo realizado por Abín *et al.*, (2018) menciona que a produção de materiais de embalagem contribui com porcentagem superior a 10% para a radiação ionizante, ecotoxicidade marinha, toxicidade humana e destruição da camada de ozônio.

▪ Ecotoxicidade marinha

Este indicador refere-se aos impactos de substâncias tóxicas nos ecossistemas marinhos, o seu potencial é calculado com base no destino, na exposição e nos efeitos dessas substâncias tóxicas, com horizonte de tempo infinito, os fatores de caracterização são expressos como equivalentes de 1,4-diclorobenzeno/kg de emissão, e o indicador é aplicado à escala global/continental/regional e local (PRÉ CONSULTANTS, 2019). A susceptibilidade do ambiente aquático às substâncias químicas depende das propriedades físicas e químicas dos contaminantes

e bem como dos produtos resultantes da transformação, da concentração dos contaminantes, da duração e do tipo de descarga dos contaminantes (COSTA, 2008).

O processo mais impactante foi o tratamento de resíduos (papel, plástico e esterco). O valor encontrado foi de $5,19E+09$ kg 1,4-DB eq. O plástico é um produto versátil, e quando armazenado e destinado de forma correta tem efeitos positivos, no entanto, os resíduos podem se acumular no ambiente e prejudicar a saúde dos animais, dos humanos e do planeta de um modo geral. A gestão incorreta dos resíduos plásticos a longo prazo pode causar a extinção de espécies da fauna marinha. Uma vez que os resíduos podem chegar ao oceano através da gestão incorreta, assim é necessário adequar os sistemas de coleta e disposição final dos mesmos, a reutilização de embalagens, e reciclagem são recomendadas para minimizar estes efeitos (FAGUNDES; MISSIO, 2019).

O plástico também é um derivado do petróleo, e contém uma mistura de compostos orgânicos, principalmente de hidrocarbonetos, para a produção de plásticos o processo inicia-se com a extração e processamento do petróleo (separação de água, gás e impurezas), seguido pelo refino do óleo, que dá origem à nafta, seguindo para a etapa de transformação para originar o plásticos (MONTEIRO, 2018).

O esterco também contribui para o impacto na categoria. Os impactos ambientais da agricultura e da produção animal têm sido cada vez mais reconhecidos, assim como a utilização de esterco atribuindo o impacto na qualidade do solo e da água também tem aumentado ao longo dos anos (ABÍN *et al.*, 2018).

▪ **Depleção da camada de ozônio**

A emissão intensa de clorofluorcarbonos (CFCs) através do processo catalítico causa a destruição da camada de ozônio, o cloro causa a destruição de milhares de moléculas de ozônio. Portanto por causa da redução do ozônio estratosférico, uma fração maior da radiação UV-B atinge a superfície da Terra, provocando efeitos nocivos sobre a saúde humana e animal, além dos ecossistemas terrestres e aquáticos, os ciclos bioquímicos e os materiais (PRÉ CONSULTANTS, 2019).

Esta categoria está relacionada à produção em escala global, e o modelo de caracterização é desenvolvido pela Organização Meteorológica Mundial (WMO), no qual define o potencial de destruição da camada de ozônio de diferentes gases (kg CFC-11 equivalente/kg emissão), apresentando intervalo de tempo infinito (PRÉ CONSULTANTS, 2019). Os processos mais impactantes foram a produção de petróleo e o transporte.

O uso do petróleo como energia automotiva produz diversas formas de impacto ambiental, originando-se pela extração do combustível fóssil, o processo de queima de óleo diesel lança no meio ambiente diversos compostos químicos, como hidrocarbonetos, dióxido de carbono e enxofre. Embora exista ações de redução impostas por diversos países, a preocupação ambiental decorre em virtude do óleo diesel ser o combustível mais utilizado em muitos países do mundo, inclusive no Mercosul (AMARAL, BOCALON, 2009).

O principal composto resultante da combustão completa de combustíveis é o dióxido de carbono, e é considerado um dos gases de maior importância para o efeito estufa. Atualmente não há nenhuma opção de combustível disponível para gerar economias significativas e redução de emissões de gases de efeito estufa atuando juntos (GILBERT *et al.*, 2018).

▪ **Oxidação fotoquímica**

Os foto-oxidantes ocorrem devido o processo de formação de substâncias reativas (principalmente ozônio) que são prejudiciais à saúde humana e aos ecossistemas e podem causar prejuízos às plantações. Para obter o cálculo do Potencial Fotoquímico de Criação de Ozônio (POCP) para a emissão de substâncias ao ar é necessário incluir o destino, o valor é expresso em kg equivalentes de etileno/kg de emissão, com intervalo de tempo de 5 dias e a escala geográfica varia entre a escala local e continental (GOEDKOOOP *et al.*, 2008). O ozônio na natureza é produzido em pequenas quantidades, no entanto, a alta produção conduz à emissão de poluentes, que tem efeito adverso na saúde humana e nos ecossistemas (BERKNER; MARSHALL, 1965).

Os processos mais impactantes para a categoria foram a produção de petróleo, a produção de ração, o tratamento de efluentes e geração de esterco. O uso dos combustíveis utilizados para transporte dos insumos para a indústria e do produto para o comércio contribuem através das emissões para o ar, gerando impacto em todo o ciclo de vida da produção de ovos, colaborando para a oxidação fotoquímica.

Esse processo tem o maior impacto atribuído a etapa de extração do petróleo, sendo uma atividade muito importante, já que o petróleo é a matéria-prima para a fabricação de combustíveis. Essa atividade gera impactos ambientais, pois a atividade se constitui na intervenção do meio ambiente para extração de um recurso natural, gerando impactos ambientais. Um dos principais impactos ambientais da produção de petróleo é água contaminada decorrente deste processo. A contaminação ocorre ao tentar manterem-se condições adequadas de pressão na rocha-reservatório para a migração do petróleo até a superfície (GURGEL *et al.*, 2013).

▪ **Ecotoxicidade terrestre**

A categoria de ecotoxicidade terrestre está relacionada aos impactos de substâncias tóxicas nos ecossistemas terrestres. Para realizar o cálculo do potencial desta categoria, é necessário descrever o destino, a exposição e os efeitos das substâncias tóxicas, com horizonte de tempo infinito, os fatores de caracterização são expressos como equivalentes de 1,4-diclorobenzeno/kg de emissão, e aplicação do indicador se dá em escala global/continental/regional e local (PRÉ CONSULTANTS, 2019).

Os processos mais impactantes foram a geração de efluentes, esterco e produção de ração. Os despejos de efluentes ricos em nutrientes, como nitrogênio e fósforo, próximo a rios e lagos levam ao crescimento excessivo de plantas aquáticas, que podem levar a formação de toxinas das algas; dificuldade e elevação dos custos de tratamento de água; e diminuição da concentração de oxigênio dissolvido, dificultando a autodepuração do corpo d'água (FIGUEIRÊDO *et al.*, 2007; VON SPERLING, 2005). No entanto, este resultado pode estar relacionado ao uso de dados secundários para este processo, pois a forma de tratamento e quantidade gerada pode variar de acordo com a indústria.

A produção de ração influencia no impacto desta categoria, e está relacionado com a produção de grãos, devido ao uso de agrotóxicos, fertilizantes, bem como a extensão territorial devido a novas áreas para cultivo dos grãos e ao desmatamento de florestas, entre outros. Em geral, o uso de pesticidas oferece vários benefícios, porém contribuem com efeitos negativos, é notável que o impactos do uso de agrotóxicos estão entre os principais problemas ambientais da agricultura, e novas alternativas para reduzir o uso desses produtos, ou mesmo eliminá-los de vez, estão sempre na pauta de pesquisadores e ambientalistas, além dos problemas comumente causados pelo uso de agrotóxicos, estes produtos oferecem risco tanto meio ambiente como para o ser humano, sendo um dos principais pontos na busca pela sustentabilidade da agricultura (NORDBORG *et al.*, 2017).

3.2 Resultado da comparação entre o método CML (*baseline*) e ReCiPe

Considerando as mais variadas fontes para a construção do ICV em estudos de ACV, é importante a avaliação em mais de um método para comparação dos resultados e melhor direcionamento para as diretrizes relacionadas a área de estudo conforme resultados apresentados. De acordo com Acero, Rodríguez, Cirotto (2016), os recursos para avaliação da significância

ambiental dos resultados do inventário do ciclo de vida são os fatores de caracterização e os modelos contidos nos métodos de AICV.

No Brasil ainda não existe um método específico de acordo com as condições do país, essa dificuldade pode se tornar um desafio na escolha e seleção do método, dessa maneira, em estudos brasileiros uma das formas de reduzir as incertezas se dá através da escolha de mais de um método de AICV assegurando maior confiabilidade dos resultados (PIEKARSKI *et al.*, 2012; MENDES, BUENO, OMETTO, 2016).

Portanto, os métodos de AICV recomendados para aplicação no Brasil são aqueles que apresentam uma abrangência classificada como global para o escopo de aplicação de suas categorias de impacto. Dentre estes métodos destaca o CML que possui abrangência global para maior parte de suas categorias de impacto (MENDES, BUENO, OMETTO, 2016). No entanto, o método ReCiPe também vem sendo utilizado em pesquisas de ACV no Brasil na área de alimentação animal (PACHECO; MOITA NETO; SILVA, 2018).

Além disso, é um método que integra e concilia as abordagens *midpoint* e *endpoint* em conjunto. Também diferencia dois níveis de indicadores: ponto médio (*midpoint*) e ponto final (*endpoint*) com as categorias de danos à saúde humana, danos aos ecossistemas e danos à disponibilidade de recursos (ACERO; RODRÍGUEZ; CIROTH, 2016). Diante dessa abordagem, neste estudo foram aplicados os métodos ReCiPe *Midpoint (H)* e CML (*baseline*) para comparação das categorias de impacto que apresentam a mesma unidade de referência conforme apresentado na tabela 7. Na figura 5 pode-se observar a diferença em percentual das categorias de impacto entre os métodos CML e ReCiPe.

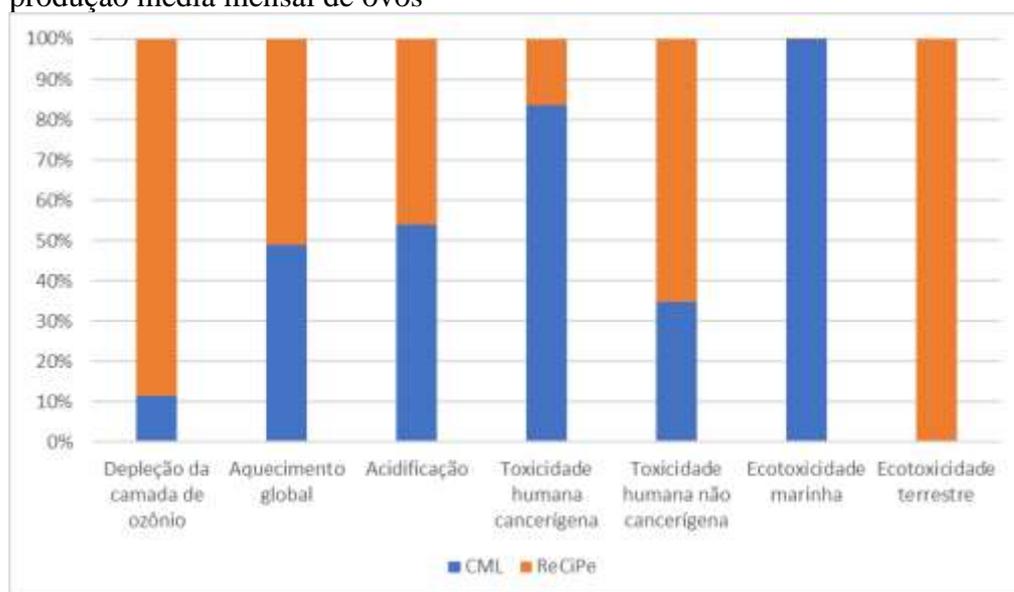
Para a etapa de caracterização dos fluxos elementares ocorre atribuição de um fator de descrição quantitativo para cada categoria, de acordo com o mecanismo ambiental relevante utilizando um modelo (HAUSCHILD *et al.*, 2013). Os modelos de caracterização apresentam características individuais específicas e podem ser classificados em dois níveis conforme sua abordagem, os quais são: *midpoint* (ponto médio) e *endpoint* (ponto final) (PIEKARSKI *et al.*, 2012).

Para a caracterização do nível *Midpoint* são utilizados indicadores localizados ao longo do mecanismo ambiental, antes de chegar ao ponto final da categoria, enquanto que para caracterização do nível *Endpoint* é considerada todo mecanismo ambiental até o ponto final, isto é, refere-se a um dano específico que está relacionado com a área mais extensa de proteção (como a saúde humana, recursos naturais e ambiente natural), além do nível de avaliação de impacto combinado, que unifica as vantagens das abordagens *midpoint* e *endpoint* (MENDES, 2013).

Tabela 7 – Resultado da AICV para os métodos CML e ReCiPe para a produção média mensal de ovos

Categorias de impacto	CML	U.R. CML	ReCiPe	U. R. ReCiPe
Depleção da camada de ozônio	1,07E-01	kg CFC-11 eq	8,35E+00	kg CFC-11 eq
Aquecimento global	1,46E+07	kg CO ₂ eq	1,53E+07	kg CO ₂ eq
Acidificação	5,22E+04	kg SO ₂ eq	4,44E+04	kg SO ₂ eq
Toxicidade humana cancerígena	1,69E+06	kg 1,4-DB eq	3,33E+05	kg 1,4-DB eq
Toxicidade humana não cancerígena	1,69E+06	kg 1,4-DB eq	3,16E+06	kg 1,4-DB eq
Ecotoxicidade de água doce	1,51E+06	kg 1,4-DB eq	1,03E+05	kg 1,4-DCB
Depleção de recursos abióticos (fósseis)	2,90E+08	MJ	6,86E+06	kg oil eq
Ecotoxicidade marinha	5,19E+09	kg 1,4-DB eq	1,37E+05	kg 1,4-DCB
Ecotoxicidade Terrestre	1,74E+04	kg 1,4-DB eq	7,80E+06	kg 1,4-DCB
Depleção de recursos abióticos (minerais)	8,25E+00	kg Sb eq	9,47E+03	kg Cu eq
Eutrofização	2,26E+04	kg PO ₄ --- eq		
Formação de ozônio fotoquímico	3,30E+03	kg C ₂ H ₄ eq		
Formação de ozônio fotoquímico, saúde humana			2,60E+04	kg NO _x eq
Formação de ozônio fotoquímico, ecossistemas terrestres			2,73E+04	kg NO _x eq
Formação de material particulado			1,40E+04	kg PM _{2.5} eq
Radiação ionizante			2,26E+04	kBq Co-60 eq
Uso da terra			1,62E+06	m ² a crop eq
Eutrofização de água doce			1,48E+03	kg P eq
Eutrofização marinha			8,00E+03	kg N eq
Esgotamento de recursos hídricos			-7,22E+05	m ³

Figura 5 – Comparação do impacto das categorias entre os métodos CML e ReCiPe para a produção média mensal de ovos



Fonte: Autor (2022)

O método de AICV CML é fundamentado em uma abordagem *midpoint*. O método possui um escopo de aplicabilidade em escala global, exceto para algumas categorias: acidificação, formação de fotooxidantes, pois estes apresentam aplicabilidade regional (EC-JRC, 2010). Enquanto que o método ReCiPe é uma combinação de dois métodos, do ECO – INDICATOR 99 e CML 2002, e envolve o ajuste das abordagens *midpoint* e *endpoint*, uma das vantagens desse método está relacionada com a atualização de todas as categorias de impacto, com exceção do impacto de radiação ionizante (EC-JRC, 2010).

Neste estudo foram comparadas as categorias em comum aos dois métodos de ICV CML e ReCiPe, as categorias comparadas foram as que obtiveram mesma unidade de referência que são: depleção da camada de ozônio; aquecimento global; acidificação; toxicidade humana (cancerígena e não cancerígena); ecotoxicidade marinha e ecotoxicidade terrestre. Assim, com base na comparação entre os métodos pode-se verificar que os resultados das categorias de impacto para aquecimento global e acidificação, comuns às duas metodologias, são convergentes, ao contrário das categorias de depleção da camada de ozônio, toxicidade humana (cancerígena e não cancerígena), ecotoxicidade marinha e ecotoxicidade terrestre que apresentaram resultados diferentes em comparação com os dois métodos. Os resultados das categorias de impactos citadas são apresentados detalhadamente:

▪ **Acidificação**

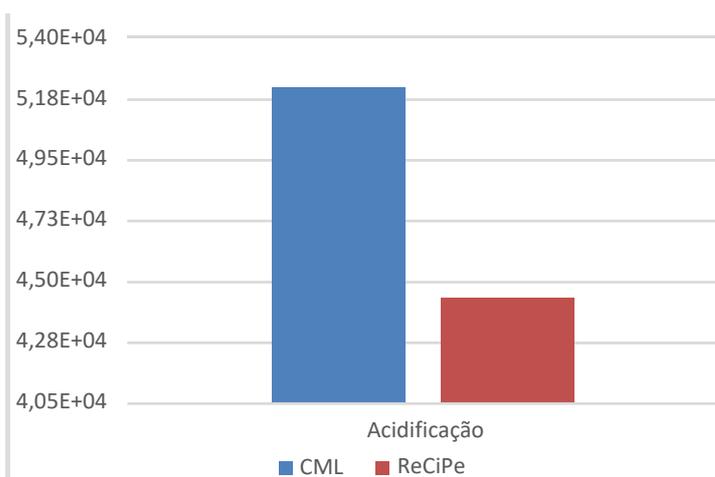
O indicador de impacto da categoria avalia o potencial de emissões para o ar que resultam em deposição de chuva ácida na superfície da Terra, ou seja, é referente aos fatores relacionados ao potencial relativo de substâncias químicas liberadas para formação de ácidos na atmosfera (BOLIN; SMITH, 2011). Portanto, o impacto do potencial de acidificação descreve o destino e a deposição de substâncias acidificantes e seu valor é expresso em kg de dióxido de enxofre equivalente (kg SO₂ eq.) (BOLIN; SMITH, 2011; GOEDKOOP *et al.*, 2013; MONTEIRO, 2021).

No modelo de caracterização para a categoria de acidificação utilizado pelo método ReCiPe os dados são calculados para ecossistemas de florestas em escala Europeia, no cálculo é utilizado dois fatores: de destino e de efeito, no qual os fatores de destino está relacionado a persistência ambiental de uma substância acidificante, enquanto os fatores de efeito são responsáveis por considerar os prejuízos causados no ecossistema devido à presença de substâncias acidificante.

Para o cálculo do fator de destino para acidificação usando o método ReCiPe utiliza-se os modelos EUTREND e SMART 2, sendo que estes são calculados as mudanças na deposição ácida na Europa procedente de mudanças continentais na emissão atmosférica e em mudanças na saturação por bases (decorrentes de mudanças na deposição ácida) respectivamente (VAN JAARSVELD, 1995; KROS, 2002).

No método ReCiPe é denominada acidificação terrestre, enquanto para o método CML essa categoria é denominada de apenas acidificação. A acidificação é causada pela deposição atmosférica de substâncias inorgânicas, como sulfatos, nitratos e fosfatos, causando assim alteração na acidez do solo. As principais emissões acidificantes são NO_x, NH₃ e SO₂ (GOEDKOOPE *et al.*, 2013). Os resultados da comparação dos métodos são apresentados na Figura 6.

Figura 6 – Potencial de acidificação



O impacto da categoria de acidificação para o método CML, apresentou maior expressividade em relação ao método ReCiPe. Os dois métodos apresentam um escopo de aplicação regional para a Europa na categoria de impacto para acidificação (EC-JRC, 2010). Como não há um método elaborado para as condições do Brasil, a seleção entre os existentes, torna-se difícil. O método CML mantém apenas as categorias de formação de foto-oxidantes e acidificação com escopos de aplicação regionais em métodos quase inteiramente de validade global, o que chama a atenção sobre as possibilidades e fragilidades de globalização de tais categorias (MENDES, 2013).

Em ambos os métodos o maior contribuinte foi a produção de plástico. O potencial de acidificação está relacionado principalmente a quantidade de resíduos produzidos na indústria e também ao processo de fabricação do material, no qual a etapa de craqueamento (uma das etapas de produção) consiste em uma fonte de emissões atmosféricas e de efluentes líquidos que causa impacto, pois, se constituem, normalmente, de águas ácidas e contêm pequenas quantidades de óleo e fenóis (MONTEIRO, 2018).

- **Aquecimento global**

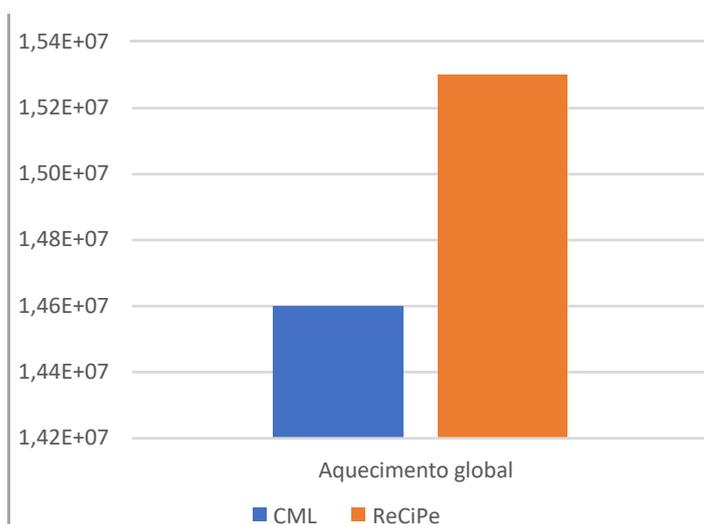
Esta categoria é comumente utilizada pelos métodos de AICV, são consideradas de escopo global, com aplicação de modelos e fatores aceitos internacionalmente (ISO 14.044). Para medir o aquecimento global o cálculo é realizado principalmente pelas emissões de dióxido de carbono (CO₂), equivalente para o ar em 100 anos, no qual equivalem ao total de gases que possuem capacidade para causar efeito estufa, e conseqüentemente potencial para provocar o aquecimento global (LIRA, 2017).

Uma das grandes preocupações relacionada a esta categoria são as conseqüências das mudanças climáticas que impactam sistemas naturais e humanos em todos os continentes e em todos os oceanos de acordo com o *Intergovernmental Panel on Climate Change* - (IPCC) (IPCC, 2014). Os fatores de caracterização para o método CML são fundamentados no modelo desenvolvido pelo IPCC (PRÉ CONSULTANTS, 2019; IPCC, 2020). Enquanto que para o método ReCiPe é baseado no modelo FUND 2.0 (TOL, 2002).

A produção do plástico é o processo que apresenta maior impacto para a categoria de aquecimento global na produção de ovos, isso se deve as emissões de CO₂ durante o processo de craqueamento térmico para produção do plástico. Materiais plásticos são derivados do petróleo, sendo assim uma substância não renovável. Durante as etapas de produção, após o fracionamento da nafta (subproduto do processo de refino do petróleo) ocorre a transformação desta em outros produtos (SILVA, MOITA, 2015). Da fração nafta obtém-se os monômeros, que quando submetida a um processo de craqueamento térmico (aquecimento na presença de catalisadores), dá origem a várias substâncias, entre elas, etileno, propileno, butadieno, buteno, isobutileno, denominados petroquímicos básicos, no qual são transformados nos chamados petroquímicos finos, tais como polietileno, polipropileno, policloreto de vinila, entre outros (PIATTI; RODRIGUES, 2005).

Os resultados das comparações demonstraram que para o método ReCiPe houve maior impacto em relação ao método CML nesta categoria, conforme apresentado na Figura 7. Embora os dois métodos apresentem abrangência de aplicação global, para o método ReCiPe o nível de avaliação de impacto possui efeito combinado (*midpoint* e *endpoint*), dessa forma, avaliando danos mais específicos que estão relacionados com área mais ampla de proteção como saúde humana, ambiente natural ou recursos naturais (MENDES, 2013). Para o método ReCiPe novos fatores de caracterização foram inseridos para a categoria de aquecimento global para comparar os impactos dos gases de efeito estufa com outras influências, como as substâncias que podem causar impactos respiratórios e substâncias que causam acidificação (DE SCHRYVER *et al.*, 2009).

Figura 7. Potencial de aquecimento global



No entanto, é possível verificar que materiais plásticos se tornaram indispensáveis para os diferentes setores de indústria e até mesmo para a facilitação na vida cotidiana, e cada dia surgem novas aplicações para materiais desta finalidade. Os plásticos possuem enorme variabilidade de suas propriedades, o qual é o ponto fundamental para que se entenda a ampla versatilidade das aplicações desenvolvidas até o presente. Materiais plásticos são utilizados em todos os segmentos industriais, como no setor automotivo, nos eletroeletrônicos, na indústria têxtil, no setor de agricultura, pecuária, na área da saúde, construção civil, etc. Para a sociedade moderna, é pertinente admitir que os materiais plásticos contribuíram e contribuem com a qualidade de vida no mundo de hoje (PIATTI; RODRIGUES, 2005).

Uma das alternativas para a redução do impacto ambiental provocada pela utilização de materiais plásticos é a reciclagem destes, sendo a reciclagem mecânica a forma mais simples de

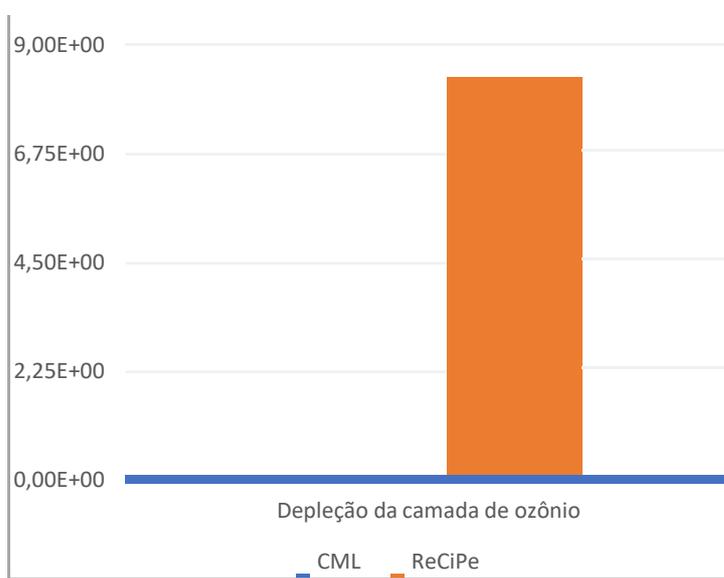
recuperação desse material. A reciclagem dos resíduos está relacionada a redução de emissões de CO₂, pois a reciclagem reintroduz o material na cadeia produtiva, gerando economia de energia e combustíveis, diminuindo os impactos ambientais na extração de mais recursos naturais, além de reduzir as emissões de GEEs, entre outros (MASSI, LUIZ, MASSI, 2019).

▪ Depleção da camada de ozônio

Para esta categoria os resultados demonstram houve diferença na comparação dos resultados, pois o impacto foi mais expressivo para método ReCiPe em relação ao CML de acordo como observado na Figura 8. Embora os dois métodos apresentem escopo para abrangência global, o nível de avaliação de impacto para o método ReCiPe possui a combinação do *Midpoint* e *Endpoint*, sendo que este método considera todo mecanismo ambiental até o ponto final, caracterizando assim maior área de abrangência de proteção (MENDES, 2013). O potencial de depleção de ozônio de diferentes gases é expresso em kg de clorofluorcarbono equivalente (kg CFC-11 eq.).

O processo mais impactante para a categoria avaliada com o método ReCiPe foi caracterizada por tratamento de águas residuais e produção de galinhas. Enquanto que para o método CML, destacou-se maior impacto pela produção de petróleo, devido os impactos gerados através do processo de extração da matéria-prima, para posterior uso de seus derivados como principalmente o uso dos combustíveis.

Figura 8 – Potencial de depleção da camada de ozônio



A extração de petróleo (combustível fóssil), para a produção de ovos se destacou apresentando maior impacto para o método CML, isto está relacionado devido ao processo originado pela extração do combustível fóssil, o processo de queima de óleo diesel lança no meio ambiente diversos compostos químicos, como hidrocarbonetos, dióxido de carbono e enxofre. Diversos países tem realizado ações para redução de combustíveis fósseis, no entanto a preocupação ambiental decorre devido o óleo diesel ser o combustível mais utilizado em muitos países do mundo, inclusive no Mercosul (AMARAL; BOCALON, 2009).

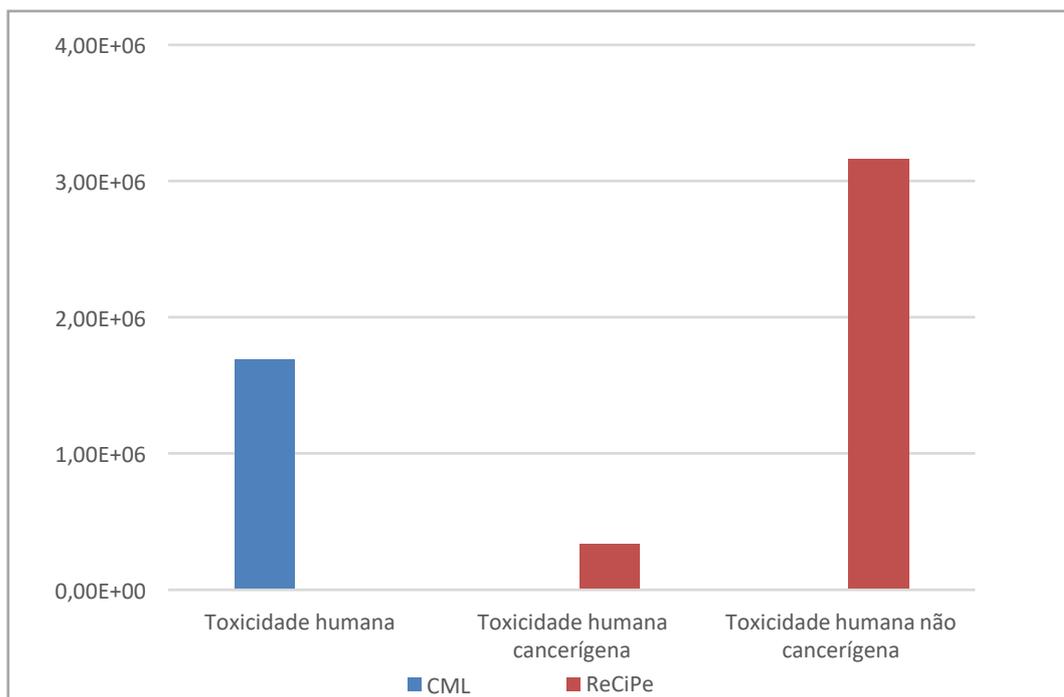
Os clorofluorcarbonos são sintetizados a partir de hidrocarbonetos pela substituição de átomos de hidrogênio por halogênios, e tem a característica de destruição da camada de ozônio, e devido ao aumento da radiação ultravioleta, causam efeitos como câncer de pele, adesão a danos moleculares a materiais, danos a plantas e animais (GUINEE, 2002; GHASEMPOUR; AHMADI, 2016).

O principal composto resultante da combustão completa de combustíveis é o dióxido de carbono, e é considerado um dos gases de maior importância para o efeito estufa. Atualmente não há nenhuma opção de combustível disponível para gerar economias significativas e redução de emissões de GEE (GILBERT *et al.*, 2018). Dessa forma, o combustível para transporte se faz necessários para viabilização das atividades no setor de produção avaliado.

▪ Toxicidade

A categoria relaciona-se aos efeitos de substâncias tóxicas no ambiente humano, os quais causam prejuízo à saúde humana. Através do Sistema Uniforme para Avaliação de Substâncias (*Uniform System for the Evaluation of Substances – USES-LCA*) são calculados os fatores de caracterização, ajustado para finalidade de ACV (PRé CONSULTANTS, 2019).

O fator de caracterização de toxicidade humana é responsável pela persistência ambiental (destino) e acúmulo na cadeia alimentar humana (exposição) e toxicidade (efeito) de um produto químico. A unidade é emitida por ano/kg de 1,4-diclorobenzeno (1,4-DB eq.) (PRé SUSTAINABILITY, 2021). No método ReCiPe, essa categoria está subdividida em cancerígena e não cancerígena. A comparação entre os resultados dos dois métodos, para essa categoria esta apresentada na Figura 9.

Figura 9 – Potencial de toxicidade humana

Os principais impactos que contribuíram para maior expressividade para a categoria para o método CML foi a produção de plásticos, enquanto para o método ReCiPe para toxicidade cancerígena foi tratamento de resíduos (incineração), já para toxicidade humana não cancerígena obteve destaque para a o tratamento de águas residuais. Tanto a produção de materiais plásticos como os resíduos destes materiais contribuem para impacto na categoria devido aos danos que estão relacionado no processo de produção e descarte. Na granja produtora de ovos os resíduos plásticos são destinados para a reciclagem, e para produtos que não podem ser reciclados para a destinação de aterro sanitário do município.

▪ Ecotoxicidade

As categorias de impacto relativas à ecotoxicidade (marinha, de água doce e terrestre) e toxicidade humana estão relacionadas ao potencial de toxicidade que uma determinada substância possui, e que pode causar um efeito danoso a um organismo vivo ou a um ecossistema. A unidade é emitida por ano/kg de 1,4-diclorobenzeno (1,4-DCB) equivalente (PRé SUSTAINABILITY, 2021).

O fator de caracterização para ecotoxicidade e toxicidade humana para o método ReCiPe considera três fatores importantes, que são: o destino, ou persistência ambiental dos produtos químicos; a exposição, que está relacionado a ingestão dessas substâncias por seres humanos, e ao acúmulo na cadeia alimentar; e pela toxicidade de um produto químico, que está relacionado aos efeitos nos seres humanos e também nos ecossistemas (GOEDKOOPE *et al.*, 2013).

Os indicadores de categoria para o método CML, referem-se ao impacto nos ecossistemas (como resultado das emissões de substâncias tóxicas no ar, na água e no solo), sendo que o potencial de ecotoxicidade é calculado considerando também o destino, a exposição e aos efeitos de substâncias tóxicas, com horizonte temporal infinito (PRÉ CONSULTANTS, 2019). O potencial para categoria de ecotoxicidade marinha e terrestre estão expressos nas Figura 10 e na Figura 11.

Figura 10 – Potencial de ecotoxicidade marinha

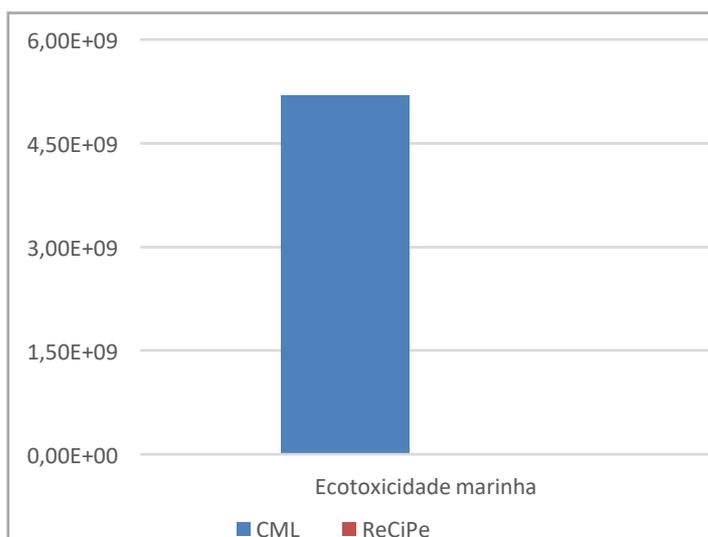
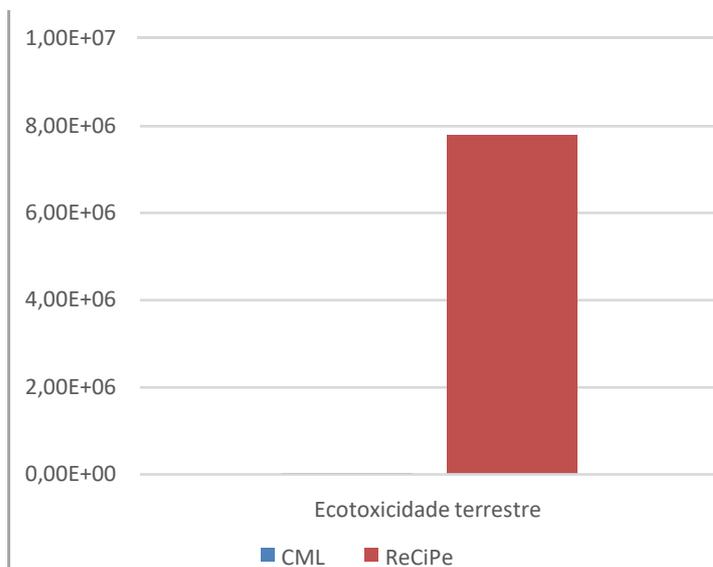


Figura 11 – Potencial de ecotoxicidade terrestre

Para a categoria de ecotoxicidade marinha o método CML apresentou valores para o potencial de impacto superiores em relação método ReCiPe, enquanto que para a categoria de ecotoxicidade terrestre o método ReCiPe apresentou potencial de impacto superior. É importante destacar que o método CML possui escopo de aplicação com abrangência global para as duas categorias (marinha e terrestre), já o método ReCiPe possui escopo regional.

Segundo Mendes, Bueno, Ometto (2016) geralmente as categorias de impacto de ecotoxicidade, acidificação e eutrofização, dependem do local ou região que foram realizadas. Isso pode explicar a discrepância quando comparados os resultados considerando a abrangência geográfica que os métodos utilizam. De acordo com os resultados demonstrados na Figura 11, considerando o método CML, dentre os processos que tiveram maior contribuição para a ecotoxicidade marinha foram processos relacionados as atividades de tratamento de resíduos sólidos. Enquanto que para o método ReCiPe (figura 11), dentre os processos que obteve maior contribuição destacou o tratamento dos efluentes ou águas residuais.

Considerando o método CML, para a categoria de ecotoxicidade terrestre dentre os processos com maior contribuição para impacto nesta categoria, destaca o tratamento de efluentes de águas residuais e produção de soja. Para o método ReCiPe os maiores impactos foram devido a emissões de transporte, e referente a produção de poliestireno dos resíduos sólidos (plásticos).

3.3 Resultado da análise de incerteza

De modo geral, os estudos de ACV exigem transparência na comunicação dos resultados, visto que não existem dados científicos que não se conheça a sua incerteza (medida ou estimada), assim, com este parâmetro pode-se estabelecer comparações entre resultados e encontrar diferenças que podem ser significativas, ou não, garantindo desta maneira a confiabilidade dos resultados, mediante a análise de incertezas. No entanto, nas ocasiões em que as incertezas não podem ser medidas, pode-se através da determinação do desvio padrão fazer estimativas, por meio da qualidade dos dados alcançados.

Quando a origem dos dados do estudo é conhecida, e quando faz aplicação destes dados aos sistemas é possível construir uma Matriz Pedigree, no qual é empregada para atribuir aos dados obtidos, valores padronizados de incerteza básica, de acordo com a sua qualidade, enquanto a incerteza adicional está incluída o método (CML). Porém existem casos em que diferentes parâmetros, com incertezas variadas, interagem por meio de uma relação complexa, quando ocorre essas situações utilizamos a simulação de Monte Carlo, assim, a incerteza dos resultados pode ser mais convenientemente encontrada. No entanto, a simulação determina valores aleatórios para os dados de entrada de acordo com a distribuição probabilística informada para cada dado.

O uso da técnica de Monte Carlo é utilizado por diversos autores para analisar incertezas em diferentes produtos nas áreas de pesquisa e setores industriais, inclusive na área de produção de ovos (LEINONEN *et al.*, 2012; COSTANTINI *et al.*, 2020). Por tanto, a forma como foi executada a pesquisa está em concordância com os procedimentos científicos de determinação de incertezas com outras pesquisas da mesma área do estudo realizado.

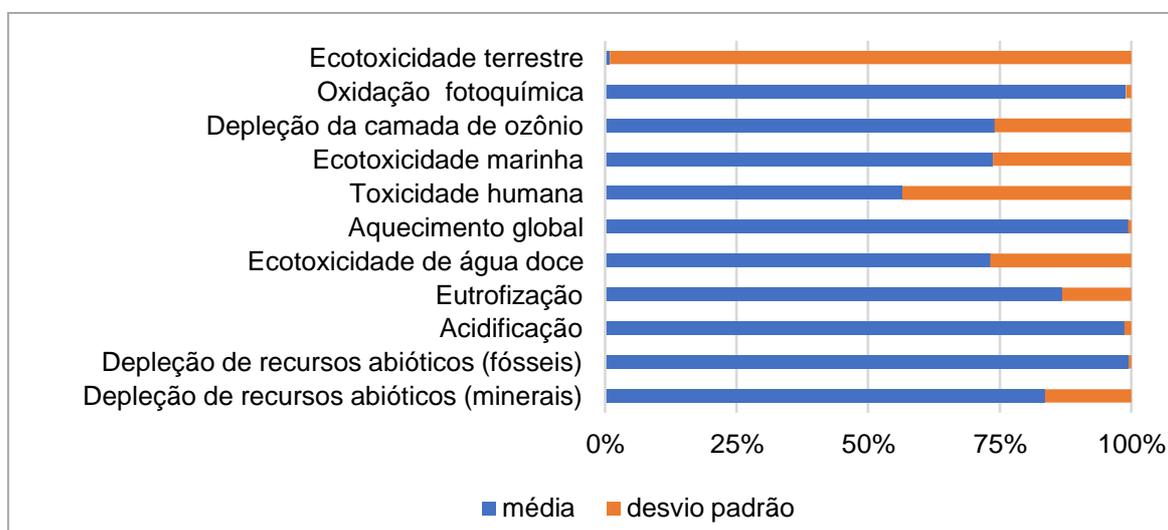
Para poder atingir resultados aceitáveis do ponto de vista científico, os métodos de simulação de Monte Carlo (no qual são de baixa convergência) demandam imenso esforço computacional, para realizar a análise foi feita 1.000 interações, com distribuição lognormal e com intervalo de confiança de 95% para cada uma das categorias associadas ao método CML. Para utilização da técnica é recomendado utilizar, no mínimo, 1.000 interações quando se deseja representar a distribuição de resultados graficamente (GOEDKOOOP *et al.*, 2016). A técnica que envolvem a análise de incertezas por meio da simulação de Monte Carlo também foi utilizada em pesquisas com temas semelhantes, com a mesma quantidade de interação e também com quantidade de interações maiores do que as utilizadas neste estudo (LEINONEN *et al.*, 2012; COSTANTINI *et al.*, 2020; ERSHADI *et al.*, 2021).

O resultado da média e do desvio padrão da análise de incerteza para cada categoria analisada com as respectivas unidades de referencia está representado na Tabela 8. E na Figura 12, demonstra a representação aproximada do desvio padrão em relação à média encontrada na análise dos dados.

Tabela 8 – Resultado da análise de incerteza utilizando a combinação da Matriz Pedigree com a simulação Monte Carlo (1.000 interações e 95% de confiança)

Categoria de impacto	Média	Desvio padrão	Unidade de referência	Coefficiente de variação (%)
Depleção de recursos abióticos (minerais)	1,05E+01	2,06E+00	kg Sb eq	19,62
Depleção de recursos abióticos (fósseis)	2,91E+08	1,33E+06	MJ	0,46
Acidificação	5,29E+04	7,07E+02	kg SO ₂ eq	1,34
Eutrofização	2,43E+04	3,66E+03	kg PO ₄ --- eq	15,06
Ecotoxicidade de água doce	2,33E+06	8,53E+05	kg 1,4-DB eq	36,61
Aquecimento global	1,47E+07	9,08E+04	kg CO ₂ eq	0,62
Toxicidade humana	2,35E+06	1,81E+06	kg 1,4-DB eq	77,02
Ecotoxicidade marinha	7,62E+09	2,72E+09	kg 1,4-DB eq	35,70
Depleção da camada de ozônio	1,36E-01	4,78E-02	kg CFC-11 eq	35,15
Oxidação fotoquímica	3,34E+03	3,37E+01	kg C ₂ H ₄ eq	1,01
Ecotoxicidade terrestre	1,10E+05	1,15E+07	kg 1,4-DB eq	10454,55

Figura 12 – Representação do desvio padrão em relação à média obtida na simulação de Monte Carlo



A análise do desvio padrão é uma medida de dispersão importante para e o seu valor reflete a variabilidade das observações em relação ao valor médio, e é utilizado para descrever a variação nas medidas de uma variável para os membros de uma amostra. Dessa forma, pode-se entender que quanto menor a dispersão entre os dados e a variabilidade associada à distribuição em análise, menor será seu valor (SEDGWICH, 2015). Analisando os resultados do gráfico apresentado na Figura 12, pode-se observar que a porcentagem do coeficiente de variação demonstra que os maiores valores foram apontados para as categorias ecotoxicidade terrestre e toxicidade humana.

De modo geral, quanto maior forem os desvios dos valores estimados, em relação aos valores esperados, maior será sua variância, e, conseqüentemente maior será seu risco. Assim, ao empregar o conceito aos resultados encontrados no estudo, conclui-se que as maiores incertezas estão concentradas nas categorias ecotoxicidade terrestre e toxicidade humana, uma vez que apresentaram alto valor de dispersão, indicados pela variância no desvio padrão (RODRIGUES, NUNES, ADRIANO, 2010).

A categoria aquecimento global, assim como as categorias de depleção de recursos abióticos (combustíveis fósseis), oxidação fotoquímica e acidificação, apresentaram os menores valores para coeficiente de variação. A expressividade de alto grau do coeficiente de variação para categorias associadas à toxicidade, ecotoxicidade e depleção da camada de ozônio em relação a incerteza dos dados pode ser esclarecida pelo uso de dados secundários, no qual foram utilizados para compor os dados.

O valor do coeficiente de variação do desvio padrão para a categoria de aquecimento global foi expressivamente baixo, esse valor pode ser justificado devido a adoção do indicador do Painel *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2020) no cálculo para o potencial de aquecimento global, garantindo maior robustez científica, com as incertezas descritas e calculadas (HAUSCHILD *et al.*, 2013).

5 Discussão

No estudo foi adotado o método CML *baseline* para avaliação das categorias, este método foi escolhido devido a sua abrangência, por apresentar um escopo de aplicação global para todas as categorias abordadas (depleção de recursos abióticos, eutrofização, ecotoxicidade, aquecimento global, toxicidade humana e depleção da camada de ozônio) com exceção para as categorias de formação de oxidantes fotoquímicos e acidificação (ACERO; RODRÍGUEZ; CIROTH, 2016; GUINÉE *et al.*, 2002).

Também foi realizado a comparação entre o método CML e ReCiPe *Midpoint (H)* das categorias com a mesma unidade. O ReCiPe foi escolhido para comparação no estudo da ACV de produção de ovos, por ser um método que integra e harmoniza as abordagens *midpoint* e *endpoint* e tem sido aplicado a diferentes estudos de ACV recentemente em indústrias agroalimentares, as vantagens deste método incluem o amplo conjunto de categorias de impacto de ponto médio e o uso de mecanismos de impacto que têm escopo global (ABÍN *et al.*, 2018; SANTOS *et al.*, 2017).

O método ReCiPe inclui 18 indicadores de categoria de impacto (mudanças climáticas, destruição da camada de ozônio, acidificação terrestre, eutrofização de água doce, eutrofização marinha, toxicidade humana, formação de oxidante, fotoquímico, formação de material particulado, ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade de água doce, ecotoxicidade marinha, radiação ionizante, ocupação de terras agrícolas, ocupação de terras urbanas, transformação natural de terras, esgotamento de água, esgotamento de metais e fósseis esgotamento) para alcançar uma ampla cobertura da categoria (HEINONEN *et al.*, 2016). O método combina os métodos Eco-Indicator 99 e CML, em uma versão mais atualizada, e distingue dois níveis de indicadores: indicadores de ponto médio (*midpoint*) e indicadores de ponto final (*endpoint*) com as seguintes categorias: danos à saúde humana, danos aos ecossistemas e danos à disponibilidade de recursos (ACERO; RODRÍGUEZ; CIROTH, 2016).

Abordagem que utiliza o ReCiPe (*midpoint* e *endpoint*) pode conter fatores de acordo com as perspectivas culturais, sendo representadas por um conjunto de opções, como tempo ou expectativas de que o gerenciamento correto, ou o desenvolvimento da tecnologia, possam evitar danos no futuro, os quais são três: (I) Individualist (*individualista*): curto prazo, otimismo de que a tecnologia pode evitar problemas no futuro; (H) Hierarchist (*hierarquista*): modelo de consenso, frequentemente, encontrado em modelos científicos e, geralmente, considerado o modelo padrão; (E) Egalitarian (*igualitário*): longo prazo, baseado no pensamento do princípio da precaução (HUIJBREGTS *et al.*, 2017). Para estudos desenvolvidos no Brasil este método é muito utilizado por apresentar escopo de aplicação global para as categorias de impacto como mudanças climáticas, depleção da camada de ozônio e consumo de recursos (as demais categorias possuem escopo de aplicação regional para a Europa) (HUIJBREGTS *et al.*, 2017; EC-JRC, 2010).

A partir dos resultados são discutidos os principais processos que contribuíram para as categorias avaliadas, tanto utilizando o método CML, como para o resultado da comparação entre o método CML e ReCiPe. No método CML os processos mais impactantes no ciclo de vida global da produção de ovos foram o descarte de resíduos plásticos, a geração de efluentes e a produção de ração, ou seja, são os processos mais influentes no potencial impacto ambiental dessa atividade.

Os materiais plásticos são muito utilizados na indústria, pois possuem durabilidade, que é resultado da estabilidade estrutural desse material, sendo este resistente a vários tipos de degradação, alguns tipos de plásticos levam séculos para se degradar, no entanto configura um problema ecológico, e a utilização de outros materiais é considerado inviável, pois a substituição de plásticos por outros materiais (papel, madeira, vidro e metais) teria como consequência o aumento de volume e peso do lixo, além do aumento dos custos com coleta e tratamento (PIATTI,

RODRIGUES, 2005). O descarte de plásticos gera preocupações, e está relacionada, principalmente, aos locais de armazenamento e de disposição final dos resíduos sólidos, além da emissão de partículas e outros poluentes atmosféricos que podem ser gerados, diretamente pela queima de lixo ao ar livre ou pela incineração de dejetos de forma inadequada (GOUVEIA, 2012).

O impacto provocado pelo descarte de plástico, se refere aos resíduos procedentes das embalagens de cartelas de ovos (plásticas), e de outros materiais como: material de limpeza, produtos utilizados para desinfecção (desinfetantes para uso de pulverização nas instalações de produção), resíduos de frascos de medicamentos, por exemplo frasco de vitamina (frascos plásticos), e todo material constituído de plástico provenientes das atividades diárias da indústria. No entanto, na indústria em que foi realizado o estudo, os materiais são devidamente separados (plásticos, vidro, metais) e destinados para a reciclagem, assim estes materiais não são descartados incorretamente, contribuindo assim para a redução da poluição ambiental.

A reciclagem entra como um processo necessário para destinação adequada dos resíduos plásticos. Existe várias formas de reciclagem do plástico, um dos processos mais desenvolvidos atualmente é a pirólise, em que o plástico é aquecido e suas moléculas se rompem dando início à sua transformação em óleo e gases, estes gases podem ser reaproveitados como matéria-prima na indústria petroquímica. Outro processo é a reciclagem mecânica, que consiste na conversão de plásticos descartados após o consumo em grânulos que podem ser reutilizados na produção de outros artigos (sacos de lixo, pisos, mangueiras, componentes de automóveis, embalagens não alimentícias, entre outros) (PIATTI, RODRIGUES, 2005).

No entanto, além dos efeitos da poluição ocorrida do descarte incorreto dos resíduos plásticos, o processo de formação para produtos com este material também gera impacto para o meio ambiente. O plástico é constituído principalmente da transformação de uma fração do petróleo em moléculas menores, que são conhecidas como monômeros, essas moléculas possuem elevada massa molar, que formam as macromoléculas fusíveis reversivelmente, o que torna esses materiais mais complexos (PIATTI; RODRIGUES, 2005; MONTEIRO, 2018).

O impacto observado na categoria de depleção de recursos abióticos está relacionado principalmente com a produção de plástico (mineração), descarte de plásticos e combustíveis, isso se deve ao processo de produção do plástico desde a mineração realizada para extração do petróleo até o seu refinamento para produção do óleo e posteriormente a produção de plásticos derivado deste, nas etapas de extração do petróleo e fabricação do plástico diversas substâncias são liberadas para água, ar e solo, prejudicando e contribuindo para depleção dos recursos naturais.

A geração de efluentes na indústria de produção de ovos ocorre principalmente devido à utilização da água para lavagem das instalações e equipamentos dos galpões de produção, no entanto, essas atividades são realizadas periodicamente, a água residual escoar para a superfície terrestre e seca naturalmente. Os efluentes também se referem aqueles gerados diariamente no processo de classificação dos ovos (que inclui água para lavagem dos ovos sujos, higienização e limpeza da instalação e dos equipamentos, além dos efluentes gerados para higienização pessoal) são conduzidos para o tratamento por fossa séptica para retenção dos dejetos e filtração da água residual.

Fugita (2018) atestam que as características dos efluentes industriais são bastante variadas, mesmo se tratando de efluentes de um mesmo setor industrial, pois estas características dependem de diversos fatores como matérias-primas e tecnologias utilizadas nos processos, e tempo do início da atividade da indústria. Quanto a coleta de dados para águas residuais, foi coletado dados estimados da própria indústria, levando em consideração os efluentes gerados desde o processo nos galpões de produção até ao local de classificação dos ovos, em geral a maior quantidade de efluentes gerados é devido a etapa de limpeza, a qual são utilizados produtos como detergentes e desinfetantes.

As substâncias que afetam as características da água estão relacionadas as impurezas físicas como partículas insolúveis ou sólidos que alteram a transparência da água e precipitam-se na forma de lodo ou que provoquem cor, odor ou elevação da temperatura. As impurezas químicas correspondem as substâncias orgânicas e minerais, sendo a fração orgânica representada por proteínas, gordura, hidratos de carbono, fenóis e substâncias artificiais como detergentes e defensivos agrícolas e a fração mineral representada por nutrientes (nitrogênio e fósforo em especial), enxofre, metais pesados e compostos tóxicos (FUGITA, 2018).

No estudo, a produção de ração também causou impacto para diversas categorias: acidificação, eutrofização, ecotoxicidade de água doce e oxidação fotoquímica. Segundo Tongpool *et al.* (2012) o cultivo de ingredientes para rações, o transporte dos ingredientes e o processo de produção nas fábricas de ração consomem recursos naturais e liberam emissões através das águas

residuais. Na etapa de cultivo dos grãos essas emissões geram impactos ambientais, pois o excesso de fertilizantes, como o nitrogênio (N) e o fósforo (P) nos quais são aplicados no solo, permite a lixiviação de nutrientes através das chuvas e, portanto, ocorre a eutrofização (TONGPOOL *et al.*, 2012).

Paula Filho *et al.* (2014), em um estudo sobre emissão de cargas de nitrogênio e fósforo e índices de qualidade de águas, relata que dentre as culturas mais utilizadas, a soja e o milho possuem de alto a médio percentual da carga de N e P emitidos, e ressalta ainda que uma das características naturais dos solos da região é a deficiência de P, dessa maneira, para compensar a deficiência o fosfato é largamente empregado nas culturas de sequeiro como o milho, o feijão e a soja. Estudo realizado por Pacheco (2017) sobre impactos ambientais na produção de ração para frango de corte em uma cooperativa de avicultores piauiense, no estudo a produção de milho emergiu como um dos principais contribuintes para a eutrofização de corpos d'água doce representando cerca de 74-91%, e eutrofização marinha com 67-76% de impacto.

De acordo com Costantini *et al.* (2020) a produção de ração é o principal fator ambiental, sendo o principal impulsionador do impacto para todas as categorias avaliadas com 49% para acidificação terrestre e ecotoxicidade terrestre, já que durante as atividades de campo geram grandes quantidades de CO₂, enquanto N₂O e CH₄ são emitidos a partir do armazenamento de fertilizantes orgânicos, manuseio e utilização nos campos. Um outro estudo, que foi conduzido por Abín *et al.* (2018) afirma que a alimentação animal foi responsável por mais de 90% do impacto na ecotoxicidade terrestre e em áreas de transformação natural. No entanto, estudos relacionados ao impacto ambiental da avicultura nos solos ainda são escassos por falta de sensibilização para a importância destes (ABÍN *et al.*, 2018). De modo geral, o impacto relacionado ao processo de produção de ração está diretamente ligado a produção e cultivo dos principais ingredientes que compõem a ração, que são o milho e a soja.

Uma das preocupações mais comuns na produção de alimento é sobre o impacto ambiental na categoria de aquecimento global e a depleção da camada de ozônio, nesta perspectiva Gilbert *et al.* (2018) afirma que problemas ambientais como as mudanças climáticas e depleção da camada de ozônio estratosférico são globais, e estão interligadas a questões de emissões atmosféricas e são temas que estão em constantes pautas governamentais, principalmente, no que se refere a contribuição da indústria de petróleo, na qual se faz necessária a busca por procedimentos e tecnologias que visem minimizar as emissões atmosféricas.

Amaral, Bocalon (2009) declaram que a utilização de petróleo como energia automotiva produz diversas formas de impacto ambiental, iniciando pela extração do combustível fóssil, e que

a queima de óleo diesel lança no meio ambiente diversos compostos químicos, como hidrocarbonetos, dióxido de carbono e enxofre, e que apesar das ações de redução impostas por diversos países, a preocupação ambiental advém em virtude de o óleo diesel ser o combustível mais utilizado em muitos países no mundo, inclusive no Mercosul. O dióxido de carbono que é o principal composto resultante da combustão completa de combustíveis, é considerado um dos gases de maior importância para o efeito estufa. Não existe, no momento, nenhuma opção de combustível prontamente disponível para gerar economias significativas em poluentes locais e emissões de gases de efeito estufa, em conjunto (GILBERT *et al.*, 2018).

O estudo conduzido na província Alborz, no Irã, identificou que a quantidade de poluente que entra no meio ambiente, em função da produção de ração para galinhas poedeiras pode levar à destruição de camada de ozônio na estratosfera, provocando diversos efeitos negativos no ambiente, como o aumento de GEE. A produção de ração, consumo de eletricidade e combustível diesel tem o maior impacto sobre o valor deste indicador (GHASEMPOUR; AHMADI, 2016). Com destruição da camada de ozônio pode ocorrer consequências negativas, como câncer de pele, adesão a danos moleculares a materiais, além de danos a plantas e animais que acontecem devido ao aumento da radiação ultravioleta (BARE, 2002, 2011).

Os resíduos referente ao esterco também apresentou impacto ambiental nas categorias de ecotoxicidade de água doce, toxicidade humana, ecotoxicidade marinha e oxidação fotoquímica. Na indústria o esterco é conduzido para um outro local onde é realizado o processo para fabricação de adubo. Quanto aos impactos relacionados ao esterco produzidos pelas as aves, segundo Silva, Pelícia (2012) a indústria avícola contribui significativamente para os impactos ambientais, pois os resíduos de aviários apresentam o potencial de ser tanto um recurso como um poluente, no entanto, quando são utilizados de forma adequada apresentam riscos ambientais mínimos.

No entanto, quando manipulados de forma incorreta degradam o ambiente (SEIFFERT, 2000). A poluição e contaminação dos solos em regiões avícolas tem como forma mais comum o uso abusivo dos resíduos como os fertilizantes, e os impactos mais comuns desse manejo é o excesso de minerais nos solos, condição que alteram a microbiota e a produtividade das culturas (KUNZ *et al.*, 2011).

O resultado da comparação das categorias com mesma unidade de referência dos métodos CML e ReCiPe apontaram que os resultados das categorias de impacto para aquecimento global e acidificação, foram comuns às duas metodologias, portanto são convergentes, ao contrário das categorias de depleção da camada de ozônio; toxicidade humana (cancerígena e não cancerígena);

ecotoxicidade marinha e ecotoxicidade terrestre no qual apresentaram resultados diferentes em comparação com os dois métodos.

Para a categoria de depleção da camada de ozônio o método ReCiPe apresentou maior impacto ambiental em relação ao CML. Na categoria de toxicidade humana cancerígena houve maior expressividade para o método CML, enquanto para a categoria de toxicidade humana não cancerígena houve maior impacto ambiental quando utilizou o método ReCiPe. Ambos os métodos possuem escopo de aplicação global para a categoria de depleção da camada de ozônio, no entanto, uma das possibilidades da maior expressividade do método ReCiPe em relação ao método CML, é devido o método ReCiPe possuir a combinação de dois métodos, e por integrar e harmoniza as abordagens *midpoint* e *endpoint* (EC-JRC, 2010; GOEDKOOPE *et al.*, 2009). Para a categoria de toxicidade a aplicação do método ReCiPe é válida para a Europa, enquanto que o método CML possui um escopo de aplicação global (EC-JRC, 2010).

Na categoria de ecotoxicidade marinha o método CML apresentou valores para o potencial de impacto superiores em relação método ReCiPe, enquanto que para a categoria de ecotoxicidade terrestre o método ReCiPe apresentou potencial de impacto superior. É importante destacar que o método CML possui escopo de aplicação com abrangência global para as duas categorias (marinha e terrestre), já o método ReCiPe possui escopo regional (EC-JRC, 2010). Segundo Mendes, Bueno, Ometto (2016) geralmente as categorias de impacto de ecotoxicidade, acidificação e eutrofização, dependem do local ou região que foram realizadas. Isso pode explicar a discrepância quando comparados os resultados considerando a abrangência geográfica que os métodos utilizam.

Devido a inexistência de métodos desenvolvidos especificamente para o contexto brasileiro, os métodos de AICV recomendados para aplicação no Brasil são aqueles que apresentam uma abrangência classificada com escopo de aplicação global para as categorias de impacto, sendo o método CML um dos métodos citados (MENDES, 2013). Portanto foi possível identificar as diferenças e que a escolha do método é importante para melhor avaliação dos resultados. Vale ressaltar que a opção pelo método de AICV mais adequado para uma pesquisa fica a critério dos objetivos e escopo definidos no estudo de ACV pretendido (MENDES, 2013).

Na análise de incerteza a expressividade de alto grau do coeficiente de variação para categorias associadas à toxicidade, ecotoxicidade e depleção da camada de ozônio em relação a incerteza dos dados pode ser esclarecida pelo uso de dados secundários, no qual foram utilizados para compor os dados. De acordo com Dekker *et al.* (2011) a incerteza dos resultados da ACV pode afetar a classificação dos sistemas de produção de ovos ou a importância relativa das opções de mitigação, assim a incerteza das estimativas de ACV depende principalmente das escolhas

metodológicas e da qualidade dos dados. Ershadi *et al.* (2021), ao analisarem os resultados das incertezas, observaram que as maiores incertezas foram amplamente associadas aos indicadores de qualidade dos dados secundários, conforme quantificados usando a matriz de linhagem.

Os inventários de dados secundários aplicados no estudo foram em sua maioria da Ecoinvent (USDA), ou foram pesquisados com base na literatura, no entanto relata que muitos desses inventários são representativos em condições europeias e americanas que, por sua vez, diminui a certeza dos resultados do modelo. O desenvolvimento de modelos de caracterização baseados em características ambientais regionais pode resultar em estudos mais específicos e padronizados da ACV, assim, mais pesquisas são necessárias para enriquecimento dos bancos de dados do ciclo de vida agroalimentar, o que aumentaria a confiabilidade dos resultados, reduzindo, significativamente as incertezas inerentes a esses modelos no futuro.

Quanto as incertezas analisadas no estudo, foi possível verificar que as categorias de ecotoxicidade terrestre e toxicidade humana se destacaram dentre as demais devido ao alto coeficiente de variação apresentados. Esse resultado consiste principalmente no uso de dados secundários não regionalizados, e por composição das informações que também forma obtidos com dados de produção estimados. Importante ressaltar a necessidade de mais pesquisas para enriquecimento dos bancos de dados secundários, além de encorajar novas pesquisas com a utilização de dados primários reais e não estimados, para redução das incertezas.

No entanto é possível observar que para a maioria das categorias da análise de incerteza houve baixo coeficiente de variação, isso ocorreu devido a qualidade dos dados coletados (dados reais), além da versão do banco de dados utilizada, que foi Ecoinvent, (Ecoinvent 3.7.1), os quais apresenta muitos dados regionalizados para o Brasil, contribuindo para redução das incertezas.

Devido a existência de poucos estudos que aborda a produção de ovos, houve dificuldade para comparação dos resultados, já que não foi encontrado trabalhos com a mesma perspectiva do pesquisa. Os estudos que utilizaram a ACV em produção de ovos encontrados, foram realizados em outras regiões do mundo, como América do Norte, Europa e Ásia, aumentando ainda mais os pontos de divergências entre os parâmetros avaliados e a regionalidade onde o estudo foi conduzido, e embora se utilize métodos com potencial de avaliação de características globais para determinadas categorias de impacto, a maioria dos métodos foram criados para regiões específicas.

6 Conclusão

Com a utilização da metodologia ACV foi possível identificar os potenciais impactos ambientais negativos relacionados a produção de ovos em uma granja de criação de galinhas comerciais, os quais estão associados aos diversos processos que fazem parte do ciclo de vida deste produto. Os processos mais impactantes no ciclo de vida global da produção de ovos foram o descarte de resíduos plásticos, a geração de efluentes, e a produção de ração. Estes processos contribuíram em todas as categorias avaliadas, exceto a categoria de depleção da camada de ozônio, e indicam que as emissões geradas para a produção de ovos causam impactos ambientais.

A disposição final dos resíduos apresentou como uma das fontes que mais geraram impacto negativo para as categorias, principalmente o descarte de plásticos, no entanto, no estabelecimento onde foi realizado o estudo já adota os procedimentos de coleta seletiva para lixo recicláveis, assim há um fluxo de saída destes materiais para a reciclagem, o que reduz o impacto gerado através destes processos, assim, é possível ressaltar a importância do gerenciamento destes resíduos na granja. A produção de ração, também contribuiu gerando impacto para a atividade, e está relacionada principalmente ao cultivo e transporte dos grãos, estes processos liberam emissões gerando impactos ambientais.

Em decorrência da inexistência de estudos que abordem a produção de ovos na mesma perspectiva deste trabalho, houve inviabilidade para realização de possíveis comparações com os resultados apresentados, pois faz-se necessário estudos possuam mesmo método de AICV, unidade funcional, além de conjunto de dados semelhantes, entre outros, para que seja possível posterior comparação entre resultados, caso contrário, a apresentação de algumas destas informações possuírem diferença, então a comparação se torna inviável.

Este trabalho contribui com estudos de ACV aplicados a produção de ovos no Brasil e no mundo, fornecendo informações relevantes sobre os potenciais impactos gerados pela atividade, além de gerar subsídios para que os setores de produção de ovos melhorem ainda mais os seus processos produtivos e reduza os impactos ambientais negativos

7 Referências

ABÍN, R.; LACA, A.; LACA A.; DÍAZ, M. Environmental assesment of intensive egg production: A Spanish case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 179, p. 160–168, 2018.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004:2004. **Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14044 :2009: **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações**. [s.l: s.n.].

_____. NBR ISO 14040:2014. **Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura**. Versão corrigida. Rio de Janeiro, 2014.

_____. NBR ISO 14044:2014 **Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e orientações**. Versão corrigida. Rio de Janeiro, 2014a.

ABPA – Associação Brasileira de Proteína Animal (2021). **Relatório Anual**, p. 44 - 49, 2022.

ACERO, A. P.; RODRIGUEZ, C.; CIROTH, A. LCIA methods: Impact assessment methods in life cycle assessment and their impact categories. Version 1.5.6. **Green Delta**, n. 23, p. 1–23, 2016.

AMARAL, F. B.; BOCALON, V.; L.; S. Emprego de óleo vegetal puro como substituto de combustíveis derivados de petróleo em motores agrícolas dos associados da Cooperfronteira, Santa Catarina, Brasil: um estudo de caso. **Visão Global**, Joaçaba, v. 12, n. 2, p. 175-196, 2009.

ARZOUMANIDIS, I.; SALOMONE, R.; PETTI, L.; MONDELLO, G.; RAGGI, A. Is there a simplified LCA tool suitable for the agri-food industry? An assessment of selected tools. **Journal of Cleaner Production**, v. 149, n. 15, p. 406-425, 2017.

BALDINI, C.; GARDONI, D.; GUARINO, M. A critical review of the recent evolution of Life Cycle Assessment applied to milk production. **Journal of Cleaner Production**. v.140, p. 421-435, 2017. <10.1016/j.jclepro.2016.06.078>.

BARE, J. C. Traci. *J. Ind. Ecol.* v. 6, p. 49 – 78, 2002.

BARE, J. TRACI 2.0: the tool for the reduction and assessment of chemical and other environmental impacts 2.0. *Clean Technol. Environmental Policy*, v. 13, p. 687 - 696, 2011.

BERKNER, L.; MARSHALL, L. N. A. S. Symposium on the evolution of the earth's atmosphere: history of major atmospheric components. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. United States of América, v. 53, p. 1215, 1965. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC219811/>. Acesso em 06 de dezembro de 2021.

BOLIM, C. A.; SMITH, S. T. Life cycle assessment of pentachlorophenol-treated wooden utility poles with comparisons to steel and concrete utility poles. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, p. 2475–2486, 2011.

COSTA, C. R.; OLIVI, P.; BOTTA, C. M. R.; ESPINDOLA, E. L. G. A toxicidade em ambientes aquáticos: Discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, v. 31, n. 7, p. 1820-1830, 2008.

COSTANTINI, M.; LOVARELLI, D.; ORSI, L.; GANZAROLI, A.; FERRANTE, V.; FEBO, P.; GUARINO, M.; BACENETTI, J. Investigating on the environmental sustainability of animal products: The case of organic eggs. **Journal of Cleaner Production**, v. 274, p. 123046, 2020.

CRENNA, E.; SINKKO, T.; SALA, S. Biodiversity impacts due to food consumption in Europe. **Journal of Cleaner Production**, v. 227, p. 378-391, 2019.

DARNHOFER, I.; LAMINE, C.; STRAUSS, A.; NAVARRETE, M. The resilience of family farms: Towards a relational approach. **Journal of Rural Studies**, v. 44, p.111 – 122, 2016.

DE SCHRYVER, A. M.; BRAKKEE, K. W.; GOEDKOOP, M. J.; HUIJBREGTS, M. A. J. Characterization Factors for Global Warming in Life Cycle Assessment Based on Damages to Humans and Ecosystems. **Environmental Science e Technology**, v. 43, n. 6, p. 1689 – 1695, 2009.

DEKKER, S. E. M.; BOER, I. J. M.; VERMEIJ, I.; AARNINK, A. J. A.; GROOT KOERKAMP, P.W.G. Ecological and economic evaluation of Dutch egg production systems. **Livestock Science**, v. 139, n. 1–2, p. 109–121, 2011.

DEKKER, S. E. M.; BOER, I. J. M.; VAN KRIMPEN, M.; AARNINK A. J. A.; GROOT KOERKAMP, P.W.G. Effect of origin and composition of diet on ecological impact of the organic egg production chain. **Livestock Science**, v. 151, n. 2–3, p. 271–283, 2013.

ECOINVENT. New Data in Ecoinvent 3.7.1. 2021. Disponível em: <https://www.ecoinvent.org/database/ecoinvent-37/new-data-in-ecoinvent-37/new-data-in-ecoinvent-37.html>. Acesso em 03 de dezembro, 2021.

EC-JRC - JOINT RESEARCH CENTRE OF THE EUROPEAN COMMISSION. Analysis of existing Environmental Impact Assessment methodologies for use in Life Cycle Assessment - background document. **ILCD Handbook - International Reference Life Cycle Data System**, European Union. 2010.

ERSHADI, S. Z. HEIDARI, M. D.; DUTTA, B.; DIAS, G.; PELLETIER, N. Comparative life cycle assessment of technologies and strategies to improve nitrogen use efficiency in egg supply chains. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 166, p. 105275, 2021.

FAGUNDES, L. M.; MISSIO, E. Resíduos plásticos nos oceanos: ameaça à fauna marinha. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 3, p. 2396-2401, 2019.

FAO. The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050, p. 1-228, 2018. Disponível em: <https://www.fao.org/3/I8429EN/i8429en.pdf>.

FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations). **FAO Online Statistical Database**, 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 01 de junho de 2021.

FIGUEIRÊDO, M. C. B.; TEIXEIRA, A. S.; ARAÚJO, L. F. P.; ROSA, M. F.; PAULINO, W. D.; MOTA, S.; ARAÚJO, J. C. Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.12, n. 4, p. 399-409, 2007.

FUGITA, S. R. Fundamentos do Controle de Poluição das Águas. CETESB, São Paulo, 2018.

GHASEMPOUR, A.; AHMADI, E. Assessment of environment impacts of egg production chain using life cycle assessment. **Journal of Environmental Management**, v. 183, p. 980-987, 2016.

GILBERT, P.; WALSH, C.; TRAUT, M.; KESIEME, U.; PAZOUKI, K.; MURPHY, A. Assessment of full life-cycle air emissions of alternative shipping fuels. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 855-866, 2018.

GOEDKOOP M.; HEIJUNGS R.; DE SCHRYVER A.; STRUIJS J.; VAN ZELM R. **ReCiPe 2008**: A life cycle impact assessment method which comprises harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level / Report I: Characterization. Holanda: Ministerie van VROM, Den Haag, 2009.

GOEDKOOP, M.; HEIJUNGS, R.; HUIJBREGTS, M.; DE SCHRYVER, A.; STRUIJS, J.; ZELM, R. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. **ReCiPe 2008**. 2013. Disponível em: https://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/publications/recipe_characterisation.pdf. Acesso em 25 novembro, 2021.

GOEDKOOP, M.; OELE, M.; LEIJTING, J.; PONSIOEN, T.; MEIJE, L. **Introduction to LCA with SimaPro**. 2016. Disponível em: <https://www.pre-sustainability.com/download/SimaPro8IntroductionToLCA.pdf>. Acesso em 01 dezembro, 2020.

GOEDKOOP, M.; OELE, M.; SCHRYVER, A.; VIEIRA, M. **SimaPro Database Manual: Methods Library**. Holanda: PRé Consultants, 2008.

GONÇALVES, C. K. Pirólise e combustão de resíduos plásticos. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Dissertação (mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Metalúrgica de Materiais, p. 74, 2007.

GONZÁLEZ-GARCÍA, S.; GOMEZ-FERNÁNDEZ, Z.; DIAS, A. C.; FEIJOO, G.; MOREIRA, M. T.; ARROJA, L. Life Cycle Assessment of broiler chicken production: a Portuguese case study. **Journal of Cleaner Production**. v. 74, p.125 – 134, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.067>.

GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência e Saúde Coletiva**, v.17, n. 6, p. 1503-1510, 2012.

GREGORY, J. R.; MONTALBO, T. M.; KIRCHAIN, R. E. Analyzing uncertainty in a comparative life cycle assessment of hand drying systems. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 8, p. 1605-1617, 2013.

GUINÉE, J. B.; GORRÉE, M.; HEIJUNGS, R.; HUPPES, G.; KLEIJN, R.; KONING, A. DE; OERS, L. VAN; WEGENER SLEESWIJK, A.; SUH, S.; UDO DE HAES, H. A.; BRUIJN, H. DE; DUIN, R. VAN; HUIJBREGTS, M. A. J. **Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards**. Kluwer Academic Publishers, p. 692, 2002.

GURGEL, C. A. V. et al. Impactos De Extração Do Petróleo (Óleo E Gás) No Rio Grande Do Norte, Na Região Do Alto Do Rodrigues/RN. **Holos**, v. 3, p. 130, 2013.

HAUSCHILD, M. Z.; GOEDKOOP, M.; GUINÉE, J.; HEIJUNGS, R.; HUIJBREGTS, M.; JOLLIET, O.; MARGNI, M.; SCHRYVER, A. D.; HUMBERT, S.; LAURENT, A.; SALA, S.; PANT, R. Identifying best existing practice for characterization modeling in life cycle impact assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, p. 683-697, 2013.

HEINONEN, J.; SAYNAJOKI, A.; JUNNONEN, J. M.; POYRY, A.; JUNNILA, S.; Pre use phase LCA of a multi-story residential building: can greenhouse gas emissions be used as a more general environmental performance indicator? *Build. Environ.* v. 95, 116-125, 2016.

HUIJBREGTS, M. A. J.; STEINMANN, Z. J. N.; ELSHOUT, P. M. F.; STAM, G.; VERONES, F.; VIEIRA, M. D. M.; HOLLANDER, A.; ZIJP, M.; VAN ZELM, R. **ReCiPe 2016 v 1.1: A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level**. National Institute for Public Health and the Environment, 2017, 201p.

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2014: Synthesis Report**, Summary for Policymakers, p.32, 2014.

IPCC- The Intergovernmental Panel on Climate Change. **Documentation**. 2020. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/documentation/>. Acesso em 01 jan 2022.

JÚNIOR, J. T.; UGAIA, C. M. L.; GIMENES, M. L. Inventário e potencial impacto ambiental da produção de soja com agricultura de precisão na perspectiva da Avaliação do Ciclo de Vida. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 13, n. 3, 2017.

KROS, J. Evaluation of biogeochemical models at local and regional scale. PhD thesis. Wageningen University, Wageningen, The Netherlands. 2002.

KUNZ, A.; VIOLA E. S.; LIMA, G. J. M. M.; MAZZUCO, H.; CORRÊA, J. C.; PALHARES, J. C. P.; AUGUSTO, K. V. Z.; MIELE, M.; VIOLA, T. H.; AVILA, V. S.; SILVA, V. S. Manejo Ambiental na Avicultura. **Embrapa Suínos e Aves**, Concórdia-SC, p. 221, 2011.

LEINONEN, I.; WILLIAMS, A. G.; WISEMAN, J.; GUY, J.; KYRIAZAKIS, I. Predicting the environmental impacts of chicken systems in the United Kingdom through a life cycle assessment: Egg production systems. **Poultry Science**, v. 91, n. 1, p. 26–40, 2012.

LIRA, J. S. M. M. **Depleção abiótica e potencial de aquecimento global no ciclo de vida de telhado verde comparativamente a um telhado convencional**. 2017. 210 f. Dissertação (Engenharia Civil) – Universidade de Brasília, 2017.

MASSI, E. H. G.; LUIZ, L. A. C.; MASSI, C. G. Valoração ambiental da reciclagem para a redução de emissões de CO₂. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR**, v. 19, p. 1 – 20, 2019.

MENCH, J. A.; SUMNER, D. A.; ROSEN-MOLINA, J. T. Sustainability of egg production in the United States—The policy and market context. **Poultry Science**, v. 90 p. 229–240, 2011.

MENDES, N. C. Métodos e Modelos de Caracterização para Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: análise e subsídios para a Aplicação no Brasil. Dissertação (Mestrado em Engenharia de produção, Processos e Gestão de Operações) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, p. 149, 2013.

MENDES, N. C.; BUENO, C.; OMETTO, A. R. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos. **Production**, v. 26, n. 1, p. 160-175, 2016.

MONTEIRO, A. R. D. Contribuição da reciclagem química de resíduos plásticos para o desenvolvimento sustentável. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, p. 339, 2018.

MONTEIRO, N. B. R. Gestão do ciclo de vida: bases para a aplicação da economia circular em indústrias de concreto da construção civil. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal do Piauí, Teresina -PI, p. 245, 2021.

NORDBORG, M.; DAVIS, J.; CEDERBERG, C.; WOODHOUSE, A. Freshwater ecotoxicity impacts from pesticide use in animal and vegetable foods produced in Sweden. **Science of the Total Environment**, v. 581–582 p. 448-459, 2017.

NOYA, I.; GONZÁLEZ-GARCÍA, S.; BERZOSA, J.; BAUCCELLS, F.; FEIJOO, G.; MOREIRA, M. T. Environmental and water sustainability of milk production in Northeast Spain. **Science of the Total Environment**, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.186>.

OLIVEIRA, I. P.; COSTA, K. A. P.; SANTOS, K. J. G.; MOREIRA, F. P. Considerações sobre a acidez dos solos de cerrado. **Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos**, Montes Belos-GO, v.1, n.1, p. 1-12, 2005.

OPENLCA. **Data**. 2020. Disponível em <https://www.openlca.org/lca-data/>. Acesso em 20 out 2021.

PACHECO, J. C.; MOITA NETO, J. M.; SILVA, E. A. Environmental performance of feed production for broiler in Piauí state, Brazil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 4, p. 707-716, 2018.

PAULA FILHO, F. J.; LACERDA, L. D.; MARINS, R. V.; AGUIAR, J. E.; PERES, T. F. Background values for evaluation of heavy metal contamination in sediments in the Parnaíba River Delta estuary, NE/Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.08.022>.

PELLETIER, N. Life cycle assessment of Canadian egg products, with differentiation by hen housing system type. **Journal of Cleaner Production**, v. 152, p. 167-180, 2017.

PELLETIER, N. Social sustainability assessment of Canadian egg production facilities: Methods, analysis, and recommendations. **Sustainability (Switzerland)**, v. 10, n. 5, p. 1-17, 2018.

PELLETIER, N.; IBARBURU, M.; XIN, H. A carbon footprint analysis of egg production and processing supply chains in the Midwestern United States. **Journal of Cleaner Production**, v. 54, p. 108-114, 2013.

PELLETIER, N.; IBARBURU, M.; XIN, H. Comparison of the environmental footprint of the egg industry in the United States in 1960 and 2010. **Poultry Science**, v. 93, n. 2, p. 241-255, 2014.

- PIATTI, T. M.; RODRIGUES, R. A. F. Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais. **Universidade Federal de Alagoas - Maceió: EDUFAL**, p. 51, 2005.
- PIEKARSKI, C. M.; LUZ, L. M.; ZOCHE, L.; FRANCISCO, A. C. Métodos de Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida: Uma Discussão para Adoção de Métodos nas Especificidades Brasileiras. **Revista Gestão Industrial**, v. 08, n. 03: p. 222-240, 2012.
- POORE, J.; NEMECEK, T. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. **Science**, v. 360, n. 6392, p. 987-992, 2018.
- PRÉ CONSULTANTS. **SimaPro Database Manual**. Methods library. Version 4.14.2. p. 75, 2019.
- PRÉ SUSTAINABILITY. **SimaPro Database Danual**. Methods library. Version 4.17, p. 108, 2021.
- PEREIRA-RAMIREZ, O.; QUADRO, M. S.; ANTUNES, R. M.; KOETZ, P. R. Influência da carga orgânica aplicada no pós-tratamento de águas residuárias de suinocultura por contactores biológicos rotatórios e reator anóxico. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 9, n. 4, p. 413-420, 2003.
- SANTOS, J. H. C. M.; MARANDUBA, H. L.; ALMEIDA NETO, J. A.; RODRIGUES, L. B. Life cycle assessment of cheese production process in a small-sized dairy industry in Brazil. **E.S.P.R.**, v. 24, p. 3470 – 3482, 2017.
- SEDGWICH, P. Standard deviation or the standard error of the mean. **BMJ (online)**, v. 350, 2015.
- SEIFFERT, N. F. Planejamento da atividade avícola visando qualidade ambiental. **Simpósio de Resíduos da Produção Avícola**, p. 1-20, 2000.
- SILVA, E. A.; MOITA NETO, J. M. Impactos ambientais da produção de garrafas de polietileno numa indústria de Teresina-PI. **Polímeros**, v. 25(número especial), p. 59-67, 2015.
- SILVA, H. W.; PELÍCIA, K. Manejo de Dejetos Sólidos de Poedeiras pelo Processo de Biodigestão Anaeróbica. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)**, v.2, n.1., p.151-155, 2012.
- STEUBING, B.; WERNET, G.; REINHARD, J.; BAUER, C.; MORENO-RUIZ, E. The Ecoinvent database version 3 (part II): analyzing LCA results and comparison to version 2. **International Journal of Life Cycle Assessment**. v. 21, p. 1269-1281, 2016.
- TOL, R. S. J. New Estimates of the Damage Costs of Climate Change, Part I: Benchmark Estimates. **Environmental and Resource Economics**, v. 21, n. 1, p. 47-73, 2002.
- TONGPOOL, R. PHANICHAVALIT, N.; CHANTANA YUVANIYAMA, C.; MUNGCHAROEN, T. Improvement of the environmental performance of broiler feeds: A study via life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 35, p. 16-24, 2012.

UNEP - United Nations Environment Programme & Danish Environmental Protection Agency. **Cleaner Production Assessment in Meat Processing**. Dinamarca, p. 83, 2000.

VAN JAARVELD, J. A. Modelling the long-term atmospheric behavior of pollutants on various spatial scales. PhD thesis. University of Utrecht, Utrecht, The Netherlands. 1995.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos – 3. Ed. Belo Horizonte: **Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Universidade Federal de Minas Gerais, p. 452, 2005.

WEIDEMA, B. P.; BAUER, C.; HISCHIER R, MUTEL C, NEMECEK T, REINHARD J, VADENBO C O, WERNET G. Overview and methodology: Data quality guideline for the Ecoinvent database version 3 **Ecoinvent Report**, v. 3, n. 1, p. 169, 2013.

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

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado permitiu identificar as categorias que obtiveram maior impacto para a produção de ração e para a produção de ovos comerciais, bem como os principais processos que contribuíram sobremaneira para os potenciais impactos nas categorias. Estes resultados, ainda possibilitaram compreender sobre a relevância do conhecimento dos setores de produção e alimentação animal para a comunidade científica e para a própria sociedade, já que estes também fazem parte do ciclo de vida do produto, e se beneficiam com o consumo deste.

Além disso, também possui importância para a economia e desenvolvimento do próprio setor industrial, visto que é necessário cada vez mais aprimoramento na área de produção animal para o surgimento de novas tecnologias voltadas para atender as demandas relacionadas a sustentabilidade ambiental e novas diretrizes para aperfeiçoamento em toda a cadeia de produção. Os resultados das comparações do resultado do impacto ambiental entre a produção de ração e produção de ovos é apresentado na Tabela 9, e Figura 13.

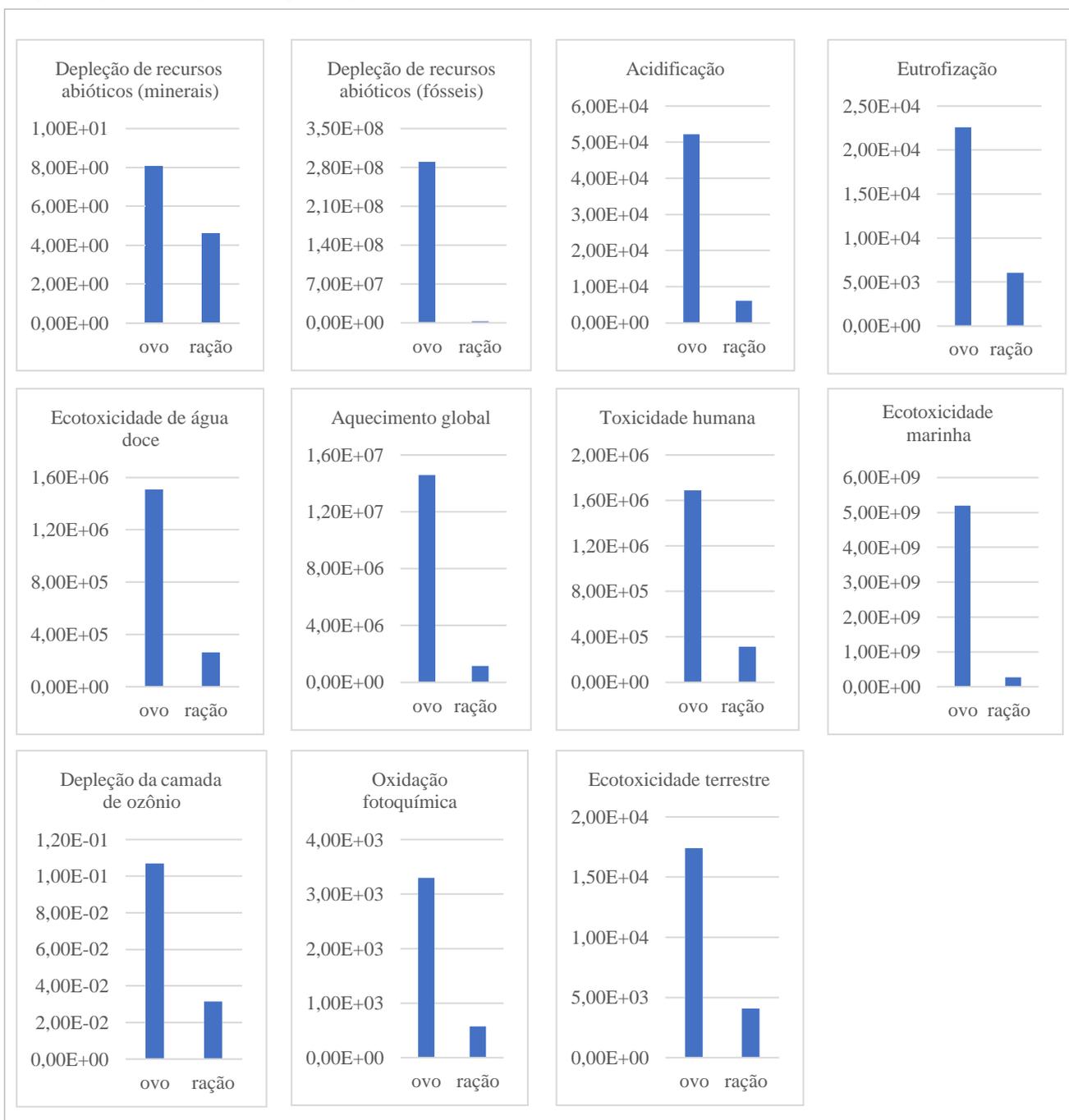
Tabela 9 – Comparação gráfica do resultado do Impacto do Ciclo de Vida com o método CML da produção de ração e da produção de ovos

Categoria de impacto	Resultado ovo	Resultado ração	Unidade de referência
Depleção de recursos abióticos (minerais)	8,25E+00	4,63E+00	kg Sb eq
Depleção de recursos abióticos (fósseis)	2,90E+08	3,06E+06	MJ
Acidificação	5,22E+04	6,21E+03	kg SO ₂ eq
Eutrofização	2,26E+04	6,04E+03	kg PO ₄ ⁻⁻⁻ eq
Ecotoxicidade de água doce	1,51E+06	2,64E+05	kg 1,4-DB eq
Aquecimento global	1,46E+07	1,15E+06	kg CO ₂ eq
Toxicidade humana	1,69E+06	3,14E+05	kg 1,4-DB eq
Ecotoxicidade marinha	5,19E+09	2,70E+08	kg 1,4-DB eq
Depleção da camada de ozônio	1,07E-01	3,15E-02	kg CFC-11 eq
Oxidação fotoquímica	3,30E+03	5,76E+02	kg C ₂ H ₄ eq
Ecotoxicidade terrestre	1,74E+04	4,07E+03	kg 1,4-DB eq

Os resultados demonstram que a produção de ovos gera maiores impactos ambientais quando comparado com a produção de ração (Figura 13). Para as categorias de acidificação, eutrofização, aquecimento global, toxicidade humana e ecotoxicidade marinha as fontes que geram maior potencial de impacto avaliadas neste estudo, foram as emissões provenientes,

principalmente, dos processos de produção de materiais plásticos, disposição de resíduos, e produção de milho e soja.

Figura 13 – Comparação gráfica do resultado do Impacto do Ciclo de Vida com o método CML da produção de ração e da produção de ovos



O potencial impacto para as categorias de acidificação, ecotoxicidade, e eutrofização, comumente, dependem do local ou região do qual sucedem, em contrapartida, o potencial de

impacto de depleção da camada de ozônio possui caráter global e visa ser mais representativos para demais países nos estudos de ACV (MENDES; BUENO; OMETTO, 2016).

Estudos realizados com ACV em vários países como: na Espanha, Holanda, Reino Unido, Irã e Canadá, relacionados a produção intensiva de ovos, obtiveram que a produção de ração foi a atividade responsável pela maioria dos impactos ambientais (ABÍN *et al.*, 2018; DEKKER *et al.*, 2011; LEINONEN *et al.*, 2012; GHASEMPOUR; AHMADI, 2016; PELLETIER, 2017). No entanto, não foi possível realizar comparações com o este trabalho, pois estudos dessa natureza, principalmente utilizando maior quantidade de dados reais para compor o AICV, além de uma abordagem mais específica sobre a produção de ração e a produção de ovos não foram encontrados na mesma perspectiva desta pesquisa, o que dificultou o enriquecimento para a discussão relacionada aos principais resultados nas diversas categorias de impacto ambiental. É importante relatar que cada realidade implica condições ótimas diferentes para melhorar o desempenho ambiental, ou para maior impacto em uma determinada categoria.

As preocupações relacionadas as categorias de impacto ambiental, se dá através do perigo que representam. As substâncias acidificantes provocam uma serie de impactos no solo, nas águas subterrâneas e superficiais, nos organismos, nos ecossistemas e também nos materiais (PRÉ CONSULTANTS, 2019). O potencial impacto das categorias de toxicidade, e/ou ecotoxicidade, representa a capacidade que uma substância tem de causar um efeito danoso a um organismo vivo ou a um ecossistema, como o aquático. Estes efeitos dependem da concentração e das propriedades da substância química à qual o organismo, ou ambiente, é exposto, além do tempo de exposição, o qual determinam o grau da toxicidade (COSTA *et al.*, 2008).

Os valores mais discrepantes dentre as comparações foram para as categorias: depleção de recursos abióticos (fósseis), aquecimento global, ecotoxicidade marinha e oxidação fotoquímica. Houve diferenciação para os processos contribuintes, de acordo com cada indústria. Os processos que mais se destacaram nas categorias acima mencionadas para a produção de ovos foram: descarte e tratamento de resíduos, produção de petróleo, uso de combustíveis, produção de esterco e produção de ração. Enquanto que os processos para produção de ração foram: mineração, descarte de resíduos (plásticos), produção de soja, tratamento de resíduos (papel e plástico), produção de petróleo e produção de farelo de soja.

É possível verificar que a produção de ovos é mais impactante para todas as categorias. A diferença significativa para este resultado pode ser explicada devido o volume de produção incluindo as etapas para a produção de ovos, assim como maior utilização de recursos como água, solo e ar. Nos dois estudos a análise de incerteza demonstra que há uma tendência à ocorrência para

indicadores de ecotoxicidade e toxicidade para a ACV da produção de ração para galinhas poedeiras e para a produção de ovos. Isso pode ser explicado devido ao uso de dados secundários para a construção do ICV, os quais os principais processos relacionados contribuem para essa categoria de impacto.

Nos setores industriais onde foram realizados o estudo, já existe iniciativa das diretrizes de melhorias para progresso na área de sustentabilidade ambiental. Pois existe a coleta seletiva e, portanto, a destinação adequada dos resíduos sólidos. Sendo assim, outras indústrias do setor também podem realizar tais formas de destinação de resíduos sólidos, já que este processo é pouco evidenciado em outros estudos, e se mostrou tão evidente, e com certeza auxilia para o surgimento de novos trabalhos com metodologias semelhantes e com a finalidade de propagar conhecimento. Assim, como abordado neste trabalho, o conhecimento dos potenciais impactos é fundamental para o gerenciamento adequado dos uso de recursos naturais.

Granjas avícolas, bem como fábrica de ração, podem contribuir para maior sustentabilidade ambiental, para isso é necessário adoção de medidas eficazes como: gestão de resíduos na indústria, através da coleta seletiva de materiais recicláveis, descarte adequado dos demais resíduos, gestão de transporte (adoção de medidas eficientes para entrega de produtos), aquisição de produtos com embalagens sustentáveis e com empresas comprometidas com metas para redução de impactos ambientais, entre outras.

Diante do presente estudo, e conforme mencionado a existência de poucas pesquisas na área, faz-se necessário trabalhos com ACV para os setores de produção animal, principalmente para alimentação animal e produção de ovos, pois a ACV proporciona contribuição para mensurar os impactos ambientais gerados para a fabricação destes produtos, para que futuramente novas práticas possam ser efetuadas com a finalidade de melhorar a Gestão do Ciclo de Vida (GCV) em toda a cadeia associada ao produto ou serviço dessas indústrias, tornando-as cada vez mais sustentáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABÍN, R.; LACA, A.; LACA A.; DÍAZ, M. Environmental assesment of intensive egg production: A Spanish case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 179, p. 160–168, 2018.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14044 :2009: **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações**. [s.l: s.n.].

_____. NBR ISO 14040:2014. **Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura**. Versão corrigida. Rio de Janeiro, 2014.

ABPA. Relatório Anual. **Associação Brasileira de Proteína Animal**, p. 80, 2021.

COSTA, C. R.; OLIVI, P.; BOTTA, C. M. R.; ESPINDOLA, E. L. G. A toxicidade em ambientes aquáticos: Discussão e métodos de avaliação. **Química Nova**, v. 31, n. 7, p. 1820-1830, 2008.

DEKKER, S. E. M.; BOER, I. J. M.; VERMEIJ, I.; AARNINK, A. J. A.; GROOT KOERKAMP, P. W. G. Ecological and economic evaluation of dutch egg production systems. **Livestock Science**, v. 139, n. 1-2, p. 109-121, 2011.

FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations). **FAO Online Statistical Database**, 2020. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 01 de junho de 2021.

GHASEMPOUR, A.; AHMADI, E. Assessment of environment impacts of egg production chain using life cycle assessment. **Journal of Environmental Management**, v. 183, p. 980-987, 2016.

LEINONEN, I.; WILLIAMS, A. G.; WISEMAN, J.; GUY, J.; KYRIAZAKIS, I. Predicting the environmental impacts of chicken systems in the united kingdom through a life cycle assessment: Egg production systems. **Poultry Science**, v. 91, n. 1, p. 26-40, 2012.

MAZZUCO, H. Ações sustentáveis na produção de ovos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. SPECIALISSUE, p. 230-238, 2008.

MENDES, N. C.; BUENO, C.; OMETTO, A. R. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: revisão dos principais métodos. **Production**, v. 26, n. 1, p. 160-175, 2016.

OLIVEIRA, H. F.; CARVALHO, D. P.; ISMAR, M. G.; REZENDE, P. M.; CAMARGO, S. M. P.; SOUTO, C. N.; OLIVEIRA, S. B. Fatores intrínsecos a poedeiras comerciais que afetam a qualidade físico-química dos ovos. **Pubvet**, v. 14, n. 3, p. 1-11, 2020.

PELLETIER, N. Life cycle assessment of Canadian egg products, with differentiation by hen housing system type. **Journal of Cleaner Production**, v. 152, p. 167-180, 2017.

PRÉ CONSULTANTS. **SimaPro Database Manual**. Methods library. Version 4.14.2. p. 75, 2019.

TONGPOOL, R. PHANICHAVALIT, N.; CHANTANA YUVANIYAMA, C.; MUNGCHAROEN, T. Improvement of the environmental performance of broiler feeds: A study via life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 35, p. 16-24, 2012.

TRINDADE, J. L.; NASCIMENTO, J. W. B.; FURTADO, D. A. Qualidade do ovo de galinhas poedeiras criadas em galpões no semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 6, p. 652-657, 2007.

APÊNDICE 1
INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS

DADOS DE UM ANO COLETADOS NO SETOR DE PRODUÇÃO DE RAÇÃO (2020):

1. Área da fábrica de ração;
2. Quantidade de funcionários;
3. Quantidade de ração produzida;
4. Consumo de energia;
5. Consumo de água;
6. Quantidade de resíduos sólidos gerados;
7. Quantidade gerada de efluentes líquidos;
8. Especificações e quantidades de todas as entradas de matéria-prima:
 - Milho
 - Soja
 - Trigo
 - Farelo de soja
 - Farinha de carne e ossos
 - Milheto
 - Sal
 - Bicarbonato de sódio
 - Calcário
 - Óleo soja
 - Premix
 - Aminoácidos
 - Outros
9. Especificações das máquinas, equipamentos e instalação;
10. Quantidade e tipo de veículos;
11. Capacidade dos caminhões;
12. Distância percorridas pelos caminhões;

APÊNDICE 2
INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS

DADOS DE UM ANO COLETADOS NO SETOR DE PRODUÇÃO DE OVOS (2020):

1. Quantidade de funcionários;
2. Quantidade de aves do plantel;
3. Quantidade de aves alojadas;
4. Quantidade de galinhas para descarte;
5. Consumo de energia;
6. Quantidade de ovos produzidos;
7. Quantidade gerada de efluentes líquidos;
8. Quantidade de água consumida pelas aves;
9. Quantidade e tipo de embalagens utilizadas;
10. Quantidade de resíduos sólidos gerados (plásticos; papel e outros);
11. Quantidade de esterco;
12. Quantidade de resíduos orgânicos (decorrente de quebra de ovos);
13. Quantidade de água para limpeza e lavagem dos equipamentos e instalações;
14. Origem da água;
15. Especificações das máquinas, equipamentos e instalação;
16. Quantidade de caminhões;
17. Capacidade dos caminhões;
18. Distância percorridas pelos caminhões;