



**Escola Superior
Agrária**

Politécnico de Coimbra

ESCOLA SUPERIOR AGRÁRIA
INSTITUTO POLITÉCNICO DE COIMBRA

MESTRADO EM AGRICULTURA BIOLÓGICA

Sara Filipa Mourão Santos da Silva

Avaliação de Ciclo de Vida de um alimento
composto para suínos autóctones

Orientador: Luís Coelho

Coorientador: Paula Quinteiro

Coimbra, 2021



**Escola Superior
Agrária**

Politécnico de Coimbra

ESCOLA SUPERIOR AGRÁRIA
INSTITUTO POLITÉCNICO DE COIMBRA

MESTRADO EM AGRICULTURA BIOLÓGICA

Sara Filipa Mourão Santos da Silva

Avaliação de Ciclo de Vida de um alimento composto para suínos autóctones

Relatório de estágio apresentado à Escola Superior Agrária de
Coimbra para cumprimento dos requisitos necessários à
obtenção do grau de mestre em **AGRICULTURA
BIOLÓGICA**

Orientador: Luís Coelho

Coorientador: Paula Quinteiro

Coimbra, 2021

Agradecimentos

Início os meus agradecimentos pelos que contribuíram de forma incontestável para a concretização deste trabalho, o Professor Luís Coelho e a Doutora Paula Quinteiro, que através da sua orientação e disponibilidade, tornaram este sonho possível.

Quero agradecer à Professora Doutora Luísa Chambel pela oportunidade de contribuir para o projeto ECO-PIG através da elaboração desta dissertação, também pela ajuda e comentários durante toda a elaboração deste trabalho.

Agradeço também à DIN, SA., na pessoa do Engenheiro João Almeida pela disponibilidade e cooperação no fornecimento das fórmulas necessárias à realização deste estudo de ACV.

Agradeço à Rações Santiago, LDA., pela colaboração através da visita à fábrica e fornecimento dos dados necessários ao inventário do processo de produção dos ACs.

Agradeço à Doutora Sandra Rafael, a quem tenho o privilégio de chamar de família pela amizade, conselhos e ajuda durante toda a realização deste trabalho. Sem os seus conhecimentos e apoio, a realização deste trabalho teria sido um desafio muito maior do que foi.

Agradeço aos restantes membros da minha família, em especial aos meus pais, avó e irmão pelo amor e força durante todo o meu percurso académico.

Agradeço ao João, ao meu companheiro de todos os dias, pelo amor, carinho e paciência em todos os momentos.

Por fim, agradeço a todos os que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Resumo

Os suínos autóctones podem ser suplementados com alimentos compostos (ACs) formulados para garantir um desempenho zootécnico eficiente. Contudo, a produção de ACs contribui para a pegada ambiental associada ao setor suinícola.

Assim pretende-se avaliar e comparar o desempenho ambiental de um AC novo, formulado com matérias-primas agrícolas e subprodutos de agroindústrias de proximidade, em alternativa a um AC já existente no mercado aplicando uma ferramenta de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV).

A ACV consistirá na recolha de dados de inventário da produção do AC novo e do AC já existente no mercado e, na avaliação do seu impacte ambiental. A unidade funcional selecionada foi a produção de 1 ton, garantindo idêntico teor nutricional entre os ACs a comparar. A fronteira do sistema considera, todas as matérias-primas agrícolas, subprodutos, aditivos e embalagem, o consumo energético e o processamento, segundo uma perspetiva, do berço à porta. Como método de avaliação de impacte ambiental utilizou-se o ReCiPe 2016 midpoint, considerando as categorias de AG, PF, FO, AT, EAD, EAS, RM, RF.

Os resultados demonstraram que o AC novo tem maior impacte ambiental do que o AC padrão para sete das oito categorias de impacte estudadas, essencialmente devido à gestão agrícola das matérias-primas.

Palavras-chave: suínos, raças autóctones, alimentação animal, impacte ambiental, avaliação de ciclo de vida.

Abstract

Native pigs can be supplemented with compound feeds (CFs) formulated to ensure efficiency in their zootechnical performance. However, the production of CFs contributes to the environmental footprint associated with the swine sector.

Thus, the objective of this study is to evaluate and compare the environmental performance of a new CF, formulated with agricultural raw materials and by-products from local agro-industries, as an alternative to an existing CF in the market, applying a Life Cycle Assessment (LCA) tool.

The LCA will consist of requesting inventory data on the production of new and existing ACs on the market and evaluating their environmental impact. The defined functional unit was a production of 1 ton, guaranteeing identical nutritional content among the CFs for comparison. The system frontier considers all agricultural raw materials, by-products, additives and packaging, energy consumption and processing, according to a perspective, from cradle to door. As an environmental impact assessment method, the ReCiPe 2016 midpoint is used, considering GW, FP, OF, TA, FE, ME, MR, FR.

The results showed that the new CF has a greater environmental impact than the standard CF for seven of the eight impact categories studied, essentially due to the agricultural management of raw materials.

Keywords: swine, native breeds, animal feeding, environmental impact, life cycle assessment.

Índice

<i>Agradecimentos</i>	1
<i>Resumo</i>	2
<i>Abstract</i>	3
<i>Índice de Tabelas</i>	6
<i>Índice de Figuras</i>	7
<i>Lista de publicações</i>	8
<i>Lista de acrónimos e abreviaturas</i>	9
1. Introdução	11
1.1. Enquadramento e fatores de motivação	11
1.2. Objetivos	12
1.3. Estrutura da tese	13
2. Caracterização do setor suinícola em Portugal	15
3. Caracterização da indústria de alimentos compostos em Portugal	18
4. Produção de alimentos compostos para suínos na perspetiva da economia circular	22
5. Avaliação de Ciclo de Vida	24
5.1. Metodologia	24
5.1.1. Definição do objetivo e do âmbito	25
5.1.2. Análise de Inventário	26
5.1.3. Avaliação do impacte ambiental	26
5.1.4. Interpretação	27
5.2. Vantagens e limitações da ACV	28
6. Avaliação do Ciclo de Vida de um alimento composto e de um alimento composto novo	30
6.1. Composição dos alimentos compostos	30
6.2. Definição do objetivo e âmbito	1
6.3. Unidade funcional e fronteira do sistema	1
6.4. Análise de inventário	4
6.5. Avaliação dos impactes ambientais	13
7. Resultados e discussão	14
7.1. Avaliação comparativa dos alimentos compostos novo e padrão	14
7.2. Resultados de avaliação de impactes e hotspots	17
7.3. Limitações ao estudo de ACV	23

8. Conclusões	24
9. Referências Bibliográficas	26

Índice de Tabelas

Tabela 1 Fórmulas para a produção de uma ton de AC Padrão e AC Novo para alimentar suínos em fase acabamentoo-montanheira	31
Tabela 2 Composição nutricional dos ACs padrão e novo	31
Tabela 3 Necessidades nutricionais definidas para suínos em crescimento.....	32
Tabela 4 Consumos e respectivas emissões da gestão de 1 ha de alfarroba	7
Tabela 5 Fatores de emissões para o ar	7
Tabela 6 Inventário do processo de produção de 1 kg de radículas de malte	9
Tabela 7 Perfil de transporte das matérias-primas agrícolas e auxiliares e, aditivos.	10
Tabela 8 Dados de inventário para a produção de 1 ton de AC padrão e AC novo.....	11
Tabela 9 Fluxo de entradas e saídas do Premix.....	13
Tabela 10 Resultados da avaliação de cada categoria de impacte ambiental para o AC padrão e AC novo.....	15

Índice de Figuras

Figura 1 Número de efetivo e suínos em diferentes fases de acabamento em Portugal nos últimos 10 anos (2010 a 2020). Fonte: Comunidade Profissional Suinícola (2021a).....	16
Figura 2 Quantidade de carne de porco produzida (x 1000 ton) por ano em Portugal, no período de 2010 a 2020. Fonte: Comunidade Profissional Suinícola (2021b).....	17
Figura 3 Quantidade de carne de porco comercializada (x 1000 ton) em Portugal nos últimos 10 anos (2010 a 2020). Fontes: (Comunidade Profissional Suinícola, 2021b; Comunidade Profissional Suinícola, 2021c)	17
Figura 4 Volume de negócios da indústria agroalimentar portuguesa. Fonte: (IACA, 2020).....	18
Figura 5 Consumo de matérias-primas (x1000 ton) de 2009 a 2019 em Portugal. Fonte: (IACA, 2020).....	19
Figura 6 Importação das matérias-primas (ton) em Portugal. Fonte: (IACA, 2020)	20
Figura 7 Fases da ACV de acordo com a ISO 14040 (ISO 14040, 2006).....	24
Figura 8 Fronteira do sistema dos ACs padrão e novo.....	2
Figura 9 Fluxograma do processo de produção dos ACs.....	3
Figura 10 Contribuições gráficas comparativas para todas as categorias de impacte ambiental dos AC padrão e novo.	16
Figura 11 Contribuições gráficas de forma percentual de cada estágio do ciclo de vida dos ACs padrão (a) e AC novo (b) para cada uma das categorias de impacte ambiental.....	17
Figura 12 Contribuições gráficas de forma percentual dos cereais, leguminosas e subprodutos utilizados na produção do AC padrão, para todas as categorias de impacte ambiental.	19
Figura 13 Contribuições gráficas em forma percentual dos cereais, leguminosas e subprodutos utilizados na produção do AC Novo, para todas as categorias de impacte ambiental.	21

Lista de publicações

Esta tese de mestrado deu origem a uma publicação em formato poster com o tema “Avaliação de Ciclo de Vida de subprodutos para suínos autóctones”, apresentado no XXII ZOOTECH - Congresso de Engenharia Zootécnica organizado pela Associação Portuguesa de Engenharia Zootécnica (APEZ) realizado nos dias 29 e 30 de Outubro de 2021.

Lista de acrónimos e abreviaturas

AC – Alimento composto

ACV – Avaliação de Ciclo de Vida

AICV – Avaliação de Impacte de Ciclo de Vida

AG – Aquecimento global

AT – Acidificação terrestre

PB – Proteína bruta

CaCO₃ – Carbonato de cálcio em pó

CaHPO₄ – Fosfato bicálcico

CO – Monóxido de carbono

CO₂ – Dióxido de carbono

COVNM – Compostos orgânicos voláteis não metano

CH₄ - Metano

EAD – Eutrofização (água doce)

EAS – Eutrofização (água salgada)

EC – Economia circular

ENet – Energia Net

FO – Formação fotoquímica de ozono

FTU – Unidades de atividade de fitase

GEE – Gases com efeito de estufa

IACA – Associação Portuguesa das Indústrias dos Alimentos Compostos para Animais

ISO - International Organization for Standardization

MP – Matéria-prima

MS – Matéria seca

NaCl – Sal

NH₃ - Amoníaco

NO_x – Óxidos de azoto

NO₃- Nitrato

P - Fósforo

PAEC – Plano de Ação para a Economia Circular

PV – Peso vivo

PF – Formação de partículas finas

RM – Escassez de recursos minerais

RF – Escassez de recursos fósseis

SO₂ – Dióxido de enxofre

UF – Unidade funcional

UI – Unidade internacional

1. Introdução

1.1. Enquadramento e fatores de motivação

A indústria de ACs para animais consome anualmente grandes quantidades de matérias-primas importadas, nomeadamente cereais e bagaços de oleaginosas (como por exemplo, o bagaço de soja). A elevada dependência dos mercados estrangeiros, a grande variação de preços e a variabilidade na composição das matérias-primas são condicionalismos com que a indústria se debate constantemente (Subpromais, 2021).

Além das questões relacionadas com a importação das matérias primas, outras problemáticas são associadas. Nomeadamente, a diminuição da disponibilidade de terras agrícolas como consequência da produção agrícola, as alterações climáticas, e, a ameaça de escassez de recursos naturais (Pinotti entre outros., 2021).

Segundo a IACA (Associação Portuguesa das Indústrias dos Alimentos Compostos para Animais), a prioridade dos investimentos e o esforço financeiro da indústria passa por uma economia “verde”, pelo combate às alterações climáticas, energias renováveis, bioeconomia circular, ambiente e sustentabilidade. Neste contexto, a alimentação animal tem procurado contribuir através da diminuição de índices de conversão (quantidade de alimento ingerido (kg) por quantidade de peso (kg) ganho, por dia e por animal), da aposta na valorização de efluentes da pecuária e na economia circular, continuando a desempenhar um papel na garantia da sustentabilidade do Planeta e, consolidando a importância da proteína de origem animal garantindo principalmente que este alimento dê resposta ao crescimento da população ao nível global (IACA, 2020).

Neste contexto, há políticas europeias e mundiais que têm incentivado à adoção de medidas que contribuam para a mitigação do impacto ambiental da indústria dos ACs e da produção animal. Nomeadamente através de uma alimentação de precisão, para melhorar o bem-estar animal, valorizar subprodutos da agroindústria (IACA, 2020; Pinotti, entre outros., 2021; Subpromais, 2021b), potenciar o uso de matérias primas alternativas, reduzir o uso de antibióticos, melhorar a digestibilidade e a eficiência da utilização dos nutrientes dos alimentos, contribuir para a redução do uso de fertilizantes e pesticidas e, reduzir as emissões de gases com efeito de estufa (GEE) (IACA, 2020), como forma de promover não só a sustentabilidade económica das empresas mas principalmente a sustentabilidade ambiental da produção animal (Subpromais, 2021).

De acordo com o plano de ação para a economia circular (PAEC) definido pela Comissão Europeia (European Commission, 2020) e o PAEC estabelecido para Portugal, foram definidos os principais elementos a serem considerados no âmbito do seu desenvolvimento e execução (Diário da República, 2017). As medidas estabelecidas vão ao encontro do que tem sido divulgado em artigos científicos e no Anuário 2020 da IACA. Nomeadamente, a promoção do uso eficiente de resíduos/subprodutos/matérias-primas secundárias na produção de outras matérias-primas ou produtos, contribuindo para uma economia circular e sustentabilidade com a diminuição do desperdício alimentar, diminuição da produção de resíduos orgânicos, aumento da produtividade da cadeia de valor e, aumentando a eficiência dos consumos de energia e recursos naturais (Diário da República, 2017; European Commission, 2020; República Portuguesa, 2017).

De forma a responder à problemática identificada, vários estudos indicam os benefícios de usar diferentes estratégias de formulação de dietas para a produção de ACs para animais de forma a reduzir o seu impacto ambiental. A estratégia mais aplicada é a substituição de matérias-primas alimentares com elevado impacto ambiental por outras com um menor impacto (de Quelen entre outros, 2021; van Zanten entre outros, 2018).

Assim, neste trabalho será considerada uma fórmula nova, que inclui novas matérias-primas e subprodutos de agroindústrias de proximidade, para a produção de um AC novo para suínos produzidos em regime extensivo ou semi-extensivo, com o objetivo de ser comparado através da ferramenta avaliação de ciclo de vida (ACV) a um AC padrão já comercializado, fazendo a análise e discussão dos respetivos impactos no ambiente entre os diferentes ACs. O AC padrão inclui grandes quantidades de matérias-primas e subprodutos importadas com grande impacto ambiental, como cereais e o bagaço de soja. É portanto espectável que com a substituição ou diminuição da inclusão de matérias-primas importadas e/ou com maior impacto ao nível da sua produção, o impacto ambiental do AC padrão seja superior ao AC novo, confirmando-se que efetivamente através da inclusão de subprodutos de outras indústrias na alimentação destes animais, se consegue contribuir para uma economia circular e, contribuir para a mitigação de problemas ambientais associados à produção de ACs para suínos.

1.2. Objetivos

O tema desta dissertação surgiu no âmbito do projeto ECO-PIG que está a ser desenvolvido na Escola Superior Agrária de Coimbra (ESAC) sob orientação da

professora Luísa Chambel, em que um dos objetivos é encontrar, através da alimentação, formas de tornar o sistema de produção de suínos produzidos em regime extensivo, como é o caso dos suínos de raça Alentejana e Bísaro, mais sustentável procurando produtos mais económicos e identificando de que forma podem ser valorizados na alimentação destes animais.

Neste contexto, o objetivo desta dissertação é através da avaliação de ciclo de vida (ACV) estudar o impacto no ambiente de um AC que inclui na sua formulação matérias-primas agrícolas e subprodutos e, que serve para alimentar suínos autóctones em fase de acabamento-montanheira em sistema de produção ao ar-livre.

A metodologia ACV vai permitir a identificação de consequências do ciclo de vida de cada um dos ACs pela avaliação dos seus potenciais impactos ambientais dentro de todo o ciclo de vida da sua cadeia de produção (González-García entre outros., 2014). As matérias-primas e subprodutos a incluir no alimento composto novo são escolhidos com base no seu elevado teor em matéria-seca (MS), na sua disponibilidade em agroindústrias de proximidade, contribuindo para uma economia circular e, ao mesmo tempo pelo aproveitamento nutricional que os suínos podem obter ao consumirem estes ACs, estando sempre asseguradas as suas necessidades nutricionais.

1.3. Estrutura da tese

Este trabalho está organizado em três partes: introdução, revisão bibliográfica e conclusões.

Na introdução é feito um enquadramento do tema do trabalho, identificação da problemática e fatores de motivação para o desenvolvimento do tema. É também neste primeiro capítulo que são descritos os objetivos desta dissertação e as ferramentas a utilizar.

Na revisão bibliográfica são abordados quatro capítulos:

- No capítulo 2 é feita uma caracterização do setor da produção de suínos em Portugal, é descrito resumidamente o sistema de produção das raças Alentejano e Bísaro e o setor suinícola é apresentado com recursos a dados estatísticos que descrevem a produção de suínos em acabamento e a comercialização da carne de porco em Portugal.

- No capítulo 3 é feita uma descrição da realidade do setor da indústria dos ACs em Portugal igualmente com recurso a dados estatísticos tanto em termos económicos como em relação aos problemas ambientais aos quais o setor está associado.
- No capítulo 4 é feita uma relação entre a produção de ACs para suínos e a economia circular, de que formas é que este setor pode através da economia circular contribuir para a redução dos impactes ambientais do setor agropecuário.
- No capítulo 5 é feita uma introdução e explicação da ferramenta metodológica utilizada neste estudo, a ACV, é descrita a metodologia, os objetivos da sua utilização, as etapas de elaboração de um estudo ACV, as suas vantagens e limitações.

Os capítulos 6 e 7 descrevem a aplicação da metodologia ACV na produção dos dois ACs e os respetivos resultados. Mais especificamente:

- O capítulo 6 envolve uma descrição detalhada da aplicação da metodologia ACV ao processo de produção de ACs, a definição do objetivo e âmbito do estudo, a recolha de dados de inventário, a apresentação do método utilizado na avaliação dos impactes ambientais e as categorias de impacte.
- No capítulo 7 são apresentados os resultados da avaliação dos impactes ambientais, comparando o AC novo com o padrão, são os hotspots e apresentadas as limitações deste estudo.

Finalmente, nas conclusões há uma análise do problema identificado na introdução bem como o cumprimento dos objetivos definidos. São apresentadas as principais conclusões do trabalho e perspetivas de trabalho futuro.

2. Caracterização do setor suínico em Portugal

Os suínos das raças autóctones Alentejano e Bísaro são tradicionalmente produzidos em sistemas extensivos ou semi-extensivos, tirando aproveitamento dos recursos alimentares naturais das regiões onde se encontra a maioria das explorações de produção, Alentejo e região Norte de Portugal, respetivamente (Fernandes entre outros., 2015; Fernandes entre outros, 2008).

No que diz respeito à produção de porco de raça Alentejana, o produto final e os recursos alimentares da exploração condicionam a alimentação dos animais, especialmente durante a fase de acabamento, que poderá ser exclusivamente em montanha, em regime alimentar misto, constituído por alimentos disponibilizados pela natureza (bolota, erva, restolhos de cereais, restolhos de leguminosas) e por um complemento de cereais produzidos na exploração ou, ainda, exclusivamente com um alimento composto. A duração desta fase produtiva está também dependente do tipo de produto que se pretende obter, nomeadamente carne para consumo em fresco, matéria-prima para indústria de enchidos ou indústria de presunto (Fernandes entre outros., 2008).

Na produção de Carne de Porco Alentejano (para consumo em fresco) os porcos são abatidos entre os 8 e 14 meses de idade e um peso vivo variando entre os 90 a 100 kg. No caso da produção se destinar ao fornecimento de matéria-prima utilizada na elaboração de enchidos, os porcos são abatidos entre os 120 a 140 kg de PV (Fernandes entre outros., 2008). Pesos vivos entre os 150 e 170 kg são exigidos no caso da produção se destinar à indústria nacional de presunto ou ao mercado espanhol (Fernandes entre outros., 2008).

Relativamente à fase de acabamento dos porcos bísaros, estes são alimentados com pasto e alimento composto formulado para esta fase específica ou, então, dependendo da época do ano, podem ser alimentados com pasto natural ou semeado e suplementados com ACs. O regime pastoril tradicional é realizado em florestas de sobre e azinho ou de carvalho, onde podem comer os frutos maduros que caem das árvores, as ervas que crescem sob o coberto dessas espécies, as raízes e cogumelos que desenterram ou, nos soutos, o refugio das castanhas após a sua colheita (Fernandes entre outros, 2015).

Na fase final de engorda, o alimento deverá ser *ad libitum*, para conseguir uma engorda adequada aos pesos acima dos 160 kg de PV, caso seja esse o objetivo da produção (Fernandes entre outros., 2015).

A produção de suínos de engorda de raça bísaro em sistema extensivo destina-se à obtenção de produtos para transformação na indústria da salsicharia (Teixeira entre outros., 2017).

Assim deduz-se que a produção destas duas raças origina um porco com peso final até 110 kg de PV ou com mais de 110 kg de PV, consoante o mercado a que se destina. Esses animais, são os consumidores finais dos ACs a estudo neste trabalho sendo desta forma importante analisar o efetivo anual dos suínos em Portugal. A figura 1 demonstra o efetivo suíno em fase de engorda (até 110 kg de PV) e fase de engorda com mais de 110 kg. Na figura estão incluídas todas as raças produzidas nas suiniculturas portuguesas não sendo possível especificar o valor referente às raças autóctones por falta de informação mas, permitindo afirmar que aos longo destes 10 anos a quantidade de suínos em fase de acabamento manteve-se praticamente constante no que diz respeito à fase de engorda até aos 110 kg de PV, notando-se contudo um pequeno decréscimo no ano de 2020 face ao ano 2019. Relativamente ao efetivo de animais com mais de 110 kg de PV, notou-se um grande aumento da produção relativamente aos 9 anos anteriores. Este fator é relevante uma vez que demonstra um espetável aumento da produção de ACs para os suínos para esta fase de produção.

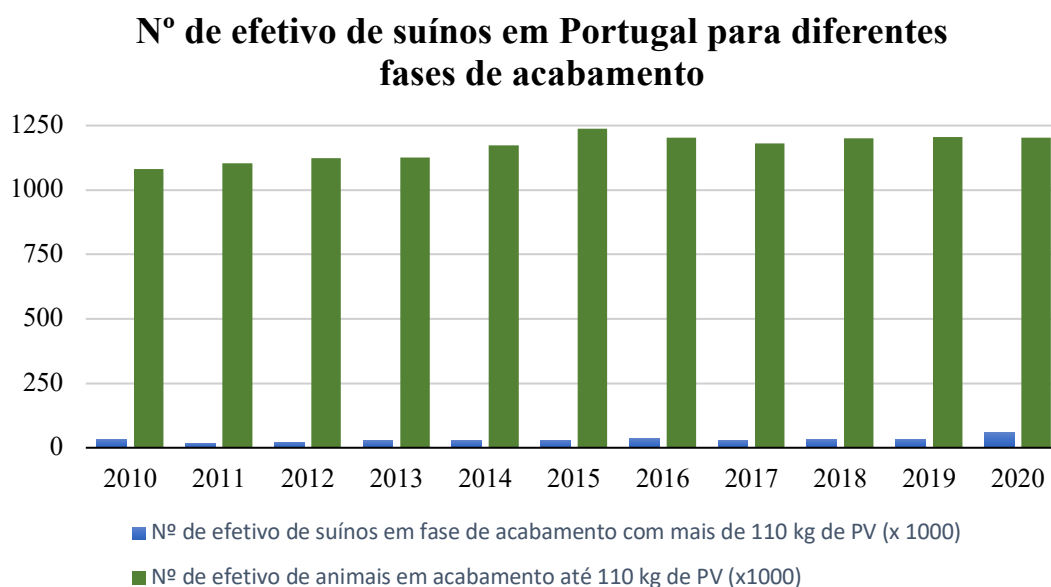


Figura 1 Número de efetivo e suínos em diferentes fases de acabamento em Portugal nos últimos 10 anos (2010 a 2020). Fonte: Comunidade Profissional Suinícola (2021a)

O setor da produção de suínos é o maior contribuinte para a produção global de carne, com 37% do total de 296 milhões de ton de peso da carcaça em 2010 (Macleod, entre outros., 2013).

Em Portugal, segundo o site da Comunidade profissional suinícola, 3tres3, a produção de carne de porco foi de 358 000 ton no ano de 2020 (Comunidade Profissional Suinícola(b), 2021), notando-se um decréscimo face ao ano de 2010 de 26 ton e face ao ano de 2019 de 8 ton, tal como demonstra a figura 2.

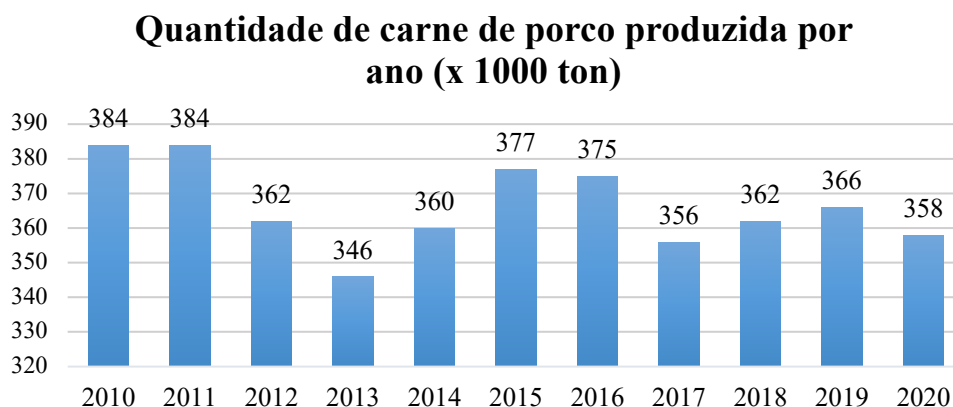


Figura 2 Quantidade de carne de porco produzida (x 1000 ton) por ano em Portugal, no período de 2010 a 2020. Fonte: Comunidade Profissional Suinícola (2021b)

Da quantidade de carne de porco produzida analisada na figura 2, pode verificar-se na figura 3 que foi exportada cerca de 45 000 ton de carne fresca e congelada e, foi importada cerca de 82 000 ton (Comunidade Profissional Suinícola(d), 2021; Comunidade Profissional Suinícola (c), 2021).

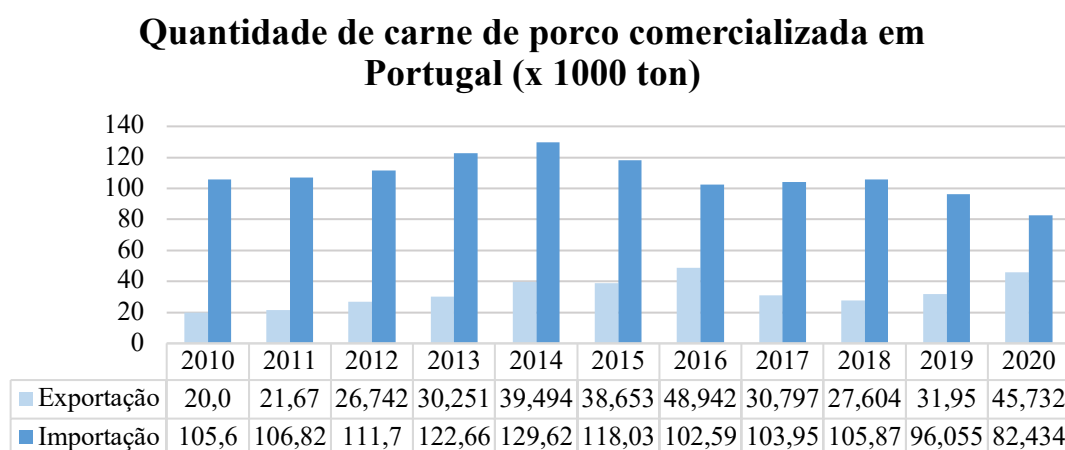


Figura 3 Quantidade de carne de porco comercializada (x 1000 ton) em Portugal nos últimos 10 anos (2010 a 2020). Fontes: (Comunidade Profissional Suinícola, 2021b; Comunidade Profissional Suinícola, 2021c)

3. Caracterização da indústria de alimentos compostos em Portugal

Na produção de ACs para animais, muitas matérias primas de produção (de origem vegetal, animal e não-biogénica) ou da fase de transformação são reunidas numa fábrica para produzir ACs para animais como produto final. As matérias-primas para alimentação animal são adicionadas com base nas suas características nutricionais e nos requisitos específicos para o tipo de animal e para a sua fase de produção. A composição dos ACs produzidos varia ao longo dos anos, dependendo da disponibilidade e dos preços das matérias-primas. Além disso, também diferem em resultado do desenvolvimento de produtos que visam um melhor desempenho da alimentação ou mercado (FAO, 2014).

No que diz respeito à produção de ACs para animais em Portugal, esta representa 18% do peso da indústria transformadora e 11% da agroindústria portuguesa. Como demonstra o gráfico da figura 4, a indústria da produção animal, carnes, leite e alimentação representam cerca de 45% do volume de negócios das indústrias agroalimentares (IACA, 2020).

Volume de negócios da indústria agroalimentar

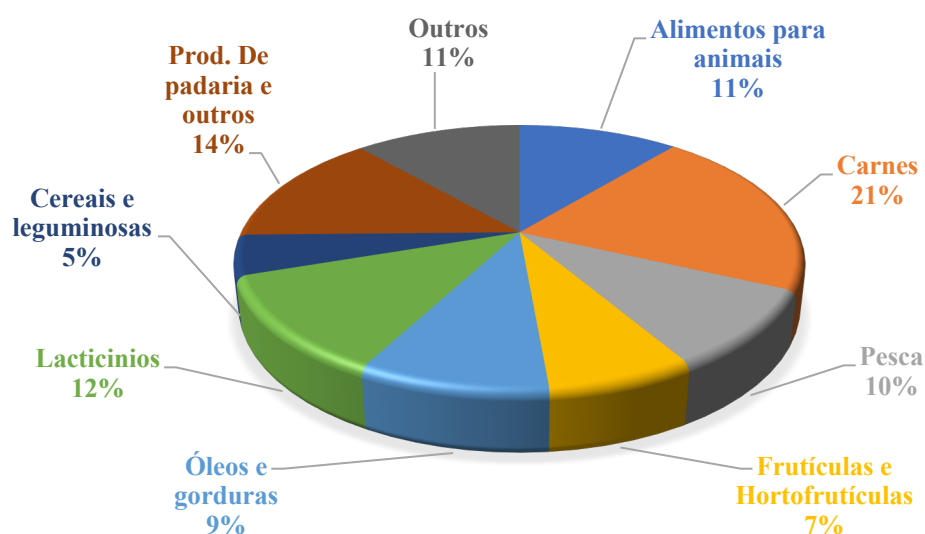


Figura 4 Volume de negócios da indústria agroalimentar portuguesa. Fonte: (IACA, 2020)

O setor agropecuário tem um papel importante e crucial para a segurança alimentar, ao mesmo tempo em que é responsável por importantes questões ambientais (Tsangas entre outros, 2020; Salami entre outros., 2019). A produção de alimentos para consumo animal é responsável pela maior parte do impacte ambiental associado à produção animal (de

Quelen entre outros, 2021; de Vries & de Boer, 2010; van Zanten entre outros, 2018). No entanto, o impacto ambiental associado à indústria da produção de ACs estão maioritariamente relacionados com a produção das matérias-primas e comercialização das mesmas (de Quelen entre outros, 2021; Salami entre outros, 2019). Esses impactos são nomeadamente emissões de gases com efeito de estufa (GEE), consumo de água e energia, poluição do solo e água, desflorestação, redução da biodiversidade (de Quelen entre outros, 2021; Salami entre outros, 2019; Tsangas entre outros, 2020; van Zanten entre outros, 2018).

Relativamente ao consumo de matérias-primas em Portugal (figura 5), o consumo de cereais continua a dominar com um consumo de 1,8 milhões de ton. Nas sementes e bagaços de oleaginosas houve uma quebra em 2019 relativamente ao ano 2009 contudo, nota-se uma estabilidade nos últimos 5 anos. Nas restantes categorias, produtos substitutos cereais e diversos, onde se incluem entre outros, grande parte de subprodutos de agroindústria, não se verifica grande variação ao longo dos últimos 10 anos contudo, desde 2016 que se regista um ligeiro aumento do consumo destas matérias-primas. Segundo a IACA, tais registos demonstram uma estratégia de relativa diversificação e maior aposta na economia circular, tendo em vista assegurar a competitividade da alimentação animal e o reforço da qualidade e eficiência na utilização das matérias-primas (IACA, 2020).

Consumo de matérias-primas (x1000 ton) por ano, em Portugal

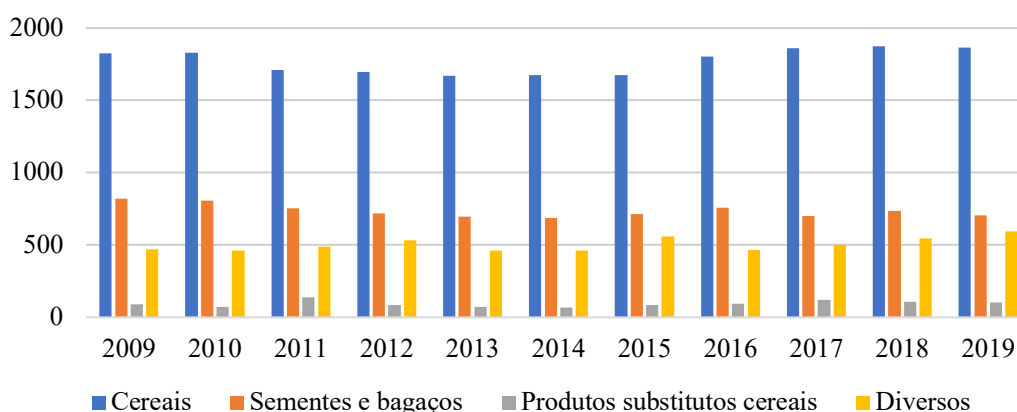


Figura 5 Consumo de matérias-primas (x1000 ton) de 2009 a 2019 em Portugal. Fonte: (IACA, 2020)

Segundo os dados monitorizados pela IACA (figura 6), a importação das matérias-primas em Portugal no ano de 2019 atingiu um volume de 5,7 milhões de ton. Apesar da quebra

face ao ano 2018, o destaque vai como é esperado para os cereais em que os principais países de origem são Ucrânia (milho), França (trigo), Reino Unido (cevada) e Espanha (aveia e sorgo). No setor dos produtos substitutos cereais, relativamente a 2018, registou-se uma diminuição da importação de subprodutos da indústria cervejeira (radículas de malte por exemplo). Nas oleaginosas, em 2019, registou-se uma diminuição da importação da soja em grão, mas o bagaço de soja teve um crescimento significativo em comparação com o ano de 2018, talvez porque em 2018 houve uma maior aposta na transformação de soja em bagaço em prol da sua importação. O inverso se registou em relação aos grãos de colza e girassol em que houve um aumento da sua importação e uma redução da importação dos respetivos bagaços (IACA, 2020).

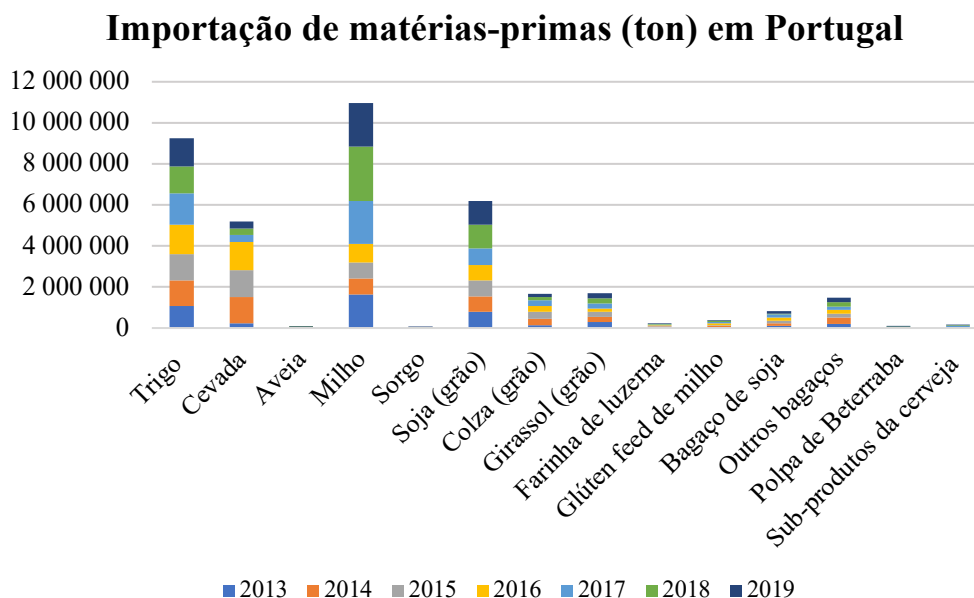


Figura 6 Importação das matérias-primas (ton) em Portugal. Fonte: (IACA, 2020)

Embora seja atribuído à produção animal e também à produção de ACs para animais uma grande responsabilidade no impacte que estas indústrias representam para o ambiente, segundo a IACA, tem havido uma grande dedicação em encontrar soluções que minimizam estes impactes e no cumprimento das medidas definidas pela União Europeia para o setor agroindustrial.

De acordo com a FAO (2014), a principal contribuição do impacte ambiental deste setor provém do processos a montante e não a partir da produção do AC em si (FAO, 2014). Neste sentido, vários estudos têm investigado a possibilidade de reduzir os impactes ambientais da produção de ACs para suínos pela modificação da composição da sua dieta ou por substituição de matérias-primas com elevado impacto ambiental ao nível da sua

produção por outras com menor impacto no ambiente (de Quelen entre outros., 2021; Mackenzie entre outros., 2016) ou por introdução de resíduos orgânicos nas dietas fazendo com que haja uma conversão desses resíduos em proteína animal (Pinotti entre outros., 2021). Neste trabalho, procurou-se escolher matérias-primas (agrícolas e subprodutos) com menor impacto devido à distância de transporte e disponibilidade de mercados de proximidade.

4. Produção de alimentos compostos para suínos na perspectiva da economia circular

O conceito de economia circular (EC) foi originalmente definido como uma economia onde o desperdício é reutilizado como recurso, tanto por mecanismos de retorno tecnológicos como por mecanismos de retorno naturais, de forma a que o stock de recursos seja constante ou crescente ao longo do tempo (Peña entre outros., 2021; Xue entre outros., 2019). O uso mais recente enfatiza que este objetivo também pode ser alcançado mantendo produtos, componentes e materiais no seu mais alto nível de utilidade e valor pelo maior tempo possível, eliminando resíduos e poluição e regenerando sistemas naturais (Peña entre outros., 2021).

Como já foi discutido na introdução deste trabalho, existem atualmente, políticas europeias e mundiais que incentivam a aplicação da economia circular na produção agrícola e pecuária e às indústrias associadas, como é o caso dos ACs para animais, com a adoção de medidas que contribuam para a redução dos impactes ambientais deste setor. Das várias formas possíveis com que o setor pode cooperar, ao longo deste trabalho procura-se tentar valorizar subprodutos e matérias-primas resultantes de agroindústrias e mercados de proximidade, respetivamente, em prol da importação de matérias-primas e desta forma contribuir para a EC através da redução do desperdício alimentar e valorização do mercado local.

A grande maioria das operações de transformação alimentar e não alimentar que utilizam matérias-primas como cereais ou oleaginosas para além do produto pretendido resultam na produção de mais do que um produto (produto e subproduto). Com os conhecimentos nutricionais e as competências tecnológicas adequadas, os subprodutos são valorizados na alimentação animal, mantendo assim os nutrientes dos alimentos nos sistemas de produção alimentar, que de outra forma se perderiam (FEFAC, 2019.; Van Zanten entre outros., 2019).

Num estudo realizado pela FAO, determinou-se que 86% das matérias-primas utilizadas em alimentação animal não são adequadas para consumo humano. Se não forem consumidos pelos animais de produção, podem rapidamente tornar-se uma carga ambiental à medida que a população humana cresce e consome cada vez mais alimentos processados (FAO, 2018).

Os animais produtores de alimentos têm a capacidade única de poder utilizar subprodutos do processamento de produtos agrícolas não consumidos pelos humanos, mantendo-os assim na cadeia alimentar (FEFAC, 2019).

5. Avaliação de Ciclo de Vida

5.1. Metodologia

A ACV é uma metodologia que permite avaliar os potenciais impactos ambientais do ciclo de vida de um produto ou serviço, desde a extração/obtenção das matérias-primas, passando pela produção, utilização, tratamento de fim de vida, reciclagem e deposição final (abordagem do berço ao túmulo). Desta forma são consideradas as entradas de matérias-primas e matérias auxiliares e energia, e saídas de resíduos, materiais e todas as emissões associadas a um sistema de produto ou serviço e, com base nestes dados avalia os potenciais impactos causados pelo consumo de recursos naturais e emissão de poluentes para o ambiente e para a saúde humana. A ACV permite determinar quais as etapas do ciclo de vida que apresentam maior impacto e qual a sua contribuição para as categorias de impacto ambiental. A ACV fornece informação detalhada sobre o desempenho ambiental de um produto e serviço, e pode ser utilizada para cumprir objetivos de monitorização do desempenho, bem como para estabelecer objetivos de progresso e melhoria (ISO 14040, 2006).

A norma ISO 14040:2006 descreve a metodologia a seguir para a aplicação da ACV (princípios e enquadramento), sendo complementada com os requisitos e linhas diretrizes da ISO 14044:2010 (ISO 14040, 2006; ISO 14044, 2010). A ACV desenvolve-se, de uma forma iterativa, em quatro fases: definição de objetivo e âmbito; análise de inventário; avaliação de impacto e, interpretação (figura 7).

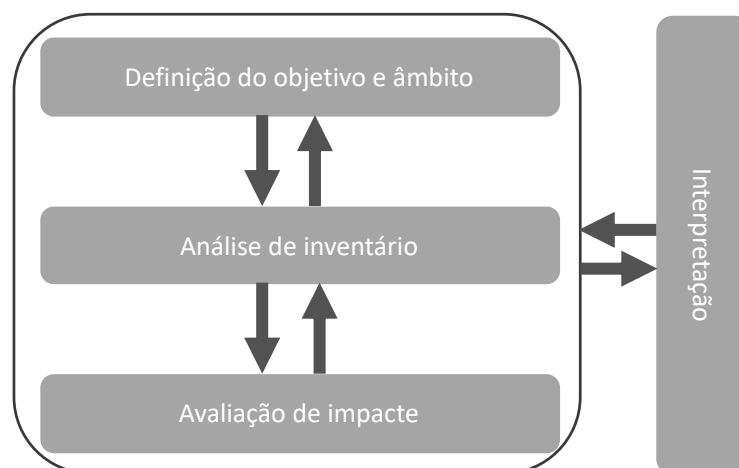


Figura 7 Fases da ACV de acordo com a ISO 14040 (ISO 14040, 2006).

Na fase de definição do objetivo e âmbito devem ser estabelecidas, por exemplo, a razão para a realização do estudo, o público alvo, as funções dos sistemas de produto, a unidade funcional, a fronteira do sistema, o procedimento de alocação, as categorias de impacto selecionadas e a metodologia da avaliação de impacto, os requisitos de qualidade dos dados, os pressupostos e as limitações (ISO 14040, 2006)..

Na análise de inventário procede-se à recolha de dados das entradas e saídas para todos os processos do sistema. A fase de avaliação de impactos é a fase onde os dados de inventário relativos às entradas e saídas do sistema são convertidos em indicadores de impactos potenciais do sistema sobre o meio ambiente, a saúde humana e sobre a disponibilidade dos recursos naturais. Na interpretação, a última fase do estudo, os resultados do inventário da avaliação dos impactos são interpretados de acordo com o objetivo e âmbito do estudo (ISO 14040, 2006).

Os principais pontos fortes da ACV estão na sua capacidade de fornecer uma avaliação holística dos processos de produção e de identificar medidas que simplesmente transferem os problemas ambientais de uma fase do ciclo de vida para outra (Macleod entre outros., 2013).

5.1.1. Definição do objetivo e do âmbito

O primeiro passo necessário ao iniciar uma ACV é estabelecer claramente o objetivo e âmbito do estudo. No objetivo identifica-se a razão para a realização do estudo, o público-alvo, e a utilização pretendida dos resultados. No âmbito identifica-se o sistema de produto ou o processo a ser estudado, as funções dos sistemas de produto, a unidade funcional, a fronteira do sistema, as categorias de impacto e a metodologia de avaliação de impacto. O âmbito deve ser definido de modo que a amplitude, profundidade e detalhe do estudo sejam compatíveis e suficientes para atingir o objetivo declarado (FAO, 2014).

A unidade funcional, definida como o desempenho quantificado de um sistema de produto para utilização como unidade de referência, pela ISO 14040 (2016), e é estimada na descrição do âmbito do estudo de ACV. O objetivo principal de uma unidade funcional é fornecer uma referência à qual as entradas e saídas sejam relacionadas, a qual é necessária para assegurar a comparabilidade de um estudo de ACV. A comparabilidade dos resultados de ACV é particularmente crítica quando se avaliam diferentes sistemas, para garantir que tais comparações são efetuadas com uma base comum (ISO 14040, 2006).

A fronteira do sistema define que parte do ciclo de vida do produto e os processos unitários a serem incluídos no sistema. Especifica que partes do ciclo de vida do produto são incluídas ou excluídas da análise e ajudará a definir a estrutura da análise (ISO 14040, 2006). Dependendo do tipo de análise pretendida, a fronteira pode ser classificada em berço-ao-túmulo (considera o ciclo de vida completo), berço à porta (considera as fases de aquisição de matérias-primas e de produção), porta-a-porta (considera apenas a produção), e porta ao túmulo (apenas considera as etapas de utilização e de fim de vida). Em estudos de ACV, podem também ser utilizados procedimentos de alocação, sendo a sua seleção sempre justificada, em conformidade com o definido no normativo de normas ISO 14040 (European Commission, 2010).

5.1.2. Análise de Inventário

Na fase de Inventário do Ciclo de Vida, é feito um levantamento e quantificação de entradas e saídas de materiais e energia ao longo do ciclo de vida de um produto. O inventário quantifica os consumos de recursos utilizados e emissões de poluentes para o ar, solo e água, relacionando-os com a unidade funcional definida na fase do objetivo e âmbito (ISO 14040, 2006).

Sempre que possível, são recolhidos dados de inventário primários para todos os recursos utilizados e emissões associadas a cada etapa do ciclo de vida do produto incluída na fronteira do sistema. Dados primários são dados medidos ou fornecidos diretamente no ou pelos produtores. Para processos em que não há acesso direto a dados primários, podem ser utilizados dados secundários. Os dados secundários referem-se a conjuntos de dados de inventário que geralmente estão disponíveis a partir de bases de dados existentes de terceiros, relatórios governamentais ou de associações industriais, literatura revista por pares, ou outras fontes.

5.1.3. Avaliação do impacte ambiental

De acordo com a ISO 14040:2006, a Avaliação de Impacte ambiental do Ciclo de Vida (AICV) visa compreender e avaliar a magnitude e importância dos potenciais impactes ambientais para um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida e é realizada com base na análise dos dados de inventário. A seleção das categorias de impacte ambiental e respetivos indicadores, é uma etapa obrigatória da AICV e deve ser justificada e coerente com o objetivo e âmbito do estudo. As categorias de impacte são classes que representam

as questões ambientais a estudo e à qual os resultados do inventário do ciclo de vida poderão ser atribuídos. Já os indicadores das categorias de impacto são a representação quantificável destas mesmas categorias. É através destes indicadores que se expressam os resultados da avaliação de impactos (ISO 14040, 2006).

Os impactos ambientais podem ser modelados a diferentes níveis na cadeia de causa-efeito ambiental que liga os fluxos do inventário do ciclo de vida até ao ponto médio (*midpoint*) e áreas de proteção (*endpoint*): ambiente natural, saúde humana e recursos naturais.

A fase de AICV prevê a realização da Classificação e Caracterização (elementos obrigatórios), e a Normalização, Agregação e Ponderação (elementos opcionais), segundo a norma ISO 14040:2006. Ao nível *midpoint*, os consumos de recursos e emissões de poluentes são relacionados com as respetivas categorias de impacto ambiental. Por exemplo, a emissão de gases com efeito de estufa (GEE) como o dióxido de carbono, metano, são consequentemente atribuídos à categoria de impacto do aquecimento global. De seguida, é igualmente obrigatório proceder-se à caracterização, ou seja, o cálculo dos resultados dos indicadores para cada categoria de impacto, em que a cada substância é atribuído um potencial de impacto na categoria de impacto em estudo. Os resultados obtidos nesta etapa expressam a contribuição potencial para determinada categoria de impacto ambiental.

Os elementos opcionais são realizados de modo a normalizar, agrupar ou pesar os resultados dos indicadores de categorias de impacto. A normalização consiste em definir a contribuição relativa dos fatores de caracterização de uma determinada categoria com relação ao impacto total para essa mesma categoria. O agrupamento compreende a atribuição das categorias de impacto numa ou mais séries, podendo envolver separação e/ou ordenação; separar as categorias de impacto numa base nominal (ex. pelas características, tais como, emissões e recursos); ordenar as categorias de impacto numa dada hierarquia baseada na escolha de valores. A ponderação consiste na conversão dos resultados dos indicadores de cada uma das categorias de impacto a uma escala comum, utilizando fatores numéricos baseados em escolhas de valor.

5.1.4. Interpretação

A interpretação avalia os resultados da análise de inventário e avaliação de impacto e serve dois propósitos. Em todas as fases da ACV, as abordagens de cálculo e os dados

devem corresponder aos objetivos e requisitos de qualidade do estudo. Neste sentido, a interpretação dos resultados pode informar uma melhoria iterativa da avaliação até que todos os objetivos e requisitos sejam cumpridos. O segundo objetivo da interpretação é desenvolver conclusões e recomendações, por exemplo, para apoio à melhoria do desempenho ambiental. As conclusões devem ser dadas no contexto estrito do objetivo e âmbito do estudo, e qualquer limitação do objetivo e âmbito pode ser discutida.

Os resultados da ACV podem ter várias aplicações diretas:

- Identificação de oportunidades para melhorar o desempenho ambiental dos produtos, ao longo do seu ciclo de vida;
- Disponibilização de informação para a tomada de decisão.

Como requerido pela norma ISO 14044:2010, se o estudo se destinar a apoiar afirmações comparativas (alegação ambiental relativa à superioridade ou equivalência de um produto em relação a um produto concorrente que desempenhe a mesma função), então é necessário considerar plenamente se as diferenças no método ou na qualidade dos dados utilizados no modelo dos produtos comparados prejudicam a comparação (ISO 14044, 2010). Quaisquer inconsistências em unidades funcionais, limites do sistema, qualidade dos dados ou avaliação de impacto devem ser avaliadas e comunicadas.

5.2. Vantagens e limitações da ACV

Os dados obtidos através de um estudo ACV podem dar um contributo nas tomadas de decisão na seleção de produtos ou processos pelo seu impacto para o ambiente (Rodrigues, 2004).

A metodologia ACV é a única que permite identificar a transferência de impactos ambientais de um meio para o outro e/ou de um estágio de ciclo de vida para outro (como por exemplo, da fase de aquisição de matérias-primas para a fase de utilização das mesmas) (Rodrigues, 2004).

Na elaboração de um estudo ACV, é possível (Rodrigues, 2004; European Commission, 2010):

- Desenvolver uma sistemática avaliação das consequências ambientais associadas com um dado produto.

- Analisar os balanços (ganhos/perdas) ambientais associados com um ou mais produtos/processos específicos de modo a que os visados (estado, comunidade, etc.) aceitem uma ação planeada.
- Quantificar as descargas ambientais para o ar, água, e solo relativamente a cada estágio do ciclo de vida e/ou processos que mais contribuem.
- Assistir na identificação de trocas de impactes ambientais significativas entre estágios de ciclo de vida e o meio ambiental.
- Avaliar os efeitos humanos e ecológicos do consumo de materiais e descargas ambientais para a comunidade local, região e o mundo.
- Comparar os impactes ecológicos e na saúde humana entre dois ou mais produtos/processos rivais ou identificar os impactes de um produto ou processo específico.
- Identificar impactes em uma ou mais áreas ambientais específicas de interesse.

Contudo, a elaboração de um estudo ACV necessita normalmente de muitos recursos e pode ser muito extensivo e demorado. Deste modo, os recursos financeiros deverão ser balanceados com os benefícios previsíveis do estudo (Rodrigues, 2004). Além disso, há por vezes uma limitação no acesso a informação sobre determinados processos de um estágio do ciclo de vida de um produto quer por questões de confidencialidade ou mesmo, porque a informação não existe. Como consequência, recorre-se muitas vezes a fontes informativas secundárias como livros, bases de dados, artigos científicos, etc., o que pode comprometer a qualidade do estudo.

O estudo de ACV não determina outras componentes do produto ou processo além do seu impacte ambiental, como a componente económica ou social. Por isso, a informação desenvolvida num estudo de ACV pode ser utilizada como uma componente de um processo de decisão e complementada com estudos socioeconómicos, considerando o custo, a performance e alguns parâmetros sociais (Rodrigues, 2004).

6. Avaliação do Ciclo de Vida de um alimento composto e de um alimento composto novo

6.1. Composição dos alimentos compostos

De acordo com o sistema de produção e estado de desenvolvimento do animal, a produção de suínos requer diferentes tipos de ACs que diferem na sua composição e valor nutritivo (Van Der Werf entre outros., 2005). Estes são formulados com base na combinação de diferentes cereais, leguminosas e subprodutos e, aditivos alimentares com o objetivo de fornecer ao animal macronutrientes (proteína, hidratos de carbono, gordura, etc.) e micronutrientes (vitaminas, minerais) para a manutenção, crescimento, reprodução e produção (no caso dos suínos, carne) (FAO, 2020).

Neste estudo são considerados dois ACs para suínos de raças autóctones produzidos em regime ao ar livre, um AC novo formulado para fornecer aos suínos a estudo ao abrigo do projeto ECO-PIG e, um alimento já comercializado no mercado da alimentação animal (tabela 1). Ambos os alimentos foram formulados (tabela 1) pela empresa parceira do projeto, a DIN, S.A. que com recurso a um programa de formulação de dietas para animais, procurou garantir a semelhança da composição nutricional de ambos os ACs (tabela 2) de forma a que ambos os ACs tivessem a capacidade de suprimir as necessidades nutricionais e alimentares dos suínos (tabela 3). Para validação da fórmula ótima que deu origem ao AC novo, foram feitos pela DIN, S.A., vários ensaios em laboratório garantido desta forma as mesmas condições energéticas e proteicas (tabela 2) entre o AC padrão e AC novo.

Tabela 1 Fórmulas para a produção de uma ton de AC Padrão e AC Novo para alimentar suínos em fase acabamento-montanheira

Cereais, Leguminosas e Subprodutos	Unidade	AC Padrão	AC Novo
Grãos de <i>Triticum aestivum</i> L., <i>Triticum durum</i> e outras cultivares de trigo.	kg	503,0	432,0
Grãos de <i>Avena sativa</i> L. e outros cultivares de aveia	kg	n.a.	200,0
Grãos de cevada (<i>Hordeum vulgare</i> L.).	kg	150,0	n.a.
Tremoço Branco Doce (<i>Lupinus Albus</i> L.)	kg	n.a.	70,0
Sementes de <i>Pisum sativum</i> (ervilha)	kg	n.a.	40,0
Sêmea de trigo	kg	100,0	n.a.
Óleo de girassol	kg	70,0	46,4
Bagaço de girassol	kg	50,0	67,0
Bagaço de soja	kg	30,0	n.a.
Polpa de Beterraba	kg	n.a.	100,0
Radículas de Malte	kg	n.a.	30,0
Luzerna	kg	30,0	n.a.
Alfarroba	kg	25,0	n.a.
Aditivos			
Premix	kg	5,0	5,0
NaCL	kg	3,1	n.a.
NaHCO ₃	kg	2,5	n.a.
Lisina Pura (98% HCL)	kg	1,4	n.a.
NaCL (Refinado)	kg	n.a.	5,0
CaHPO ₄	kg	n.a.	3,6
CaCO ₃ (em pó)	kg	n.a.	1,0
n.a. – não aplicável			

Tabela 2 Composição nutricional dos ACs padrão e novo

	Unidade	AC padrão	AC novo
MS	%	88,6	88,7
Humidade	%	11,4	11,3
PB	%	11,8	12,9
ENet dieta	kcal/kg	2 491,6	2395,3

Tabela 3 Necessidades nutricionais definidas para suínos em crescimento

	Unidade	Necessidades dos suínos em crescimento	Fonte bibliográfica
PB	%	12 a 14,5	(de Blas, C.; Gasa, J.; Mateos, 2013)
ENet dieta	Kcal/kg	2351	(NRC, 2012)

6.2. Definição do objetivo e âmbito

Esta tese tem como objetivo fazer a avaliação do impacto ambiental de um alimento composto novo com matérias-primas novas e subprodutos de agroindústrias de proximidade para alimentar e suprir as necessidades nutricionais de suínos de raça autóctone em fase de acabamento-montanheira e, a identificação dos estágios do ciclo de vida deste alimento que apresentam maior impacto ambiental. O resultado de impacto ambiental deste AC será comparado ao AC padrão, atualmente existente no mercado para o mesmo fim. Será aplicada a metodologia ACV de acordo com as ISOs 14040 e 14044 (ISO 14040, 2006; ISO 14044, 2010), segundo uma perspectiva de berço à porta, ou seja, desde a produção e aquisição das matérias-primas e materiais auxiliares até à produção do AC.

6.3. Unidade funcional e fronteira do sistema

A unidade funcional (UF) considerada foi 1 ton de AC para alimentar suínos de raça autóctone em fase de acabamento-montanheira produzidos em sistema ao ar-livre. Os estágios de ciclo de vida que serão analisados e avaliados durante este trabalho, e que portanto estão considerados na fronteira do sistema (figura 8) de ambos os ACs são: a produção de cada uma das matérias-primas agrícolas das fórmulas nova e padrão, o transporte das matérias-primas, materiais auxiliares e aditivos até à unidade fabril de processamento dos ACs, e o ciclo de produção de cada um dos ACs, o produto já existente no mercado e o produto novo. A produção de eletricidade também foi considerada.

Os potenciais impactes ambientais resultantes das atividades nas áreas administrativas tal como as operações relacionadas com a construção de edifícios, equipamentos e máquinas e o transporte de colaboradores para as unidades fabris foram excluídas da fronteira do sistema.

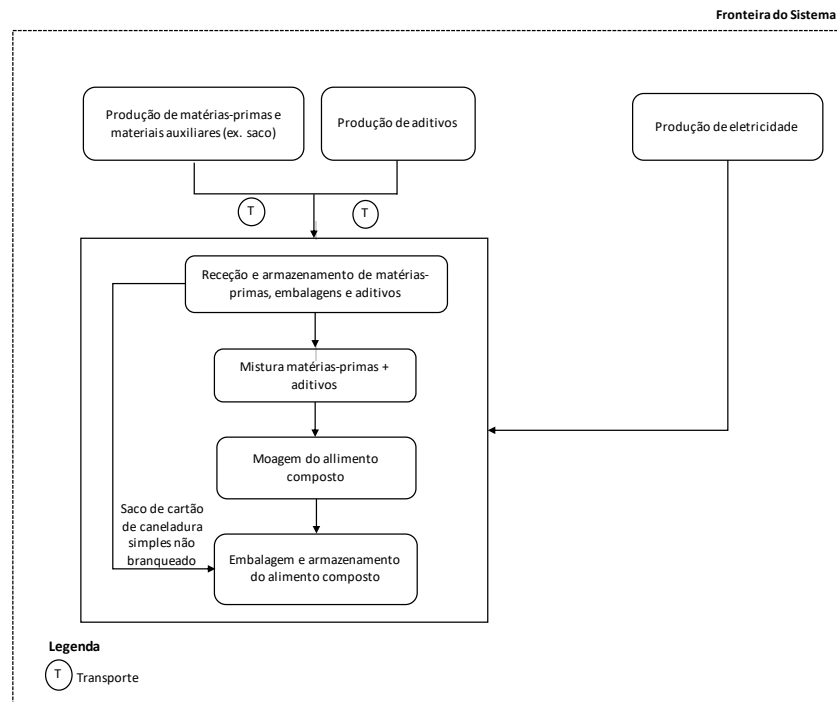


Figura 8 Fronteira do sistema dos ACs padrão e novo

A fórmula de cada mistura é baseada na dieta de cada espécie animal e das suas necessidades nutricionais para cada fase específica de produção, sendo mencionada na rotulagem de cada embalagem a sua composição nutricional. A Rações Santiago, LDA, empresa parceira do projeto ECO-PIG, cordialmente permitiu a visita à sua fábrica em Santiago do Cacém, e é a responsável pela produção dos ACs para suínos em fase de acabamento-montanheira, padrão e novo.

A descrição do modo de fabrico deste produto será baseada nos conhecimentos obtidos na visita feita à fábrica da empresa, como demonstra o fluxograma da figura 9. O sistema de produção dos ACs na fábrica é praticamente todo automático controlado através de um sistema informático, desde a receção de matérias-primas, circuito de produção de ACs, embalamento e distribuição.

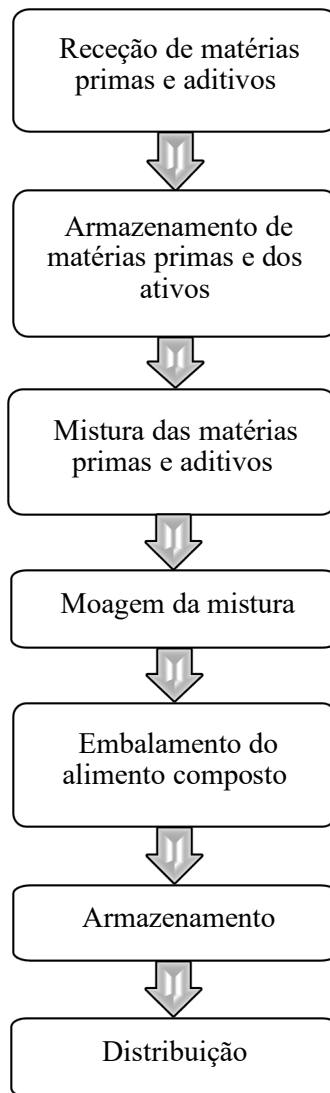


Figura 9 Fluxograma do processo de produção dos ACs

As matérias-primas são transportadas a granel, em sacas ou big bags, em camiões TIR basculantes ou não e, são pesados à sua chegada à fábrica. As matérias-primas líquidas, como os óleos de girassol e colza, são transportadas em cisternas e armazenadas em silos.

Posteriormente, caso o armazenamento das matérias-primas seja em silo, é dada a ordem no sistema informático de qual é o silo que vai receber a matéria-prima a descarregar, que ao ser armazenada no respetivo silo é frequentemente pesada de forma a permitir o controlo de stock. Relativamente aos aditivos, estes chegam à fábrica em camiões TIR sem báscula, são transportados em sacos de 25 kg e são armazenados perto do local de fabrico dos ACs uma vez que são introduzidos no circuito manualmente. Todas as matérias-primas de origem agrícola que sejam transportadas em sacas ou em big bags, são armazenadas em armazém e a sua introdução no circuito de fabrico dos ACs é igualmente à mão.

No momento de se preparar o AC, seleciona-se no computador o código específico do alimento que se quer preparar, que para este estudo será “suínos em fase acabamento-montanheira até 110 kg de PV” e através das indicações das fórmula nova e padrão, como descrito na tabela 1, coloca-se a quantidade (em kg) de cada matéria-prima e aditivo alimentar necessária à preparação de, uma ton de AC. O preparado segue para a misturadora que irá fazer a mistura de todas as matérias-primas e aditivos recebidos. Seguidamente, a mistura é moída numa máquina para esse efeito num processo designado de moagem. Após a moagem, o AC está pronto a ser embalado ou armazenado. A armazenagem do mesmo pode ocorrer em silo (caso seja para ser distribuído a granel). No caso dos ACs novo e padrão, serão embalados. Para tal, serão encaminhados para o circuito de embalamento. Aqui, 1 ton de alimento produzida será distribuída por sacos de 25 kg respetivamente identificados e rotulados. Os sacos são de cartão de canelado simples não branqueado, pesam 126,5g cada um. Ao fim de serem embalados 40 sacos de 25kg (o que corresponde a 1 ton de AC), serão colocados numa palete, enrolados em filme e prontos para a distribuição.

De acordo com a informação obtida através da Rações Santiago, o desperdício associado à produção de ACs para suínos é residual e por isso, não é contabilizado. Para este estudo foi considerado um desperdício de 1%, o que corresponde a 10 kg de AC não conforme em 1 ton de AC produzido.

Sendo que a empresa tem explorações de suínos, este 1% de AC não conforme é introduzido na alimentação dos suínos das explorações que fazem parte do grupo da Rações Santiago, pelo que não é considerado “desperdício” uma vez que é aproveitado, fomentando-se assim a economia circular.

6.4. Análise de inventário

Como referido anteriormente, as fases de ciclo de vida que serão avaliadas e analisadas durante este trabalho são a produção das matérias-primas de origem agrícola e agroindustrial, o seu transporte até à fábrica e o processo de produção dos ACs novo e padrão.

Produção de matérias-primas, aditivos e embalagem

Compreende-se por matérias-primas todos os cereais, leguminosas e subprodutos que entram na produção dos ACs; por aditivos alimentares o premix, lisina pura 98% HCL, NaCl, NaHCO₃, CaHPO₄ e CaCO₃; e embalagem o saco de cartão.

Devido à impossibilidade da recolha de dados de origem primária relativamente ao processo de produção das matérias-primas agrícolas, subprodutos, aditivos alimentares e sacos de cartão para a embalagem, foram considerados dados de origem secundária, de processos existentes nas bases de dados Ecoinvent 3.6 (Wernet entre outros., 2016) e Agri-footprint 5 (Van Paassen entre outros., 2019), com a exceção da alfarroba (entrada no AC padrão) e radículas de malte (entrada no AC novo). Para estes dois casos foi necessário recorrer a literatura afim de estabelecer processos o mais próximos possível da realidade.

Por ausência de dados primários e secundários do processo de fabrico da lisina HCL 98% e fosfato bicálcico, ambas as entradas foram excluídas da modelação dos ACs, mas não do inventário.

Relativamente ao transporte das matérias-primas até à fábrica e, processo de produção dos ACs foi possível a recolha de dados de consumo de matérias-primas, aditivos e materiais auxiliares (para embalagem), consumos de eletricidade e produtos gerados durante o ciclo de vida da produção de ACs para suínos, o que implicou uma análise cuidada do processo de fabrico dos ACs resultando numa listagem associada às entradas e saídas deste processo.

Alfarroba

Para a gestão de 1 ha de alfarrobal, é necessário adotar medidas com vista à instalação e manutenção do pomar (Correia entre outros., 2017), nomeadamente:

1. Mobilização profunda do solo de toda a superfície do pomar.
2. Ripagem de solo, de forma a evitar a imersão de perfis.
3. Abertura de covas.
4. Foi considerado que a poda é feita manualmente.
5. Considerou-se que a instalação do pomar foi feita no período do inverno de forma a evitar a necessidade de rega. Durante a produção da alfarroba considerou-se que não é feita a rega do pomar.

6. A fertilização do alfarrobal é orgânica. A principal fonte são dejetos de ovinos. Contudo, devido à ausência de processo de aplicação de estrume de ovelha no Simapro, foi considerada a fertilização com 30 kg/ha de estrume de bovinos.
7. Eliminação de vegetação espontânea é feita com recurso a grades de discos ou escarificadores acoplados a trator agrícola ou florestal de forma a fazer uma mobilização superficial do solo.
8. A colheita é feita manualmente com o varejo das árvores e apanha dos frutos que caem para o chão.

Os dados relativos à produção de diesel e óleo lubrificante, foram retirados da bases de dados Ecoinvent 3.6 (Wernet entre outros., 2016), enquanto que a aplicação de estrume de bovino foi retirado da base de dados Agri-footprint 5 (Van Paassen entre outros., 2019).

A tabela 4 apresenta os consumos de combustível bem como as emissões para o ar decorrentes da queima de combustível e consumo de óleo nas alfaias agrícolas.

O consumo de combustível, neste caso, diesel foi calculado através da seguinte fórmula:

$$(1) \text{ Consumo de diesel (kg)} = \text{Consumo de diesel (L)} * \text{Densidade de diesel}/1000.$$

Considerou-se que a densidade de diesel é 850 kg/m³.

O consumo de óleo lubrificante, foi igualmente obtido através do seu cálculo pela seguinte fórmula:

$$(2) \text{ Consumo de óleo lubrificante} = 0,05 * \text{Consumo de diesel (kg)}$$

Considerou-se que a quantidade de óleo lubrificante consumida corresponde a 5% do consumo de diesel durante cada operação, de acordo com Dias, A. C., entre outros (2007) (Dias, A. C., entre outros, 2007).

As emissões para o ar do monóxido de carbono (CO), óxido nitroso (N₂O), amónia (NH₃), óxidos de azoto (NO_x), metano (CH₄) e compostos orgânicos voláteis não metânicos (COVNM) foram calculadas com base nos fatores de emissão da EMEP/EEA (2016), (EMEP/EEA, 2016) (tabela 5) através da seguinte fórmula:

$$(3) \text{ Emissões para o ar (g)} = \text{Consumo de diesel (kg)} * \text{Fator de emissão (tabela 9)}/1000.$$

As emissões de dióxido de carbono (CO₂) resultantes da combustão de diesel foram calculadas com base no fator de emissão (tabela 5) de APA (2015), (APA, 2015), através da fórmula (3) descrita anteriormente. As emissões de enxofre (SO₂) resultantes da combustão de diesel foram calculadas com base no teor médio de enxofre (tabela 5) presente no diesel segundo MEID (2010), (MEID, 2010) através da fórmula (4):

$$(4) \text{ Emissão de SO}_2 \text{ para o ar} = \text{consumo de diesel (kg)} * 2 * \text{Fator de emissão de SO}_2/1000.$$

Tabela 4 Consumos e respectivas emissões da gestão de 1 ha de alfarroba

	Unidade	Mobilização do solo	Ripagem do solo	Abertura de covas	Eliminação de vegetação espontânea
Duração da operação	hr	4,5	4,3	2,7	3,5
Diesel (1)	kg	30,6	74,1	21,4	40,2
Óleo lubrificante (2)	kg	1,53	3,7	1,1	2,0
Duração do procedimento em 1ha de pomar	hr				
Emissões para o ar (3) e (4)					
CO ₂	g	96,7	234,0	67,6	126,9
CH ₄	g	0,4	1,0	0,3	0,5
N ₂ O	g	4,3	10,3	3,0	5,6
SO ₂	g	0,1	1,5	0,4	0,8
CO	g	186,3	450,8	130,3	244,5
NH ₃	g	0,2	0,6	0,2	0,3
NO _x	g	285,1	690,1	199,4	374,2
COVNM	g	16,6	40,3	11,6	21,8

Tabela 5 Fatores de emissões para o ar

Fatores de emissão para o ar	Unidade	Quantidade
CO ₂	g/ton combustível	3160
CH ₄	g/ton combustível	13
N ₂ O	g/ton combustível	139
SO ₂	mg/kg combustível	10
CO	g/ton combustível	6087
NH ₃	g/ton combustível	8
NO _x	g/ton combustível	9318
NM ₁₀	g/ton combustível	544

No que respeita à densidade de plantação, consoante o nível de intensidade de produção e investimento do produtor, poderiam ser consideradas densidades de 156 árvores/ha ou 208 árvores/ha (Correia entre outros., 2017). Para este processo foi considerada uma abordagem menos intensiva, com a densidade mais baixa de 156 árvores/ha, obtendo-se um rendimento por árvore de 25 kg de alfarroba. Deste modo, obtém-se 3900 kg de alfarroba por cada ha de alfarrobal. Para a produção de 1 kg de alfarroba, são necessários aproximadamente 0,00025 ha de pomar.

Radículas de Malte

A produção de malte ocorre pela transformação de cevada através de um processo chamado de maltagem e que, além do malte, origina dois subprodutos, o farelo de cevada e as radículas de malte (Bryggeri, 2009; Dalgaard & Schmidt, 2014).

Para a obtenção de malte, a cevada é em primeiro lugar limpa (através deste processo, o que fica é o farelo de cevada) e embebida em água. Posteriormente, ocorre a germinação dos grãos onde ocorre uma perda de peso devido ao consumo de energia que ocorre durante um processo metabólico. Para que se obtenha o malte, os grãos germinados sofrem um processo de secagem e limpeza em que são retiradas as radículas de malte (Bryggeri, 2009).

As entradas e saídas do processo de maltagem foram retiradas de Dalgaard (2014), (Dalgaard & Schmidt, 2014), tendo sido necessário fazer uma alocação segundo critérios mássicos da quantidade de entrada para a quantidade de radículas de malte, ou seja, o processo de produção de malte origina 95% de malte, 1% de farelo de cevada e 4 % de radículas de malte. Estes valores percentuais representam o fator de alocação mássico para o produto e subprodutos obtidos pelo processo de maltagem. Através do fator de alocação para as radículas de malte, foi possível determinar as entradas na maltagem para a produção de 1 kg de radículas de malte (tabela6).

Tabela 6 Inventário do processo de produção de 1 kg de radículas de malte

		Unidade	Quantidade
Entradas	Cevada	kg	25,00
	Água	m3	41,25
	Eletricidade	kWh	0,25
	Gás natural	Nm3	41,75
Saídas	Radículas de malte	kg	1

Para modelação do processo de produção das radículas de malte, utilizou-se dados secundários provenientes das bases de dados Agri-footprint 5 (Van Paassen entre outros., 2019) e Ecoinvent 3.6 (Wernet entre outros., 2016).

Transporte de matérias-primas, aditivos e embalagem

De acordo com a origem das matérias-primas, materiais auxiliares e aditivos, as mesmas são transportadas até à fábrica por camiões TIR ou camiões TIR basculantes.

Relativamente à lisina HCL a 98%, uma vez que provém da Coreia do Sul, considerou-se que seria transportada desde o seu local de produção até ao porto de Busan, em que se assumiu que seriam percorridos 600 km , posteriormente seria transportada desde o porto de Busan através de um navio de carga de produtos secos até ao porto de Lisboa, percorrendo 18053,6 km e, a partir do porto de Lisboa seria então transportada até à fábrica em Santiago do Cacém por camiões TIR (tabela 7) percorrendo 127 km.

Tabela 7 Perfil de transporte das matérias-primas agrícolas e auxiliares e, aditivos.

		Distância (km)		Tipo de transporte*
		AC Padrão	AC Novo	
Cereais, leguminosas e subprodutos	Grãos de <i>Triticum aestivum</i> L., <i>Triticum durum</i> e outras cultivares de trigo.	120,0	669,0	16-32 ton métrica
	Grãos de cevada (<i>Hordeum vulgare</i> L.).	669,0	n.a.	16-32 ton métrica
	Sêmea de Trigo	120,0	n.a.	16-32 ton métrica
	Óleo de Colza	120,0	n.a.	16-32 ton métrica
	Bagaço de girassol	599,8	599,8	16-32 ton métrica
	Bagaço de soja 44	170,0	n.a.	16-32 ton métrica
	Alfarroba	204,5	n.a.	16-32 ton métrica
	Luzerna	780,0	n.a.	16-32 ton métrica
	Óleo de girassol	n.a.	46,4	16-32 ton métrica
	Polpa de beterraba	n.a.	699,0	16-32 ton métrica
	Tremoço Branco Doce (<i>Lupinus Albus</i> L.)	n.a.	104,0	16-32 ton métrica
	Grãos de <i>Avena sativa</i> L. e outros cultivares de aveia	n.a.	600,0	16-32 ton métrica
	Sementes de <i>Pisum sativum</i> (ervilha)	n.a.	669,0	16-32 ton métrica
	Radiculas de Malte	n.a.	408,6	16-32 ton métrica
	Aditivos	CaCO ₃	147,7	147,7
NaCl		204,5	204,5	16-32 ton métrica
Lisina		600,0	n.a.	16-32 ton métrica
		18053,6		Navio de carga de produtos secos
		127,0		16-32 ton métrica
NaHCO ₃		200,0	n.a.	16-32 ton métrica
Premix		356,9	356,9	16-32 ton métrica
Embalagem (sacos de cartão)		476,1	476,1	16-32 ton métrica

* Tipo de transporte descrito na base de dados Ecoinvent 3.6 (Wernet entre outros., 2016)
n.a. – Não aplicável

Produção dos alimentos compostos novo e padrão

Os dados de inventário relativamente à produção dos ACs foram recolhidos diretamente na Rações Santiago, LDA. Uma vez que na altura em que se recolheram os dados de inventário na Rações Santiago apenas era produzido o AC padrão, assumiu-se que os consumos de eletricidade na produção do AC novo foram iguais.

A tabela 8 apresenta os dados de inventário para a produção de 1 ton (UF) de AC padrão e novo. Na preparação de uma ton de AC para expedição é utilizado uma palete e filme

de embalagem que não foram considerados no inventário uma vez que não se sabia nem a quantidade de filme utilizada nem qual o destino dos materiais após a sua utilização.

Tabela 8 Dados de inventário para a produção de 1 ton de AC padrão e AC novo

	Unidade	Quantidade		
		AC Padrão	AC Novo	
Entrada				
Cereais, leguminosas e subprodutos	Grãos de <i>Triticum aestivum</i> L., <i>Triticum durum</i> e outras cultivares de trigo.	kg	503,0	432,0
	Grãos de cevada (<i>Hordeum vulgare</i> L.).	kg	150,0	n.a.
	Sêmea de Trigo	kg	100,0	
	Óleo de Colza	kg	70,0	
	Bagaço de girassol	kg	50,0	67,0
	Bagaço de soja 44	kg	30,0	n.a.
	Alfarroba	kg	25,0	
	Luzerna	kg	30,0	
	Óleo de girassol	kg	n.a.	46,4
	Polpa de beterraba	kg		100,0
	Tremoço Branco Doce (<i>Lupinus Albus</i> L.)	kg		70,0
	Grãos de <i>Avena sativa</i> L. e outros cultivares de aveia	kg		200,0
	Sementes de <i>Pisum sativum</i> (ervilha)	kg		40,0
	Radiculas de Malte	kg		30,0
	Aditivos	NaCL (refinado)	kg	
CaCO ₃		kg	30,0	1,0
NaCL		kg	3,1	n.a.
NaHCO ₃		kg	2,5	
Premix		kg	5,0	5,0
Outros*		kg	1,4	3,6
Energia	Eletricidade de rede	kWh	24,7	24,7
Embalagem (saco de cartão)		kg	5,1	5,1
Saídas				
Alimento Composto		ton	1	1
Embalagem (saco de cartão)		kg	5,06	5,06

*Lisina e CaHPO₄, respetivamente. Foram recolhidos os dados, mas devido à indisponibilidade de dados de produção destes aditivos, o seu impacte ambiental não foi considerado neste estudo.
n.a. – Não aplicável

Relativamente ao consumo de eletricidade, a empresa tem posto de transformação logo foi considerada o valor das perdas que ocorre na transformação de média tensão para baixa tensão, um valor de 2%. As emissões associadas ao consumo da energia elétrica

foram estimadas usando a base de dados Ecoinvent 3.6 (Wernet entre outros., 2016), considerando-se o mix elétrico português.

Não havendo registo da quantidade de eletricidade consumida em cada fase do processo de produção, o valor descrito acima corresponde ao consumo total associado ao processo de produção desde a chegada das matérias-primas e materiais auxiliares à fábrica até ao produto final embalado uma vez que, todo o processo é feito através do uso de sistema informático e máquinas que consomem eletricidade.

Em relação ao premix utilizado nestes ACs é formulado e fabricado pela DIN, S.A. e, consiste numa pré-mistura de aditivos alimentares destinado ao fabrico de ACs para suínos a partir das 8 semanas de desmame até ao abate.

Embora tenha sido possível a reunião de dados de inventário primários relativamente à composição do premix (tabela 10), foi necessário a conversão das unidades dos aditivos presentes em 1kg de premix, pois variavam entre unidades internacionais (UI) para as vitaminas A e D₃ e, miligramas (mg) para os restantes aditivos com a exceção da fitase que estava em unidades de atividade de fitase (FTU). A conversão das vitaminas A e D₃, foi feita considerando que 1 UI de vitamina A corresponde a 0,9 mg de vitamina A e que, 1 UI de vitamina D₃ corresponde a 0,025 mg de vitamina D₃. Os valores calculados foram posteriormente convertidos para kg considerando que 1 mg corresponde a 0,0000001 kg. Relativamente à quantidade de fitase, foi feito um balanço de entradas e saídas para chegar ao seu valor em kg. Assim, conhecendo a quantidade de aditivos nutritivos, antioxidantes e zootécnicos presentes em 1 kg de premix, foi possível conhecer a quantidade de fitase em kg presente em 1 kg de premix.

Para a modelação do premix e introdução das entradas e saídas da sua produção no Simapro, foi inevitável recorrer a dados secundários da base de dados Ecoinvent 3.6 (Wernet entre outros., 2016) relativamente ao processo de produção dos aditivos presentes na composição do premix. Por ausência de dados para todos os aditivos alimentares, considerou-se o ácido ascórbico (vitamina C) como representativo dos aditivos nutritivos e antioxidantes e, aditivos tecnológicos e, a produção de enzimas como representativo dos aditivos zootécnicos.

Tabela 9 Fluxo de entradas e saídas do Premix

	Quantidade	Unidade
Entrada		
Aditivos nutritivos (Vitaminas e minerais) e Antioxidantes	0,4	kg
Aditivos tecnológicos	0,1	kg
Aditivos zootécnicos	0,5	kg
Saída		
Premix	1	kg

6.5. Avaliação dos impactes ambientais

Nesta secção são quantificados os impactes ambientais associados à produção de ambos os ACs estudados tendo por base os dados contemplados no inventário. O método de avaliação de impactes ambientais utilizado na presente dissertação foi o ReCipe 2016 midpoint (Huijbregts entre outros., 2016).

Optou-se por conduzir o estudo tendo em consideração apenas as etapas obrigatórias (Classificação e Caracterização), com recurso ao software SimaPro que veio facilitar a obtenção dos resultados propostos para este trabalho após estas etapas. Estes resultados permitem conhecer quais as contribuições de cada etapa, associados ao ciclo de vida de ambos os ACs, para cada categoria de impacte ambiental considerada.

As categorias de impacte estudadas, são o aquecimento global (AG), a eutrofização (água doce) (EAD), a eutrofização (água salgada) (EAS), a acidificação terrestre (AT), a escassez de recursos fósseis (RF), a formação de partículas finas (PF), a formação de ozono (ecossistemas terrestres) (FO) e escassez de recursos minerais (RM).

7. Resultados e discussão

A análise de resultados é efetuada ao nível da análise de inventário e ao nível da avaliação de impactes ambientais, com base nas categorias de impacte ambiental definidas.

Os resultados vão ser apresentados por valor absoluto ou unidade de categoria de impacte de forma a comparar o impacte ambiental de cada um dos ACs e, de forma percentual por se considerar mais fácil a interpretação dos resultados acerca do(s) estágio(s) de ciclo de vida dos ACs que representam maior impacte ambiental.

Para facilitar a leitura dos resultados, as entradas do processo de produção dos ACs foram divididas em seis estágios de ciclo de vida: aditivos, cereais, leguminosas e subprodutos (grãos de *Triticum aestivum* L., *Triticum durum* e outras cultivares de trigo, grãos de cevada (*Hordeum vulgare* L.), luzerna, tremçoço branco doce (*Lupinus Albus* L.), grãos de *Avena sativa* L. e outros cultivares de aveia, sementes de *Pisum sativum* (ervilha), sêmea de trigo, óleo de colza, bagaço de girassol, bagaço de soja 44, alfarroba, óleo de girassol, polpa de beterraba, radículas de malte), transporte, eletricidade e sacos de cartão.

7.1. Avaliação comparativa dos alimentos compostos novo e padrão

Pela análise da tabela 10, o AC com maior impacte em praticamente todas as categorias de impacte ambiental é o AC novo com um impacte ambiental superior em 227,7 kg CO₂ eq. para a categoria de AG, 0,9 kg PM_{2.5} eq. para a categoria PF, 0,7 kg NO_x eq. para a FO, 8 kg SO₂ eq. para a AT, 0,4 kg P eq. para a categoria EAD, 1,3 kg N eq. para a categoria EAS e 50,1 kg oil eq para a categoria de impacte RF. A categoria onde o AC padrão tem maior impacte ambiental relativamente ao AC novo é na RM com uma diferença de 1,3 kg de CU eq devido à redução do consumo de minerais como o fósforo, cobre e iodo.

Tabela 10 Resultados da avaliação de cada categoria de impacte ambiental para o AC padrão e AC novo.

Categoria de impacte ambiental	Unidade	AC Padrão	AC Novo
AG	kg CO ₂ eq	1002,3	1230,0
PF	kg PM _{2.5} eq	1,3	2,2
FO	kg NO _x eq	2,8	3,5
AT	kg SO ₂ eq	5,3	13,3
EAD	kg P eq	0,2	0,6
EAS	kg N eq	3,5	4,8
RM	kg Cu eq	2,7	1,4
RF	kg oil eq	152,5	202,6

Comparando o AC padrão e AC novo verifica-se em todas as categorias que há uma redução do impacte ambiental relativamente ao transporte. Este resultado é mais claro pela análise dos gráficos a) e h) da figura 10, que correspondem respetivamente às categorias de impacte AG e RF, devido às emissões de CO₂ associados ao consumo de diesel (na categoria AG) em que se registou um decréscimo de 24,8 kg CO₂ equivalente e devido ao consumo de petróleo bruto e gás natural (na categoria RF) onde se registou um decréscimo de 8,2 kg oil eq..

Tais resultados se devem ao facto do transporte dos aditivos, cereais, leguminosas e subprodutos utilizados no fabrico do AC novo serem provenientes de Portugal ou Espanha, enquanto que no AC padrão foram consumidos alguns provenientes de outros pontos do mundo como por exemplo a lisina (origem na Coreia do Sul) e o bagaço de soja, em que embora a soja tenha sido transformada em Portugal, foi importada do Brasil. Através destes resultados comprova-se a afirmação da FAO (2014) (FAO, 2014), que parte do impacte ambiental da produção dos ACs para suínos está associado à comercialização das matérias-primas utilizadas na sua produção. E ainda, tal como referido por de Quelen, entre outros (2021), é possível reduzir o impacte ambiental da produção dos ACs pela preferência por matérias-primas agrícolas de proximidade.

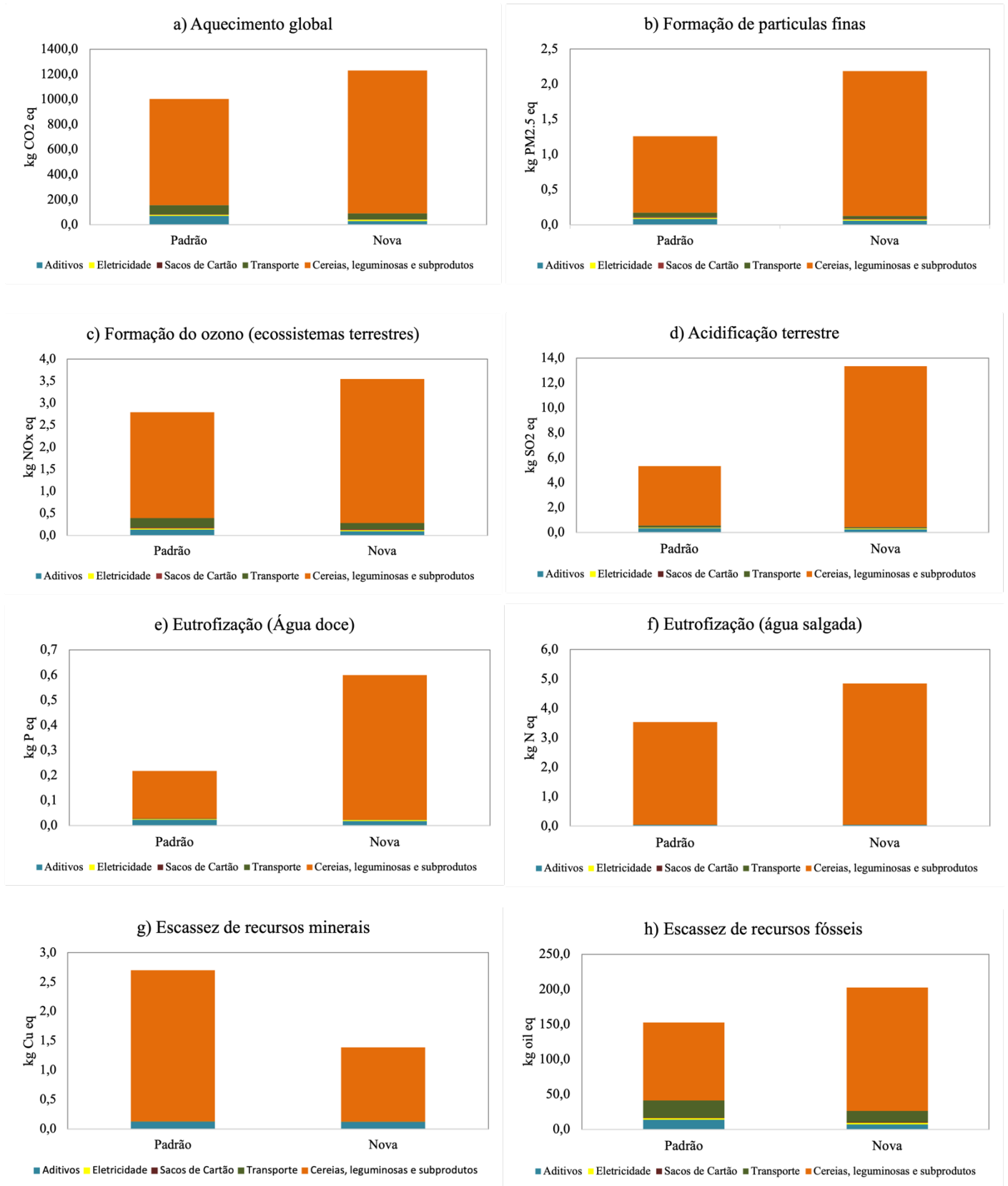


Figura 10 Contribuições gráficas comparativas para todas as categorias de impacto ambiental dos AC padrão e novo.

7.2. Resultados de avaliação de impactes e hotspots

A figura 11 apresenta os estágios de ciclo de vida dentro do sistema de fronteiras em forma de percentagem, para os dois ACs em estudo, mostrando que a produção de cereais, leguminosas e subprodutos é o principal estágio de ciclo de vida (hotspot) que contribui para os impactes totais calculados, com contribuições que variam, em média, entre 99% para a categoria de impacte EAS e, 80% para a categoria de impacte RF.

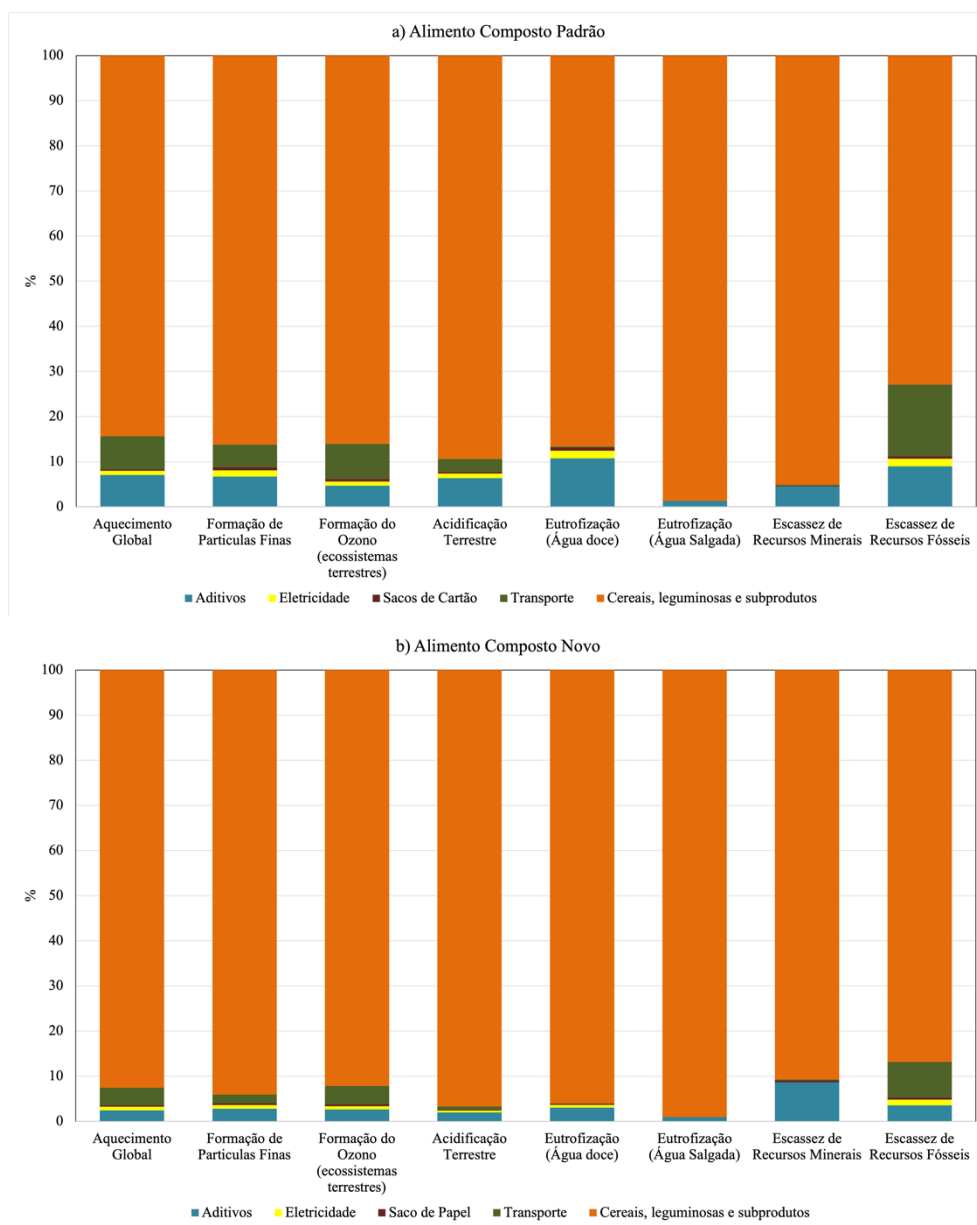


Figura 11 Contribuições gráficas de forma percentual de cada estágio do ciclo de vida dos ACs padrão (a) e AC novo (b) para cada uma das categorias de impacte ambiental.

Para o estágio de ciclo de vida correspondente aos aditivos, os impactes totais calculados representam contribuições que variam, em média, entre 7% para as categorias de impacte

EAD e RM, e 1% para a categoria EAS. A eletricidade contribui com uma variação média de aproximadamente 0% para a categoria de impacto RM e 2% para a categoria RF. O estágio de ciclo de vida que corresponde aos sacos de cartão tem contribuições que variam, em média, entre cerca de 1% para a categoria FO, PF, EAD e RF e, aproximadamente 0% para a categoria EAS. Por fim, o transporte de cereais, leguminosas e subprodutos, aditivos e sacos de cartão contribui com uma variação média de 4% para a categoria de impacto RF devido ao consumo de petróleo bruto, e é praticamente nulo para a categoria de impacto RM.

Dentro do hotspot “cereais, leguminosas e subprodutos” é possível, identificar quais as matérias-primas agrícolas responsáveis por grande parte do impacto ambiental do AC padrão e novo.

Alimento Composto Padrão

Pela análise da contribuição do hotspot identificado dentro do sistema de fronteiras, pode verificar-se através da figura 12 que no AC padrão, o trigo (Grãos de *Triticum aestivum* L., *Triticum durum* Desf. e outras cultivares de trigo) é o cereal que apresenta maior contribuição para o impacto ambiental para todas as categorias de impacto e que varia entre 39% para a categoria AG e 72% para a categoria RM, também a cevada (Grãos de cevada (*Hordeum vulgare* L.)) é um dos cereais que mais contribui para o impacto ambiental para todas as categorias de impacto e, que varia entre 12% para as categorias AG, AT e EAD e, 26% para a categoria EAS. O óleo de colza é o subproduto que mais contribui para o impacto ambiental do AC padrão em todas as categorias de impacto estudadas, com exceção da RM, apresentando variações entre os 14% para a categoria FO e 28% para a categoria AT. Finalmente, apenas na categoria AG o bagaço de soja tem uma contribuição significativa comparativamente às restantes matérias-primas agrícolas, de 16% do impacto ambiental nesta categoria. Apesar de se admitir que este resultado se deve, em parte, ao facto destas matérias-primas corresponderem a 893 kg dos 1000 kg de AC padrão produzido, considera-se relevante procurar quais os processos do hotspot identificado que estão dentro do sistema de fronteiras, com maior responsabilidade pelo impacto ambiental para as categorias de impacto estudadas.

Na categoria de impacto AG, os processos que mais contribuem para o impacto ambiental do trigo, bagaço de soja e óleo de colza estão associados à gestão da produção agrícola do trigo, da soja e da colza, devido aos trabalhos agrícolas como mobilizações de solo,

cultivo e colheita que, necessitam de recorrer a equipamentos agrícolas como tratores e ceifeiras, que consomem grandes quantidades de combustíveis fósseis responsáveis por parte das emissões para o ar de gases, como o CO₂ fóssil e NO_x. Além da gestão agrícola destas culturas, também o consumo de eletricidade durante a irrigação das culturas, as técnicas de fertilização (orgânica e química), bem como a aplicação de pesticidas e herbicidas resultam na emissão para o ar das substâncias descritas. É importante referir que a produção da soja ocorre no Brasil, onde se procede à aplicação também de fungicidas (processo que não se verificou noutras culturas), e que durante a obtenção do bagaço através da soja ocorre o processo de vaporização através de gás natural e, por fim, o transporte da soja desde o Brasil até Portugal, sendo estes outros processos que também contribuem para a emissão para o ar dos gases acima referidos.

O impacto ambiental na categoria AT resulta das emissões para o ar de NH₃, NO_x e SO₂ que ocorrem durante a produção agrícola do trigo, cevada e óleo de colza e também devido ao consumo de fertilizantes e técnicas de fertilização adotadas.

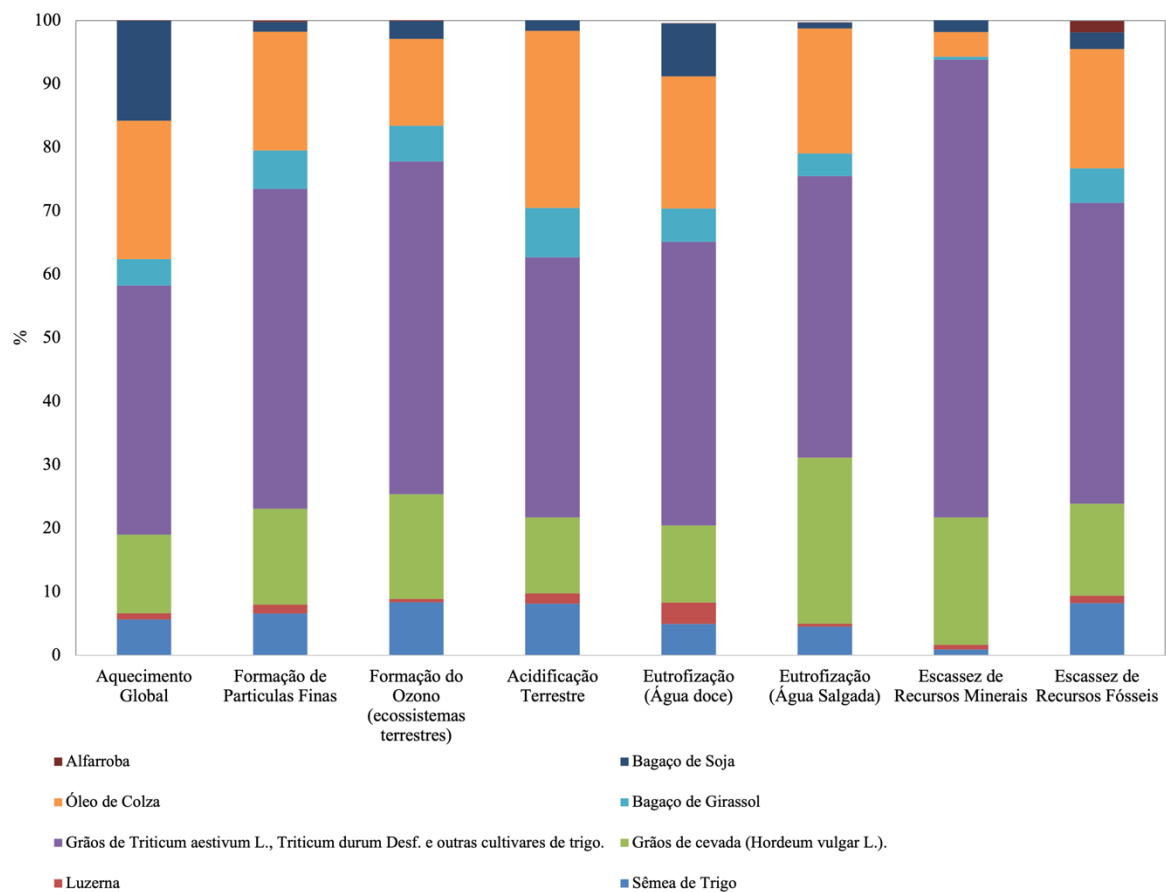


Figura 12 Contribuições gráficas de forma percentual dos cereais, leguminosas e subprodutos utilizados na produção do AC padrão, para todas as categorias de impacto ambiental.

A gestão da produção agrícola do trigo, cevada e colza, o consumo de fertilizantes, herbicidas e pesticidas e, as técnicas de aplicação de fertilizantes aplicadas resultam em grandes emissões para o ar de substâncias como NH₃, NO_x, SO₂ e partículas inferiores a 2,5 µm na categoria de impacto ambiental PF; consumos de P na categoria RM; também resultam na emissão para a água de P para a categoria de impacto ambiental EAD e ainda, contribuem para a emissão para a água de NO₃ na categoria de impacto ambiental EAS.

Na categoria FO, o seu impacto ambiental ocorre devido igualmente à fertilização e ao consumo de eletricidade necessário à irrigação das culturas, processos que contribuem para as emissões para o ar de NO_x.

Finalmente, o impacto ambiental referente à categoria de RF está principalmente na produção de energia a partir de petróleo bruto, gás natural e carvão e, no consumo de petróleo bruto necessários à produção de combustíveis fósseis consumidos em trabalhos agrícolas. Na produção de óleo de colza, também a produção de calor a vapor através de gás natural e consumo de eletricidade são dois processos responsáveis pelo impacto ambiental na categoria RF.

Alimento Composto Novo

Como se pode observar na figura 13, tal como no AC padrão, o trigo é o cereal com maior impacto ambiental para todas as categorias de impacto estudadas no ciclo de vida do AC novo com uma contribuição que varia entre 35% para a categoria RF e 62% para os RM. Além do trigo, a aveia é outra matéria-prima com grande contributo para o impacto ambiental na produção do AC novo, contributo esse que varia entre 17% para as categorias RM e EAD e 28% para a categoria FO. Também o óleo de girassol contribui muito para o impacto ambiental do AC novo em todas as categorias de impacto, com variações entre os 13% para a categoria EAS e 19% para a FO, exceto EAS e RM em que o impacto foi de 8% e 4% respetivamente. Neste AC, verificou-se que o tremço é uma das MP agrícolas com maior impacto em duas categorias, nomeadamente RM e EAD em que o impacto ambiental cerca de 10% para cada uma. Para as restantes categorias de impacto ambiental o contributo do tremço foi baixo quando comparado com o impacto de outras matérias-primas, com uma variação de 3% para a categoria RF e 6% para a categoria AT.

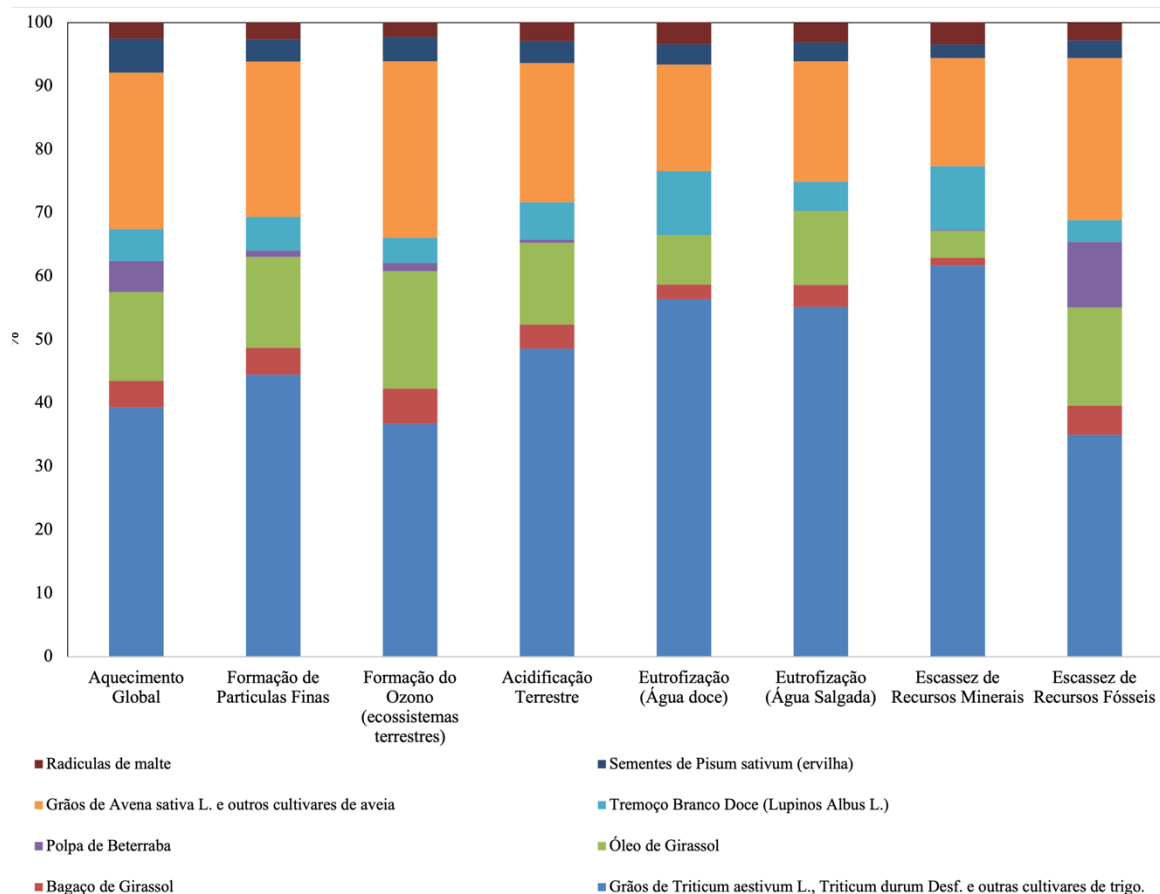


Figura 13 Contribuições gráficas em forma percentual dos cereais, leguminosas e subprodutos utilizados na produção do AC Novo, para todas as categorias de impacto ambiental.

Mais uma vez, a quantidade de trigo, aveia, óleo de girassol e tremoço utilizados na produção do AC novo, totalizando 748,4 kg dos 1000 kg de AC produzido, é parte da justificação para o grande contributo destas matérias-primas agrícolas no impacto ambiental para as categorias de impacto estudadas. E ainda, comparando a composição em cereais do AC novo com o AC padrão verifica-se que a substituição da cevada e semente de trigo pela aveia anula a redução da quantidade de trigo utilizada na produção do AC novo, também por essa razão se registou um aumento do impacto ambiental na produção do AC novo.

O impacto ambiental da categoria AG para o trigo, aveia e óleo de girassol é, à semelhança do que foi descrito para o AC padrão, justificado pela técnicas de produção agrícola da aveia, do trigo e semente de girassol, nomeadamente irrigação, técnicas de fertilização, mobilizações de solo, técnicas de cultivo e colheita, pela produção de diesel consumido pelas máquinas agrícolas utilizadas durante os trabalhos agrícolas, o consumo de eletricidade necessária à irrigação das culturas e, também devido aos fertilizantes

orgânicos e químicos, aplicação de pesticidas e herbicidas, sendo responsáveis por emissões para o ar de CO₂ fóssil, CH₄ e NO_x.

Na categoria PF, o impacto ambiental é igualmente justificado pelos processos descritos para a categoria AG embora que no caso do trigo, o transporte de estrume e substâncias químicas contribui para a maioria do impacto ambiental na categoria PF associado ao trigo. Nesta categoria, o trigo, aveia e óleo de girassol são responsáveis pela emissão para o ar de NO_x, partículas finas (> 2,5 µm) e SO₂.

Na Categoria FO, são a produção agrícola dos dois cereais e das sementes de girassol os principais processos responsáveis pelo impacto ambiental nesta categoria. No caso da aveia e do trigo, também a produção de diesel para o seu consumo em equipamentos agrícolas e consumo de eletricidade utilizada durante a irrigação das culturas contribuem para o impacto ambiental desta categoria. Durante estes processos há emissões para o ar de substâncias como NO_x.

Na categoria AT é novamente o processo de produção agrícola do trigo, da aveia e das sementes de girassol que contribuem grandemente para as emissões para o ar de NH₃, NO_x e SO₂. No caso da aveia, e também à semelhança do que se verificou para a categoria AG, a fertilização, a produção de diesel e o consumo de eletricidade contribuem para o resultado do impacto ambiental da categoria AT para a aveia.

Para a categoria EAD é também a produção agrícola da aveia, trigo e tremoço que maior contributo têm no impacto ambiental contribuindo para a emissão para a água de P.

Na categoria EAS o impacto ambiental caracteriza-se pela emissão de NO₃ para água durante o processo de produção agrícola do trigo, da aveia e das sementes de girassol.

Para a categoria RM, verificou-se que é a fertilização o processo que maior contribuição tem para o impacto associado a esta categoria na aveia, trigo e tremoço devido a grandes consumos de P.

Finalmente, para a categoria RF e à semelhança dos resultados obtidos para o AC padrão, é o consumo de eletricidade, a produção de energia através de carvão, gás natural e petróleo bruto, os processos com mais contribuem para o impacto ambiental nesta categoria, na produção de aveia, trigo e óleo de girassol.

Nas figuras 12 e 13 pode verificar-se que em ambos os ACS, os subprodutos (bagaço de girassol, bagaço de soja, sêmea de trigo, polpa de beterraba e radículas de malte) têm uma contribuição baixa para todas as categorias de impacto quando comparados com, por exemplo, os cereais (trigo, cevada e aveia) que claramente dominam em todas as categorias de impacto ambiental.

De acordo com o defendido pela IACA (2020) (IACA, 2020), estudos elaborados por de Quelen, entre outros (2021) e van Zanten, entre outros (2018) (de Quelen entre outros., 2021; van Zanten entre outros., 2018) , a preferência pela introdução de subprodutos da agroindústria na alimentação de suínos e, a redução da utilização de matérias-primas agrícolas com maior impacto ambiental, como o trigo, e aumento da utilização de matérias-primas com menor impacto, como a ervilha, são formas de contribuir para a mitigação do impacto ambiental do setor dos ACs e tal foi demonstrado neste estudo.

7.3. Limitações ao estudo de ACV

As limitações deste estudo de ACV foram na base da obtenção de dados primários relativos aos processos de entradas na produção dos ACs. Devido à impossibilidade de obtenção desses dados, além de se ter que ter recorrido à bases de dados secundárias, não foi possível considerar o processo de produção da lisina HCL 98% na modelação do AC padrão e o mesmo aconteceu com o fosfato bicálcico utilizado na produção do AC novo e embora estejam presentes em quantidades baixas, impossibilitou a conclusão relativa à sua contribuição do seu impacto ambiental na produção dos ACs em estudo.

8. Conclusões

Esta tese conduziu a um estudo de ACV da produção de um AC padrão e de um AC novo para alimentar suínos de raças autóctones.

Os resultados demonstraram que o AC novo tem maior impacte ambiental do que o AC padrão para todas as categorias de impacte ambiental consideradas com a exceção da categoria RM em que se verificou o inverso pois houve um menor consumo de minerais como o fósforo, cobre e iodo. A substituição das matérias-primas do AC padrão, como a sêmea de trigo e a cevada pela a aveia na produção do AC novo, não compensou a redução do trigo uma vez que se verificou um aumento do impacte ambiental do ciclo de vida do AC novo. Além disso, foi possível identificar qual o hotspot ambiental, tendo-se verificado que foram os “cereais, leguminosas e subprodutos”, mais especificamente o trigo, bagaço de soja e óleo de colza que contribuíram para grande parte do impacte ambiental na categoria AG no AC padrão e para as restantes categorias de impacte foram o trigo, cevada e óleo de colza que tiveram maior contribuição para o seu impacte neste AC. No caso do AC novo, foram o trigo aveia e óleo de girassol com maior contribuição para o impacte ambiental nas categorias AG, PF, FO, AT, EAS e RF. Para as restantes categorias, EAD e RM, foram o trigo, a aveia e o tremoço, as matérias-primas agrícolas que mais contribuíram para o seu impacte ambiental.

Embora o AC novo tenha apresentado de uma forma geral piores resultados ao nível do impacte ambiental, verificou-se que a preferência por matérias-primas agrícolas e subprodutos de agroindústrias de proximidade como Portugal e Espanha, permitiu reduzir o impacte associado ao transporte evitando a importação fora da Península Ibérica.

Devido à contínua ameaça de escassez de recursos naturais e recursos fósseis como o diesel, devido também ao aquecimento global e, ao contínuo aumento da população mundial que contribui para o aumento da competição entre a alimentação humana e animal por matérias-primas e terras agrícolas, a otimização da formulação dos ACs para suínos autóctones recorrendo à seleção de ingredientes com menores impactes ambientais, numa perspetiva de circularidade, valorizando subprodutos e resíduos da agroindústria, são uma possibilidade que deve continuar a ser estudada de futuro e em maior profundidade.

Contudo, são reconhecidos alguns desafios associados à sazonalidade dos produtos e a sua disponibilidade em mercados de proximidade, pois se a utilização destes ingredientes

ocorrer em grande escala pode resultar na sua escassez e/ou aumento do seu preço de mercado influenciado pelo crescimento da procura.

Como forma de responder ao problema associado á disponibilidade no mercado de determinadas matérias-primas, apresentam-se outras possíveis soluções na formulação dos ACs para investigação futura, nomeadamente: a inclusão de vários tipos de cereais disponíveis em mercados de proximidade e não a preferência por apenas um ou dois; a inclusão de cereais com produção em Portugal (como o centeio, por exemplo); a inclusão de insetos como matéria-prima alternativa, a inclusão de bolota na produção dos ACs de forma a ir ao encontro dos hábitos alimentares naturais das raças autóctones ao mesmo tempo que se contribui na promoção da produção de sobreiro, *Quercus suber*, uma espécie florestal protegida em Portugal.

Além disso, é igualmente importante não esquecer a relevância do estudo do impacto ambiental das recomendações indicadas anteriormente, bem como o estudo do seu potencial nutricional, pois para estes ingredientes serem utilizados com eficiência na produção de suínos autóctones é necessário que sejam estudados os seus benefícios na performance zootécnica destes animais de forma a, não só valorizar as raças de suínos portuguesas mas também, para que sejam sempre garantidas as suas necessidades alimentares e nutricionais, o seu bem-estar e a produção nacional de proteína animal de qualidade.

9. Referências Bibliográficas

- APA. (2015). Emissões de combustão. Determinação de emissões ar por fatores de emissão. *Agência Portuguesa Do Ambiente*. Lisboa, Portugal.
- Bryggeri, H. (2009). Comparative Life Cycle Assessment of Malt-based Beer and 100 % Barley Beer. *Technology*.
- Comunidade Profissional Suinícola(a). (2021). Efectivo anual de suínos - Engorda de mais de 110 kg. https://www.3tres3.com.pt/estadisticas_suino/graficos/#15 Site acedido a 7 de Setembro de 2021
- Comunidade Profissional Suinícola(b). (2021). Produção de carne de porco - Quantidade de carne por ano. https://www.3tres3.com.pt/estadisticas_suino/graficos/#15 Site acedido a 7 de Setembro de 2021.
- Comunidade Profissional Suinícola(d). (2021). Comércio de carne de porco - exportações anuais. https://www.3tres3.com.pt/estadisticas_suino/graficos/#15 Site acedido a 7 de Setembro de 2021.
- Comunidade Profissional Suinícola(c). (2021). Comercio de carne de porco - Importações anuais. https://www.3tres3.com.pt/estadisticas_suino/graficos/#16 Site acedido a 7 de Setembro de 2021.
- Correia, P. J., Guerreiro, J. F., & Bouça, E. (2017). *Alfarrobeira: Estado da Produção* (CNCFS, Ed.).
- Dalgaard, R., & Schmidt, J. H. (2014). *Life cycle inventories of brewer's grain, DDGS and milk replacer*. (August).
- de Blas, C.; Gasa, J.; Mateos, G. G. (2013). *Necesidades Nutricionales Para Ganado Porcino: Normas FEDNA*.
- de Quelen, F., Brossard, L., Wilfart, A., Dourmad, J. Y., & Garcia-Launay, F. (2021). Eco-Friendly Feed Formulation and On-Farm Feed Production as Ways to Reduce the Environmental Impacts of Pig Production Without Consequences on Animal Performance. *Frontiers in Veterinary Science*, 8(July), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.689012>
- de Vries, M., & de Boer, I. J. M. (2010). Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments. *Livestock Science*, 128(1–3), 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2009.11.007>

- Diário da República. (2017). *Presidência do Conselho de Ministros - Resolução do Conselho de Ministros n.º 190-A/2017* (pp. 54–73). pp. 54–73.
- Dias, A. C., Arroja, L., & Capela, I. (2007). Carbon dioxide emissions from forest operations in Portuguese eucalypt and maritime pine stands. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 22(5), 422–432. <https://doi.org/10.1080/02827580701582692>
- EMEP/EEA. (2016). *EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016: Technical guidance to prepare national emission inventories*. European Environment Agency. (p. 124). p. 124.
- European Commission. (2010). *ILCD Handbook - General guide on LCA - Provisions and action steps*. <https://doi.org/10.2788/94987>
- European Commission. (2020). *Communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions. A new Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe* (p. 13). p. 13. Brussels.
- FAO. (2014). *LEAP - Environmental performance of animal feeds supply chains: Guidelines for assessment. Draft for public review*. 1–188.
- FAO. (2018). More Fuel for the Food/Feed Debate. http://www.fao.org/ag/againfo/home/en/news_archive/2017_More_Fuel_for_the_Food_Feed.html acessado a 24 de Setembro de 2021.
- FAO. (2020). Environmental performance of feed additives in livestock supply chains. In *Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership*. <https://doi.org/10.4060/ca9744en>
- FEFAC. (2019). Circular economy. <https://fefac.eu/priorities/sustainability/circular-economy/> acessado a 24 de Setembro de 2021.
- Fernandes, A. A., Fernandes, A. J., Fernandes, A., Teixeira, A., Leite, A., Gonçalves, A., Rodrigues, S. (2015). *Porco Bisaro Qualidade da carcaça e da Carne* (Quinta do Bisaro; A. Fernandes & A. Teixeira, Eds.). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2833.9363>
- Fernandes, L. S., Freitas, A. B., & D'Abreu, M. C. (2008). Evolução dos sistemas de produção de porco Alentejano e efeitos do aumento de preço dos alimentos compostos na viabilidade económica da actividade. *Revista de Suinocultura*, 78(Jan/Mar), 54–63.
- Huijbregts, M., Steinmann, Z. J. N., Elshout, P. M. F. M., Stam, G., Verones, F., Vieira,

- M. D. M., van Zelm, R. (2016). ReCiPe 2016: A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level Report I: Characterization. *National Institute for Public Health and the Environment*, p. 194. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1246-y>
- IACA - Associação Portuguesa das Indústrias dos Alimentos Compostos para Animais. (2020). Anuário IACA - 2020. *Depósito Legal N° 86192/97*, 108 pp. Retrieved from <https://www.iaca.pt/wp-content/uploads/2020/11/Anuario-IACA-2020.pdf>
- ISO 14040:2006. (2006). Gestão ambiental/Avaliação do ciclo de vida/Princípios e enquadramento. *Norma Portuguesa, 2005*, 29.
- ISO 14044:2010. (2010). Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e linhas de orientação. *Norma Portuguesa*.
- Mackenzie, S. G., Leinonen, I., Ferguson, N., & Kyriazakis, I. (2016). Can the environmental impact of pig systems be reduced by utilising co-products as feed? *Journal of Cleaner Production*, 115, 172–181. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.074>
- Macleod, M., Gerber, P. J., Opio, C., Falcucci, A., Tempio, G., Henderson, B., Steinfeld, H. (2013). Greenhouse gas emissions from pig and chicken supply chains. In *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 174. <http://www.fao.org/3/a-i3460e.pdf>
- MEID. (2010). *Decreto-Lei n.º 142/2010 de 31 de Dezembro. Diário da República: I série, N° 253*. Portugal: Ministério da Economia da Inovação e do Desenvolvimento.
- NRC. (2012). *Nutrient Requirements of Swine: Eleventh Revised Edition*. <https://doi.org/10.17226/13298>
- Peña, C., Civit, B., Gallego-Schmid, A., Druckman, A., Caldeira-Pires, A., Weidema, B., Motta, W. (2021). Using life cycle assessment to achieve a circular economy. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 26(2), 215–220. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01856-z>
- Pinotti, L., Luciano, A., Ottoboni, M., Manoni, M., Ferrari, L., Marchis, D., & Tretola, M. (2021). Recycling food leftovers in feed as opportunity to increase the sustainability of livestock production. *Journal of Cleaner Production*, 294, 126290. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126290>
- República Portuguesa. (2017). *Leading the transition [Action plan for circular economy in Portugal: 2017-2020]* (pp. 37–41). pp. 37–41.

- Rodrigues, J. V. F. (2004). *Análise de Ciclo de Vida dos Produtos*. Instituto Politécnico de Viseu.
- Salami, S. A., Luciano, G., Grady, M. N. O., Biondi, L., Newbold, C. J., Kerry, J. P., & Priolo, A. (2019). Sustainability of feeding plant by-products: A review of the implications for ruminant meat production. *Animal Feed Science and Technology*, 251(February), 37–55. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.02.006>
- Subpromais. (2021). Subpromais. <https://www.subpromais.pt/conteudo.php?idm=4> acessado a 6 de Setembro de 2021.
- Teixeira, Alfredo; Rodrigues, S. (2017). BISIPORC – Produção extensiva de porcos da raça Bísara em dois sistemas alternativos: engorda com concentrado vs castanha. Resultados preliminares de características das carcaças e da carne. *Revista de Ciências Agrárias*, 40, 359–364.
- Tsangas, M., Gavriel, I., Doula, M., Xenii, F., & Zorpas, A. A. (2020). Life cycle analysis in the framework of agricultural strategic development planning in the Balkan region. *Sustainability (Switzerland)*, 12(5), 1–15. <https://doi.org/10.3390/su12051813>
- Van Der Werf, H. M. G., Petit, J., & Sanders, J. (2005). The environmental impacts of the production of concentrated feed: The case of pig feed in Bretagne. *Agricultural Systems*, 83(2), 153–177. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2004.03.005>
- Van Paassen, M., Braconi, N., Kuling, L., Durlinger, B., & Gual, P. (2019). *Agri-footprint 5.0 - Part 1: Methodology and Basic Principles*. 45. <https://www.agri-footprint.com/wp-content/uploads/2019/11/Agri-Footprint-5.0-Part-1-Methodology-and-basic-principles-17-7-2019.pdf>
- Van Zanten, H. H. E., Bikker, P., Meerburg, B. G., & de Boer, I. J. M. (2018). Attributional versus consequential life cycle assessment and feed optimization: alternative protein sources in pig diets. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 23(1), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1299-6>
- Van Zanten, H. H. E., Van Ittersum, M. K., & De Boer, I. J. M. (2019). The role of farm animals in a circular food system. *Global Food Security*, 21, 18–22. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.06.003>
- Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., & Weidema, B. (2016). The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *The*

International Journal of Life Cycle Assessment, 21(9), 1218–1230.
<https://doi.org/10.1007/s11367-016-1087-8>

Xue, Y. nan, Luan, W. xin, Wang, H., & Yang, Y. jie. (2019). Environmental and economic benefits of carbon emission reduction in animal husbandry via the circular economy: Case study of pig farming in Liaoning, China. *Journal of Cleaner Production*, 238, 117968. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117968>