ROTEIRO PARA A
DESCARBONIZAÇÃO DO SETOR AGROALIMENTAR

MANUAL SETORIAL PARA A FILEIRA DAS CARNES

PORTUGAL FOODS
Atlantic meets Mediterranean
INOVCLUSTER desde 2009
Associação do Cluster Agro-industrial do Centro
PRR Plano de Recuperação e Resiliência
REPÚBLICA PORTUGUESA
Financiado pela União Europeia
NextGenerationEU

Título: Roteiro para a Descarbonização do Setor Agroalimentar – Manual setorial para a fileira das carnes

Este volume é parte integrante do Roteiro para a Descarbonização do Setor Agroalimentar.

Promotores: PortugalFoods - Associação para a Internacionalização e Inovação Agroalimentar; InovCluster - Associação do Cluster Agro-industrial do Centro; CCIPD - Câmara do Comércio e Indústria de Ponta Delgada

Outras entidades envolvidas na construção do Roteiro: Colab4Food – Laboratório Colaborativo para a Inovação da Indústria Agroalimentar; INEGI - Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial; INESC TEC - Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência; RDI - Rede de Inovação - Consultoria e Promoção da Inovação, RDICPI, Lda.; Universidade Católica Portuguesa.

Financiamento: Plano de Recuperação e Resiliência (INVESTIMENTO TC-C11-i01 – Descarbonização da Indústria Aviso N.º 01/C11-i01/2021 - Apoio à elaboração de roteiros de descarbonização da indústria e capacitação das empresas)

Data de publicação: junho de 2025

Abreviaturas

ADENE - Agência Nacional de Energia

AI ou IA - Inteligência Artificial

AR - Realidade Aumentada

Baseline - Cenário Base

BAU - Cenário Business as Usual

BEM - Balanço Energético Nacional

BI - Business Intelligence

BIOGAS - Cenário de Bioenergia

CAE – Classificação de Atividades Económicas

CEE – Consumo Específico de Energia

CIP - Cleaning in Place

CO_2 - Dióxido de carbono

Conservative ou CONS - Cenário Conservador

CRM - Customer Relationship Management

DGEG - Direção-Geral de Energia e Geologia

DT - Digital Twin (Gémeo Digital

EDI - Electronic Data Exchange

EDI - Electronic Data Interchange

Electrification ou ELET - Cenário de Eletrificação: ELET

ERP - Enterprise Resource Planning (Sistemas de Gestão Empresarial)

ETAR – Estação de Tratamento de Éguas Residuais

FAO - Food and Agriculture Organization

FV - Fotovoltaico

GEE – Gases com Efeito de Estufa

GPL - Gás de Petróleo Liquefeito

HPP - Pasteurização por processamento de elevada pressão

I4.0 - Indústria 4.0

IC – Intensidade Carbónica

IE – Intensidade Energética

IIoT - Industrial Internet of Things

INE - Instituto Nacional de Estatística

IT - Tecnologia de Informação

LIMS - Sistemas de Gestão de Laboratório

MES - Manufacturing Execution Systems

MNE - Multinacionais

OH - Aquecimento óhmico

OT - Tecnologia Operacional

PEF - Campos elétricos pulsados

PLM - Product Lifecycle Management

PME - Pequenas e Médias Empresas

PNEC 2030 - Plano Nacional de Energia e Clima

RNC 2050 - Roteiro Nacional para a Neutralidade Carbónica

SCADA - Supervisory Control and Data Acquisition

SEM - Sistemas de Gestão de Energia

SGCIE - Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia

UE - União Europeia

VAB - Valor Acrescentado Bruto

VEV - Variadores eletrónicos de velocidade

VR - Realidade Virtual

WMS – Warehouse Management Systems (Sistemas de Gestão de Armazém)

Índice de conteúdos

Abreviaturas ..... **iii**
Índice de conteúdos ..... **iv**
Índice de tabelas ..... **iv**
Índice de figuras ..... **v**
1. Enquadramento **1**
2. Caraterização da fileira **5**
2.1 Usos energéticos, principais processos e sua representação em termos de consumo de energia (tipo de vetores) e respetivas emissões 6
2.2 Consumo de matérias-primas (incluindo água) e produção de subprodutos e resíduos 11
2.3 Tecnologias de digitalização utilizadas 14
3. Medidas de descarbonização, digitalização e economia circular para a fileira **16**
3.1 Domínio “Descarbonização” 17
3.2 Domínio “Digitalização” 19
3.3 Domínio “Economia circular” 20
4. Perspetivas de evolução da fileira **23**

Índice de tabelas

Tabela 1 – Processos energéticos e respetivos vetores energéticos utilizados na fileira das carnes. 9
Tabela 2 - Simulação de emissões de GEE em MtCO2eq para o período 2005 a 2050. 25

Índice de figuras

Figura 1 – Fluxograma genérico do processo produtivo da indústria da transformação de carnes. 7
Figura 2 – Fluxograma do processo produtivo de alguns preparados de carne. 8
Figura 3 - Consumo de energia final e emissões por vetor de energia para o ano 2020 para a fileira das carnes, estimado pelo modelo desenvolvida para o setor como um todo, com base em dados estatísticos de produção (INE). 10
Figura 4 - Produtos produzidos pelas empresas entrevistadas da fileira das carnes. Valores expressos em % de empresas. 11
Figura 5 - Consumo de matérias-primas e produção de produtos, subprodutos e resíduos. Dados obtidos com base nas respostas de 4 empresas. 12
Figura 6 - Destino dos resíduos e subprodutos, conforme indicado pelas empresas inquiridas. Valores em % de empresas que indicam recorrer a estes destinos. 12
Figura 7 - Pegada hídrica de cada produto desenvolvido na empresa M. 13
Figura 8 - Distribuição entre produção e transformação na fileira das carnes. 24
Figura 9 - Estimativa da evolução de emissões GEE de acordo com a evolução histórica, adoção de novas tecnologias e tendências de consumo. 24

1. Enquadramento

1 Enquadramento

A nível da UE, o setor industrial alimentar e de bebidas representa cerca de 11% do total de emissões GEE da cadeia de valor do setor agroalimentar e é o 5º setor industrial com maiores emissões de GEE.

Em 2021, o setor representava cerca de 5,2% das pessoas empregadas em empresas a nível nacional. No ano de 2024, 12,6% do total de exportações nacionais, em volume de negócios, foram produtos alimentares e bebidas. Estes dois parâmetros demonstram bem o peso do setor a nível social e económico.

De acordo com estudos recentes (Jensen & Scalamandrè, 2023), a contribuição dos sistemas agroalimentares para as emissões totais Gases com Efeito de Estufa (GEE) na União Europeia (UE) foi de cerca de 31%, contemplando a extração de matérias-primas, usos de solos e criação animal, passando pelas operações industriais, distribuição e comercialização, até ao pós-consumo. Embora o presente manual se foque na parte da cadeia referente à indústria transformadora, é importante que as empresas estejam cientes dos desafios mais de fundo com que se irão deparar no âmbito do que se designa de Scope 3 de emissões GEE (a montante e jusante na cadeia de valor).

As políticas europeias e nacionais, nomeadamente o Pacto Ecológico Europeu (EU Green Deal, 2024), suportado pelo pacote legislativo FitFor55 (Fit for 55, 2024), e mais recentemente, a iniciativa REPowerEU (REPowerEU, 2024), o Plano Nacional de Energia e Clima (PNEC 2030) (Plano de Nacional para a Energia e o Clima 2021-2030 (PNEC 2030), 2024) e o Roteiro Nacional para a Neutralidade Carbónica (RNC 2050) (Roteiro para a Neutralidade Carbónica, 2019) apresentam objetivos ambiciosos de redução as emissões de GEE, visando a neutralidade carbónica em 2050, incluindo a redução de mais de 80% nas emissões GEE de alguns setores da indústria transformadora. De acordo com o RNC 2050, os objetivos para o setor industrial poderão traduzir-se na redução de pelo menos 83% de emissões GEE até 2050, em relação a 2005, para indústrias transformadoras como a dos alimentos e bebidas.

Embora o desafio desta transição seja considerável, a descarbonização é também uma oportunidade para as empresas nacionais. Do lado dos desafios, a descarbonização implica uma redução sem precedentes das emissões da indústria transformadora num prazo de 25 anos, numa altura em que a cadeia de produção agroalimentar está na iminência de uma profunda transformação devido aos impactos das e nas alterações climáticas. Para a indústria dos alimentos e bebidas, esta transição traduz-se numa quase total substituição do uso de combustíveis fósseis por alternativas renováveis, a aposta na eletrificação dos processos térmicos e o aumento da eficiência energética, bem como a integração de soluções circulares baseadas em biomassa e gases renováveis. Por outro lado, esta transição representa também uma oportunidade única para o setor, podendo reforçar a competitividade a longo prazo, quer

pela redução de futuros custos operacionais (especialmente devido a menores custos com energia), quer pela diferenciação no mercado através da oferta de produtos alinhados com a neutralidade carbónica.

Tendo em consideração o contributo do setor agroalimentar para a economia nacional, e sendo este um setor intensivo em consumo de energia e emissões de GEE, a PortugalFoods - Associação para a Internacionalização e Inovação Agroalimentar, em conjunto com a InovCluster - Associação do Cluster Agro-industrial do Centro e a CCIPD - Câmara do Comércio e Indústria de Ponta Delgada promoveram a elaboração do Roteiro para a Descarbonização do Setor Agroalimentar nacional, financiado pelo Programa de Recuperação e Resiliência (PRR), no âmbito de um Aviso específico para "Apoio à elaboração de roteiros de descarbonização da indústria e capacitação das empresas".

Para a elaboração do Roteiro, o consórcio contou com o apoio de um conjunto de entidades especializadas nas diferentes áreas relevantes para a construção do Roteiro: Colab4Food – Laboratório Colaborativo para a Inovação da Indústria Agroalimentar, INEGI - Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial, INESC TEC - Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores, Tecnologia e Ciência, RDI - Rede de Inovação - Consultoria e Promoção da Inovação, RDICPI, Lda. e Universidade Católica Portuguesa.

No Roteiro para a Descarbonização do Setor Agroalimentar podem ser encontradas informação detalhadas sobre aspetos como:

- Caraterização do setor agroalimentar nacional (setor industrial alimentar e de bebidas) nas dimensões de consumo energético, emissões de GEE, consumo de água e consumo de matérias-primas;
- Identificação e caraterização das fileiras com maior impacto ao nível do consumo energético e emissões de GEE;
- Identificação de processos/tecnologias/soluções que permitam a redução de emissões de GEE, o aumento da incorporação de energias renováveis no consumo bruto de energia final, e o aumento da eficiência energética;
- Identificação de soluções inteligentes (digitais) de apoio à medição, monitorização, tratamento de dados para a gestão e melhoria de processos, redução de consumos e diminuição de emissões;
- Identificação de processos/tecnologias/soluções que promovam a eficiência na utilização de recursos (matérias-primas, água, energia), incluindo a valorização sustentável de subprodutos, perdas, resíduos ou efluentes em contexto de economia circular (zero ou mínimo resíduo final);
- Análise de custos e perspetivas de evolução da descarbonização do setor agroalimentar.

Este manual, inserido no Roteiro para a Descarbonização do Setor Agroalimentar, pretende ser um guia para a implementação dos objetivos de descarbonização no contexto específico das empresas da indústria transformadora dos alimentos e das bebidas, neste caso na fileira das carnes.

O Roteiro para a Descarbonização do Setor Agroalimentar completo, incluindo a bibliografia e anexos referidos no presente Manual, está disponível em https://descarbonizacaoagroalimentar.pt/.

2. Caraterização da fileira

2 Caraterização da fileira

2.1 Usos energéticos, principais processos e sua representação em termos de consumo de energia (tipo de vetores) e respetivas emissões

A fileira das carnes no setor agroalimentar abrange uma vasta gama de atividades que vão desde a produção animal até à distribuição e comercialização dos produtos finais. Este setor inclui principalmente produtores de carne bovina, suína, ovina, caprina e de aves, com estruturas que variam entre pequenas explorações familiares e grandes indústrias.

No âmbito deste roteiro, a análise do setor incidirá após o processo de criação animal, abrangendo atividades como o abate de gado, a preparação de carcaças, o corte e desmancha em peças ou pedaços, a obtenção de miudezas comestíveis (refrigeradas ou congeladas, embaladas ou não), e a preparação de produtos como tripas, gorduras para fins alimentares e industriais (como a banha). O estudo também inclui a produção de produtos à base de carne (incluindo aves) obtidos através de processos como aquecimento, fumagem, secagem, salga ou outros tratamentos físico-químicos, bem como a produção de preparados de carne refrigerados ou congelados (salsichas frescas, hambúrgueres, almôndegas, croquetes, empadas de galinha, etc.) e pastas de carne ou fígado. Os principais produtos finais identificados incluem carnes frescas ou congeladas, enchidos, presuntos e produtos fumados (SGCIE, 2018).

O processo produtivo dos tipos de carnes é praticamente idêntico, sendo constituído por dois grandes processos fundamentais:

1. Linha de abate, produção e conservação de carne – Inclui atividades desde o abate até ao armazenamento em condições adequadas;
2. Linha de processamento das carnes ou fabrico de produtos derivados – Abrange a produção de produtos transformados, como fatiados, fiambre, salsichas e enchidos.

Durante os processos de preparação de carnes e dos seus derivados são necessários vários recursos, como é o caso da energia térmica e elétrica dos quais se destacam os seguintes espaços:

- Zona de abate de animais;
- Zona de desmanche e preparação de carne;
- Armazém de condimentos e aditivos;
- Zona de produção de produtos pasteurizados;
- Zonas de produção de fiambre, enchidos, fumados e fatiados;
- Zona de pesagem e etiquetagem;
- Zona de preparação de encomendas e expedição;

- Câmaras de arrefecimento rápido;
- Câmaras refrigeradas de armazenamento de produtos frescos;
- Câmaras refrigeradas de armazenamento de produtos congelados;
- Câmaras refrigeradas de armazenamento de produtos transformados.

Na Figura 1 encontra-se representado de uma forma genérica todo o processo produtivo das carnes. Já na Figura 2 representa-se os principais processos de produção dos derivados do setor das carnes.

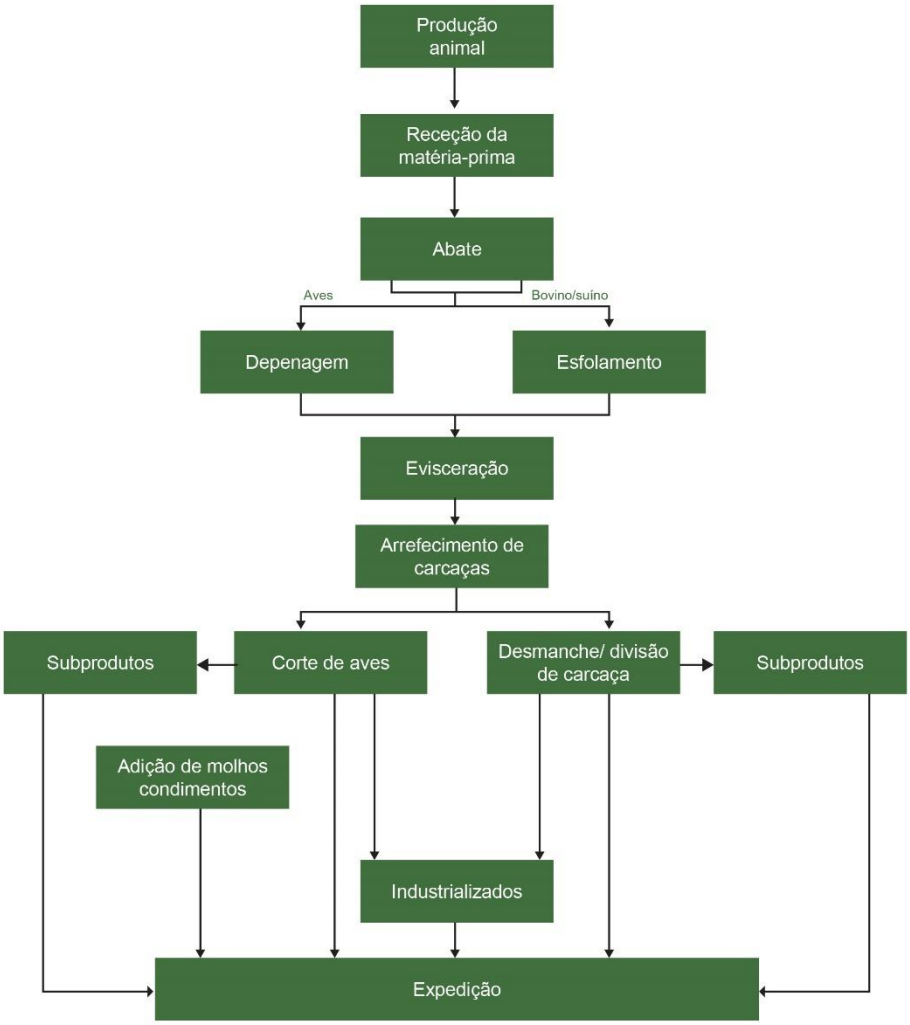


Figura 1 – Fluxograma genérico do processo produtivo da indústria da transformação de carnes.

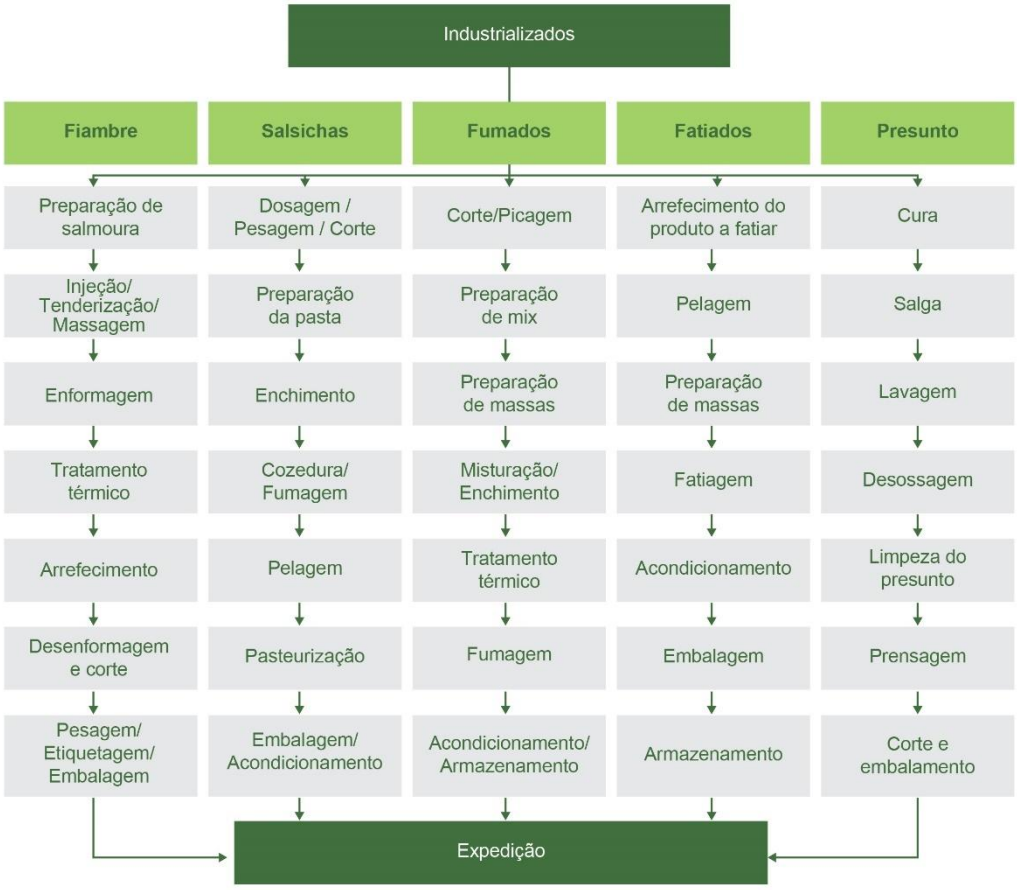


Figura 2 – Fluxograma do processo produtivo de alguns preparados de carne.

A fileira das carnes apresenta elevados consumos energéticos e matérias-primas, refletindo-se em impactos ambientais significativos. As principais fontes de energia utilizadas abrangem todas as etapas do processo produtivo, com especial destaque para o processamento e refrigeração, devido às exigências de contro rigoroso de temperatura e higiene. A eletricidade destaca-se assim como vetor predominante em várias etapas, sendo complementada por outras fontes como gás natural, GPL, biomassa e fuelóleo, especialmente nos processos de tratamentos térmicos (ADENE, 2024).

Segue-se a Tabela 1 com os principais processos energéticos no setor das carnes e os vetores energéticos associados a cada.

Tabela 1 – Processos energéticos e respetivos vetores energéticos utilizados na fileira das carnes.

Processo Energético	Vetores Energéticos Utilizados
Abate	Eletricidade
Depenagem (aves)	Eletricidade
Esfolamento (bovinos/suínos)	Eletricidade
Evisceração	Eletricidade
Arrefecimento de carcaças	Eletricidade
Corte das aves e desmanche de carcaças	Eletricidade
Industrializados (fatiados, fumados, etc.)	Eletricidade, gás natural, GPL, biomassa, fuelóleo
Cura e salga	Eletricidade, gás natural, GPL, biomassa, fuelóleo
Tratamento térmico	Eletricidade, gás natural, GPL, biomassa, fuelóleo
Arrefecimento (produtos processados)	Eletricidade
Embalamento	Eletricidade
Armazenamento a frio	Eletricidade

Com base no modelo desenvolvido para o setor como um todo, e recorrendo as estatísticas do INE de produção para a fileira, caracterizou-se o consumo de energia final por vetor e das emissões GEE do a fileira para o ano base (2020), representados na Figura 3.

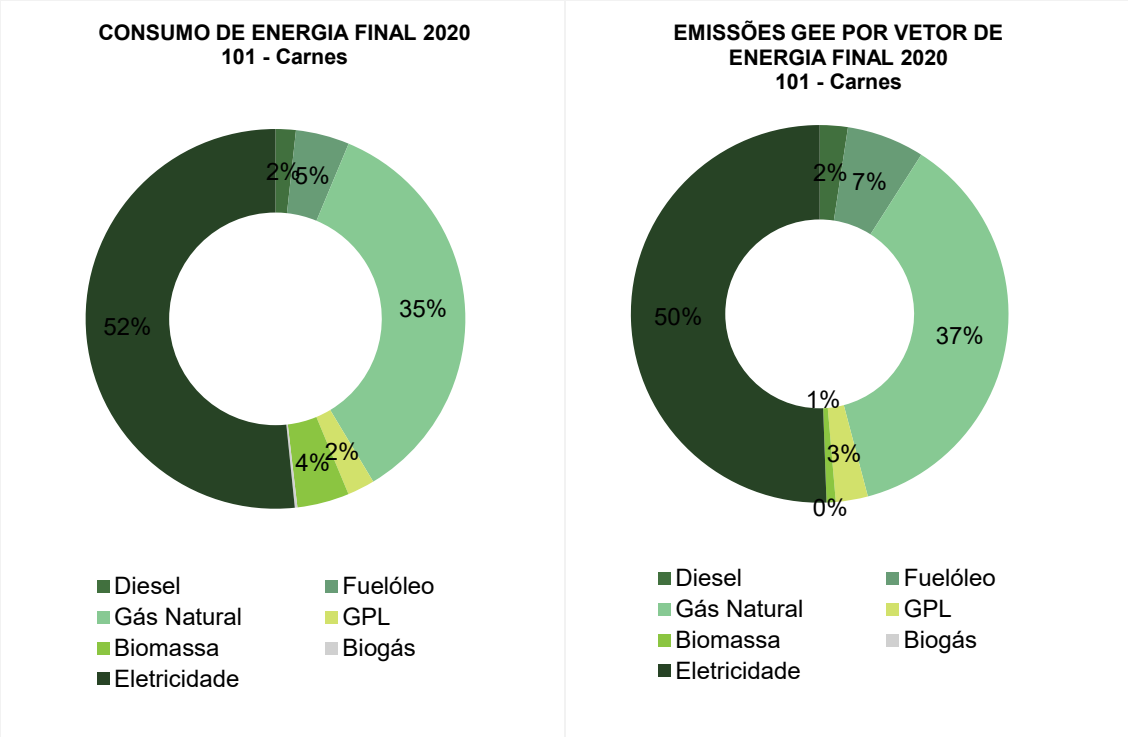


Figura 3 - Consumo de energia final e emissões por vetor de energia para o ano 2020 para a fileira das carnes, estimado pelo modelo desenvolvida para o setor como um todo, com base em dados estatísticos de produção (INE).

Dentro da indústria de transformação dos alimentos e das bebidas, a fileira das carnes (CAE 101), representou cerca de 14% das emissões GEE do setor em 2020 (154ktCO_2eq, para um consumo de energia final de 68,7 ktep). Analisando os valores de consumo de energia final por vetor e de emissões GEE (Figura 3) para o ano de 2020, podemos concluir que a fileira das carnes apresenta ainda uma dependência significativa direta de combustíveis fósseis, embora esta fileira também se destaque por apresentar um consumo relativo de eletricidade substancialmente superior ao setor como um todo. O consumo de energia fóssil na fileira das carnes representou quase 44% do consumo de energia final em 2020, representando quase 50% emissões GEE da fileira. Destes, o consumo de gás natural é o mais representativo, contribuindo para 35% do consumo de energia final e 37% das emissões GEE da fileira. Quanto ao consumo de eletricidade, representa a maior fatia de consumo de energia final em 2020, com 52% do consumo de energia final e metade das emissões GEE da fileira. Estes valores reforçam a necessidade de implementação de medidas no setor que permitam substituir o uso de vetores de energia fóssil por energia renovável, e reforçam especialmente os eixos de descarbonização focados na melhoria da eficiência e eletrificação, com um papel também para a integração de gases renováveis para a substituição do consumo de energia fóssil, especialmente gás natural.

2.2 Consumo de matérias-primas (incluindo água) e produção de subprodutos e resíduos

Com base nos inquéritos realizados no âmbito deste projeto (Anexo 2), obtiveram-se respostas de 4 empresas da fileira das carnes. O tipo de produtos produzidos difere de empresa para empresa e está descrito na Figura 4, incluindo carne fresca e maturada, farinhas animais e preparados de carne.

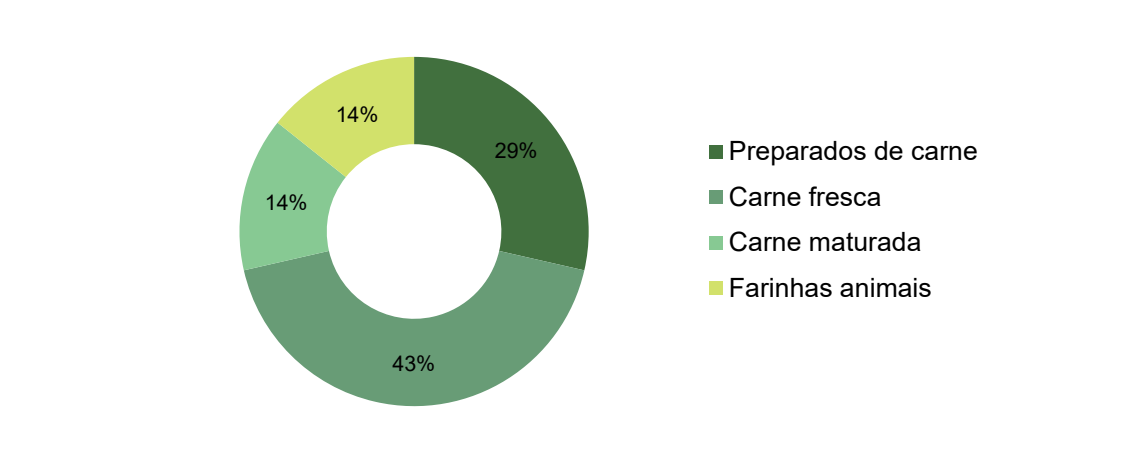


Figura 4 - Produtos produzidos pelas empresas entrevistadas da fileira das carnes.
Valores expressos em % de empresas.

Nesta fileira, existiu uma grande discrepância em termos do volume de produção das empresas inquiridas, com metade a terem uma produção inferior às 300 toneladas anuais, e outra metade a terem volumes superiores às 10 000 toneladas anuais.

Esta fileira apresenta um rácio de resíduos e subprodutos (Figura 5) superior a outras, como a dos Laticínios. Isto deriva em grande parte dos resíduos e subprodutos gerados no processamento da carne. Há duas categorias de subprodutos que são comumente identificadas pelas empresas: subprodutos de categoria 3, que incluem ossos, peles, pelo, penas, gorduras, e outras partes de animais abatidos que não seguem para consumo por razões comerciais; e subprodutos de categoria 2, que incluem os conteúdos do aparelho digestivo dos animais, materiais animais com vestígios de medicamentos, e animais abatidos que não sejam para consumo humano. Em particular, os subprodutos de categoria 3 têm alto potencial de valorização, devido ao seu alto valor nutritivo. Assim, uma das empresas inquiridas já opta pelo processamento destes subprodutos, valorizando-os a ingredientes para incorporação em rações animais.

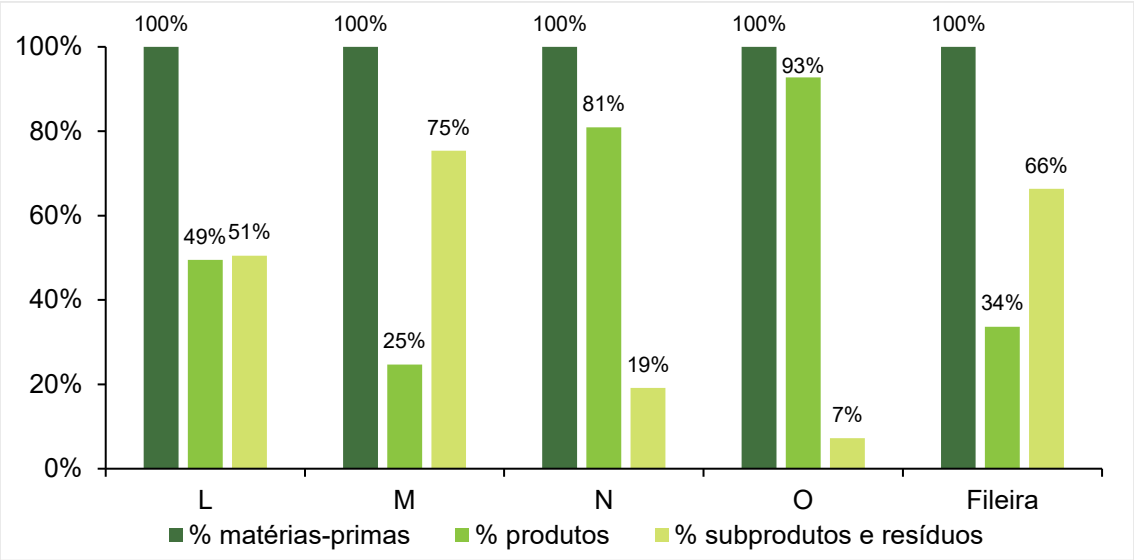


Figura 5 - Consumo de matérias-primas e produção de produtos, subprodutos e resíduos.
Dados obtidos com base nas respostas de 4 empresas.

Adicionalmente, todas as empresas inquiridas reportaram a fase do embalamento como sendo a mais significativa para a produção de resíduos, e de entre os resíduos indicados pelas empresas, salientam-se o papel/cartão e o plástico, em adição às lamas. A produção de resíduos e subprodutos é considerada contínua ao longo do ano.

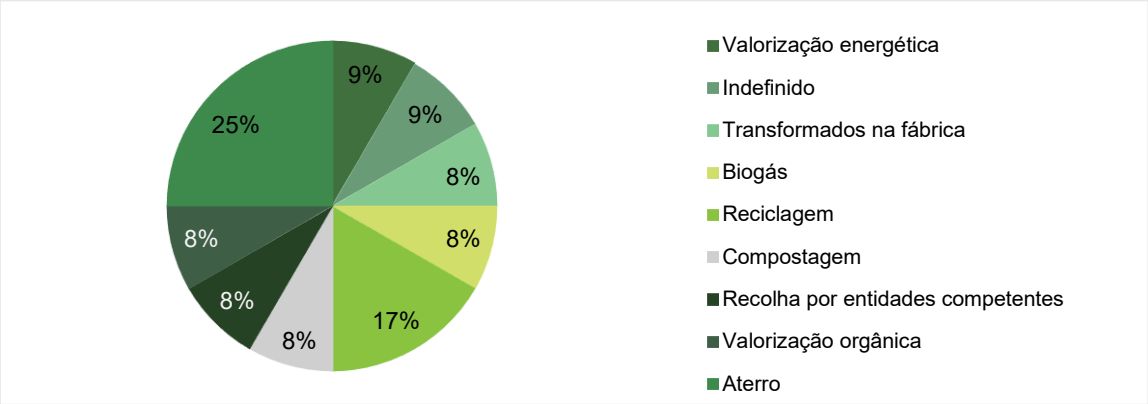


Figura 6 - Destino dos resíduos e subprodutos, conforme indicado pelas empresas inquiridas.
Valores em % de empresas que indicam recorrer a estes destinos.

Relativamente ao destino de subprodutos e resíduos (Figura 6), a transformação na própria fábrica é pouco referida, sendo o aterro a principal opção. A valorização energética e produção de biogás começam a aparecer como opções. Sendo os resíduos de embalagem um dos mais referidos pelas empresas, a reciclagem aparece como significativa também. Os subprodutos de categoria 2 são genericamente recolhidos por autoridades competentes devido ao seu risco de contaminação.

Todas as empresas inquiridas planeiam reduzir a produção de resíduos até 2030. Algumas das medidas referidas pelas empresas como estando em vigor para auxiliar na redução de resíduos incluem:

- Valorização de resíduos e subprodutos, incorporando-os como ingredientes noutros produtos ou desviando-o para outros sectores, como o dos ingredientes para rações animais;
- Aposta na reciclagem dos materiais de embalagem;
- Teste de novas embalagens com menor teor de plástico.

A nível de embalagem, nesta fileira, as empresas recorrem ao plástico, devido à sua melhor capacidade de preservação deste tipo de alimentos. Todas as empresas inquiridas utilizam plástico reciclado nas suas embalagens, a níveis entre 25 e 50%. As empresas referem ter dificuldade em aumentar esta percentagem, devido à falta de estanquidade de embalagens com um teor de plástico reciclado superior.

Relativamente ao consumo de água, a empresa M, produtora de carne de frango e de farinhas animais, apresenta um consumo médio de 6 L/kg, calculado com base no consumo total anual de água em relação à produção total anual. Contudo, a empresa divulga a pegada hídrica específica por produto, conforme apresentado na Figura 7, sendo a produção de carne de frango o processo com maior consumo de água, com 3,95 L/kg. Quanto à origem da água, a empresa utiliza maioritariamente fontes subterrâneas, sendo a água de fonte pública destinada apenas ao consumo em escritórios e lavandaria.

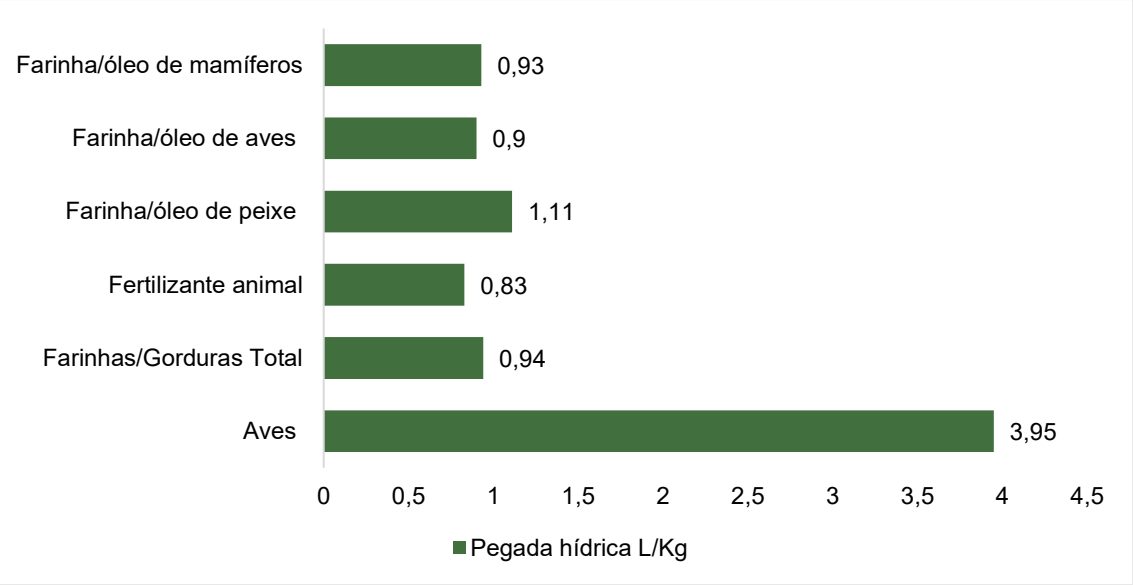


Figura 7 - Pegada hídrica de cada produto desenvolvido na empresa M.

Segundo a empresa, o maior consumo de água está associado à linha de matadouro, devido às elevadas exigências de higienização e processamento. Apesar disso, como produtora de frangos, a empresa apresenta um consumo de água relativamente baixo quando comparado à revisão de (Ana Sofia Ferraz, 2020), que aponta uma média de 20 L/kg de frango. Esta diferença significativa deve-se ao facto de o valor da referência incluir todas as etapas da cadeia produtiva, desde a criação dos animais até ao processamento final, enquanto o consumo reportado pela empresa reflete apenas o uso de água durante as etapas específicas do abate e processamento.

De facto, o consumo de água na limpeza industrial nesta fileira é significativo devido às rigorosas exigências de higienização. No final da produção, realiza-se uma primeira lavagem com água para remover resíduos sólidos e pré-humedecer as superfícies. Em seguida, aplica-se um detergente, que forma uma espuma aderente, garantindo uma limpeza mais profunda. Após o tempo de ação do detergente, a área é novamente enxaguada com água para remover a espuma, seguindo-se uma desinfeção e enxaguamento com água novamente. Além disso, a limpeza é realizada tanto durante a produção, para garantir condições seguras e evitar a propagação de derrames, quanto entre os lotes de produção, onde é necessário remover resíduos e preparar os equipamentos para o próximo lote. Embora o planeamento eficiente possa reduzir a necessidade de limpeza entre lotes, esta é geralmente indispensável para assegurar a conformidade com as especificações dos produtos. A produção de carne de aves inclui ainda outras etapas que exigem um elevado consumo de água, como cozedura, pasteurização, esterilização e arrefecimento (European Commission, 2019).

2.3 Tecnologias de digitalização utilizadas

A fileira das carnes está a atravessar uma transformação significativa com a introdução de tecnologias de digitalização, existindo ainda algumas limitações na adoção destas tecnologias. E apesar de estas tecnologias não só aumentarem a eficiência e a precisão dos processos, como também garantirem uma melhor rastreabilidade, segurança e qualidade dos produtos, foi possível verificar que ainda existe alguma resistência à adoção destas tecnologias na gestão das operações e processos internos das empresas, assim como na interação com a cadeia de abastecimento. No universo de empresas que responderam aos inquéritos estão enquadradas cinco empresas.

O nível de maturidade das tecnologias de digitalização nesta fileira está em crescimento, impulsionado pela necessidade de eficiência, sustentabilidade e competitividade. No entanto, a superação dos desafios associados à implementação é crucial para que as empresas possam aproveitar plenamente os benefícios dessas inovações. Uma abordagem estratégica, investimentos adequados em infraestrutura e formação contínua são fundamentais para a

transformação digital desta importante indústria, assim como uma cultura de inovação e a colaboração entre stakeholders.

Os dados refletem uma fileira em transição, com todas as empresas já empenhadas no processo de digitalização. Todas as empresas analisadas têm todos os equipamentos críticos automatizados e com integração com os sistemas de informação (IT). Todas as empresas também utilizam o ERP (Enterprise Resource Planning) e em duas delas já está implementado o MES (Manufacturing Execution System). No entanto, apenas uma empresa utiliza o EMS (Energy Management System) e só existe uma empresa a integrar o EDI (Integração de Sistemas na cadeia de valor) com o ERP e com IoT.

A partir dos dados recolhidos através de visitas e um inquérito online, observou-se que todas as empresas indicaram estarem num nível intermédio de automação, onde todos os equipamentos críticos estão automatizados. Este nível representa um equilíbrio entre o investimento em tecnologia e a manutenção de processos tradicionais, possivelmente refletindo uma transição gradual para práticas mais modernas.

Estes resultados indicam uma tendência positiva na adoção de automação na fileira, embora ainda exista margem para expansão para terem um nível alto de automação, com todos os equipamentos automatizados. Este dado sugere que, embora não haja uma integração total, existe um reconhecimento da importância em conectar os elementos mais vitais dos processos produtivos ao IT.

Nenhuma das empresas da fileira alcançou um nível alto de integração, com todos os equipamentos interligados aos sistemas de informação.

Estes resultados apontam para uma tendência clara: enquanto a transformação digital está em curso na fileira, ainda há um amplo caminho a percorrer.

Para acelerar esta transformação, recomenda-se que as empresas invistam em tecnologias facilitadoras, formação especializada e parcerias estratégicas que possam facilitar a integração entre IT e OT. A colaboração entre os diversas partes interessadas da fileira será fundamental para superar os desafios técnicos e culturais inerentes a este processo.

3. Medidas de descarbonização, digitalização e economia circular para a fileira

3 Medidas de descarbonização, digitalização e economia circular para a fileira

3.1 Domínio "Descarbonização"

Os processos críticos no setor das carnes incluem o abate, desmanche, tratamentos térmicos e armazenamento a frio, todos caracterizados por um elevado consumo energético. Estes processos são particularmente exigentes no controlo de temperatura (refrigeração e congelação) e no uso intensivo de água quente para limpeza e esterilização. Dado o impacto ambiental e os custos energéticos associados, a descarbonização é essencial para reduzir a pegada de carbono e aumentar a competitividade das empresas do setor.

Além das medidas gerais apresentadas no Roteiro para a Descarbonização do Setor Agroalimentar (capítulo 3), existem soluções mais específicas para a fileira das carnes, que podem tornar as operações mais sustentáveis e eficientes (European Commission, 2019). Entre as principais medidas destacam-se:

- **Otimização dos processos de cozedura e esterilização** – A instalação de controladores de temperatura e sensores em fornos de cozedura assegura a manutenção da temperatura ideal, evitando sobreaquecimentos e consumos energéticos excessivos, enquanto promove a eficiência energética sem comprometer a qualidade do produto final;
- **Recuperação de calor nos processos de cozedura e esterilização das carnes** – A instalação de permutadores de calor em fornos ou caldeiras permite reaproveitar o calor residual gerado nesses processos. Esse calor pode ser utilizado para pré-aquecer a água de lavagem de equipamentos ou para alimentar sistemas de aquecimento de espaços, reduzindo a necessidade de energia adicional;
- **Otimização dos sistemas de refrigeração da carne** – Os sistemas de refrigeração podem ser modernizados com compressores de alta eficiência e variadores de velocidade, que ajustam o consumo de energia à carga térmica real. Por exemplo, a instalação de sensores em armazéns frigoríficos de carne fresca pode ajustar automaticamente a temperatura, reduzindo o esforço dos compressores em períodos de menor utilização;
- **Isolamento das áreas refrigeradas** – A aplicação de materiais de isolamento térmico de alta eficiência em câmaras frigoríficas ou túneis de congelação minimiza as trocas térmicas com o exterior, reduzindo significativamente o consumo energético associado à manutenção de baixas temperaturas.

No Anexo 9 é possível ver estas medidas desagregadas, com informações mais específicas sobre cada uma.

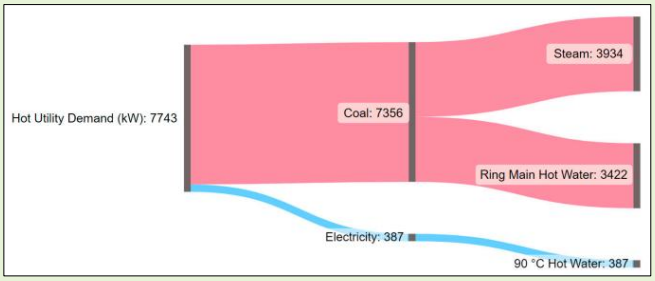
De seguida encontra-se um exemplo de boas práticas numa determinada empresa, onde também são demonstrados os benefícios atingidos, especialmente a nível de emissões.

Exemplo (Integração de bomba de calor e recuperação de calor residual)

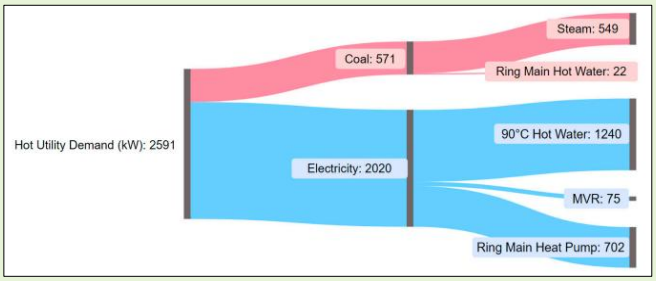
A implementação de tecnologias de integração de calor com bombas de calor foi analisada numa instalação de processamento de carnes, visando a redução de emissões de CO_2 e o aumento da eficiência energética. O estudo propôs um método inovador de integração de calor com múltiplas camadas, capaz de identificar oportunidades que não seriam visíveis com métodos tradicionais. Entre as soluções implementadas destacam-se:

- Recuperação de calor: Uma solução no setor de processamento de resíduos permitiu a reutilização de vapor desperdiçado, resultando numa redução de 2 170 ton/CO_2 por ano;
- Bomba de calor centralizada: Uma bomba de calor foi instalada para aquecer água de processo a partir de fontes de calor residual, reduzindo mais 2 060 ton/CO_2 por ano.

A combinação destas iniciativas resultou numa redução drástica do consumo de carvão, diminuindo em mais de 50% as emissões de carbono do local, o que corresponde a uma redução total de 4 953 ton/CO_2 anualmente.



Procura de calor antes da intervenção



Procura de calor depois da intervenção

Fonte: (Klinac, 2023).

3.2 Domínio "Digitalização"

A adoção de tecnologias de digitalização pode proporcionar às empresas das carnes uma vantagem competitiva significativa, melhorando a eficiência operacional, a qualidade dos produtos e a sustentabilidade ambiental. Do ponto de vista da automação e robótica, esta tem um grande impacto ao nível da receção de matérias-primas através de sistemas automatizados para classificação e manuseamento, garantindo consistência e velocidade. Já nos processos de controlo e qualidade, a Inteligência Artificial (IA) e Machine Learning aplicados a sistemas de visão computacional para detetar defeitos/doenças e problemas de qualidade dos produtos, desempenham um papel fundamental na eficiência das operações. Estas tecnologias poderão também ser úteis em processos burocráticos relacionados com o cumprimento de normas, nos quais, os chatbots podem simplificar e agilizar os processos.

A conceção de plataformas de Internet das Coisas (IoT) permite a monitorização em tempo real, recorrendo a sensores para monitorizar condições de armazenamento, como temperatura e humidade, garantindo que os produtos/animais sejam mantidos nas melhores condições possíveis. Na gestão de equipamentos, a monitorização e manutenção preventiva de máquinas e equipamentos de processamento permitem minimizar paragens e falhas. Outra tecnologia com grande impacto na monitorização é a tecnologia de Blockchain implementada para rastrear a origem e o fluxo dos produtos, garantindo transparência e confiança ao consumidor, assim como para garantir certificação e conformidade. A utilização de registos imutáveis para assegurar que os produtos atendem às normas e regulamentos, facilita a transparência e comunicação de informação entre os vários players da cadeia de abastecimento, promovendo a circularidade dos subprodutos desta fileira.

A Realidade Aumentada (AR) e Realidade Virtual (VR) podem ser utilizadas no treino de pessoas em operações com máquinas e processos de segurança, reduzindo erros e aumentando a eficiência. Também na manutenção assistida, os técnicos podem usar AR para visualizar instruções de manutenção sobrepostas nas máquinas, facilitando a resolução de problemas.

Outras tecnologias que contribuem diretamente para o processo de descarbonização da fileira das carnes são as Tecnologias de Sustentabilidade, tanto no uso eficiente de energia, através de sistemas de monitorização e otimização do uso de energia para reduzir o consumo e os custos, como na gestão de resíduos, incorporando tecnologias para otimizar a gestão e reutilização de resíduos de processamento.

Em suma, o recurso a Sistemas de Gestão Integrados que incorporam sistemas ERP (Enterprise Resource Planning) específicos para a indústria de alimentos integrando todas as operações, desde a aquisição de matéria-prima até a distribuição final são cruciais para a sustentabilidade desta fileira. A utilização de sistemas MES (Manufacturing Execution Systems) que monitorizam

e controlam a produção em tempo real, proporcionando visibilidade total do chão de fábrica aumentam a eficiência dos processos e reduzem o desperdício.

3.3 Domínio "Economia circular"

Além das medidas referidas no Roteiro para a Descarbonização do Setor Agroalimentar, existem outras oportunidades de melhoria com foco não só na descarbonização, mas também em práticas de economia circular e minimização do desperdício. Listam-se abaixo essas medidas:

- **Maximizar o aproveitamento de todas as partes do animal** (incluindo, pele, ossos, sangue, penas etc.), transformando subprodutos em novos produtos, como rações, fertilizantes, colagénio ou biocombustíveis. Isto reduz a necessidade de novas matérias-primas, libertando área de cultivo/pastagem, minimizando os transportes associados e a quantidade de resíduos que acaba em aterros, além de reduzir os custos energéticos associados ao transporte e processamento de resíduos. A poupança em termos de carbono dependerá de fatores como a distância entre a origem dos subprodutos/ resíduos e o local de produção dos novos produtos, e do uso de energia e água para processá-los em comparação ao uso de novas matérias-primas. Também é importante considerar a aceitação dos novos produtos pelos consumidores. Na indústria da carne, na grande maioria dos casos, esses subprodutos já são usados, por exemplo, para alimentação animal. Porém, pode ser interessante explorar alternativas como a sua valorização para a alimentação humana, o que pode gerar mais lucro para as empresas, possibilitando novos investimentos em descarbonização.

- (Nos casos onde isto ainda não é feito) **utilizar resíduos e subprodutos da produção de carne**, como gorduras e ossos, para a formulação de rações para animais, seja com processamento mínimo ou através de valorização (como o desenvolvimento de hidrolisados ou extração de compostos bioativos). Caso a empresa transformadora possua animais próprios (ao invés de comprar peças de carne), sugere-se que aproveite os subprodutos de forma interna, para alimentação dos próprios animais, facilitando a logística e minimizando as emissões associadas quer à produção de ração com novas matérias-primas, quer ao transporte dos materiais. Necessariamente, isto terá de considerar a legislação em vigor relativa à utilização de matérias de origem animal para estes fins, como o Decreto-Lei n.º 33/2017 e o Despacho n.º 8442/2017.

- **Transformar resíduos orgânicos não aproveitáveis em composto orgânico ou biogás**, que pode ser utilizado para gerar energia. Assim, reduzir-se-á não só a percentagem de resíduos que acaba em aterro, como também a dependência de energias de origem fóssil. A viabilidade desta alternativa depende dos custos de

operação e instalação das tecnologias de valorização energética e dos volumes de subprodutos disponíveis e deverá ser estudada caso a caso.

- **Usar embalagens biodegradáveis ou recicláveis**, bem como otimizá-las para reduzir o volume e o peso. As empresas entrevistadas salientaram o embalamento como um dos passos com maior geração de resíduos, sendo então necessário otimizar este passo. Caso não seja possível alterar o material da embalagem para um de menor impacto ambiental, deve estudar-se para cada produto a possibilidade de minimizar o teor de embalagem. Isto permitirá não só reduzir o desperdício associado à embalagem, como também otimizar o transporte de produtos, levando a que se consiga levar mais peso de produto em cada viagem. Assim, minimizam-se os custos e as emissões associadas aos transportes.

- **Integrar árvores e florestas nos sistemas de produção de carne**. Isto melhora o sequestro de carbono e reduz a necessidade de fertilizantes e pesticidas sintéticos. Adicionalmente, poderá contemplar-se a possibilidade de se integrarem espécies vegetais para consumo humano, como nogueiras ou outras árvores de fruto, e desenhar-se então espaços de produção comuns de produtos vegetais e animais, maximizando a produção por unidade de área.

- **Monitorizar e registar todos os gastos de água**. Aqui, as tecnologias de digitalização poderão ser usadas para identificar pontos críticos para potenciais melhorias e diminuição do consumo de recursos hídricos.

- **Implementar tecnologias de redução e eficiência no uso da água**, como a recirculação de água nos sistemas de refrigeração e lavagem. Para irrigação, recorrer a sistemas inteligentes e eficientes que minimizam o desperdício de água, sendo, no entanto, preferencial o recurso a sistemas de produção pecuária predominantemente baseados em pastagens não irrigadas.

- **Na pastagem, substituir fertilizantes químicos por fertilizantes orgânicos provenientes de subprodutos da própria cadeia produtiva**. Por exemplo, poderá usar-se a compostagem de dejetos animais. Adicionalmente, sugere-se o recurso a pastagem rotativa, a otimização da densidade animal por área de pastagem e o uso de diversas espécies de relva. Embora isto possa levar a menor volume de *outputs*, pode promover a saúde dos campos de pastagem e consequentemente a saúde dos animais. Assim, serão necessários menos *inputs* quer na dieta dos animais, quer no tratamento das áreas de pastagem, eventualmente levando a uma maior rentabilidade do processo. Deverá ser avaliado para cada zona geográfica as melhores espécies e densidade animal a usar na pastagem.

- **Promover o melhoramento genético de plantas dos campos de pastagem** para melhorar a eficiência do uso de azoto, a sua digestibilidade para os animais e o seu perfil nutricional. Ao melhorar o uso de azoto e digestibilidade, há menos perdas de nutrientes para o meio ambiente, o que significa que há menos desperdícios de ração e menos emissões associadas. A fertilização dos campos de pastagem deve também ser combinada com a plantação de espécies fixadoras de azoto.
- **Promover a rastreabilidade dos ingredientes da alimentação animal** desde os produtores da ração até aos consumidores, para facilitar a escolha de fornecedores e produtos que tenham um menor impacto ambiental.
- **Adaptar a alimentação dos animais para aumentar a eficiência de absorção de azoto e fósforo, minimizando a sua excreção**. Em alternativa, pelo menos, deve promover-se a sua excreção pelas fezes face à urina, para evitar que estes elementos eventualmente poluam cursos de água. Isto pode ser feito por exemplo com recurso a aditivos funcionais na sua alimentação.
- **Utilizar também aditivos alimentares que reduzam a produção de metano pelos animais**, como fitoquímicos, algas ou óleos essenciais. Salienta-se ainda que estes aditivos podem ser obtidos de subprodutos alimentares, contribuindo para a circularidade da cadeia.
- **Melhorar o valor nutricional do pasto ou ração**, por exemplo, aumentando o seu teor lipídico balanceando o rácio de energia/ proteína. Isto permite às empresas menores custos com a ração, que podem ser desviados para investimento em tecnologias de descarbonização. Em paralelo, aumentar a eficiência nutricional diminui o desperdício de ração, com efeitos nas emissões associadas, seja a nível de transporte da mesma, seja a nível de emissões pelos animais.
- **Criação de animais para selecionar animais com menor produção de metano por unidade de matéria seca ingerida.** Isto terá de ser feito sem, contudo, prejudicar a qualidade do produto final.

Sugere-se ainda que as instituições governamentais e financiadoras criem planos de descarbonização e circularidade integrados, que envolvam desde os produtores de ração animal, agricultores, produtores de pecuária, retalhistas e distribuidores, para criar sistemas de produção de produtos vegetais e animais em simultâneo, para maximizar a quantidade de produtos alimentares por unidade de área de produção. As parcerias com unidades de investigação são também essenciais, para que se avalie quais as melhores espécies e variedades quer de plantas e ingredientes para ração animal, quer dos próprios animais, com vista à maximização da produção com o menor desperdício e promoção da biodiversidade.

4. Perspetivas de evolução da fileira

4 Perspetivas de evolução da fileira

Na fileira das carnes, 97% das emissões não se devem ao setor da transformação, mas sim a nível de produção primário (Figura 8). Isto salienta novamente a necessidade de programas integrados de descarbonização, onde os produtores sejam envolvidos. Assim, a fileira das carnes representa 30% das emissões a nível da transformação alimentar em Portugal, e 42% das emissões do setor primário.

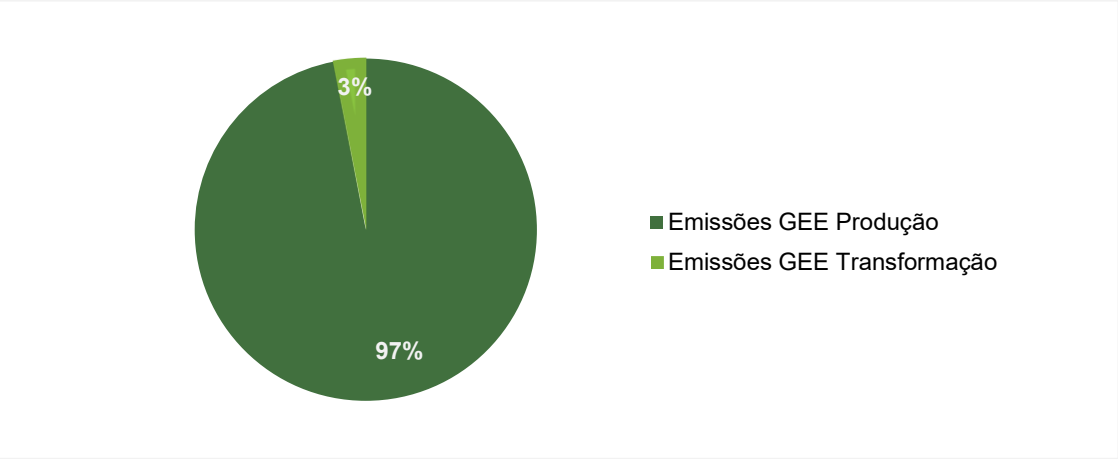


Figura 8 - Distribuição entre produção e transformação na fileira das carnes.

Agrupando os setores de produção e transformação, para o setor agroalimentar em Portugal, prevê-se uma diminuição das emissões de GEE, sendo que a velocidade desta diminuição depende da capacidade de adoção de medidas de descarbonização (cenários conservador, moderado e otimista; Figura 9).

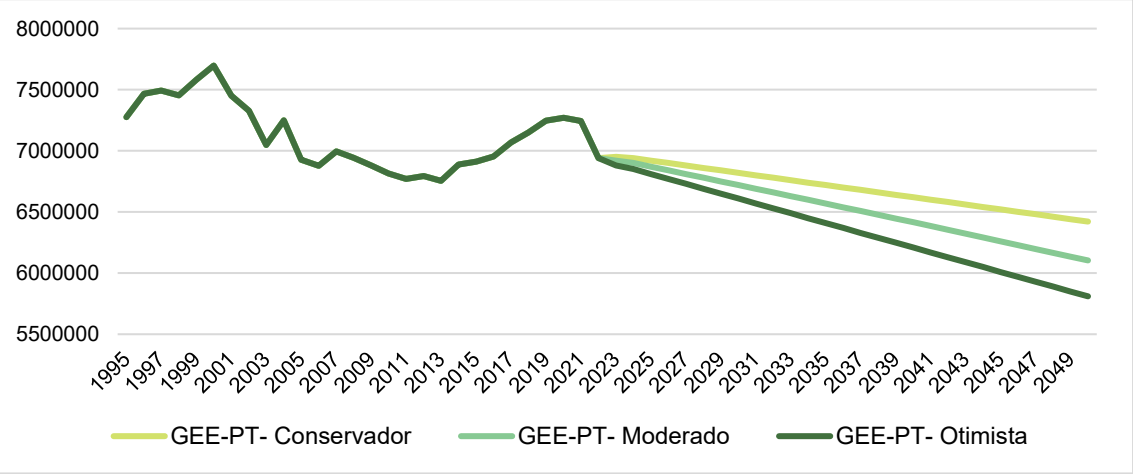


Figura 9 - Estimativa da evolução de emissões GEE de acordo com a evolução histórica, adoção de novas tecnologias e tendências de consumo.

No caso concreto da fileira das carnes, a Tabela 2 apresenta a perspetiva de evolução das emissões de GEE, até 2050. Para estes valores, é considerado um cenário *business as usual*, ou seja, representam-se os valores das emissões caso não sejam tomadas medidas adicionais de descarbonização. Assim, a redução, a nível da indústria transformadora das carnes seria de apenas 7,3% em 2050 (face a 2005), o que fica muito abaixo das metas propostas de descarbonização. Conclui-se então que é necessário um esforço adicional para promover a descarbonização desta fileira.

Tabela 2 - Simulação de emissões de GEE em MtCO2eq para o período 2005 a 2050.

	2005	2022	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Produção	2909,49	2915,35	2906,49	2864,46	2822,55	2780,67	2738,83	2697,02
Tranasformação	637,18	638,46	636,52	627,32	618,14	608,97	599,80	590,65

A lacuna de dados existente a nível do consumo de água e geração de resíduos por fileira limitou o trabalho. A ausência de dados específicos por fileira representa não apenas uma limitação atual, mas também uma oportunidade clara para futuros trabalhos de investigação. Estudos futuros poderão aprofundar o exercício aqui realizado, partindo da análise desagregada de cada fileira e conduzindo à posterior consolidação setorial de forma mais robusta.

Porém, poderá ter-se em conta que estimar a evolução da indústria transformadora de carnes em Portugal depende de tendências globais e locais no consumo, sustentabilidade, inovação tecnológica, políticas públicas e mudanças climáticas.

Em Portugal, como em outros países europeus, há sinais de declínio no consumo de carne, especialmente carne vermelha (bovinos e suínos), devido a preocupações com saúde, sustentabilidade e bem-estar animal, enquanto aumenta o consumo de produtos com alternativas vegetais. No entanto, a produção e o consumo de carne de aves podem-se manter ou crescer levemente devido ao menor impacto ambiental e menor custo em relação às carnes vermelhas.

Adicionalmente, com o impacto das metas climáticas da União Europeia, espera-se pressão para reduzir a produção mais intensiva e não sustentável.

A manutenção ou crescimento da produção dependerá também da competitividade no mercado global, dado que o país depende parcialmente de exportações. Deve considerar-se também que, com o aumento dos custos de alimentação animal, energia e conformidade ambiental, os pequenos e médios produtores podem ter dificuldade em manter-se competitivos.

Por outro lado, inovações tecnológicas na valorização de subprodutos desta fileira poderão trazer novas fontes de rendimento para a indústria. Adicionalmente, processos cada vez mais eficientes podem reduzir custos e compensar parcialmente o declínio de produção em volume.

Assim, a produção de carne em Portugal pode sofrer uma diminuição, com maior impacto na carne bovina e suína. Embora o volume de carne processada possa diminuir, a indústria transformadora deve investir em produtos com maior valor acrescentado (ex.: carnes premium, produtos funcionais, snacks proteicos) e na diversificação para alternativas à carne. Finalmente, empresas que adotem práticas sustentáveis terão maior probabilidade de se manterem competitivas.

A nível da geração de resíduos, existe uma tendência crescente de reaproveitamento dos subprodutos da carne para produzir farinha de carne e ossos (ração animal), colagénio, gelatina, biodiesel e compostos bioativos. Assim, espera-se que a quantidade de resíduos com destino a aterro se reduza até 2050. Adicionalmente, há uma tendência crescente para se apostar em embalagens recicláveis e/ou biodegradáveis, minimizando os resíduos de embalagens.

A indústria de carnes é intensiva no uso de água, em processos como abate, lavagem de carcaças, limpeza de instalações e processamento de produtos finais. Apostar em tecnologias de recirculação e reutilização de água pode reduzir drasticamente o consumo de água. Com a crescente escassez hídrica em Portugal (especialmente no sul), aliada às políticas ambientais

PORTUGAL FOODS
Atlantic meets Mediterranean
desde 2009
INOVCLUSTER
Associação do Cluster Agro-industrial do Centro
PRR
Plano de Recuperação e Resiliência
REPÚBLICA PORTUGUESA
Financiado pela União Europeia
NextGenerationEU