ROTEIRO PARA A
DESCARBONIZAÇÃO DO SETOR AGROALIMENTAR

MANUAL SETORIAL PARA A FILEIRA DOS CEREAIS E PANIFICAÇÃO

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 dos cereais e panificação

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 **22**

Índice de tabelas

Tabela 1 – Processos energéticos e respetivos vetores energéticos utilizados – fileira dos cereais e panificação. 9
Tabela 2 - Simulação de emissões de GEE em MtCO2eq para o período 2005 a 2050. 24

Índice de figuras

Figura 1 – Fluxogramas genéricos dos processos produtivos de pães e bolachas. 7
Figura 2 – Fluxogramas genéricos dos processos produtivos de massas e arroz. 8
Figura 3 - Consumo de energia final e emissões por vetor de energia para o ano 2020 para as fileiras dos cerais, panificação e produtos à base de farinha, 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 dos cereais e panificação. Valores expressos em % de empresas. 11
Figura 5- Percentagem de consumo de matérias-primas e produção de produtos, subprodutos e resíduos. Dados obtidos com base na resposta de 5 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- Destino de cada subproduto/resíduo, na empresa D. 13
Figura 8- Materiais utilizados nas embalagens, segundo reportado pelas empresas da fileira dos cereais. 14
Figura 9 - Distribuição entre produção e transformação na fileira dos cereais. 23
Figura 10 - Estimativa da evolução de emissões GEE de acordo com a evolução histórica, adoção de novas tecnologias e tendências de consumo. 23

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 dos cereais e panificação.

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 dos cereais e da panificação é um dos pilares fundamentais da indústria alimentar em Portugal, destacando-se como um dos subsetores com o maior número de empresas no setor agroalimentar. Esta fileira abrange uma vasta gama de produtos derivados dos cereais, como pão, bolachas, massas e arroz, desempenhando um papel crucial na alimentação diária de milhões de pessoas. A diversidade do subsetor reflete-se nas indústrias que o compõem, incluindo fábricas dedicadas ao processamento de arroz, fabricação de massas, produção de bolachas, biscoitos e cereais de pequeno-almoço, bem como a produção de pão e produtos de pastelaria, que variam desde os mais tradicionais até às opções mais inovadoras e funcionais.

O processo produtivo começa com o cultivo e colheita dos cereais, elemento fundamental dos produtos desta fileira, onde são selecionadas as variedades mais adequadas para cada tipo de produto. Seguem-se o armazenamento e transporte dos grãos, onde é garantida a preservação da qualidade dos cereais até que sejam moídos (EFINERG, 2012).

A moagem transforma os grãos em farinha e outros derivados, que são então utilizados na produção dos vários produtos desta fileira. Nesta fase, processos como o armazenamento, moagem/descasque, seleção, amassadura, fermentação, cozedura e ultracongelação são cruciais para a obtenção de produtos de alta qualidade. Finalmente, os produtos são embalados (se necessário) e distribuídos. Os fluxogramas apresentados na Figura 1 mostram o processo de fabrico simplificado de bolachas e de pães, respetivamente.

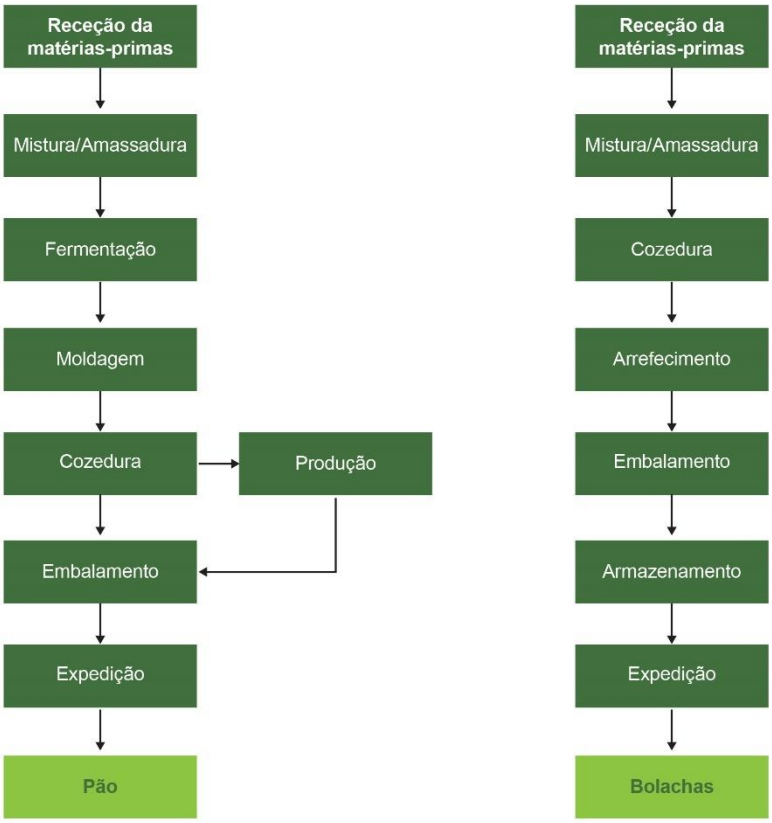


Figura 1 – Fluxogramas genéricos dos processos produtivos de pães e bolachas.

Na Figura 2 mostram-se os processos produtivos da massa e do arroz, que envolve algumas etapas similares. No caso das massas, o processo começa com a seleção e moagem do trigo, resultando em farinha. Esta farinha é misturada com água (e, por vezes, ovos) para formar uma massa, que é depois moldada em diferentes formatos e seca. O arroz passa por um processo de beneficiamento, onde é limpo, descascado e polido para remover a casca e o farelo. Em ambos os casos, o controlo da humidade e a secagem são essenciais para garantir a integridade e a conservação do produto final (SGCIE, 2018).

Outro aspeto importante no processo produtivo de massas e arroz é a qualidade das matérias-primas. No caso das massas, as características do trigo, especialmente o teor de proteína, afetam diretamente a textura e a resistência do produto final. Para o arroz, a variedade do grão e o seu grau de polimento influenciam tanto o sabor quanto o tempo de cozedura. Além disso, a embalagem e o armazenamento adequados são fundamentais para preservar a frescura e evitar a contaminação por pragas ou humidade, garantindo que o produto chegue ao consumidor em boas condições.

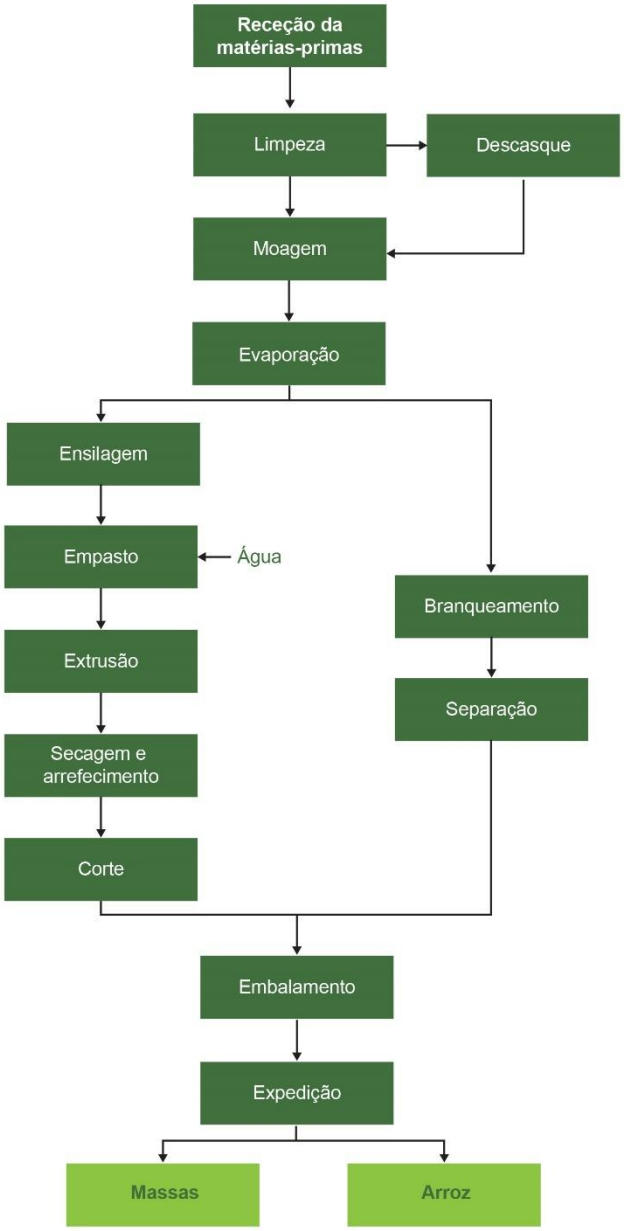


Figura 2 – Fluxogramas genéricos dos processos produtivos de massas e arroz.

Nos últimos anos, a fileira dos cereais e panificação tem sofrido várias inovações. O desenvolvimento de produtos funcionais e saudáveis, como aqueles enriquecidos com fibras, proteínas, vitaminas e minerais, responde à crescente procura dos consumidores por opções alimentares mais nutritivas. A sustentabilidade também ganhou destaque, com a adoção de práticas que incluem o uso de ingredientes orgânicos, redução do desperdício alimentar e embalagens ecológicas.

Além disso, a tecnologia e a automação têm sido implementadas para otimizar a produção, melhorar a consistência dos produtos e aumentar a eficiência energética. Os principais vetores energéticos utilizados nesta fileira são a energia elétrica (utilizada para força motriz, ar comprimido, sistemas de bombagem, ventilação, entre outros) e o gás natural (especialmente para a produção de ar quente) (ADENE, 2024). Na Tabela 1 encontram-se representados alguns dos principais processos e os vetores energéticos utilizados.

Tabela 1 – Processos energéticos e respetivos vetores energéticos utilizados – fileira dos cereais e panificação.

Processo Energético	Vetores Energéticos Utilizados
Descasque	Eletricidade
Polimento	Eletricidade
Moagem	Eletricidade
Mistura e extrusão	Eletricidade
Secagem / cozimento	Gás natural, biomassa, fuelóleo, GPL
Armazenamento	Eletricidade
Embalamento	Eletricidade

Consumo de energia final e emissões em 2020 para as fileiras dos cereais, panificação e produtos à base de farinha

Com base no modelo desenvolvido para o setor como um todo, e recorrendo as estatísticas do INE de produção para as fileiras dos cereais (106) e da panificação e produtos à base de farinha (107) caracterizou-se o consumo de energia final por vetor e das emissões GEE combinados para estas duas fileiras para o ano base (2020), representados na Figura 3.

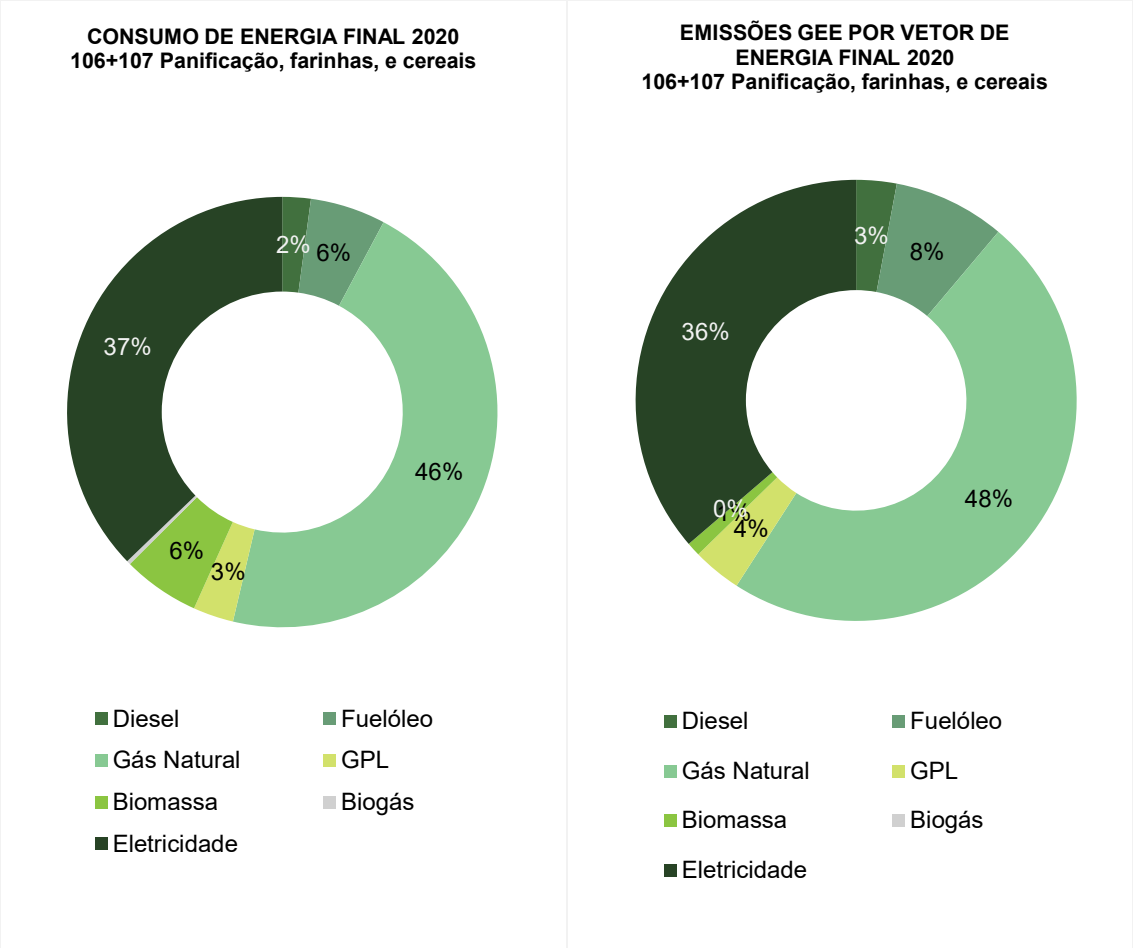


Figura 3 - Consumo de energia final e emissões por vetor de energia para o ano 2020 para as fileiras dos cerais, panificação e produtos à base de farinha, estimado pelo modelo desenvolvida para o setor como um todo, com base em dados estatísticos de produção (INE).

Dentro da indústria de transformação dos alimentos e das bebidas, a fileira panificação e produtos à base farinha, é a fileira com o maior consumo de energia final e de emissões do setor, representando cerca de 16% das emissões GEE do setor em 2020 (181ktCO_2eq, para um consumo de energia final de 80,3ktep). Fazendo a análise desta fileira com combinação com a fileira dos cereais (106), estas duas fileiras representam 21% das emissões GEE do setor em 2020 (234ktCO_2eq, para um consumo de energia final de 104ktep). Analisando os valores de consumo de energia final por vetor e de emissões GEE (Figura 3) para o ano de 2020, podemos concluir que as fileiras dos cereais, panificação e produtos à base de farinha apresentam ainda uma dependência direta muito elevada de combustíveis fósseis. De facto, em 2020 o consumo de energia fóssil nestas fileiras representou cerca de 57% do consumo de energia final, contribuindo para cerca de 63% emissões GEE da fileira. Destes, o consumo de gás natural é o mais representativo, contribuindo para 46% do consumo de energia final e 48% das emissões GEE da fileira. O consumo de fuelóleo e GPL representam cerca de 8%, contribuindo para cerca

de 11% das emissões GEE. Quanto ao consumo de eletricidade, representa apenas 37% do consumo de energia final e contribuindo para cerca de 36% das emissões GEE da fileira.

Dada a dependência desta fileira do consumo de energia fóssil, em especial do gás natural, este setor terá desafios consideráveis na sua descarbonização. Torna-se assim importante a 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, acompanhados de uma atenção especial à descarbonização do calor que terá de ocorrer por via da eletrificação, integração de calor renovável (e.g., solar térmico) e integração de gases renováveis (biogás) 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

Obtiveram-se respostas de 5 empresas da fileira dos cereais e panificação. Através dos dados fornecidos é possível observar através da Figura 4 que o leque de produtos desta fileira é diversificado e inclui cereais de pequeno-almoço, biscoitos, arroz e bolachas, por exemplo.

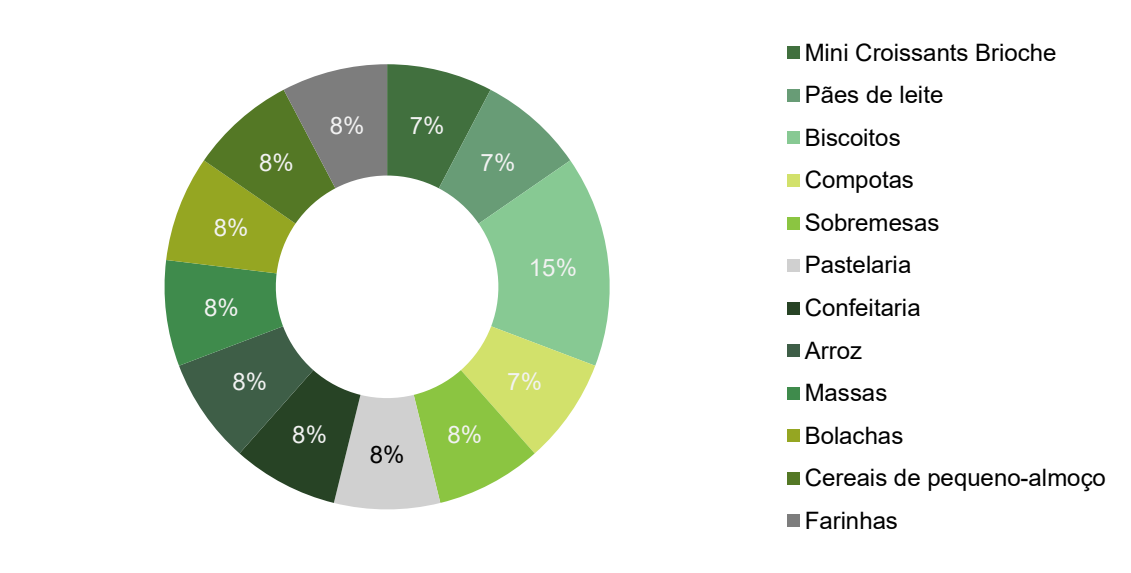


Figura 4- Produtos produzidos pelas empresas entrevistadas da fileira dos cereais e panificação. Valores expressos em % de empresas.

No que diz respeito ao volume de produção das empresas inquiridas, existe um desequilibro entre as empresas participantes, sendo que 80% das empresas reporta um volume de produção inferior a 300 toneladas anuais, e apenas uma reporta volumes superiores a 10.000 toneladas anuais.

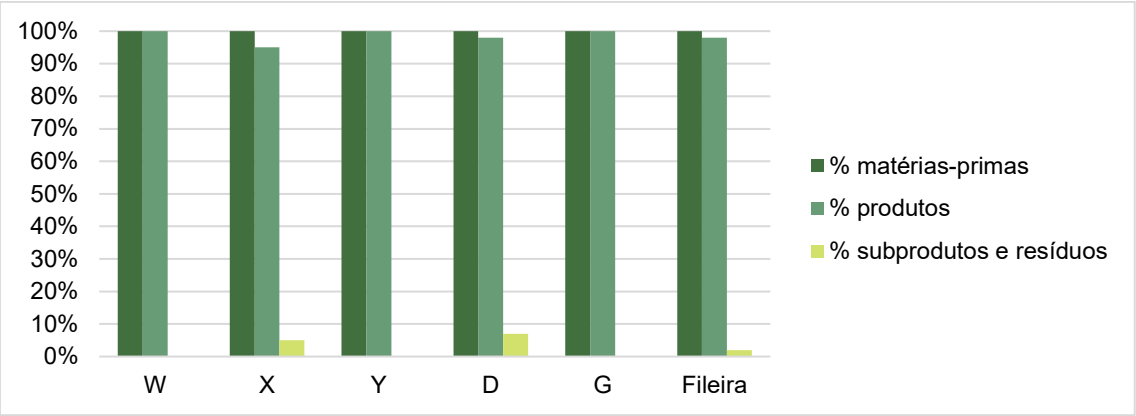


Figura 5- Percentagem de consumo de matérias-primas e produção de produtos, subprodutos e resíduos. Dados obtidos com base na resposta de 5 empresas.

Esta fileira apresenta um rácio de resíduos e subprodutos consideravelmente inferior às restantes fileiras, podendo mesmo considerar-se que a sua produção é residual. Este facto está associado à atividade das empresas inquiridas e ao foco do roteiro, que se centra na fase de processamento de matérias-primas. Devido à conjugação destes fatores, as matérias-primas que dão entrada nas empresas abordadas estão praticamente prontas a serem utilizadas sem necessidade de pré-processamento o que resulta num elevado rendimento de produção e baixa obtenção de subprodutos, como podemos observar através da Figura 5.

Apesar da baixa percentagem de subprodutos gerados, as empresas inquiridas reportaram adotar estratégias de valorização de subprodutos que normalmente incluem valorização material, redireccionamento para alimentação animal, valorização orgânica e tratamento mecânico (Figura 5).

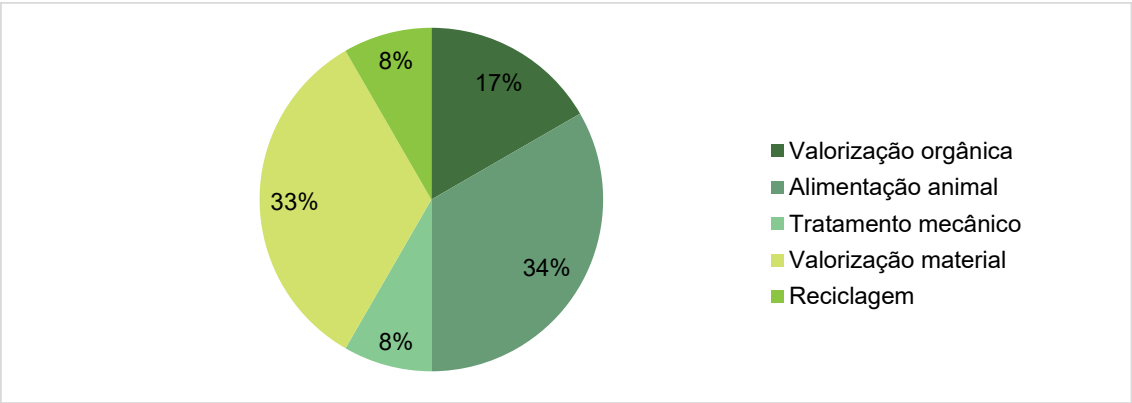


Figura 6- Destino dos resíduos e subprodutos, conforme indicado pelas empresas inquiridas. Valores em % de empresas que indicam recorrer a estes destinos.

No que diz respeito a resíduos obtidos, a fase de embalamento foi reportada, de forma unânime, como a mais crítica e onde é gerada uma maior quantidade de resíduos. O plástico e o papel/ cartão compõem 100% dos resíduos gerados, apresentando um peso semelhante na totalidade dos resíduos e são encaminhados para reciclagem.

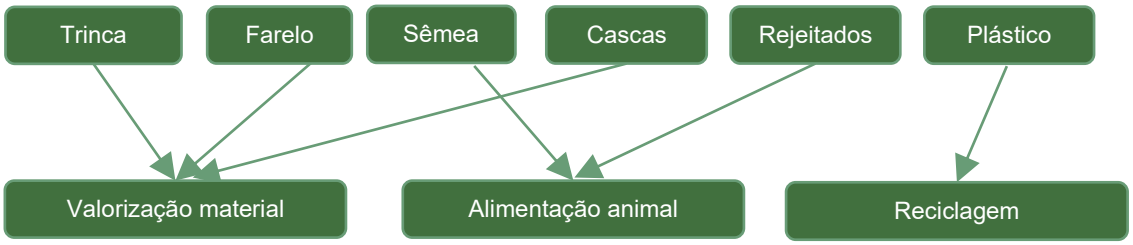


Figura 7- Destino de cada subproduto/resíduo, na empresa D.

Das empresas inquiridas, 40% reportaram possuir uma estratégia para a redução da produção de resíduos até 2030, enquanto que sobre as restantes 60% das empresas não foi possível obter dados concretos. Algumas medidas referidas pelas empresas como fazendo parte da sua estratégia para a redução de resíduos incluem:

- Otimização de embalagens promovendo a incorporação de maior quantidade de cartão e redução de plástico;
- Introduzir plástico reciclado nas embalagens ou aumentar a sua incorporação;
- Aposta contínua na reciclagem de matérias de embalagem;
- Investigação sobre estratégia para valorização de subprodutos.

A nível de embalagem, nesta fileira, o plástico é o material que tem maior peso correspondendo a 60% dos materiais de embalagem utilizados, seguido do cartão 40% e por fim o vidro com 20% (Figura 8). A utilização do plástico prende-se com a sua versatilidade e capacidade de preservação de produtos. Das empresas inquiridas, 60% reportaram a utilização de plástico reciclado nas suas embalagens em gamas de 0-25% e 25-50%. A inclusão de materiais reciclados nas embalagens, sobretudo o plástico, foi reportado como um desafio por parte das empresas devido à menor capacidade de estanque.

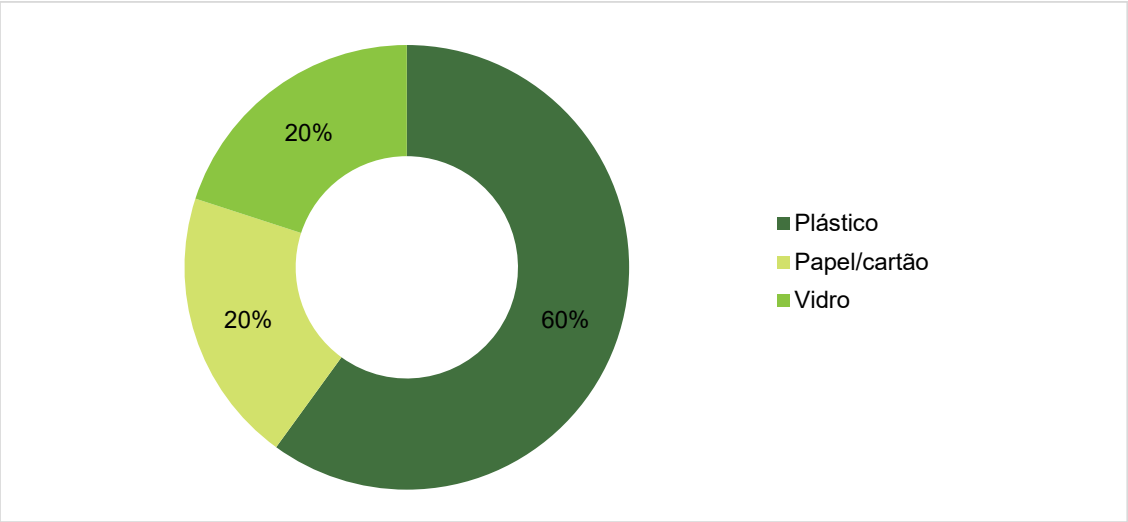


Figura 8- Materiais utilizados nas embalagens, segundo reportado pelas empresas da fileira dos cereais.

No que diz respeito ao consumo de água, os dados fornecidos pela empresa D permitiram calcular o consumo de 0,035 L/Kg de produto, considerando o consumo total anual de água em relação à produção total anual. De acordo com os dados disponibilizados, a água utilizada pela empresa combina fonte pública e também privada, com recurso a poço, sendo o peso de cada uma das fontes de 69% e 31%, respetivamente.

Ao longo da cadeia de produção a etapa com maior de consumo de água associada é a produção primária e esta não é diretamente controlada pela empresa. Durante a fase de processamento, o consumo de água está maioritariamente associado às instalações sanitárias utilizadas pelos funcionários. Não existindo lugar à reutilização de água, a empresa tem vindo a implementar práticas para evitar o seu desperdício como a instalação de redutores de caudal e sensibilização de funcionários para boas práticas de gestão de água.

2.3 Tecnologias de digitalização utilizadas

A fileira de cereais e panificação em Portugal está a iniciar a sua jornada de transformação digital, com o objetivo de aumentar a eficiência produtiva, reduzir custos operacionais e indiretos, e obter vantagem competitiva. As sete entidades inquiridas encontram-se nos estágios iniciais dessa transição, com ações direcionadas para a implementação de tecnologias de digitalização.

A avaliação da maturidade digital das empresas revela diferentes níveis de progresso. No nível de digitalização, uma empresa está no estágio inicial, com suporte por sistemas de processamento de dados, mas sem processos definidos e desconhecimento do impacto da Indústria 4.0 (i4.0). No nível de comunicação, duas empresas têm sistemas estruturados e conectados às tecnologias de informação, com processos definidos, mas sem uma estratégia

clara para i4.0. No nível de visibilidade, quatro empresas utilizam sistemas de apoio à decisão com visibilidade em tempo real e estratégias explícitas para i4.0, recomendando-se o fortalecimento da integração de dados e a gestão baseada em dados. O processo de digitalização varia desde empresas que ainda não iniciaram até aquelas que já definiram estratégia e plano de ação tecnológico. A maioria das empresas encontra-se num nível intermédio de automação, com todos os equipamentos críticos automatizados, e duas empresas indicam um nível alto de automação, prontos para a operação automática com comunicação bidirecional autónoma. A integração entre sistemas de informação e equipamentos produtivos também varia significativamente, com duas empresas sem integração, quatro com integração intermédia e uma com integração total dos seus equipamentos aos sistemas de informação.

A adoção de tecnologias digitais na fileira reflete uma tendência crescente, mas com variações entre diferentes tecnologias. Todos utilizam Sistemas de Gestão Empresarial (ERP), indicando gestão integrada. A baixa adoção de Manufacturing Execution Systems (MES) é notável, com duas empresas a utilizá-lo e três a planear a sua implementação. Nenhuma empresa utiliza Sistemas de Gestão de Laboratório (LIMS), com uma a planear a adoção nos próximos dois anos. A utilização de Internet of Things (IoT) está presente em duas empresas, com duas a planear adotar e três sem intenção de utilização. Big Data Analytics é utilizado por duas empresas, com outras duas a planear adotar e três sem intenção de utilização. Inteligência Artificial (AI) tem uma presença mínima, com uma empresa a utilizar e duas a planear adotar. Realidade Aumentada e Virtual (AR/VR) não é utilizada por nenhuma empresa, e nenhuma planeia utilizá-la. Apenas uma empresa utiliza Gémeos Digitais (DT), sem outras intenções de adoção. Electronic Data Exchange (EDI) é utilizado por quatro empresas, com duas a planear implementação. Robótica Inteligente e Colaborativa não é utilizada por nenhuma empresa, com duas a planear utilização.

A fileira de cereais e panificação em Portugal está em transição para a digitalização, enfrentando desafios significativos, mas também oportunidades substanciais. Para uma transformação digital bem-sucedida, é essencial uma abordagem estratégica, investimentos em infraestrutura, formação contínua e colaboração entre stakeholders. A adoção destas inovações promete um futuro sustentável e competitivo para a indústria.

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"

A fileira dos cereais e panificação tem como principais consumidores energéticos processos como descasque, polimento, moagem, secagem ou cozimento. Posto isto, as medidas de eficiência energética devem concentra-se nesses processos, visando reduzir custos, emissões de carbono e aumentar a competitividade das empresas. As estratégias gerais apresentadas no capítulo 3 são validas para esta fileira, enquanto os pontos seguintes destacam algumas medidas consideradas mais importante neste subsetor alimentar (European Commission, 2019).

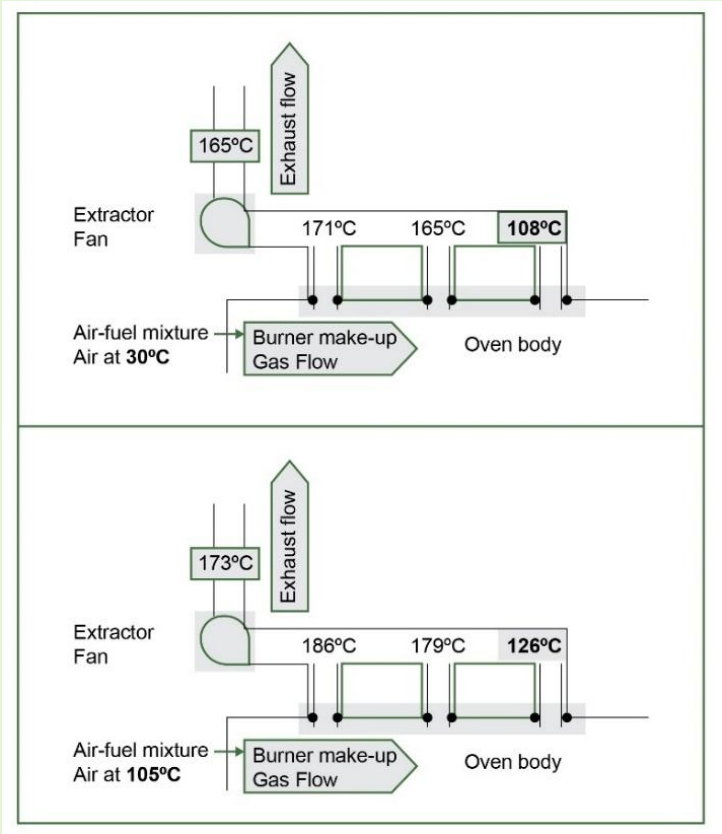
- **Recuperação de calor nos fornos** – No processo de cozedura ou secagem, os fornos industriais que utilizam gás natural como vetor energético geram gases de exaustão com um elevado potencial térmico. Esse calor pode ser recuperado de forma indireta para pré-aquecer o ar de combustão, aquecer água ou climatizar áreas adjacentes. Esta prática reduz custos energéticos, emissões de carbono e melhora a eficiência operacional;
- **Processamento térmico contínuo** – O processamento térmico contínuo, especialmente por extrusão, é uma solução eficiente para o setor dos cereais e panificação, reduzindo energia, custos e espaço, além de permitir a produção de uma ampla variedade de produtos com diferentes texturas e formatos. No entanto, deve ser avaliado cuidadosamente, pois pode não reproduzir exatamente os resultados dos métodos tradicionais, especialmente em produtos de panificação onde a textura e o sabor são cruciais;
- **Utilização de motores de alta eficiência** – A substituição por motores de alta eficiência no setor de cereais e panificação, onde a eletricidade é um dos principais vetores energéticos, reduz custos operacionais e emissões de carbono ao melhorar a eficiência de equipamentos como moinhos e ventiladores. Além de reforçarem a sustentabilidade e a competitividade do setor, estes motores integram tecnologias digitais e promovem uma maior fiabilidade operacional, beneficiando um dos segmentos mais representativos do setor agroalimentar;
- **Sistemas de frio eficientes** – No subsetor de cereais e panificação, a refrigeração é essencial para conservar matérias-primas, como farinhas sensíveis à temperatura, preservar massas fermentadas e controlar o ambiente em áreas de produção. A utilização de compressores de alta eficiência, associados a variadores de frequência para ajustar a carga às necessidades específicas, e a implementação de isolamento

térmico eficaz nas áreas refrigeradas reduzem perdas de frio e consumo energético. Estas práticas promovem a sustentabilidade do processo, garantem a qualidade dos produtos e minimizam as emissões de carbono.

No Anexo **Error! Reference source not found.**13 encontram-se mais informações sobre as m edidas atrás apresentadas. Em seguida, são apresentados dois exemplos de uma medida na fileira.

Exemplo 1 (Recuperação de calor)

Um exemplo de um sistema de recuperação de calor residual em fornos industriais de panificação é a utilização de um sistema de pré-aquecimento do ar de combustão com recurso ao calor dos gases de escape, aplicado na produção de bolachas do tipo wafer. Este sistema, do tipo ar-ar, permite reduzir até 4% do consumo de combustível do forno, resultando numa poupança anual de mais de 4.800 € e numa redução de 43 ton/CO_2 emitidas.



Fonte: (Sanjay Mukherjee et al, 2017)

Exemplo 2 (Recuperação de calor)

Um exemplo de implementação de sistemas de eficiência energética na indústria de panificação é o caso da Flowers Foods, empresa americana do ramo da panificação, que adotou diversas estratégias para reduzir o consumo de energia e as emissões de CO_2. A empresa utiliza sistemas de recuperação de calor para alimentar as máquinas de fermentação, poupando cerca de 248 ton/CO_2 por ano. A mesma empresa também capta o calor residual para aquecer a água e o ambiente, resultando numa redução anual de 217 ton/CO_2. Além disso, a Flowers Foods promove a eficiência energética através da substituição de iluminação por LED e da substituição dos sistemas de ar comprimido. A empresa também envolve os colaboradores no processo, permitindo que monitorizem e relatem desvios de consumo de energia à gestão.

Fonte: (Flower Foods, 2023)

3.2 Domínio "Digitalização"

A fileira de cereais e panificação encontra inúmeras vantagens na adoção de tecnologias digitais, que vão desde a automação de processos à integração de sistemas de gestão, proporcionando uma maior agilidade na tomada de decisões. Empresas mais avançadas, como a Panrico, beneficiam de sistemas ERP (Enterprise Resource Planning), permitindo-lhes integrar totalmente as operações e obter uma visão global dos seus processos. Esta integração facilita a previsão de procuras e a otimização da produção, resultando em uma gestão mais eficiente e na redução de custos. Para empresas com um nível de maturidade digital mais baixo, o foco inicial deve estar na conexão e estruturação dos sistemas de TI, a fim de garantir que as tecnologias digitais possam ser implementadas de forma eficaz e sustentável.

As soluções MES (Manufacturing Execution Systems) têm demonstrado ser cruciais para a monitorização em tempo real dos processos produtivos, como é o caso do Grupo Bimbo, que conseguiu otimizar a eficiência e a qualidade dos seus produtos. A interligação entre os MES e os Gémeos Digitais oferece uma oportunidade para simular diferentes cenários de produção, antecipando falhas e melhorando os processos sem interrupções. No entanto, essa integração depende de uma infraestrutura robusta, onde sensores IoT (Internet das Coisas) e sistemas ERP garantam um fluxo contínuo de dados. Isso permite não só monitorizar como também prever falhas, aumentando a resiliência da cadeia de produção.

O IoT também se destaca por permitir a monitorização em tempo real, como exemplificado pela Nestlé, que utiliza essa tecnologia para ajustar automaticamente as suas linhas de produção e implementar estratégias de manutenção preditiva. Com a adoção de uma plataforma de gestão

de dados adequada e uma rede estável, as empresas podem reduzir o desperdício de recursos e otimizar a sua utilização, tornando a cadeia de produção mais sustentável e eficiente. A Computação em Nuvem complementa estas capacidades ao permitir que empresas armazenem e processem dados remotamente, proporcionando maior flexibilidade, especialmente para pequenas e médias empresas que carecem de infraestruturas internas robustas.

A Inteligência Artificial e Machine Learning (AI/ML) trazem outra camada de otimização para a fileira, facilitando a previsão de procuras e a personalização da produção com base nas necessidades do mercado. Embora o acesso a grandes volumes de dados seja essencial para aproveitar ao máximo essas tecnologias, empresas que as implementam conseguem ajustar rapidamente os seus processos de produção, melhorando a eficiência e reduzindo custos. Finalmente, os Gémeos Digitais têm o potencial de revolucionar a produção ao permitir a criação de réplicas digitais dos processos físicos, permitindo que as empresas testem e ajustem os seus processos antes de implementá-los na prática, reduzindo assim o risco de falhas e os custos associados.

Com uma conectividade constante e um modelo digital preciso, as empresas podem tirar proveito dessas inovações para assegurar uma produção mais ágil, resiliente e sustentável. A evolução digital na fileira de cereais e panificação deve, portanto, ser vista como um processo contínuo, no qual a integração de novas tecnologias será fundamental para manter a competitividade e sustentabilidade no longo prazo.

3.3 Domínio “Economia circular”

Além das medidas referidas nos capítulos acima, 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 alimento**, transformando subprodutos em novos produtos ou ingredientes, com aproveitamento por exemplo para rações, fertilizantes, biocombustíveis ou extração de compostos bioativos. Esta medida reduz a necessidade de novas matérias-primas, diminuindo área de cultivo/pastagem, transportes associados e a quantidade de resíduos que têm como destino final aterros. Adicionalmente, existe uma redução dos custos energéticos associados ao transporte e processamento de resíduos. Fatores como a distância entre a origem dos subprodutos/ resíduos e local de produção de novos produtos, o uso de energia e água para o seu processamento, são fatores que influenciam o grau de poupança em termos carbónicos no que diz respeito à valorização de subprodutos/resíduos quando comparado como o uso de matérias-primas virgens. É importante a realização de estudos focados na aceitação dos consumidores no que diz respeito a produtos resultantes de um processo

de *upcycling*. Atualmente existem diversos produtos no mercado, direcionados para alimentação humana, com o selo de *upcycled*. Esta abordagem poderá ser interessante a explorar por parte das empresas uma vez que existe a possibilidade de gerar maior lucro, possibilitando novos investimentos em descarbonização.

- **Usar embalagens biodegradáveis ou recicláveis, bem como otimizá-las para reduzir o volume e o peso**. As empresas entrevistadas salientaram a fase de embalamento como uma das fases que mais contribui para a obtenção de resíduos, havendo assim uma clara margem para otimização do processo. Caso não seja possível alterar o material da embalagem para um de menor impacto ambiental, deve ser avaliada a possibilidade de minimizar o teor de embalagem, para cada produto. Desta forma será possível não só reduzir o desperdício associado à embalagem, como também otimizar o transporte de produtos, possibilitando o transporte de um maior número de produtos por viagem. Assim, indiretamente minimizam-se os custos e as emissões associadas aos transportes.
- **Reduzir o uso de materiais em embalagens e produtos**, favorecendo a sua durabilidade e reciclagem. Implementar o conceito de *eco-design* maximizando a utilização de matérias-primas e diminuindo perdas para uma melhor utilização dos recursos disponíveis, sem haver a necessidade de utilização de novas matérias-primas.
- **Implementar tecnologias de redução e eficiência no uso da água**, como a recirculação de água nos sistemas de refrigeração e lavagem, bem como a otimização de processos de abate e processamento. 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.
- **Monitorizar e registar todos os gastos de água**, aproveitando, se possível, tecnologias de digitalização para identificar pontos críticos para potenciais melhorias e diminuição do consumo de recursos hídricos.
- **Estabelecer parcerias com fornecedores que adotem práticas sustentáveis e reutilizem resíduos**, criando um ciclo fechado. Deve ser promovida a agricultura regenerativa. Mesmo que estas práticas possam ter um custo inicial mais elevado, a agricultura regenerativa tem tendência para compensar o investimento a longo prazo, além do seu benefício ambiental.

4. Perspetivas de evolução da fileira

4 Perspetivas de evolução da fileira

Na fileira dos cereais, 81% das emissões não se devem ao setor da transformação, mas sim a nível de produção primário (Figura 9). Isto salienta novamente a necessidade de programas integrados de descarbonização, onde os produtores sejam envolvidos. Assim, a fileira dos cereais representa 26% das emissões a nível da transformação alimentar em Portugal, e 5% das emissões do setor primário.

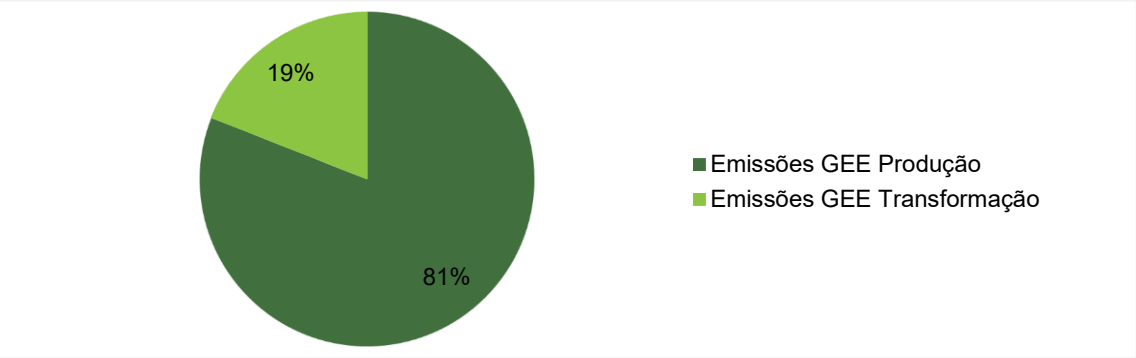


Figura 9 - Distribuição entre produção e transformação na fileira dos cereais.

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 10).

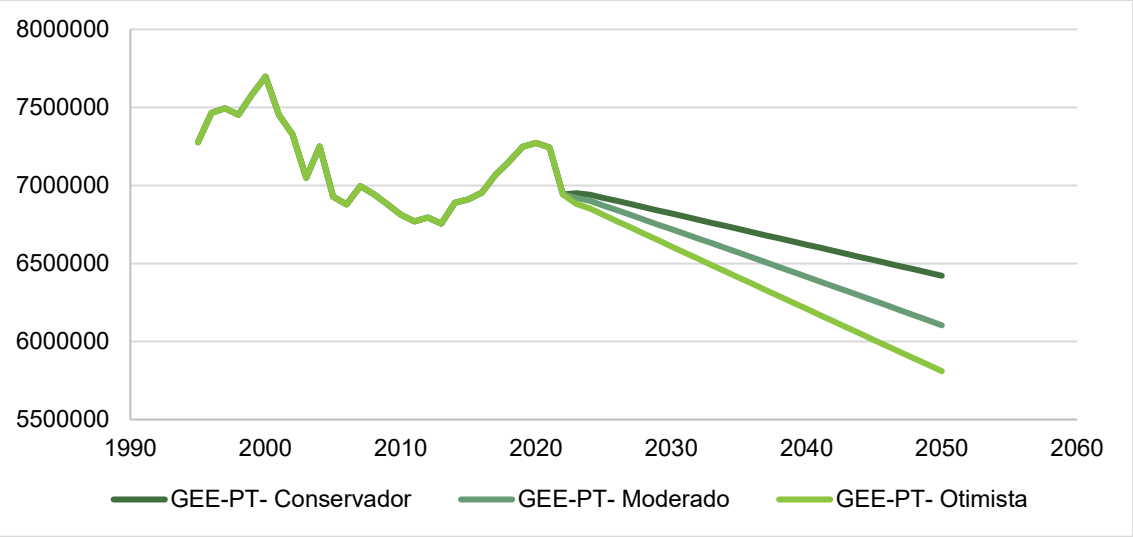


Figura 10 - Estimativa da evolução de emissões GEE de acordo com a evolução histórica, adoção de novas tecnologias e tendências de consumo.

No caso concreto da fileira dos cereais, 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 dos cereais 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	346,37	347,06	346,01	341,01	336,02	331,03	326,05	321,07
Transformação	66,64	66,78	66,57	65,61	64,65	63,69	62,73	61,77

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.

De qualquer modo, a evolução da indústria de cereais e panificação em Portugal dependerá de diversos fatores económicos, sociais, ambientais e tecnológicos. O pão e outros produtos de panificação são alimentos básicos na dieta portuguesa. Embora o consumo per capita de pão tenha diminuído nas últimas décadas, ainda é uma parte relevante da alimentação. Espera-se que a procura por produtos tradicionais continue estável, especialmente nas faixas etárias mais elevadas. Por outro lado, a procura por opções saudáveis, como pão integral, sem glúten, com baixo teor de sal ou enriquecido com fibras e proteínas, está em crescimento. Produtos de panificação "artesanais" e de alta qualidade (incluindo fermentação natural) têm alta procura em nichos de mercado. Estes produtos também podem ver a sua exportação aumentar. A automação e novas tecnologias de produção e digitalização permitirão maior eficiência, reduzindo custos e aumentando a capacidade produtiva. Porém, as alterações climáticas podem afetar a produção global de cereais, aumentando os preços das matérias-primas. Adicionalmente, a dependência de importações de cereais será um desafio, especialmente em momentos de instabilidade global.

A nível de subprodutos e resíduos, espera-se uma crescente valorização dos mesmos. Farelos e resíduos de moagem poderão ser usados como ingredientes para ração animal, produtos de panificação enriquecidos ou para extração de fibras alimentares. Pães não vendidos podem ser transformados em novos produtos, como farinha de pão reaproveitada ou ingredientes para biocombustíveis. Assim, espera-se que o encaminhamento de resíduos para aterro seja cada vez menor. Medidas para reduzir desperdícios na cadeia de valor, incluindo otimização de stocks,

logística e doação de alimentos, poderão também contribuir. Espera-se, que políticas ambientais promovam ainda a substituição gradual de embalagens plásticas por alternativas biodegradáveis ou reutilizáveis.

O consumo de água, por massa de produto, poderá também diminuir ligeiramente, com a automação de processos e a reutilização de água tratada.

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