



UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA



Coordenadores e parceiros:

eAfoBy

Valorização dos subprodutos da cadeia agroalimentar através de métodos inovadores e sustentáveis

Projeto n.º: 2024-1-R001-KA220-HED-000246776



Co-funded by
the European Union



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

Índice

Capítulo 1: Introdução aos Subprodutos da Cadeia Agroalimentar

Capítulo 2: Fontes de Subprodutos nas Cadeias Agroalimentares

Capítulo 3: Tecnologias de Valorização Inovadoras e Sustentáveis

Capítulo 4: Novos subprodutos alimentares como potenciadores do valor nutricional e funcio

Capítulo 5: Bioacessibilidade e biodisponibilidade



Co-funded by
the European Union

DESCRIÇÃO DO GUIA

Nome do projeto: “Valorização dos subprodutos da cadeia agroalimentar através de métodos inovadores e sustentáveis” Acrónimo do projeto eAfoBy

Referência do projeto: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

Guia dirigida a peritos e especialistas em agricultura, tecnologias alimentares, segurança alimentar, controlo alimentar e nutricionistas, empresas de la cadena alimentaria.

Professores responsáveis:

Coordenadora (USAMVCN): Maria Simona Chiş, Adriana Păucean, Anca Fărcaş, Anamaria Pop, Man Simona, Oros Simona

Parceiro 1 (UPV): Purificación García Segovia, Marta Igual, Javier Martinez Monzó, Carolina Contreras Monzón

Parceiro 2 (UPORTO): M. Beatriz Oliveira, Helena Sousa, Anabela Costa, Rita Alves

Parceiro 3 (ULST): Alexa Ersilia, Negrea Monica, Cocan Ileana, Jianu Calin

Parceiro 4 (ROMPAN): Voica Daniela, Avram Dana, Marin Daniela.

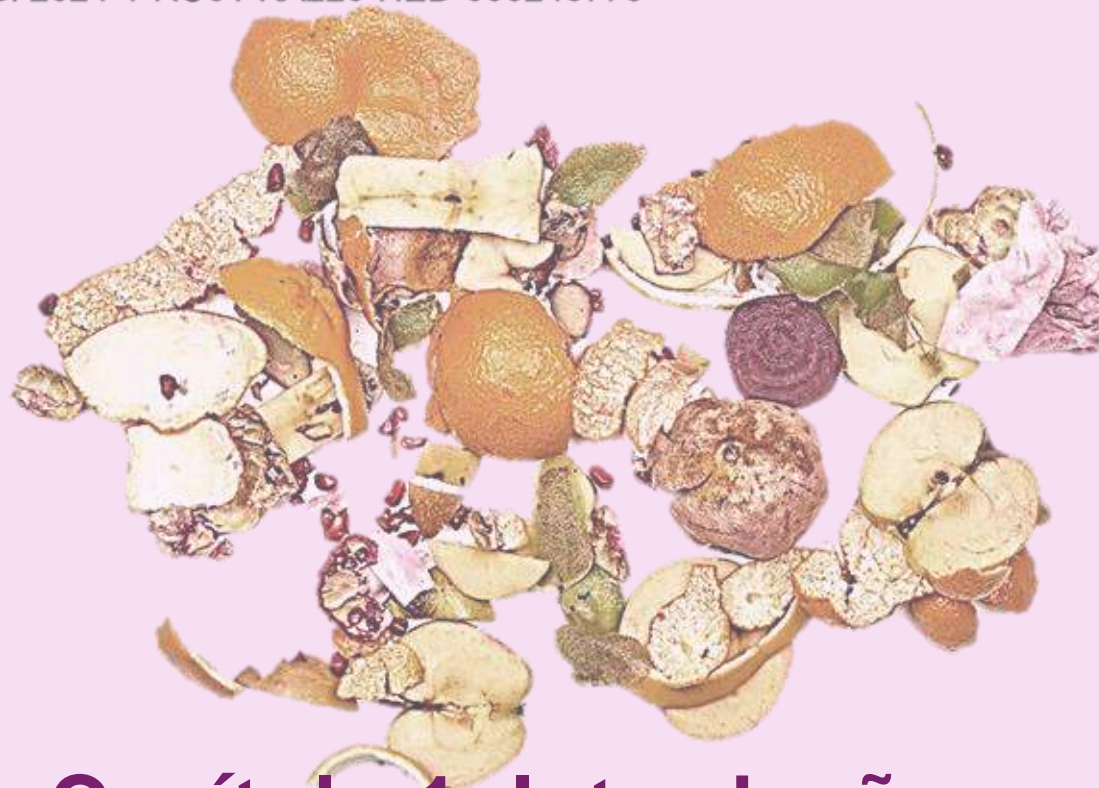
- *Financiado pela União Europeia. As opiniões e pontos de vista expressos são, no entanto, da exclusiva responsabilidade dos autores e não refletem necessariamente os da União Europeia ou da ANPCDEF. Nem a União Europeia nem a ANPCDEF podem ser responsabilizadas pelos mesmos.*



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776



Capítulo 1: Introdução aos Subprodutos da Cadeia Agroalimentar



Co-funded by
the European Union



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776

ÍNDICE:

1, Conceitos básicos

2, Legislação europeia



Co-funded by
the European Union

Conceito de sistema alimentar circular, desperdício zero e subprodutos,

Sistema alimentar circular: significa produzir alimentos de forma menos prejudicial e mais regenerativa, Esta abordagem estende-se às empresas alimentares, aos chefs e aos consumidores, integrando os restos de comida nos alimentos/pratos confeccionados, promovendo aplicações de partilha de alimentos ou alterando a forma como os alimentos são embalados, de modo a reduzir o uso de plástico e a aumentar a utilização de materiais biodegradáveis,

Desperdício zero: visa repensar a forma como produzimos e consumimos, de modo a preservar o valor e a energia incorporados nos recursos do nosso planeta, permitindo, simultaneamente, que a civilização floresça e prospere, Ao passo que a gestão de resíduos visa transformar os resíduos em recursos, o desperdício zero visa impedir que os recursos se transformem em resíduos,

Subproduto: é um produto secundário derivado de um processo de produção, processo de fabrico ou reação química; não é o produto ou serviço principal que está a ser produzido,

Conceito de sustentabilidade e economia circular

Sustentabilidade - deriva etimologicamente do verbo francês “soutenir”, que significa "sustentar" ou "apoiar", refletindo a sua ênfase fundamental na manutenção e sustentação dos sistemas ao longo do tempo,

Sustentabilidade - como uma integração sistémica e equilibrada do desempenho económico, social e ambiental, tendo explicitamente em conta a equidade e os impactos dentro e entre gerações,

Economia circular - um sistema regenerativo no qual se minimizam os recursos utilizados, a geração de resíduos, as emissões e as perdas de energia, através da desaceleração, do encerramento e da redução dos fluxos de materiais e energia, Isto é alcançado por meio do design de produtos duradouros e de estratégias como a manutenção, a reparação, a reutilização, a remanufatura, o acondicionamento e a reciclagem,

Conceito de subprodutos agrícolas ou resíduos agrícolas

Os subprodutos agrícolas ou resíduos agrícolas são obtidos principalmente da produção agrícola, colheita e processamento em áreas agrícolas e de indústrias de processamento de alimentos, como extração de sementes oleaginosas, cervejaria, produção de malte, moagem de cereais, processamento de frutas e vegetais

Subprodutos da indústria de transformação de frutas e vegetais, resíduos e desperdícios agrícolas, subprodutos da indústria do açúcar, do amido e da confeitaria, subprodutos de destilarias e cervejarias, subprodutos da indústria de moagem de cereais e leguminosas, bem como da indústria petrolífera,

Conceito de digestão *in vivo*, *in vitro* e *in silico*

A **digestão *in vivo*** é realizada em organismos vivos, É altamente complexa do ponto de vista biológico, mas dispendiosa e com fortes implicações éticas,

A **digestão *in vitro*** envolve simulação em laboratório, É um método reprodutível, ético e mais barato,

A **digestão *in silico*** é uma simulação por computador, É útil para previsões teóricas, mas depende do modelo utilizado,

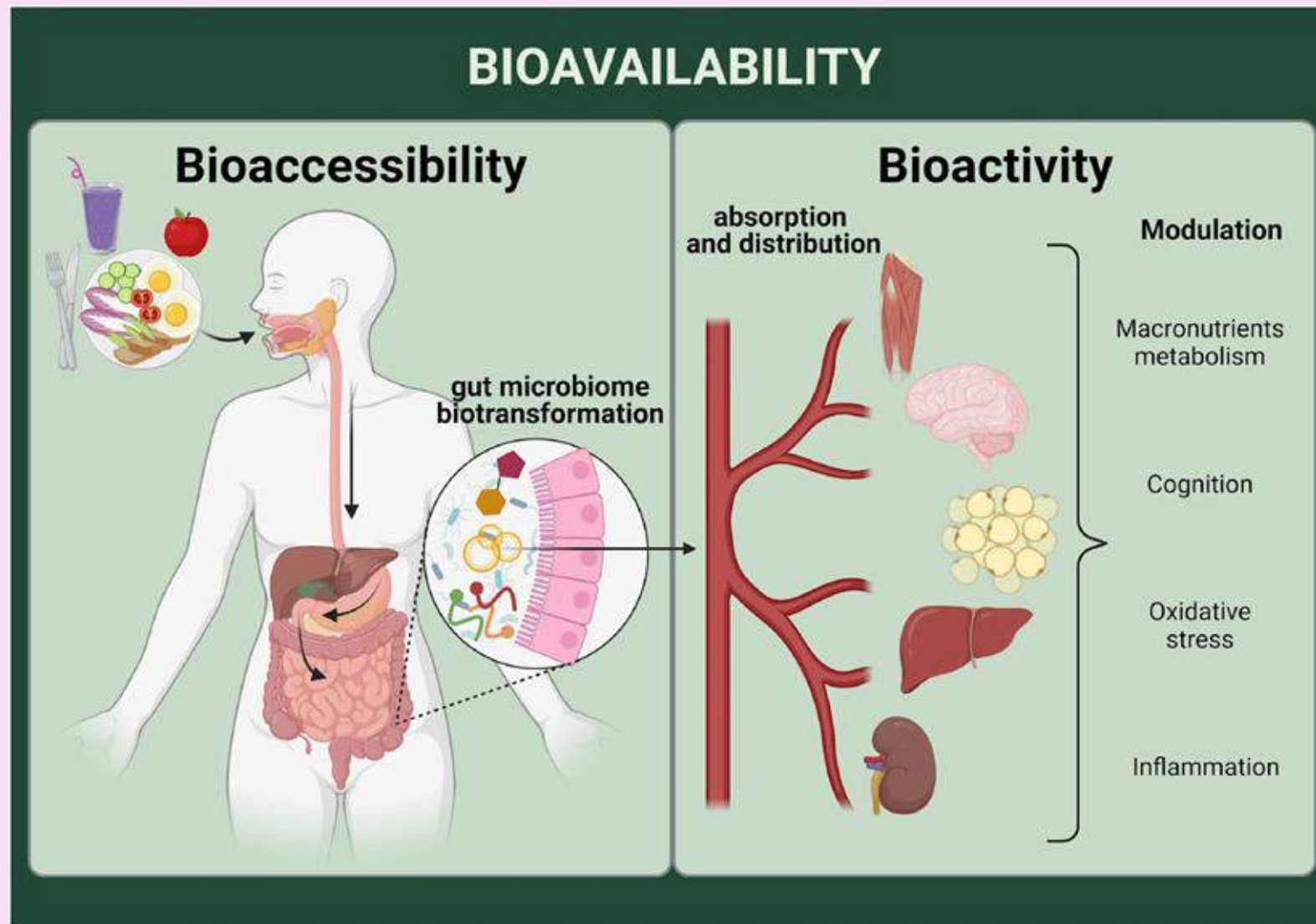
Bioacessibilidade, Biodisponibilidade e Bioatividade

Biodisponibilidade: A fração absorvida e disponível para funções fisiológicas ou armazenamento,

Bioacessibilidade: A fração de um composto que é liberada da matriz alimentar e está disponível para absorção,

Bioatividade: A capacidade de um composto gerar um efeito biológico benéfico após ser absorvido,

Relação entre esses conceitos chave

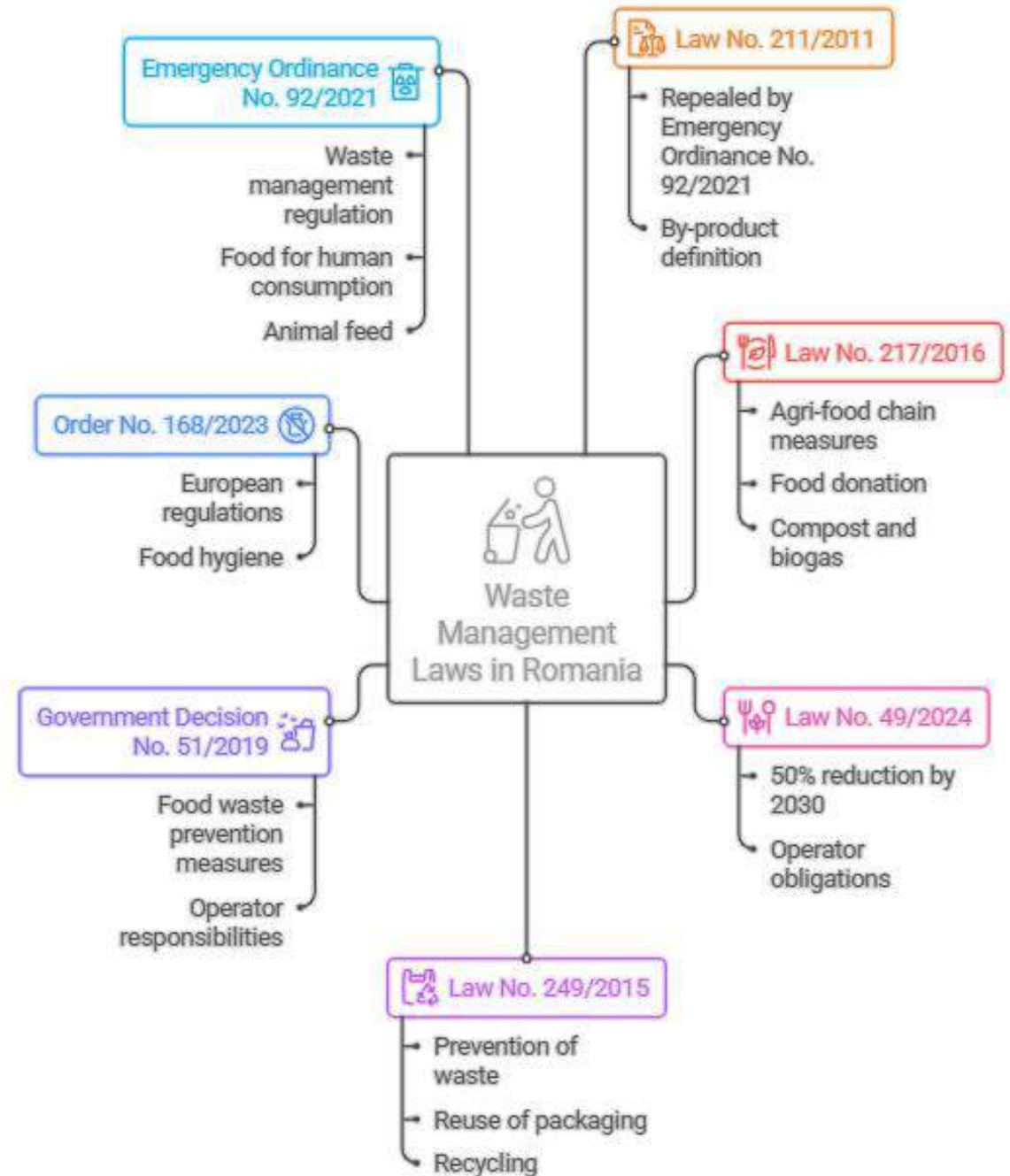


2, Legislação europeia

Legislação europeia:

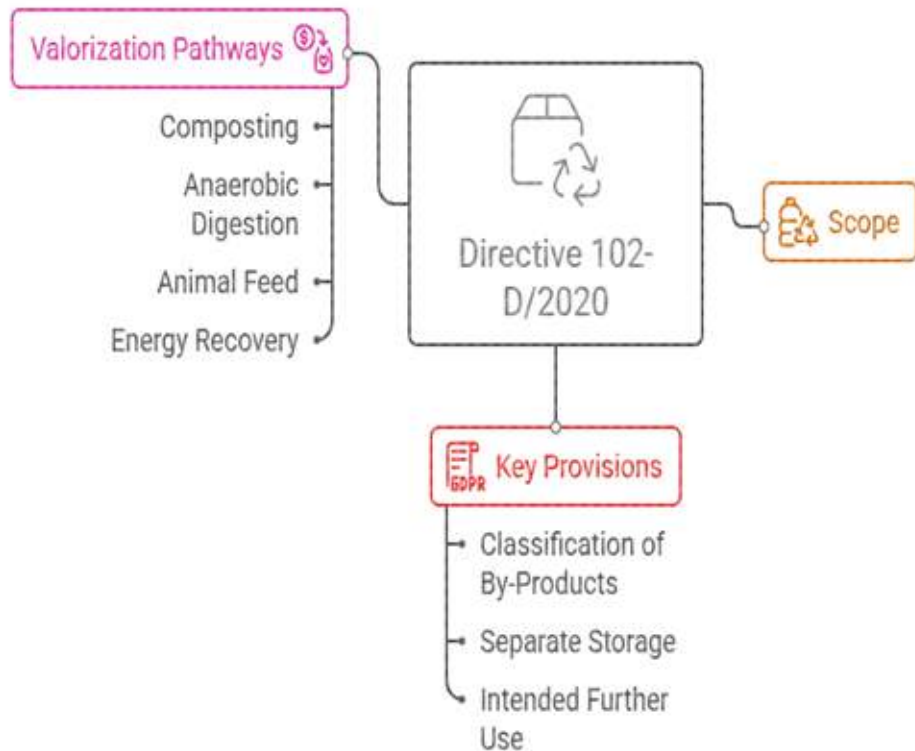
- **Diretiva do Conselho 1999/31/CE**, de 26 de abril de 1999, relativa aos aterros de resíduos,
- **Diretiva 2008/98/CE** do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de novembro de 2008, relativa aos resíduos e que revoga determinadas diretivas,
- **Diretiva (UE) 2018/851** do Parlamento Europeu e do Conselho, de 30 de maio de 2018, que altera a Diretiva 2008/98/CE relativa aos resíduos,
- **Diretiva (UE) 2018/850** do Parlamento Europeu e do Conselho, de 30 de maio de 2018, que altera a Diretiva 1999/31/CE relativa à deposição de resíduos em aterro,
- **Decisão Delegada da Comissão (UE) 2019/1597**, de 3 de maio de 2019, que complementa a Diretiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho no que respeita à metodologia comum e aos requisitos mínimos de qualidade para a medição uniforme dos níveis de desperdício alimentar,
- **Regulamento (CE) n.º 178/2002** – Princípios gerais e requisitos da legislação alimentar, que estabelece a Autoridade Europeia para a Segurança dos Alimentos e define procedimentos no domínio da segurança alimentar

2,1, Legislação nacional romena sobre a valorização e armazenamento de subprodutos da cadeia agroalimentar

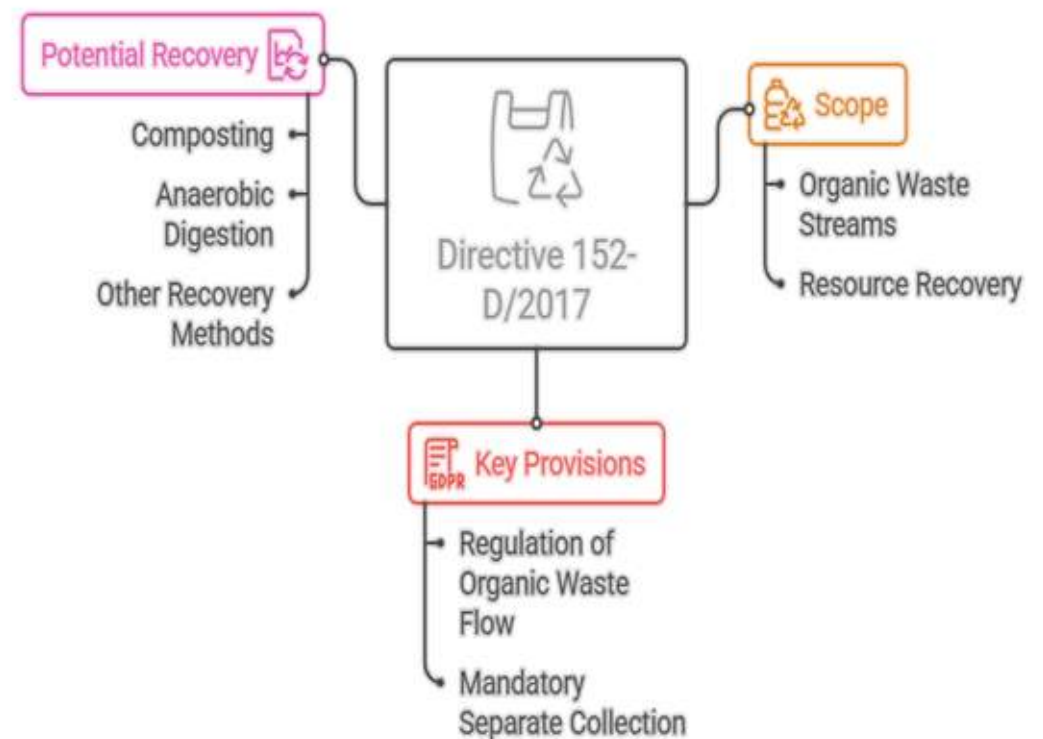


2,2, Legislação nacional portuguesa sobre valorização e armazenamento de subprodutos da cadeia agroalimentar

Directive 102-D/2020: Waste Management and By-Product Valorization



Directive 152-D/2017: Consolidated Waste Management Systems Regime



2, 3, Legislação nacional espanhola sobre a valorização e armazenamento de subprodutos da cadeia agroalimentar

Key Spanish Environmental Legislation Enacted on 8 April 2022

Law 7/2022

Waste and contaminated soils for a circular economy



Orden TED/92/2022

Classification of olive pomace



Royal Decree 1528/2012

Animal by-products not intended for human consumption



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



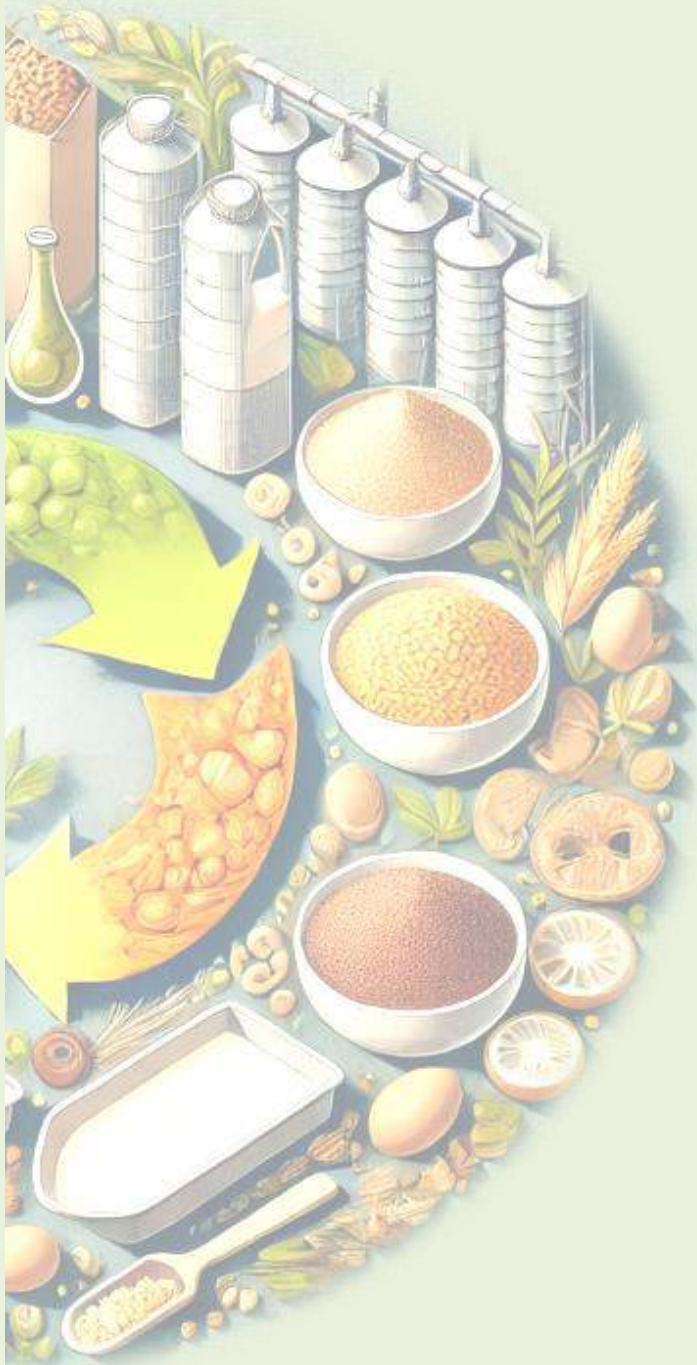
Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776



Capítulo 2: Fontes de Subprodutos nas Cadeias Agroalimentares



Co-funded by
the European Union



ÍNDICE

1. Classificação dos subprodutos da cadeia agroalimentar
2. Importância de gerir os subprodutos de forma eficiente
3. Estudos de caso

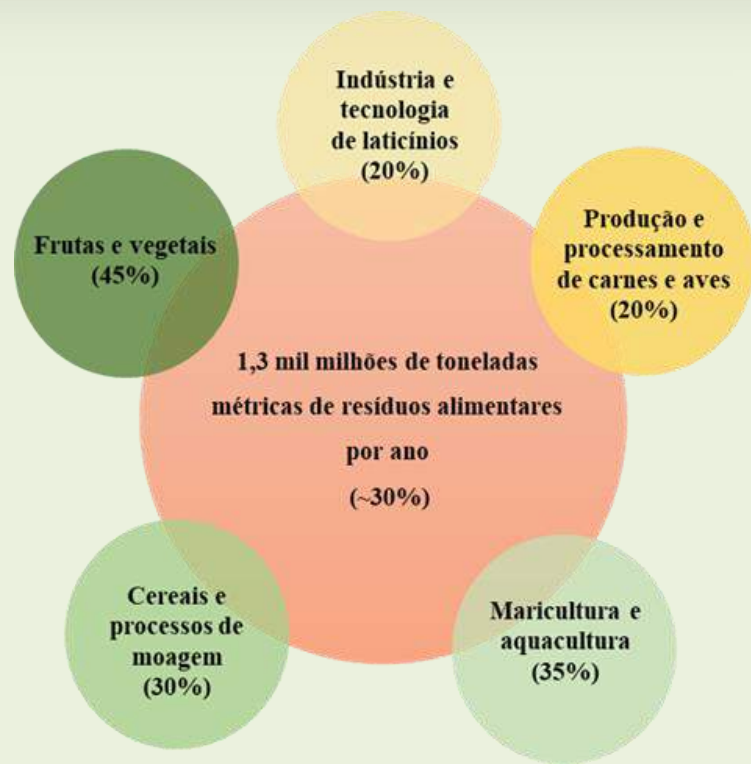
1, Classificação

Categorias principais:

- De origem vegetal (cascas de fruta, resíduos vegetais, farelo de cereais)
- De origem animal (ossos, gordura, soro)
- Mistos (resíduos de fermentação, subprodutos de refeições prontas a consumir)



Estimativa anual global de perdas e desperdícios alimentares por setor primário



Brennan et al., 2024



Principais subprodutos da indústria alimentar europeia

Indústria vinícola: bagaço, sementes e caules de uva

Indústria do azeite: bagaço de azeitona, águas residuais

Indústria do café: película prateada

Indústria de cereais: farelo, gérmen, grãos partidos

Processamento de frutas e vegetais: cascas, sementes, polpa

Indústria cervejeira: bagaço

Processamento de leite: soro, resíduos de fermentação

Processamento de carne: sangue, ossos, peles

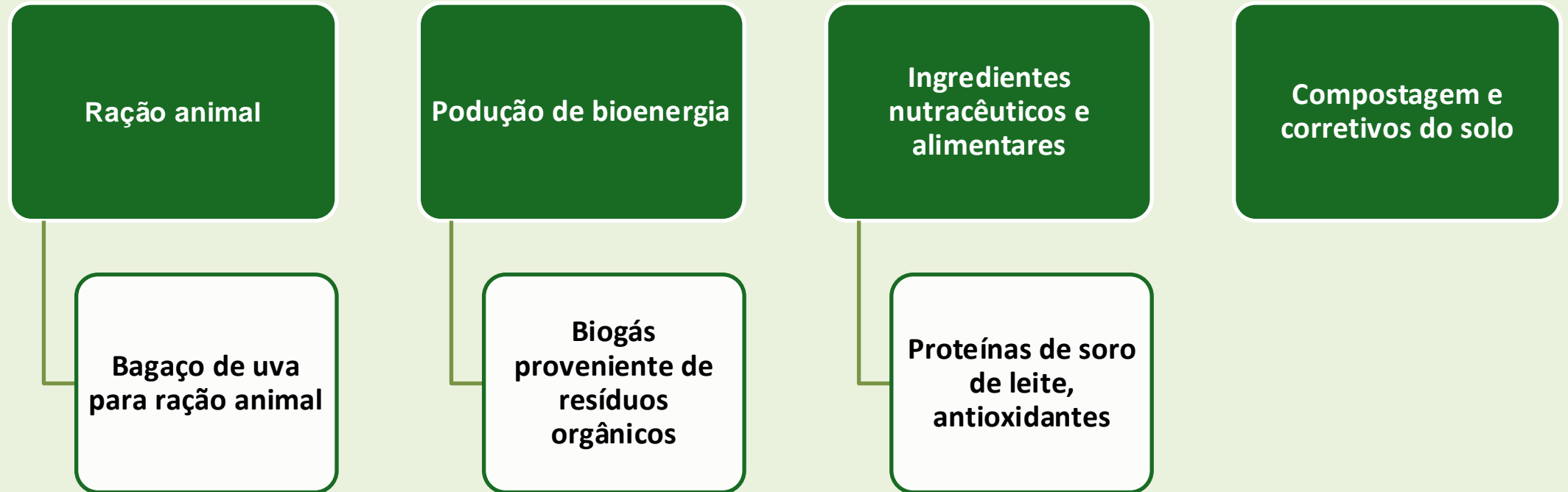


2, Importância dos Subprodutos da Cadeia Agroalimentar

- Benefícios económicos: Fontes alternativas de receita
- Impacto ambiental: Redução de resíduos e emissões
- Economia circular: Reutilização de subprodutos para biocombustíveis, ração animal, bioplásticos e ingredientes para novos alimentos

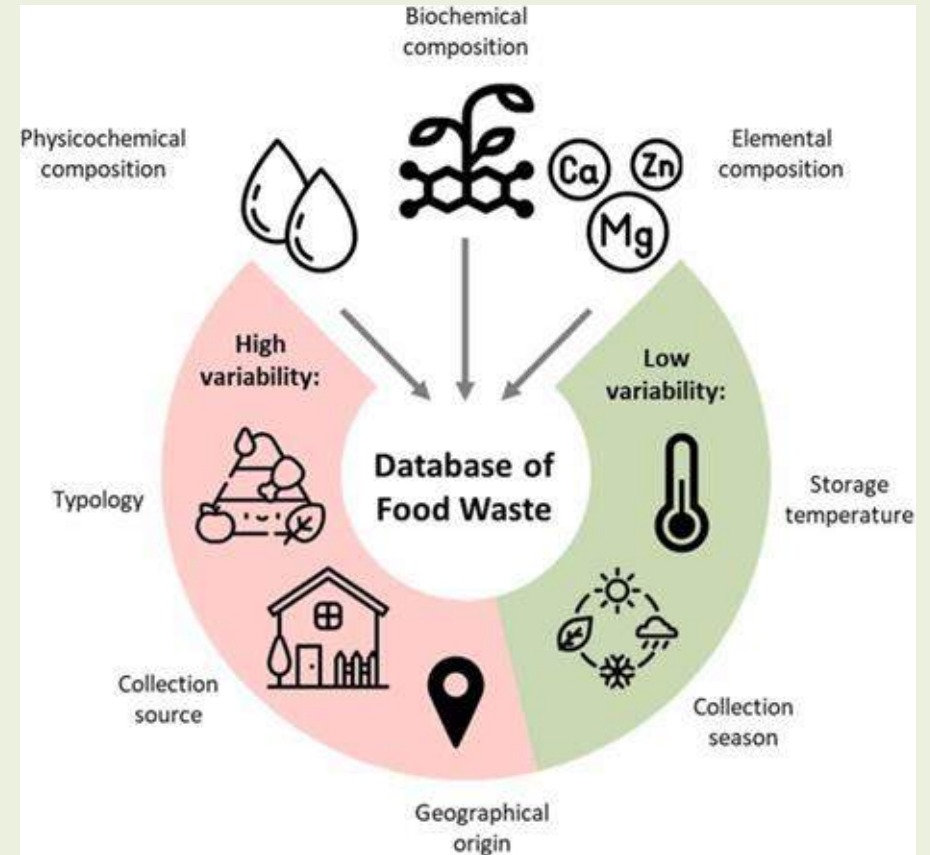


Estratégias de Valorização para Subprodutos



Desafios na Gestão de Subprodutos

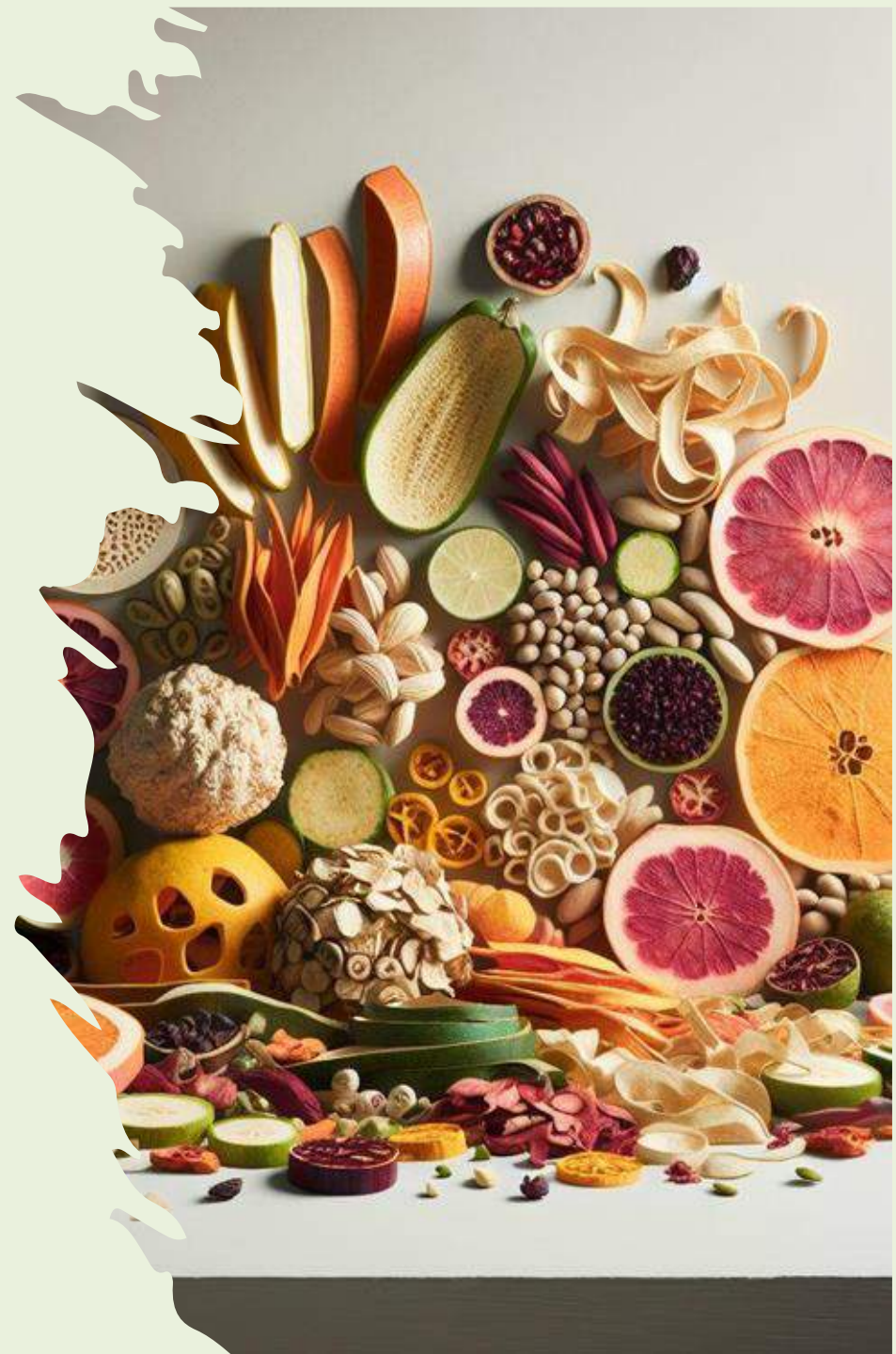
- Problemas de armazenamento:
Risco de contaminação microbiana
- Transporte e logística:
Custos elevados
- Restrições regulatórias:
Conformidade com as leis de segurança alimentar e gestão de resíduos



Moonsamy et al., 2024,
<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2024.08.012>

Requisitos de Armazenamento para Subprodutos de Origem Vegetal

- Controlo da humidade e da temperatura
- Normas de segurança microbiana
- Requisitos de embalagem e rotulagem

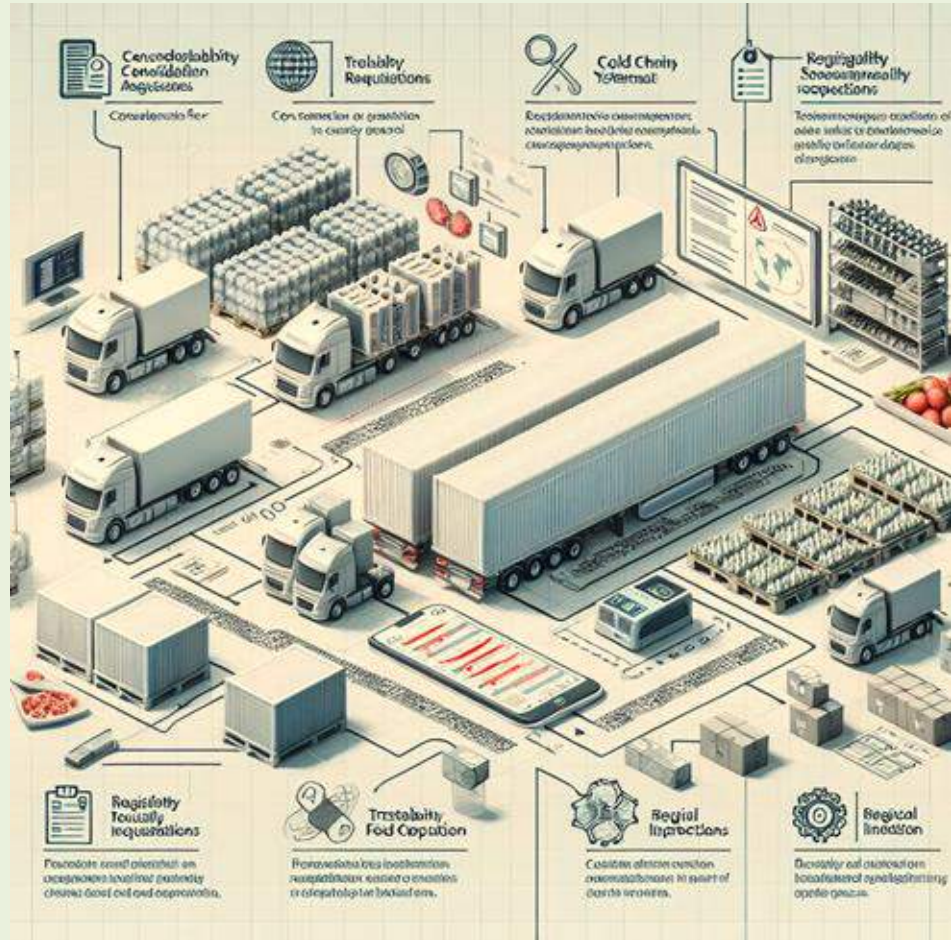




Requisitos de Armazenamento para Subprodutos de Origem Animal

- Categorização ao abrigo do Regulamento 1069/2009:
 - Categoria 1: Alto risco (deve ser incinerada)
 - Categoria 2: Risco intermédio (fertilizantes, biogás)
 - Categoria 3: Baixo risco (ração animal, cosméticos)
- Refrigeração e contenção

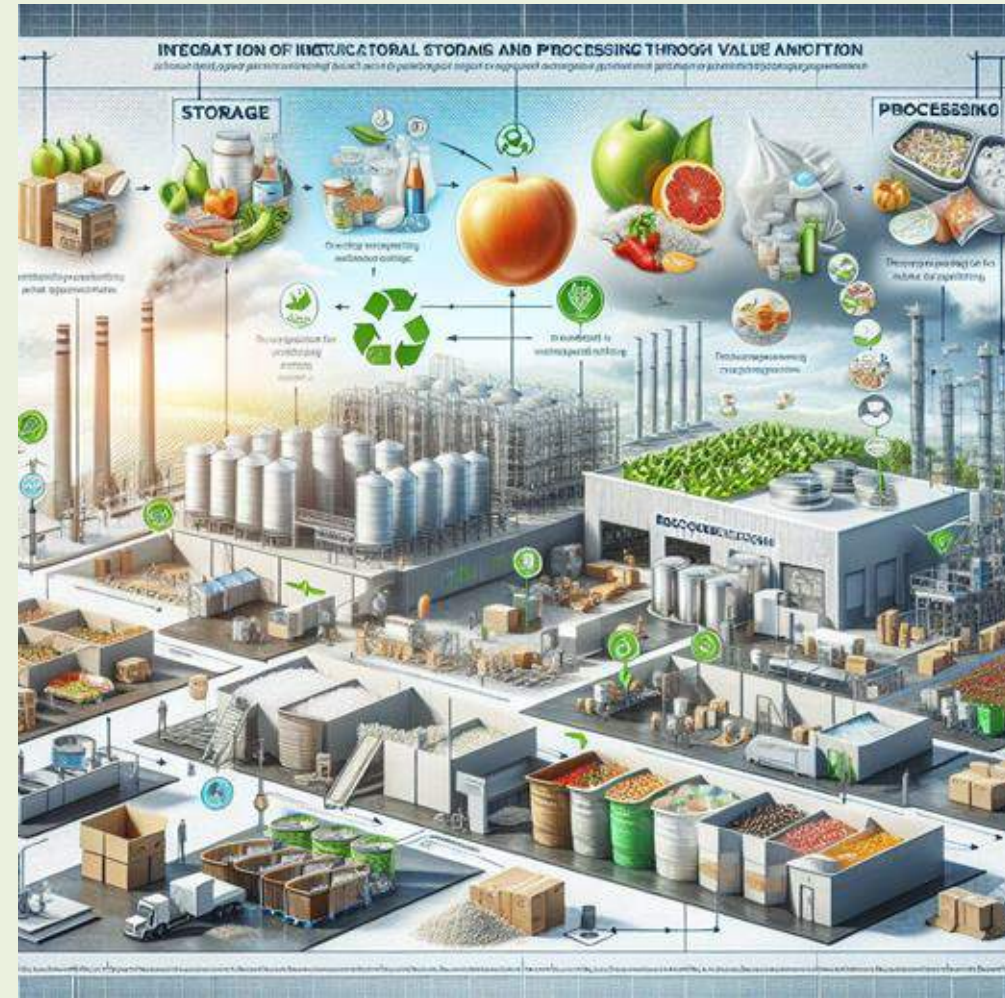
Armazenamento e Transporte de Subprodutos – Considerações Logísticas



- Requisitos da cadeia de frio
- Sistemas de rastreabilidade
- Inspeções regulatórias

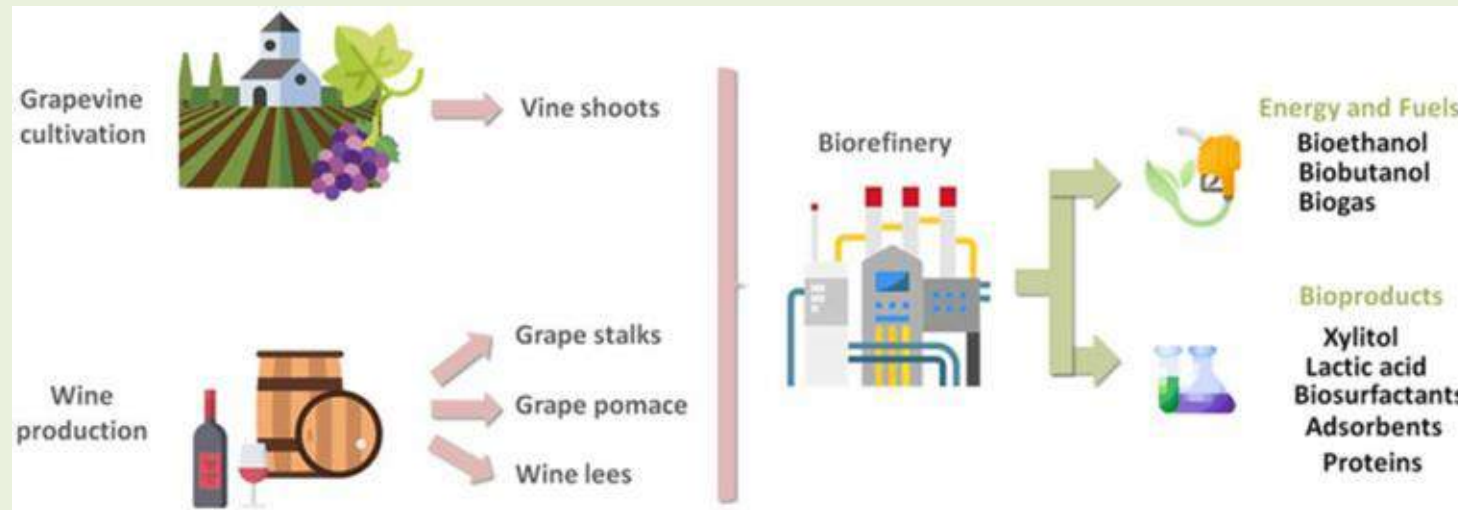
Abordagem de Sustentabilidade e Economia Circular

- Integração de armazenamento e processamento para acrescentar valor
- Redução do desperdício alimentar através da reutilização de subprodutos
- Iniciativas sustentáveis de embalagem e redução de resíduos





3. ESTUDOS DE CASO

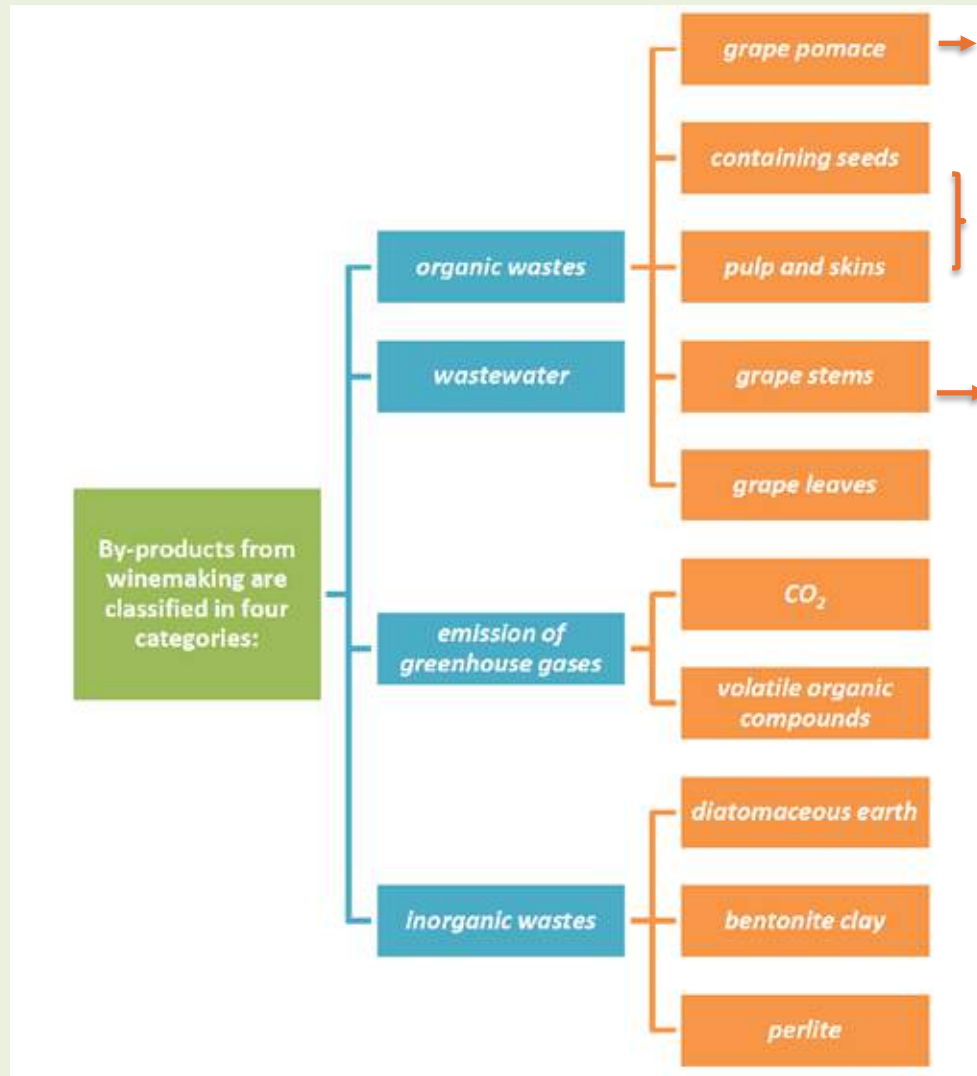


Contreras et al., 2022 <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2022.05.005>

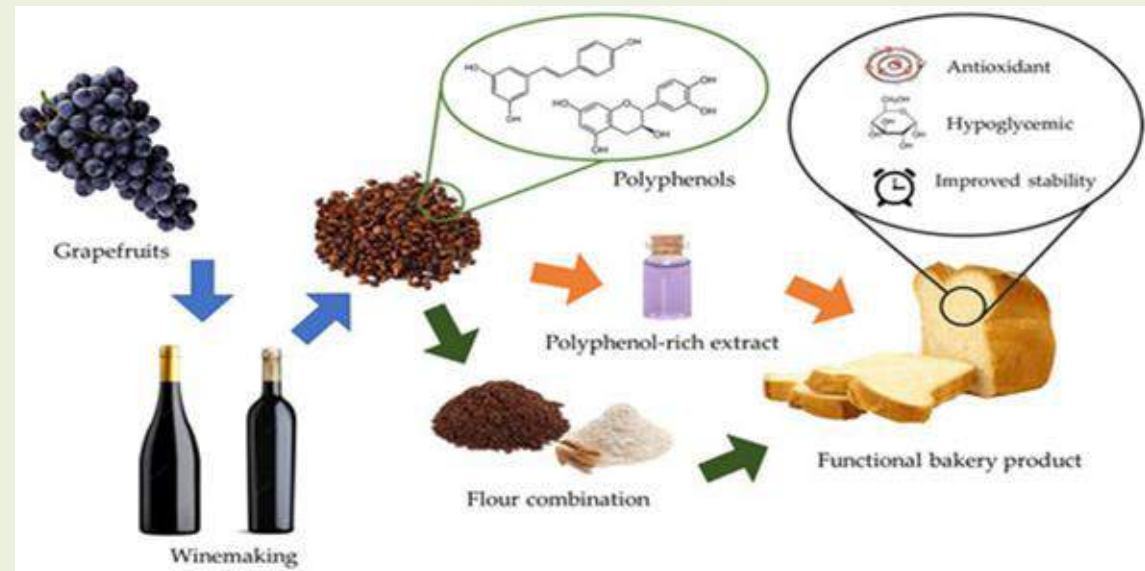
Indústria do Vinho

- Principais subprodutos: rebentos de vinho, caules de uva, bagaço de uva, sementes, borras de vinho, tártaros
- Requisitos de armazenamento: Controlo de temperatura, aeração
- aspetos legislativos: normas de higiene da UE, regulamentos de eliminação de resíduos

Subprodutos da indústria do vinho



- **O bagaço de uva** é considerado o principal subproduto da produção de vinho, representando 25-45% da colheita, consistindo principalmente em cascas, sementes e polpa obtidas após a operação de prensagem
- **A pele e as sementes** representam cerca de 13% das uvas processadas e são especialmente uma fonte rica em polifenóis com múltiplos benefícios para a saúde,
- **Os caules da uva** são eliminados no início do processo e constituem até 25% dos resíduos totais no setor da vinificação, Representa o material menos caracterizado do ponto de vista do seu valioso conteúdo em compostos bioativos



Bagaço de uva

O bagaço da uva é o principal subproduto sólido formado durante as fases de prensagem e fermentação da produção de vinho,

Esta é composta pelas peles, sementes e caules remanescentes após a vinificação, constituindo 20–30% do peso das uvas processadas,

Esta percentagem depende da variedade de uva, das práticas vitivinícolas, dos fatores ambientais e das técnicas de vinificação,

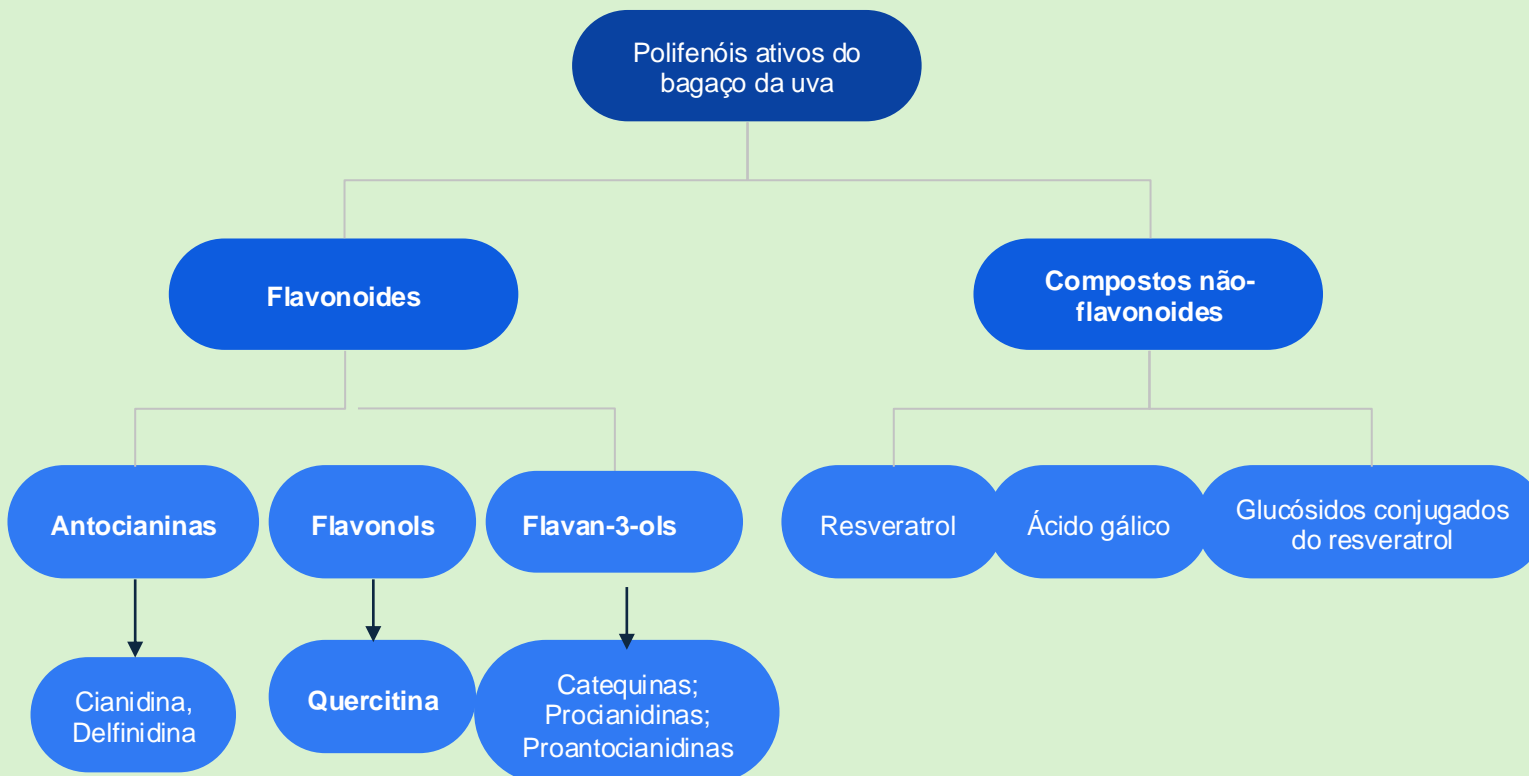


Bagaço de uva

Produção de vinho



Bagaço de uva

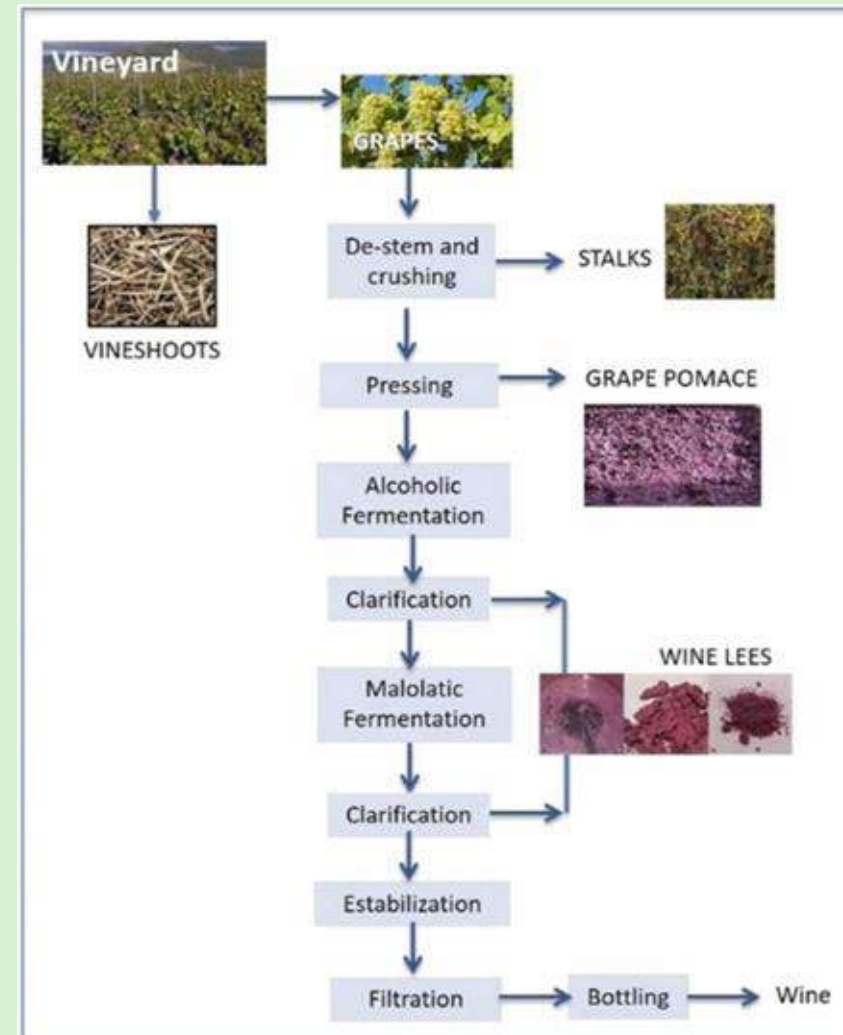


Características dos extratos de bagaço obtidos de quatro castas de uva (Borgonha, Pinot Noir, Riesling italiano e Feteasca),

Casta de Uva	Estado do bagaço	Conteúdo de Humidade (%)	Polifenóis
Borgonha	Fresco	62,44	Maior teor de polifenóis nas sementes
Feteasca Branca	Fresco	54,55	Conteúdo relativamente elevado de polifenóis
Pinot Noir	Secado ao sol (7 dias, 30–32°C)	7,19	Menor perda de matéria seca, polifenóis concentrados
Riesling italiano	Secado ao sol (7 dias, 30–32°C)	6,51	Polifenóis presentes apesar da secagem

Teixeira A., Baenas N., Dominguez-Perles R., Barros A., Rosa E., Moreno D.A., Garcia-Viguera C, Natural Bioactive Compounds from Winery By-Products as Health Promoters: A Review, Int J Mol Sci, 2014, 15(9): 15638–15678 DOI: 10,3390/ijms150915638

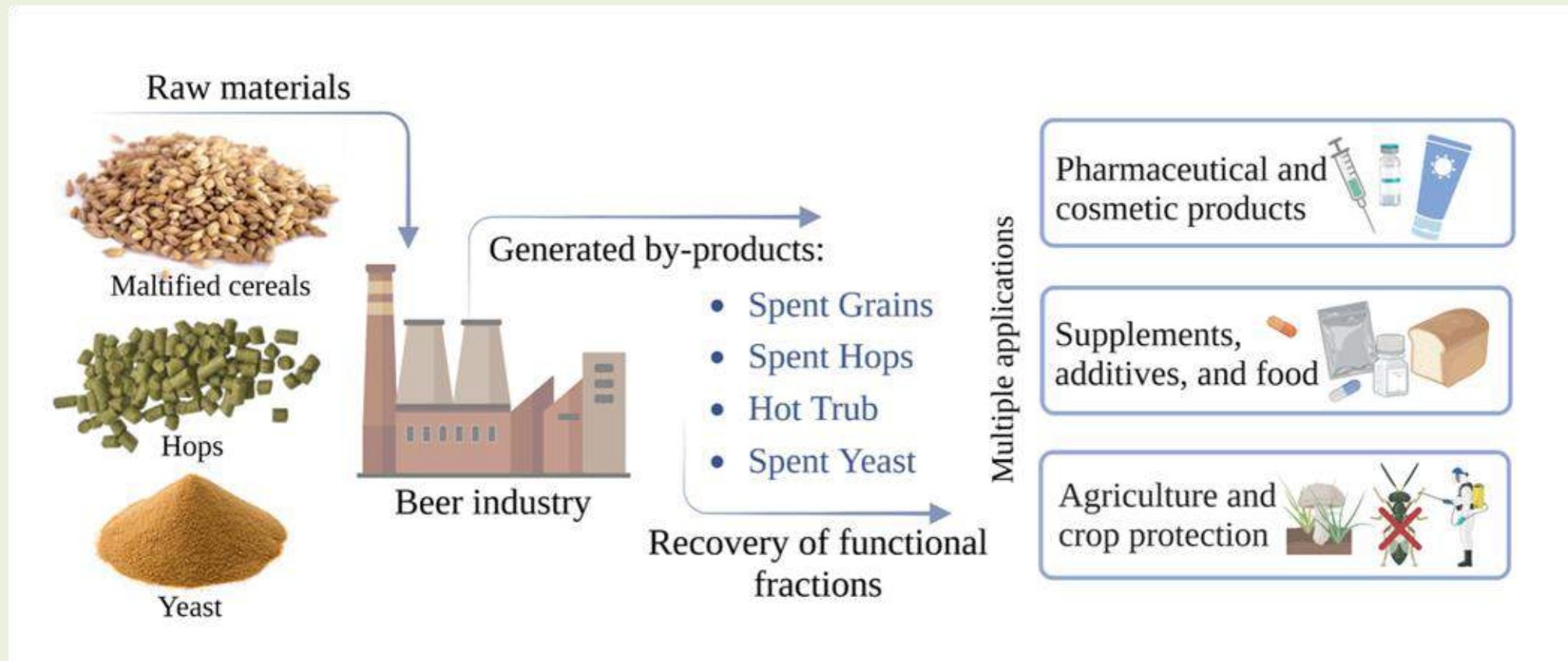
Fluxograma de processos para a indústria do vinho,



Contreras et al., 2022
<https://doi.org/10.1016/j.jfbp.2022.05.005>

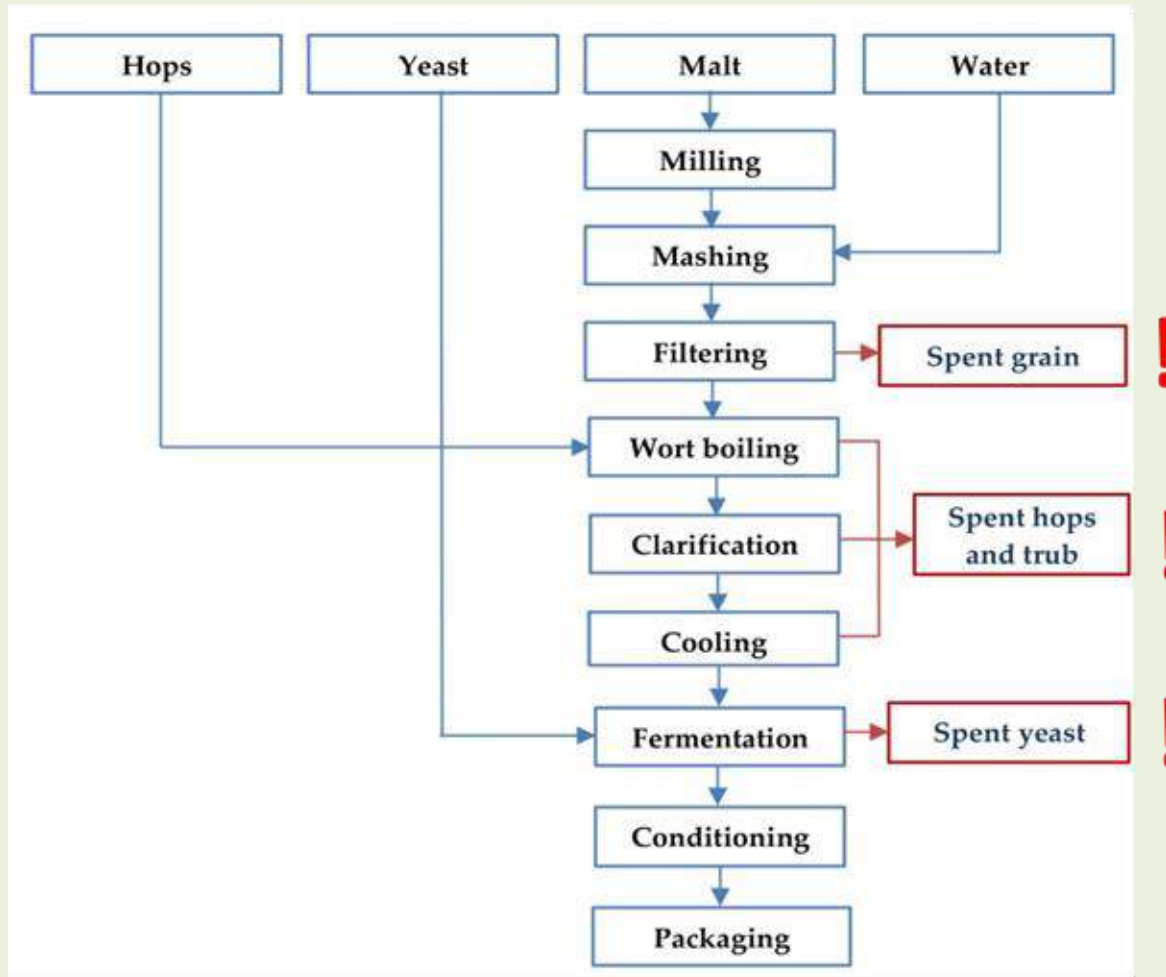
Indústria cervejeira

Os principais subprodutos gerados pela indústria da cerveja



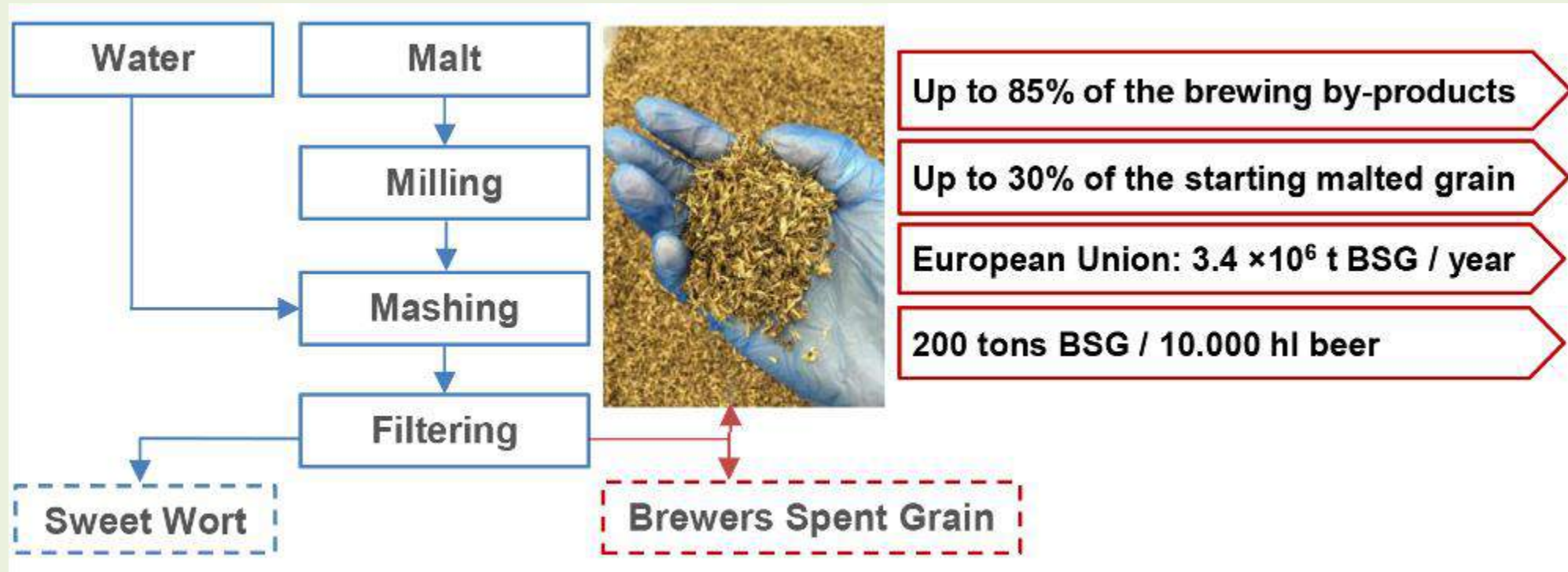
Indústria cervejeira

Os principais subprodutos gerados pela indústria da cerveja



Indústria cervejeira

Os principais subprodutos gerados pela indústria da cerveja



Os principais subprodutos gerados pela indústria da cerveja, fonte: original

BSG = **casca** de grão de cevada na maior proporção, pequenas frações de **pericarpo** e **fragmentos de endosperma** e outros **compostos residuais** que não foram convertidos em açúcares fermentáveis no processo de maceração

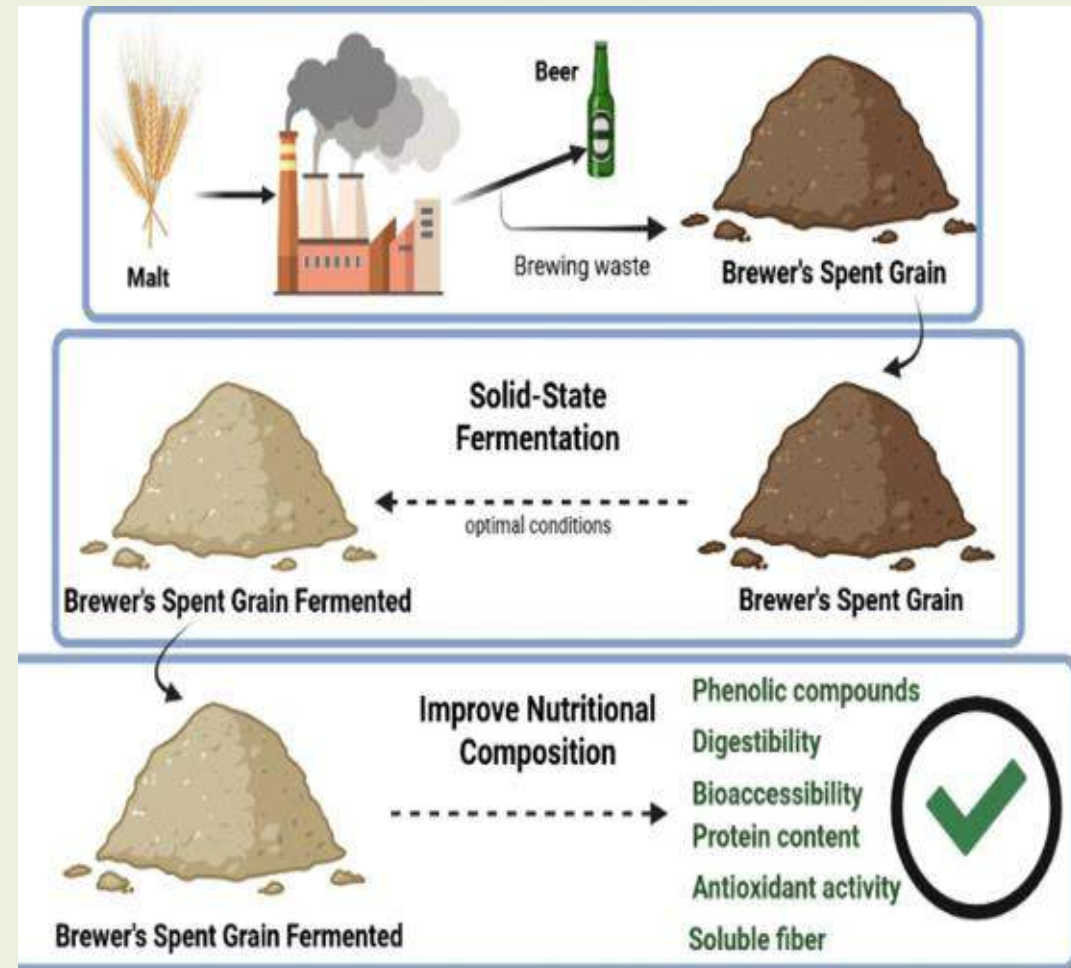
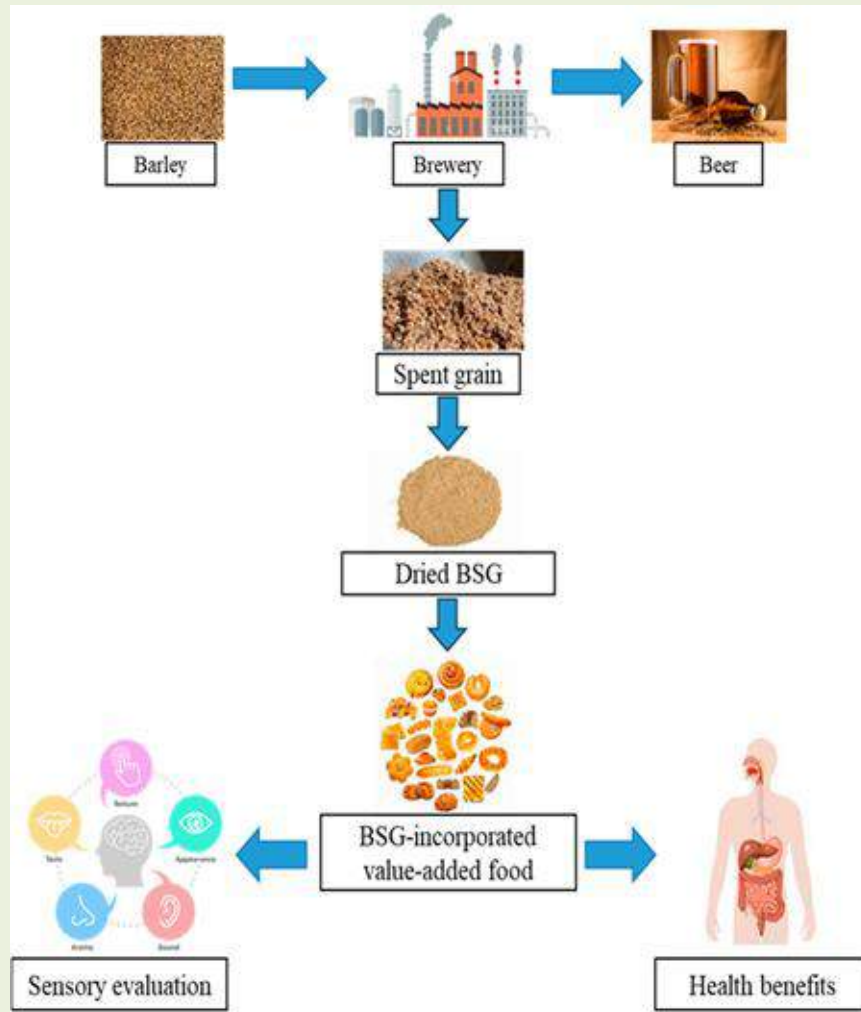
Indústria cervejeira

Compostos fenólicos totais e valores RSA para BSG seco e diferentes matérias-primas

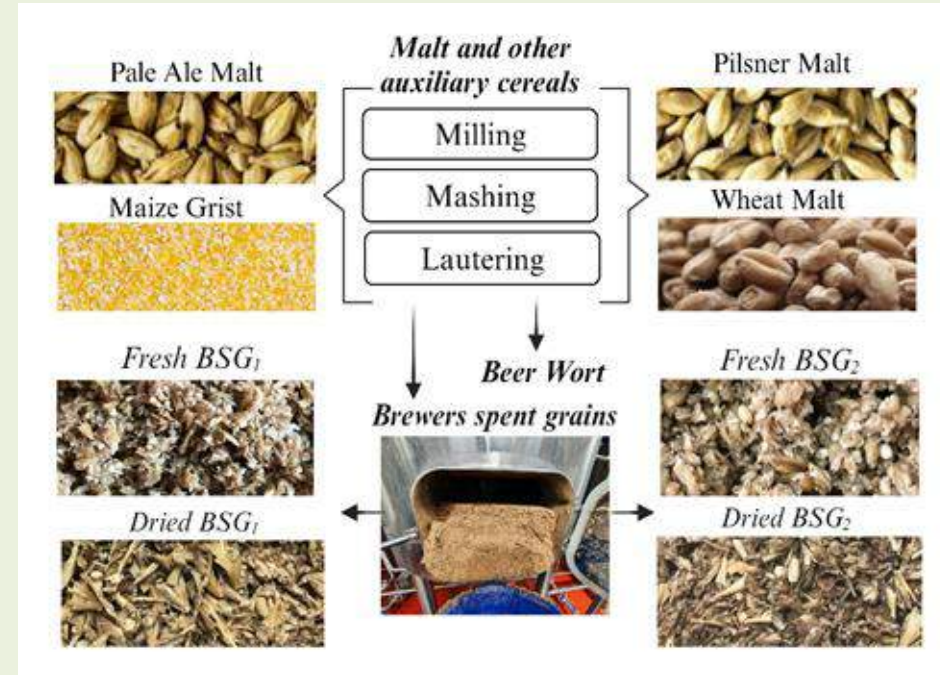
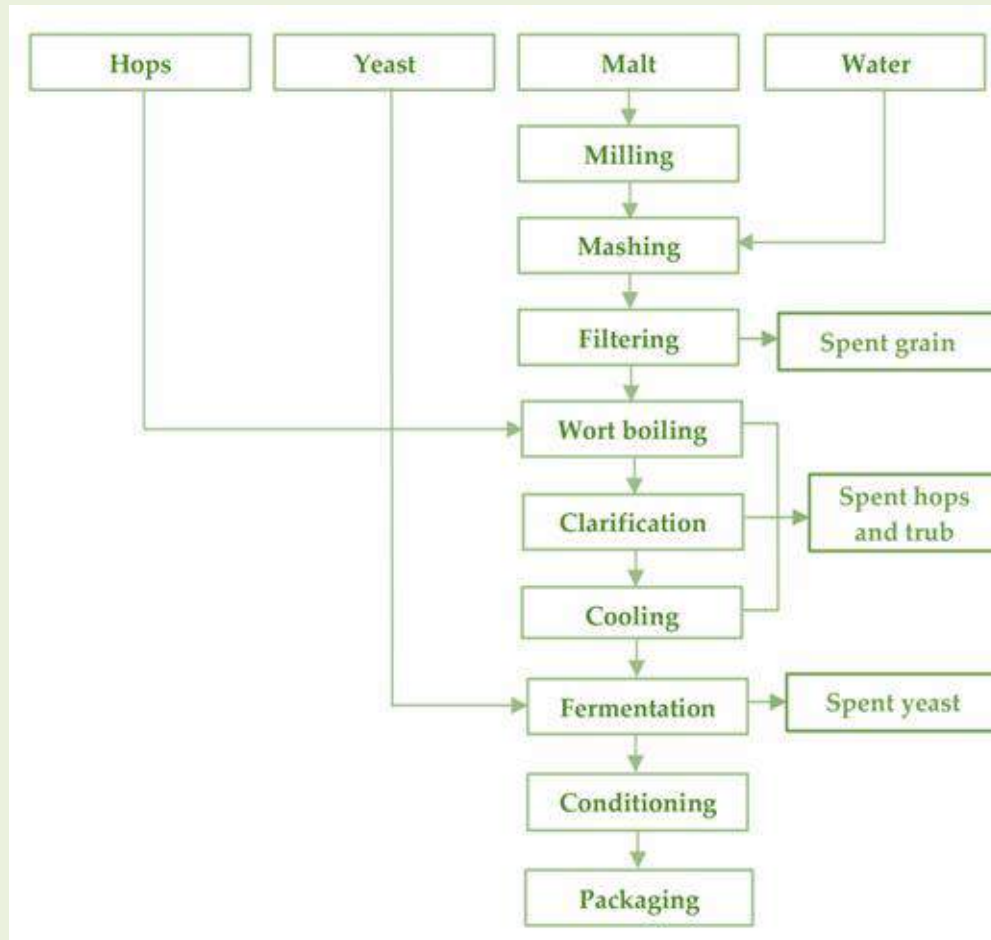
Amostra	Fenóis totais (mg EAG/100 g)	Flavonoides (mg EQ/100 g)	Inibição DPPH(%)
Cevada	133,93±2,45	6,17±0,11	43,17±0,07
Malte Pilsner	148,42±0,51	5,28±0,13	46,36±0,1
Malte Caramunich	256,42±6,18	10,72±0,18	57,87±0,07
Malte Carafa	335,88±4,41	8,97±0,16	42,07±0,02
BSG seco	284,20±3,07	13,16±0,27	55,95±0,28
Farinha de trigo	21,12±1,42	2,85±0,10	32,74±0,24
Farinha integral de trigo	64,68±3,48	3,18±0,15	37,54±0,36

Indústria cervejeira

Potencial aplicação de resíduos e subprodutos de cervejaria em processos biotecnológicos

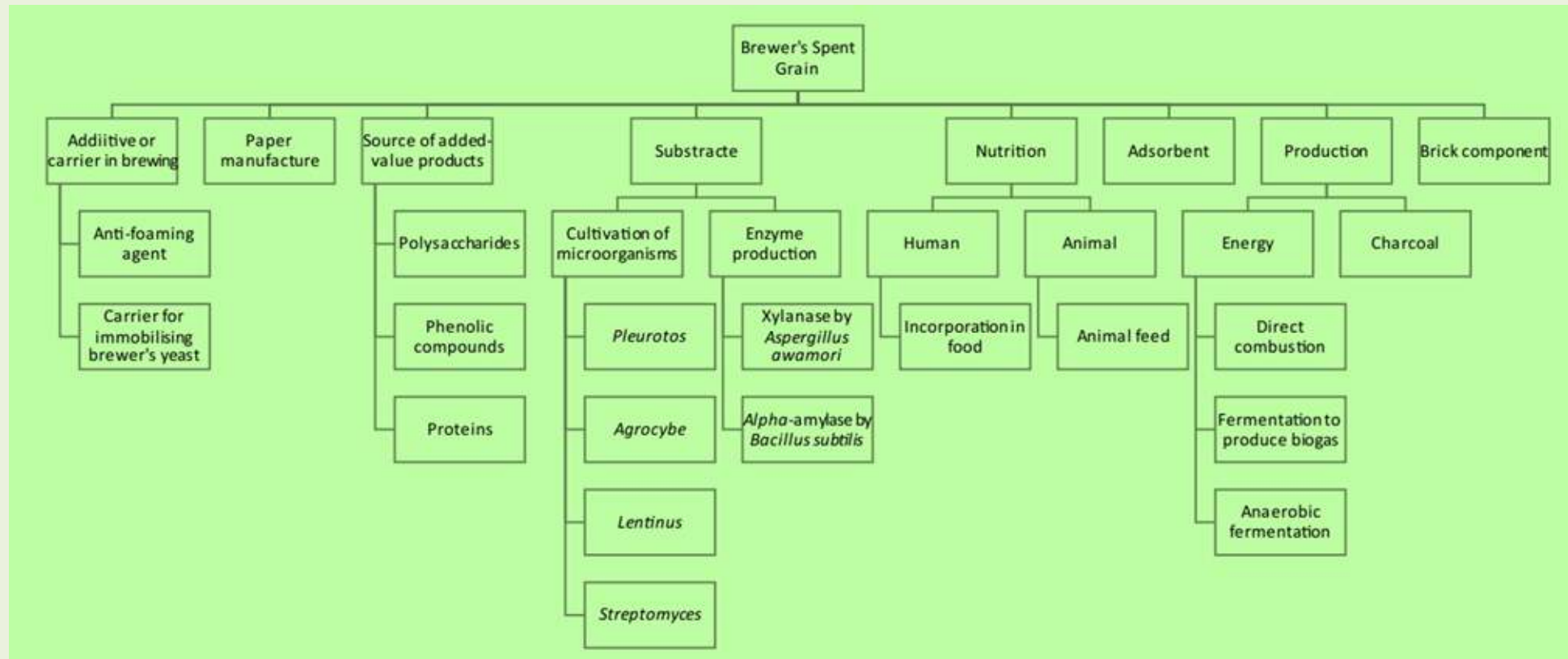


Subprodutos da cerveja



Representação esquemática do processo de produção e dos subprodutos gerados (fonte: original)

Subprodutos do bagaço de cervejaria



Indústria de produção de azeite

2024/2025

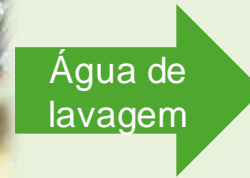
Portugal: 170-190.000 toneladas

Espanha: 1,4-1,5 milhões de toneladas

Infusões

Extração de óleos essenciais

Compostagem



Compostos bioativos

Fertilizante ou irrigação



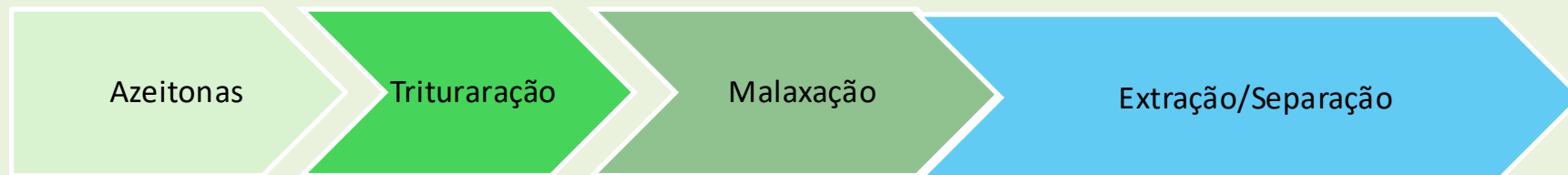
Fibra solúvel e insolúvel

Compostos bioativos

Indústria de produção de azeite

Produção de azeite no moinho de Alfândega da Fé, Trás-Os-Montes, Portugal

Sistema bifásico



fonte: original

Bagaço de azeitona fresco com caroços
(pasta de azeitona esmagada, "sem" óleo)



Composição:

- ≈60–70% água
- ≈2–3% de gordura
- Polpa
- Pele

O bagaço de azeitona é principalmente utilizado para:

- Alimentação animal
- Produção de biomassa
- Compostagem
- Produção de biocombustíveis

Fitotóxico

Perigo ambiental



Compostos bioativos

15 - 20% Azeite

80 - 85% Bagaço de Azeitona

Produção de Azeite em Portugal – 2024: 170.000–180.000 toneladas

A segunda maior produção de azeite alguma vez registada em Portugal, segundo a OLIVUM (Associação de Produtores e Moinhos de Azeitona de Portugal)

Foram geradas aproximadamente **1.700.000 toneladas** de bagaço de azeitona

Hidroxitirosol

- Inibe a peroxidação lipídica
- Oferece proteção contra doenças neurodegenerativas
- Apresenta atividade antimicrobiana

Tirosol

- ↓ Inflamação
- ↓ Stress oxidativo

Tabela 1, Composição centesimal do bagaço de azeitona

g/100 g	Moisture	Total protein	Ash	Total fat	Total fiber	Remaining carbohydrates
Dry weight	-	6.3 ± 0.8	2.7 ± 0.0	3.6 ± 0.1	44.0 ± 0.9	43.4 ± 1.6
Fresh weight	60.9 ± 0.3	2.5 ± 0.3	1.1 ± 0.0	1.4 ± 0.0	17.2 ± 0.3	16.9 ± 0.3

Os resultados são apresentados em g/100 g de amostra em peso fresco ou seco, como média ± desvio padrão (n = 3)

Tabela 2, Perfil de vitamina E do bagaço de azeitona,

µg/100 g	α-tocopherol	α-tocotrienol	β-tocopherol	γ-tocopherol	δ-tocopherol	Total vitamin E
Dry weight	4133 ± 138	62 ± 1	50 ± 1	97 ± 2	17 ± 0	4360 ± 143
Fresh weight	1614 ± 54	24 ± 0	20 ± 1	38 ± 1	7 ± 0	1703 ± 56

Os resultados são apresentados em µg/100 g de amostra em peso fresco ou seco, como média ± desvio padrão (n = 3)

Tabela 3, Conteúdo de fitoquímicos e atividade antioxidante do bagaço de azeitona

Sample	TPC	TFC	HTC	FRAP	DPPH•-SA
	g GAE/100 g	g CE/100 g	g/100 g	g FSE/100 g	g TE/100 g
Dry weight	3.08 ± 0.13	2.69 ± 0.03	0.36 ± 0.00	4.43 ± 0.57	1.53 ± 0.06
Fresh weight	1.20 ± 0.05	1.05 ± 0.01	0.14 ± 0.00	1.73 ± 0.22	0.60 ± 0.02

TPC, Conteúdo total de fenólicos; TFC, conteúdo total de flavonoides; HTC, conteúdo de hidroxitirosol; FRAP, poder antioxidante que reduz o ferro; DPPH•-SA, capacidade de captura de radicais 2,2-difenil-1-picrilhidrazil; GAE, equivalentes em ácido gaulês; CE, equivalentes a Catechin; FSE, equivalentes sulfatos ferrosos; TE, equivalentes a Trolox, Os resultados são apresentados como média ± desvio padrão (n = 3),

Tabela 4, Perfil de ácidos gordos do bagaço de azeitona,

Fatty acids (relative %)	Olive pomace
Myristic (C14:0)	0.03 ± 0.00
Palmitic (C16:0)	11.18 ± 0.08
Palmitoleic (C16:1)	0.59 ± 0.03
Heptanoic (C17:0)	0.10 ± 0.00
Stearic (C18:0)	2.82 ± 0.15
Oleic (C18:1n9c)	73.07 ± 0.40
Linoleic (C18:2n6c)	9.97 ± 0.47
Arachidic (C20:0)	0.51 ± 0.05
α-linolenic (C18:3n3)	0.92 ± 0.10
<i>cis</i> -11-Eicosenoic (C20:1n9)	0.38 ± 0.01
Behenic (C22:0)	0.28 ± 0.04
Lignoceric (C24:0)	0.16 ± 0.02
∑ SFA	15.07 ± 0.15
∑ PUFA	10.89 ± 0.46
∑ MUFA	74.03 ± 0.31
MUFA/PUFA	6.81 ± 0.33

SFA, ácidos gordos saturados; MUFA, ácidos gordos monoinsaturados; PUFA, Ácidos gordos poliinsaturados, Os resultados são expressos em percentagens relativas como média ± desvio padrão (n = 3) em peso seco

Indústria do Café

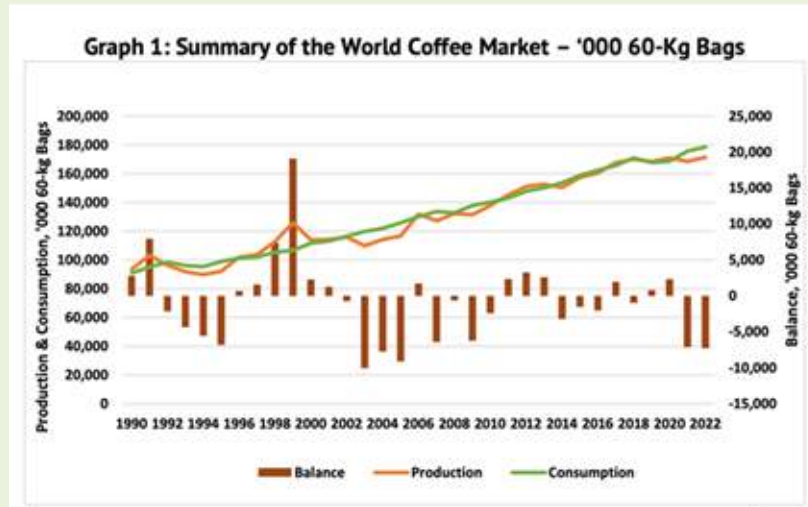


Table I: Summary of the World Coffee Market

	Million 60-Kg Bags					
	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22	2022/23	2023/24
Production	169.8	168.4	170.8	168.0	168.2	178.0
Consumption	171.2	168.6	169.9	176.6	173.1	177.0
Balance	-1.3	-0.2	0.9	-8.6	-4.9	1.0
	Growth Rates, Year-on-Year					
Production	5.9%	-0.9%	1.4%	-1.7%	0.1%	5.8%
Consumption	3.3%	-1.5%	0.8%	4.0%	-2.0%	2.2%

Some fluctuations in coffee production

- Continuous global warming;
- Increase of natural disasters;
- Other factors not related to coffee production itself (e.g., COVID-19)

VS.

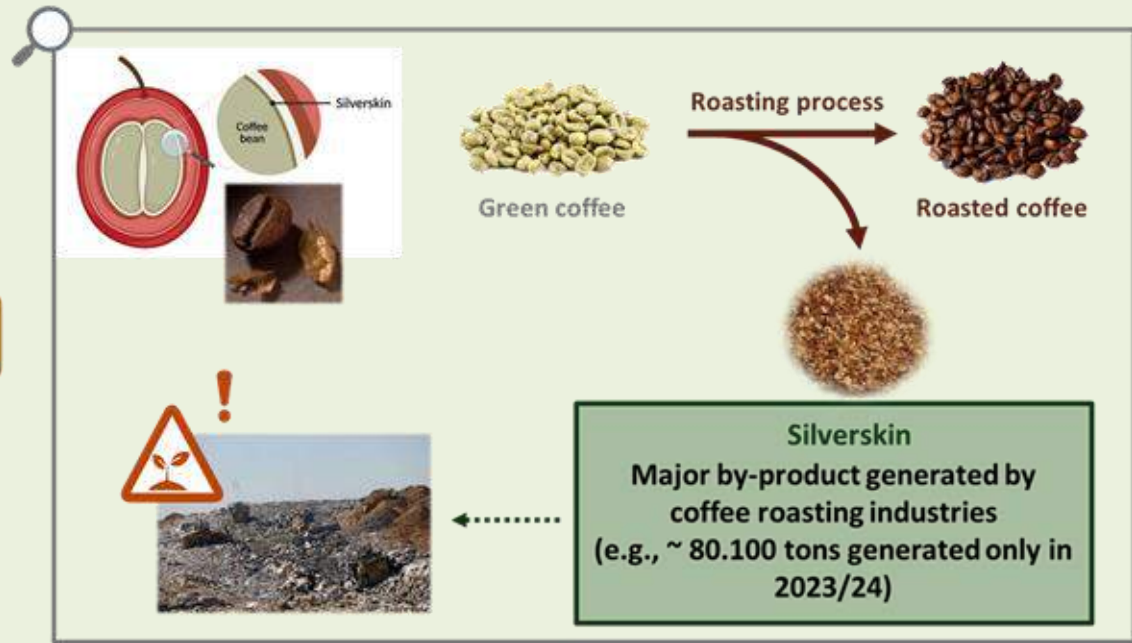
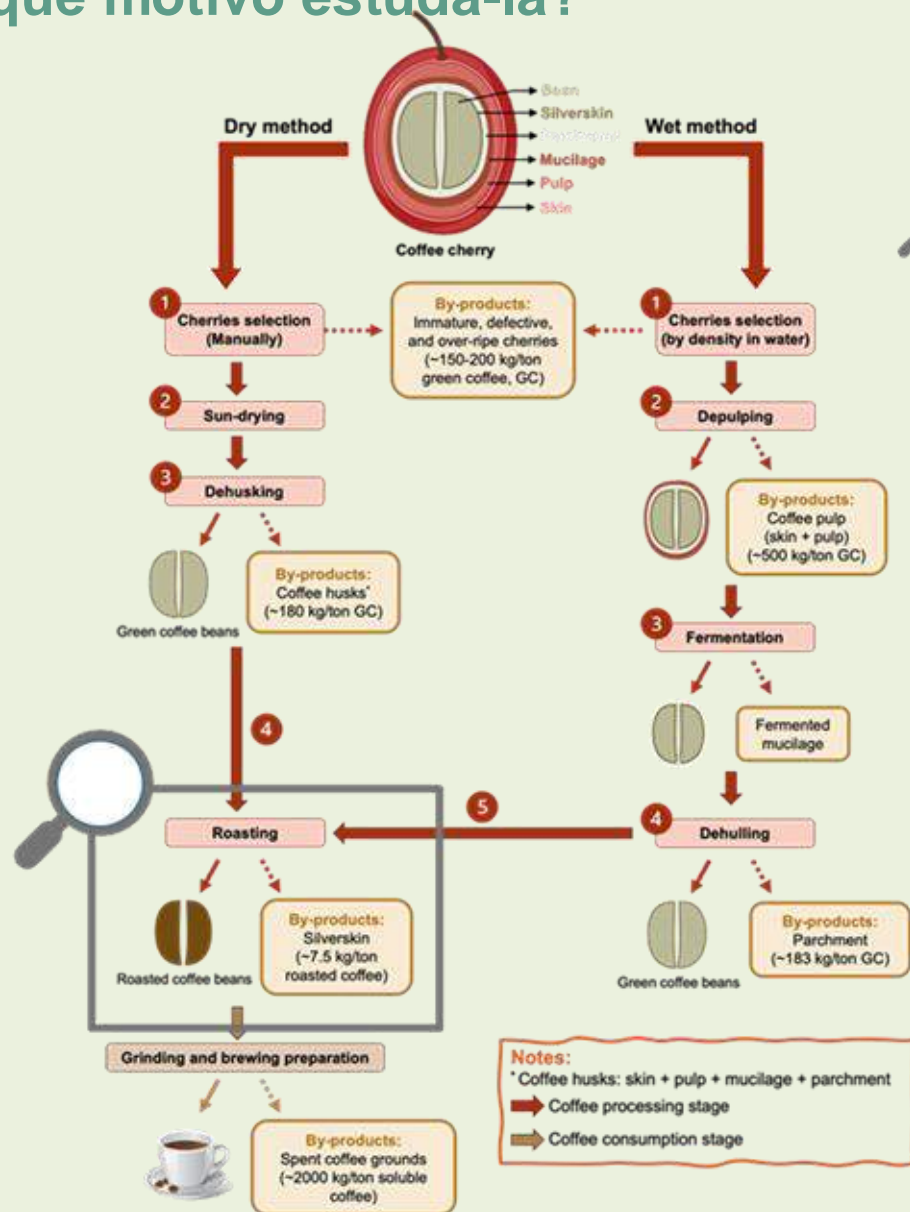
Continuous increase in coffee consumption

- Ease of consumption at home;
- Increased supply at competitive prices;
- Changes in market trends (e.g., out-of-home consumption increase, consumption increase in producing countries, increased demand for specialty coffees,...)
- Consumers' awareness of positive health effects

Production/consumption gap more and more tightened



Sustentabilidade da cadeia do café – O que é a pele de prata do café (coffee silverskin) e por que motivo estudá-la?



Fonte: Barreto Peixoto JA et al, Compr, Rev, Food Sci, Food Saf, 2023; 22: 287-332; Bessada S et al, Sci Total Environ, 2018; 645: 1021-1028 doi: 10.1111/1541-4337,13069

Sustentabilidade da cadeia do café – O que é a pele de prata do café (coffee silverskin) e por que motivo estudá-la?

Tabela 1, Composição nutricional dos subprodutos do café (% dw),

	Pele de prata
Cinza	9,47 ± 0,06
Proteína	16,31 ± 0,12
Gordura	2,91 ± 0,09
Fibra alimentar total	65,87 ± 0,00
Fibra alimentar insolúvel	56,86 ± 0,00
Fibra alimentar solúvel	9,01 ± 0,00
Hidratos de carbono disponíveis	5,44 ± 0,24



Tabela 2, Compostos fenólicos totais e atividade antioxidante in vitro (inibição DPPH• e ensaios FRAP) dos subprodutos do café (g/100 g dw),

	Pele de prata
TPC (CGAE)	1,28 ± 0,01
TFC (CE)	0,70 ± 0,01
FRAP (FSE)	4,05 ± 0,12
DPPH•-SA (TE)	0,19 ± 0,05

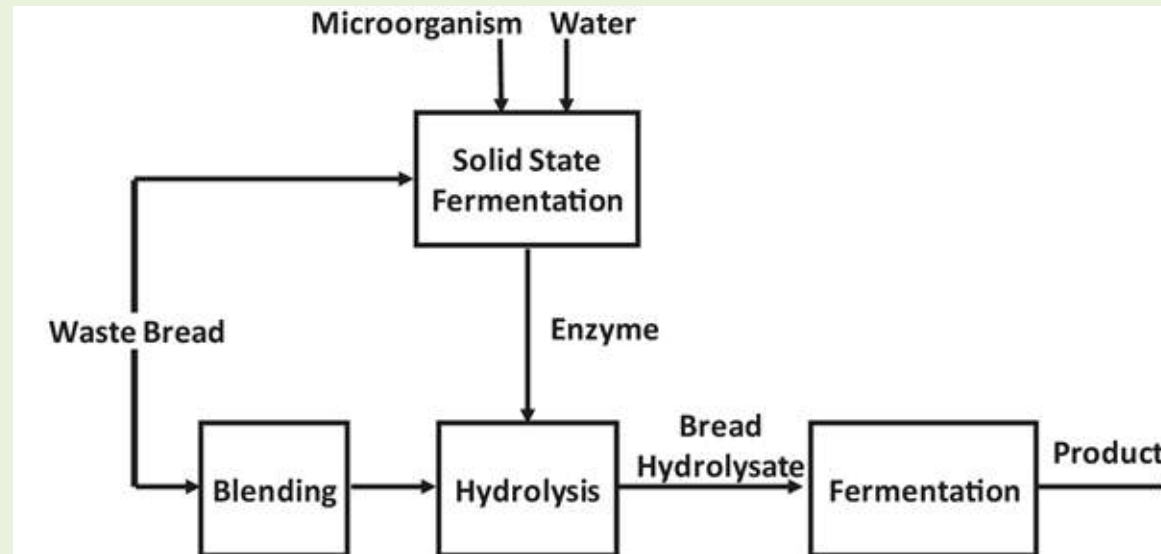
Tabela 3, Cafeína (g/100 g), ácidos cafeilquínicos (mg/100 g) e 5-hidroximetilfurfural (mg/100 g) de subprodutos do café,

	Pele de prata
Cafeína	0,71 ± 0,02
3-CQA	9,44 ± 0,22
5-CQA	52,53 ± 0,83
4-CQA	17,71 ± 0,30
HMF	39,52 ± 1,07

Os resultados são a média de 3 experiências independentes ± SD. Em cada linha, diferentes letras em subscrito representam diferenças significativas entre amostras ($p < 0,05$), TPC, conteúdo total de fenólicos; CGAE, equivalentes ao ácido clorogénico; TFC, conteúdo total de flavonoides; CE, equivalentes a catequinas; FRAP, poder antioxidante que reduz a fibra férrica; FSE, equivalentes de sulfato ferroso; DPPH•-SA, atividade de captação de radicais de 2,2 difenil-1picrylhidrazilo; TE, equivalentes a Trolox, CQA, ácido cafeoínico; HMF, 5-hidroximetilfural; n,d,, não detetado,

Indústria do Pão e da Panificação

- Principais subprodutos: crostas de pão, farelo de trigo e cereais usados,
- Condições de armazenamento: ventilação adequada, controlo de humidade para prevenir bolor, controlo de temperatura
- Desafios regulatórios: regulamentos da UE para resíduos alimentares, diretrizes de reprocessamento, normas de higiene



Melikoglu et al, 2023

<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2013.04.008>

Indústria do Pão e da Panificação

Pão em excesso - resíduos

Um subproduto significativo no contexto comercial e doméstico é o pão velho ou com defeitos. Este pode ser reciclado em vários produtos novos para reduzir o desperdício alimentar.

Alimentação animal: - o pão deitado fora é uma fonte de hidratos de carbono para a alimentação animal.

Novos produtos alimentares: - pode ser transformado em **pão ralado, croutons, pudins de pão ou recheios**.

Indústria cervejeira: - o pão velho é utilizado por algumas fábricas de cerveja para fabricar cerveja.

Matéria-prima industrial: - os resíduos de pão podem ser usados como matéria-prima para microrganismos **para produzir outras substâncias químicas**, como ácido láctico, hidrogénio e mais etanol, ou mesmo produtos não alimentares, como têxteis.

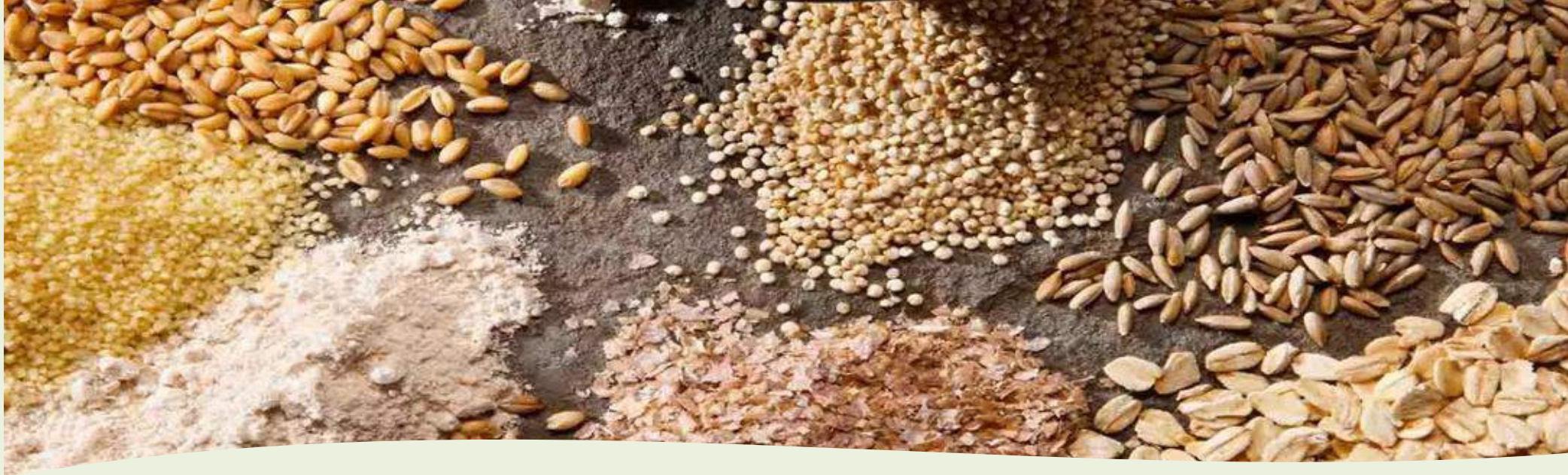
Produtos de pastelaria - resíduos

Novos alimentos semipreparados: - podem ser aproveitados em brezär e ponci - semipreparados importantes na obtenção de produtos de confeitaria.



Bread by-products, 2024, Eliot Beeby and Josh Evans

<https://www.sfig.dk/index/bread-by-products>

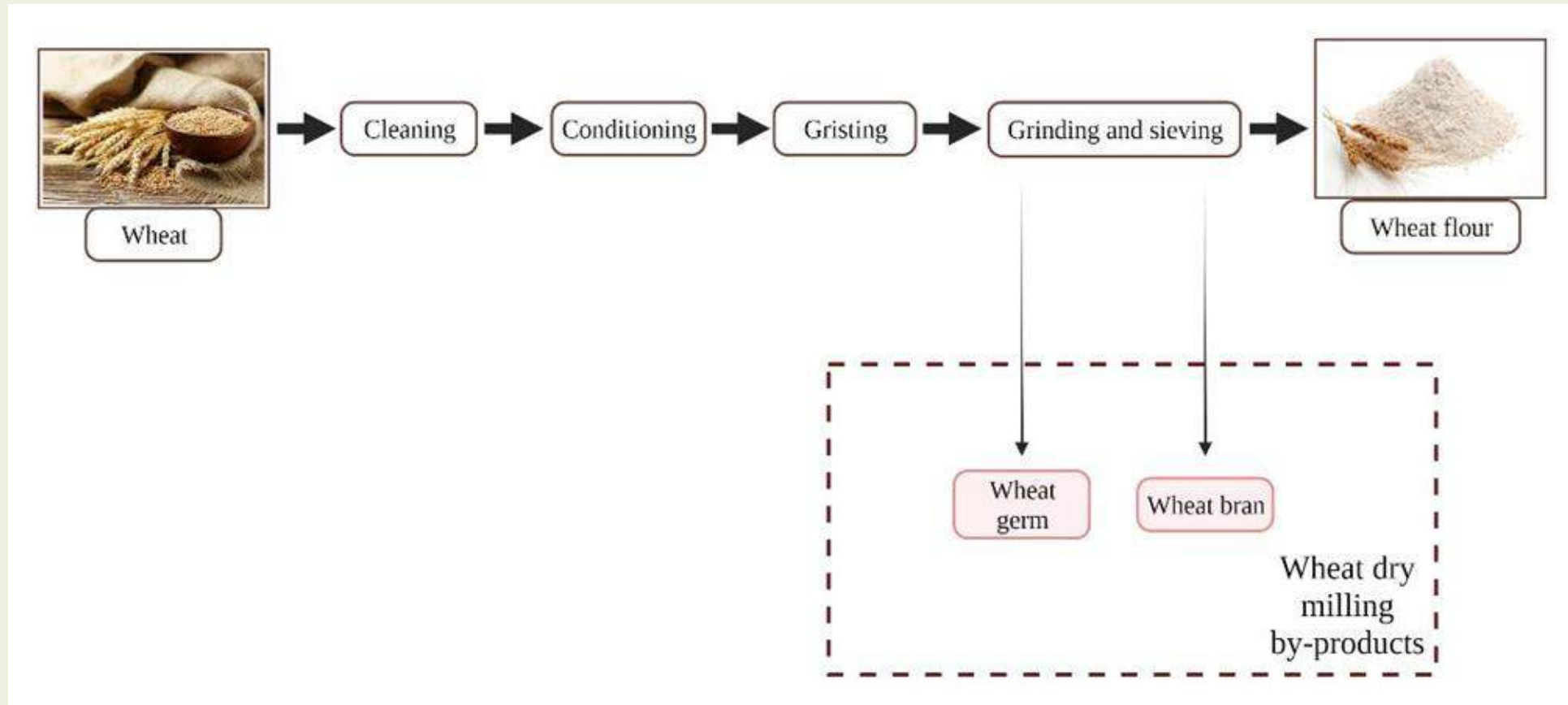


Processamento de cereais

Tipos de subprodutos cereais:

- ✓ Subprodutos do trigo;
 - ✓ Subprodutos do milho;
 - ✓ Subprodutos do arroz;
 - ✓ Outros subprodutos de cereais,
- Dependendo do processo de moagem (moagem seca ou húmida), o valor nutricional final dos subprodutos varia bastante,
 - Assim, as frações obtidas durante a moagem seca ou húmida podem encontrar muitas aplicações em produtos alimentares e não alimentares, para além de serem apenas utilizadas como ração,

Subprodutos do trigo



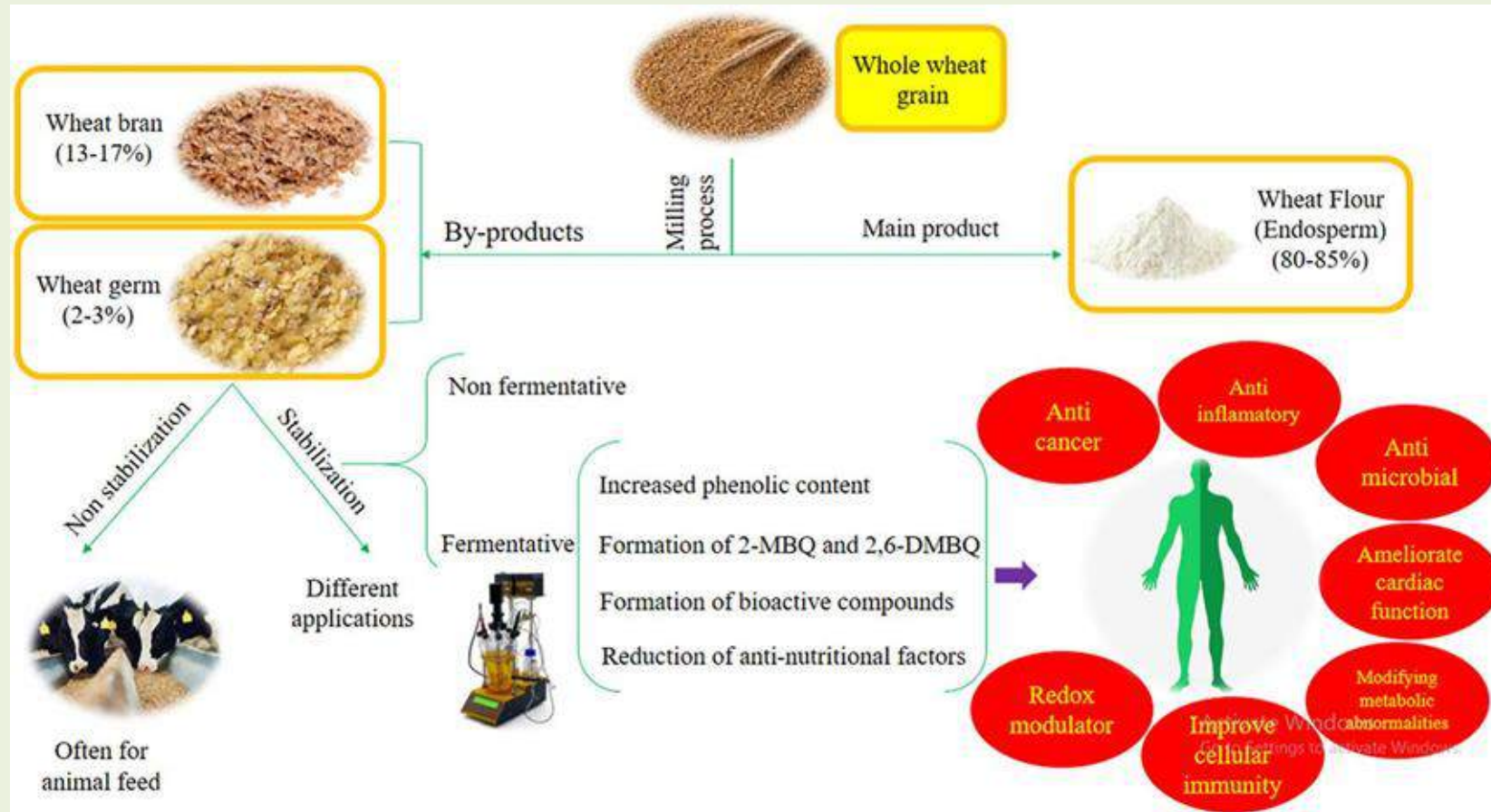
Após moer o trigo, os seguintes resultados:

- ✓ Endosperma amiláceo;
- ✓ farelo;
- ✓ gémne;
- ✓ Cascas e resíduos de polimento,

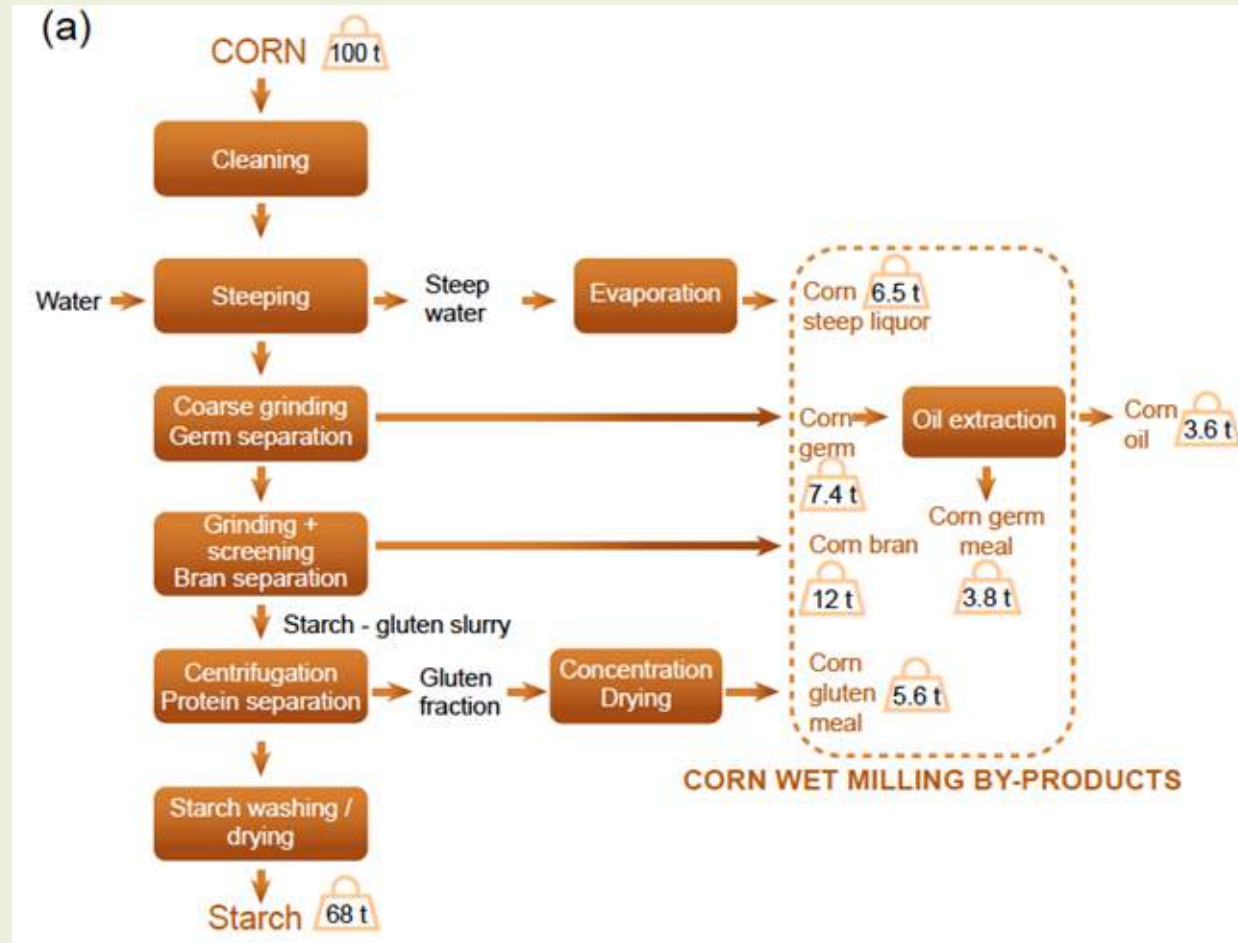
Types of by-products resulted after wheat processing (Farcas, A, et al., 2021)

<https://doi.org/10,3390/nu13113934>

Subprodutos do trigo - valorização



Subprodutos do milho



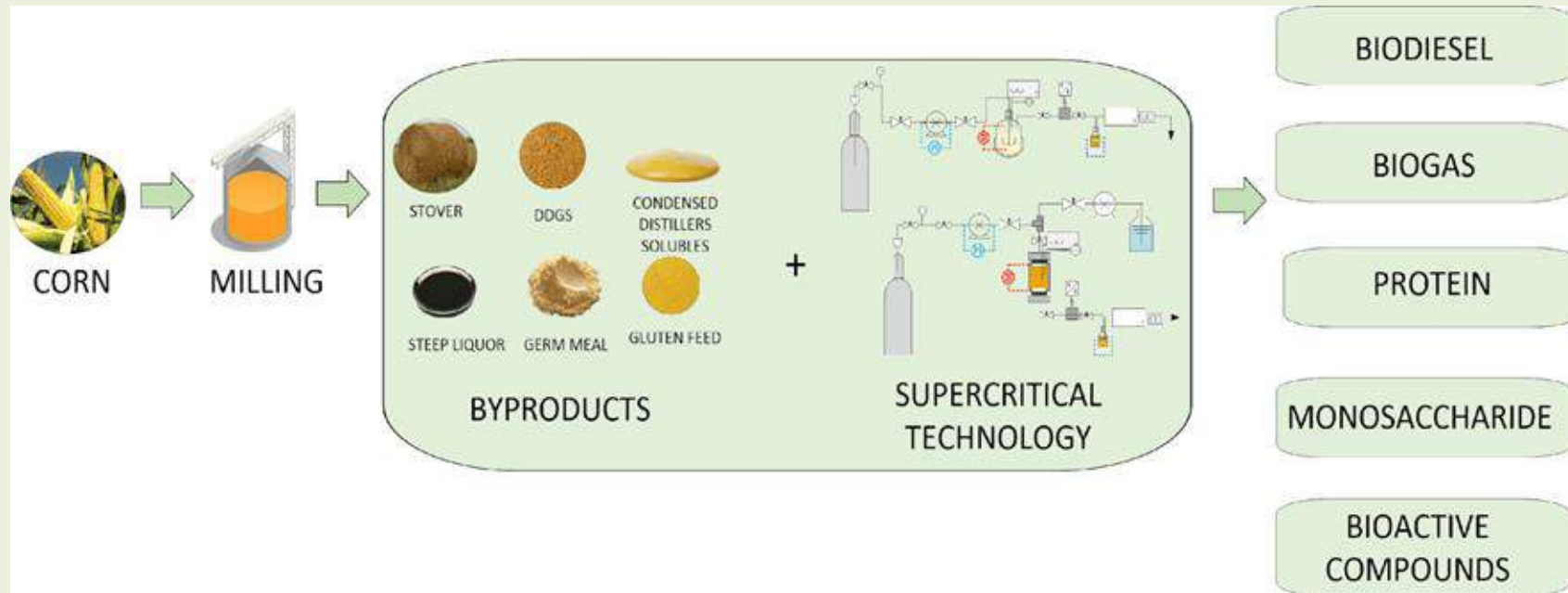
Após a moagem do milho, obtêm-se os seguintes produtos:

- ✓ Amido (frações do endosperma))
- ✓ farelo
- ✓ **Outros subprodutos, incluindo: licor de maceração do milho (corn steep liquor), gérmen de milho (farinha e óleo), farelo de milho, farinha de glúten de milho.**

Types of by-products resulted after corn processing

(Dapčević-Hadnađev, T, et al., 2018)

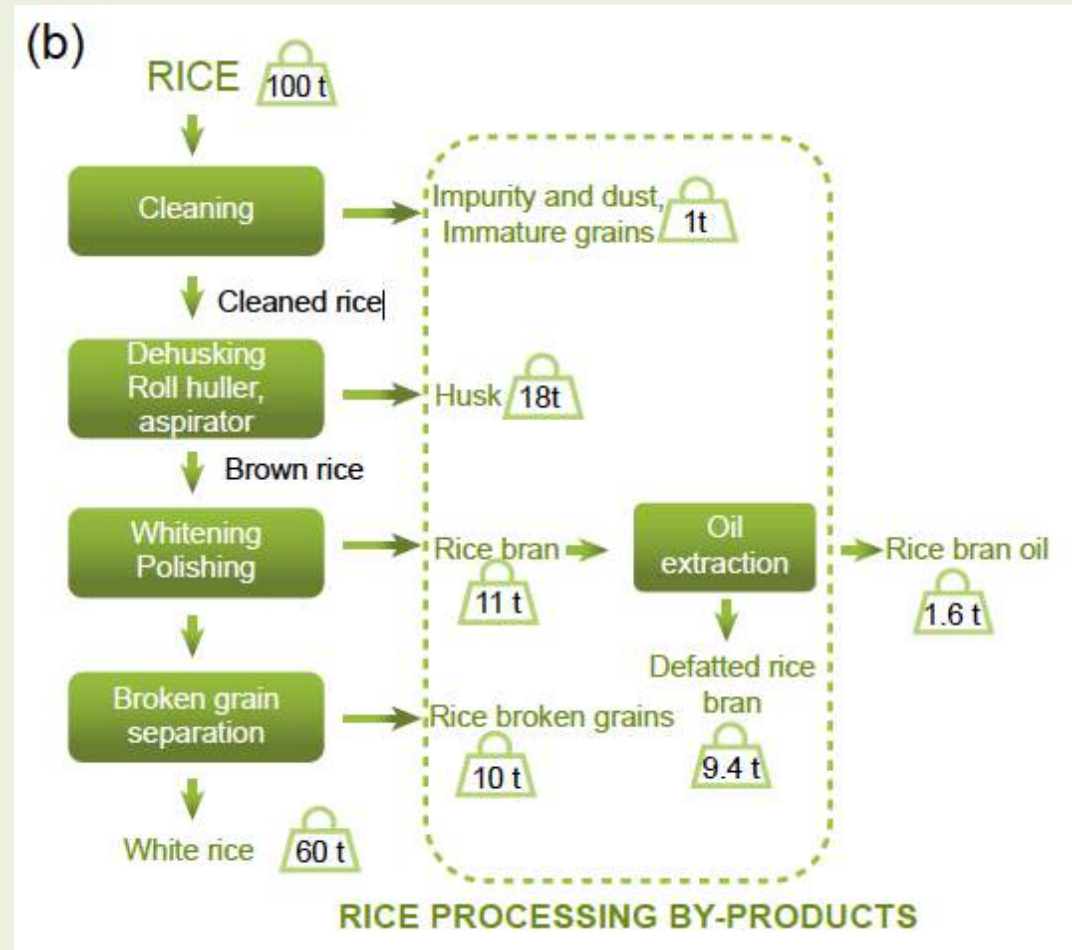
Subprodutos do milho - valorização



Subprodutos do arroz

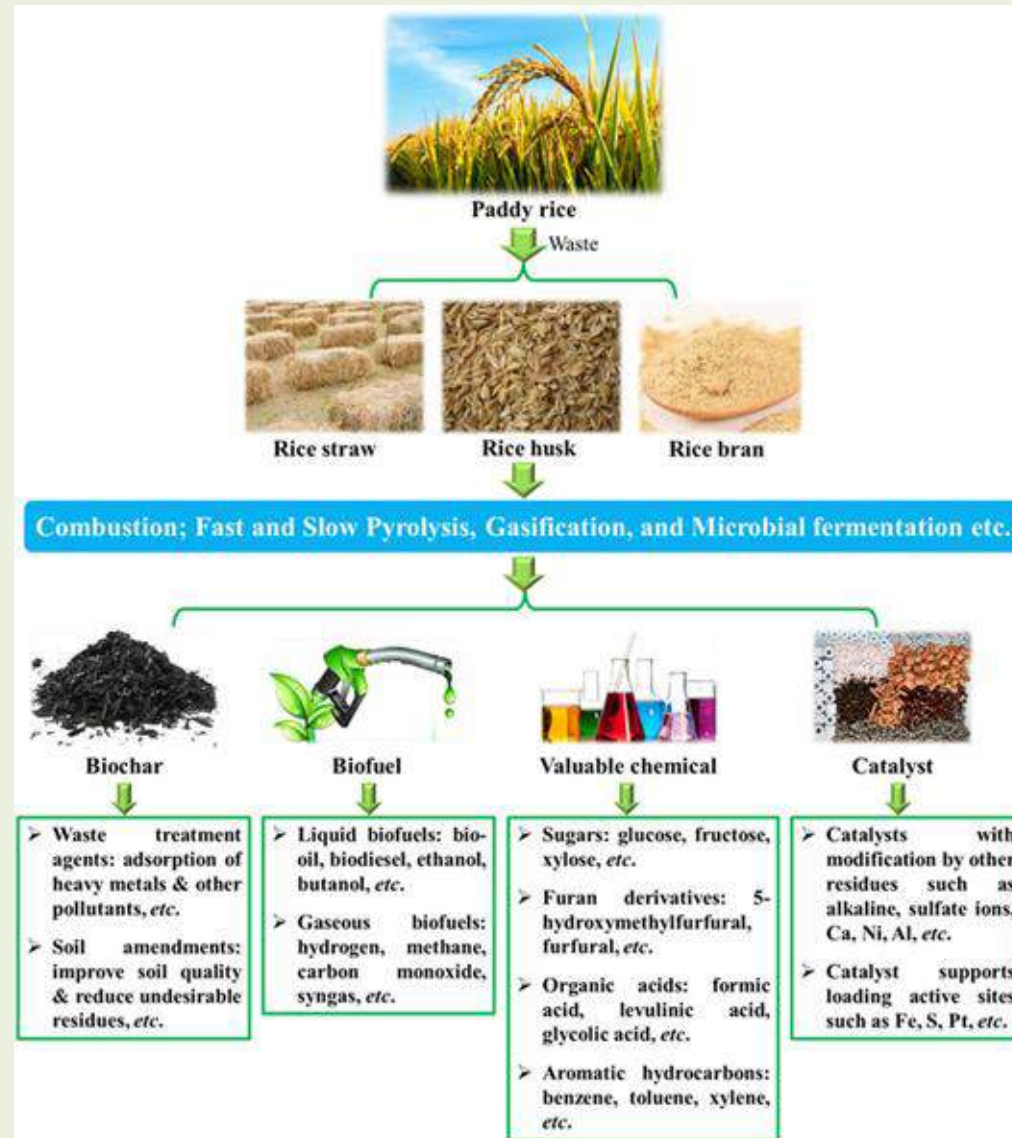
Após a moagem do arroz, obtêm-se os seguintes produtos:

- ✓ Endosperma do arroz ou arroz branco;
- ✓ Casca do arroz;
- ✓ Farelo de arroz;
- ✓ Gérmen de arroz.

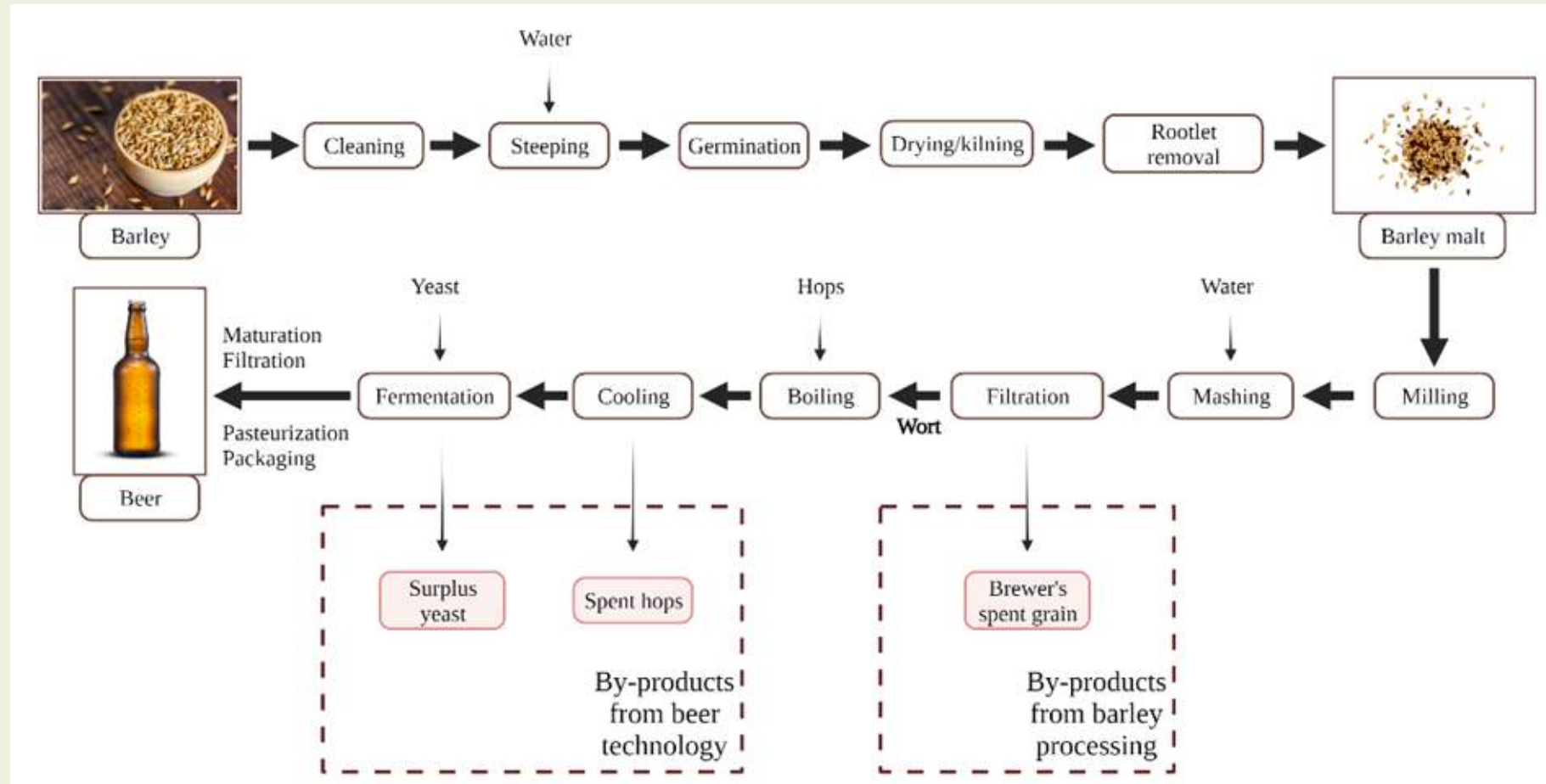


Types of by-products resulted after rice processing (Dapčević-Hadnadev, T, et al., 2018)

Subprodutos do arroz - valorização

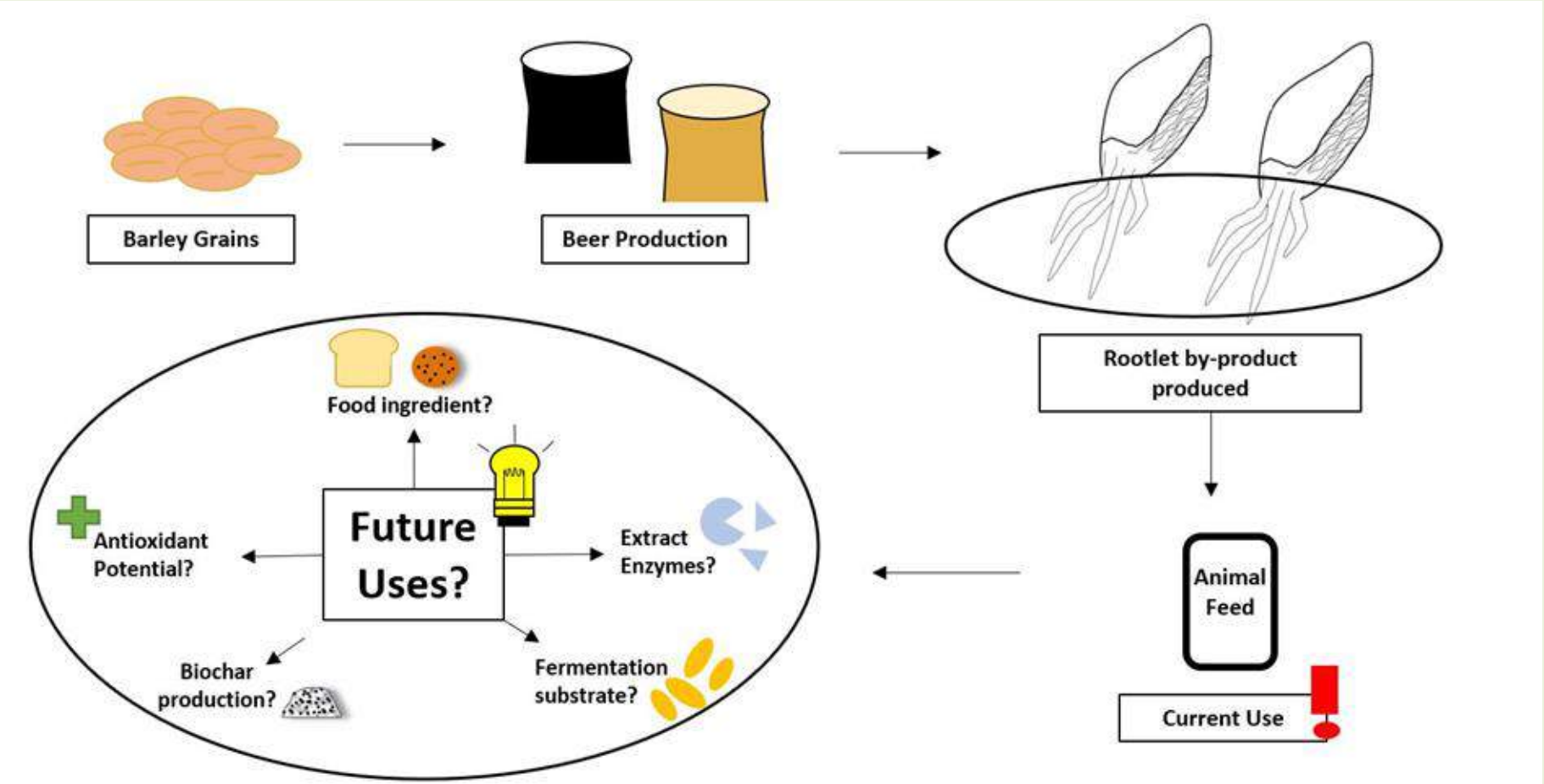


Subprodutos após o processamento da cevada



Types of by-products resulted after barley processing (Farcas, A, et al., 2021)

Subprodutos do grão de cevada - valorização

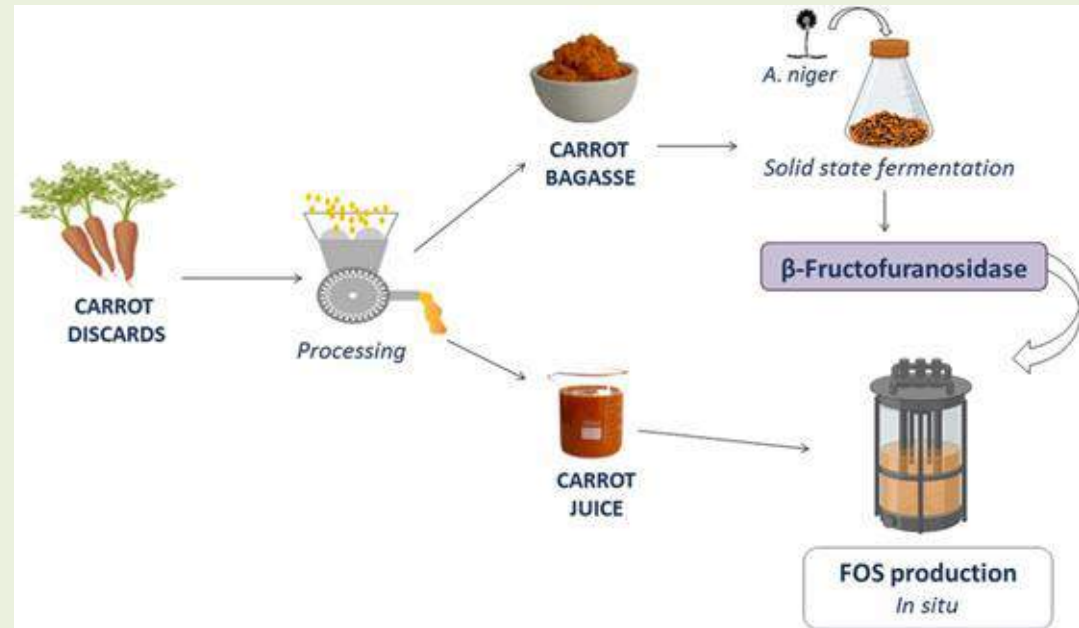


Neylon, E, et al., 2020

<https://doi.org/10.3390/fermentation6040117>

Processamento de Frutas e Legumes

- Principais subprodutos: cascas, polpa, sementes, caules.
- Condições de armazenamento: armazenamento refrigerado para subprodutos perecíveis, Secagem para conservação a longo prazo, Humidade controlada.
- Desafios regulamentares: Regulamentação da gestão de resíduos, Orientações para compostagem e biocombustíveis, Normas de rastreabilidade.

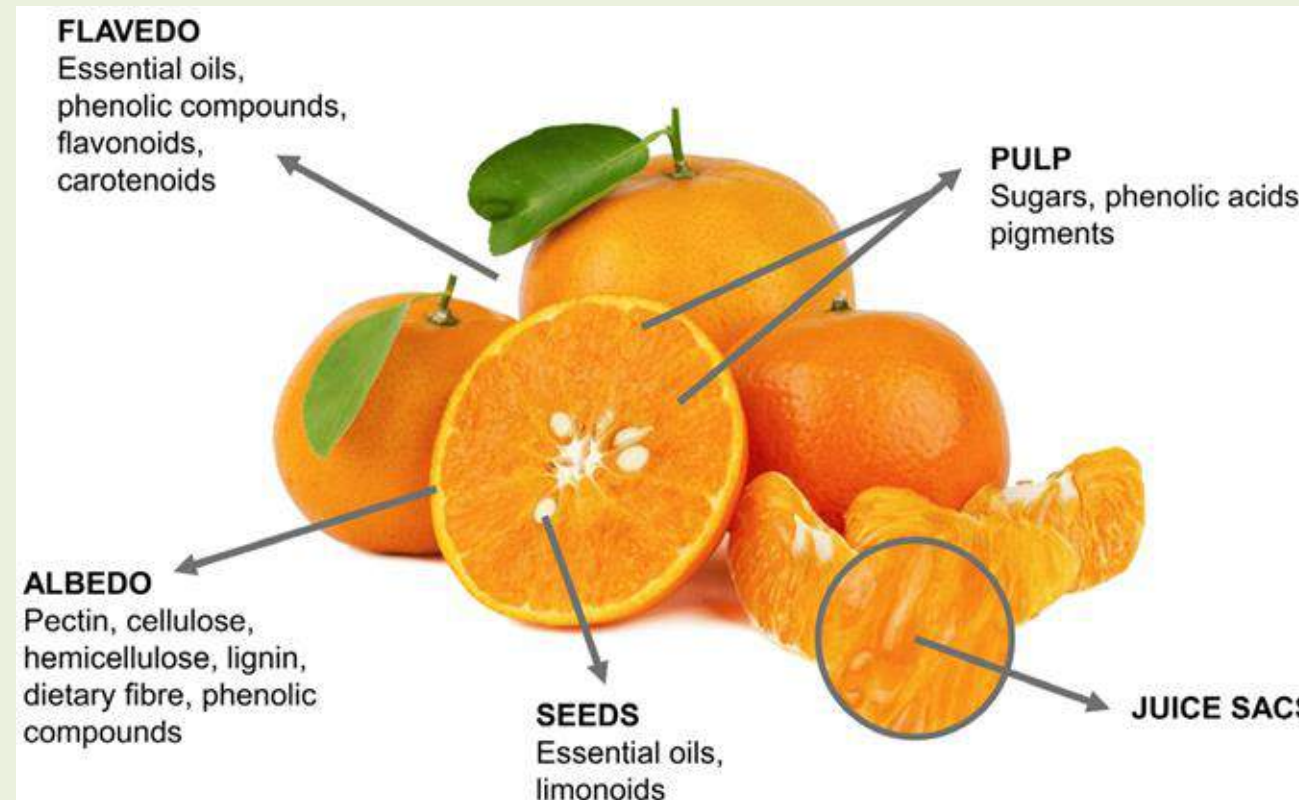


Guerra et al., 2023

<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2023.01.011>



Subprodutos no Processamento de Citrinos



Subprodutos Baseados no Processamento de Citrinos

Solid residues

1

Pulp, peel, seeds, and albedo (the white part of the peel),

2

Origin: Mainly generated after **juice extraction** and during **peeling** and segmenting processes,

3

Potential uses: Source of **dietary fiber, pectin, essential oils, biofuels, flour for animal feed, and composting,**

Liquid residues

Washing wastewater, pressing waters, and juice serum,

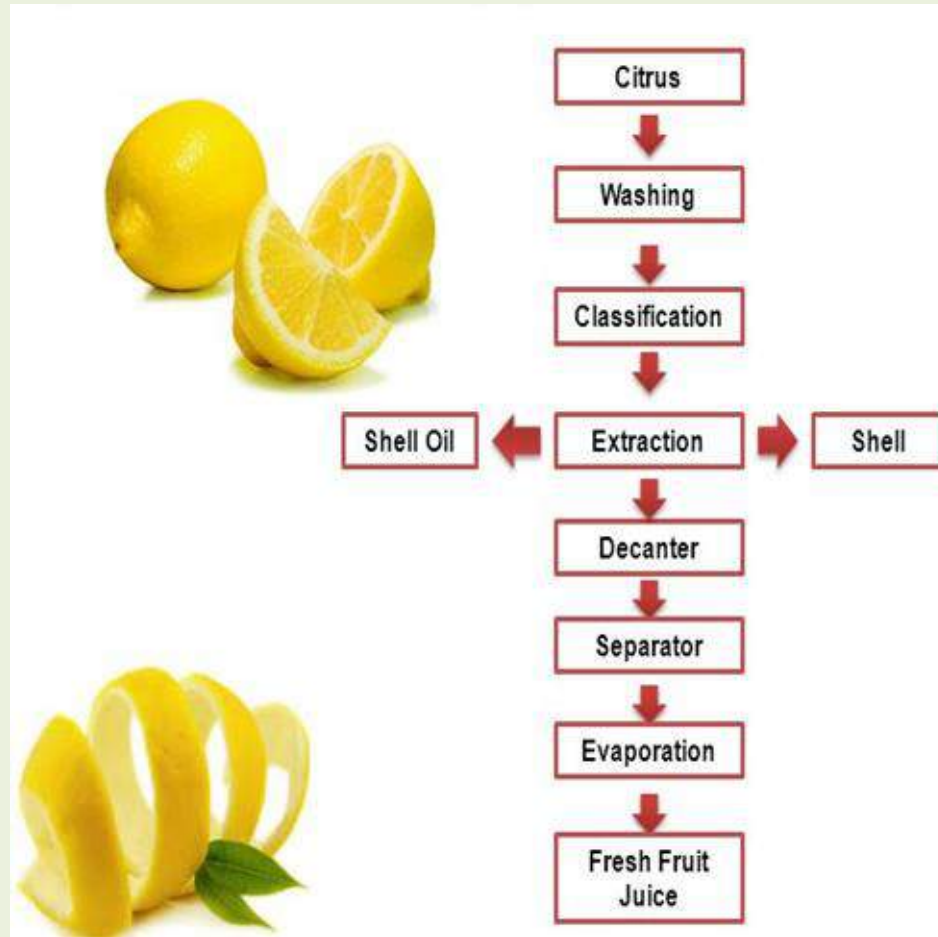
Origin:

• Derived from **juice production, essential oil extraction, and solvent-based extraction processes,**

Potential uses:

• Recovery of **phenolic compounds, antioxidant extraction, fermentation for biogas or bioethanol production, and wastewater treatment,**

Processo de Extração de Sumo



Lavagem e Separação:

Os citrinos são lavados para remover sujeira, pesticidas e contaminantes,

A separação é feita para eliminar frutos danificados ou verdes,

Descascamento e extração:

As frutas são prensadas (para laranjas, toranjas) ou descascadas mecanicamente (para limões, limas),
O sumo é extraído através de prensagem ou métodos centrífugos,

Esta etapa gera resíduos de **polpa e casca**,

Separação e Filtração:

O sumo extraído é filtrado para remover o excesso de polpa,

A polpa restante contém fibras, açúcares e compostos bioativos,

Composição polpa

A **água** (85-90%) dá-lhe uma textura macia e contribui para a sua natureza perecível,

Açúcares (glucose, frutose, sacarose, ~5-10%), proporcionam doçura natural,

Fibra (solúvel e insolúvel, ~5-8%), importante para a saúde intestinal e propriedades prebióticas,

Compostos bioativos:

Flavonoides (hesperidina, naringina), propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias,

Vitaminas (vitamina C, complexo B), essenciais para as funções imunitárias e metabólicas,

Composição Pele

Celulose e Hemicelulose (40-50%), Componentes estruturais, úteis para a produção de fibras,

Pectina (20-30%), Usado como agente gelificante nas indústrias alimentar e farmacêutica,

Óleos Essenciais (~2-5%), Contêm *limoneno*, usado em cosméticos, perfumes e produtos de limpeza,

Compostos fenólicos, Antioxidantes poderosos com benefícios para a saúde.



SEMENTES

Bagaço

Origem: Prensagem e Filtração

Bagasse é o resíduo fibroso que fica após a extração do sumo,

Consiste principalmente em **celulose**, **hemicelulose** e **lignina**, tornando-se uma fonte valiosa de fibra alimentar,



As sementes de citrinos contêm 20-40% de óleo, 5-10% de proteína (aminoácidos essenciais), flavonoides e tocoferóis,

Extração de Óleo de Semente de Citrinos: prensagem a frio, extração com solvente ou extração supercrítica de CO₂

Potenciais Utilizações:

Ração animal: Devido ao seu teor de fibra e hidratos de carbono,

Biocombustíveis: Usados para produzir bioetanol e biogás,

Compostagem e enriquecimento do solo: Fornece matéria orgânica aos solos agrícolas,

Produção de papel e bioplásticos: O seu teor de fibra faz dele uma matéria-prima para embalagens biodegradáveis,

Aplicações industriais:

Cosmética: O óleo de semente de citrinos é usado em produtos de cuidados de pele pelos seus efeitos antioxidantes e hidratantes,

Nutracêuticos: Rico em ácidos gordos ómega-3 e ómega-6, benéfico para a saúde do coração,

Indústria alimentar: Usado como óleo de cozinha ou ingrediente em alimentos funcionais,

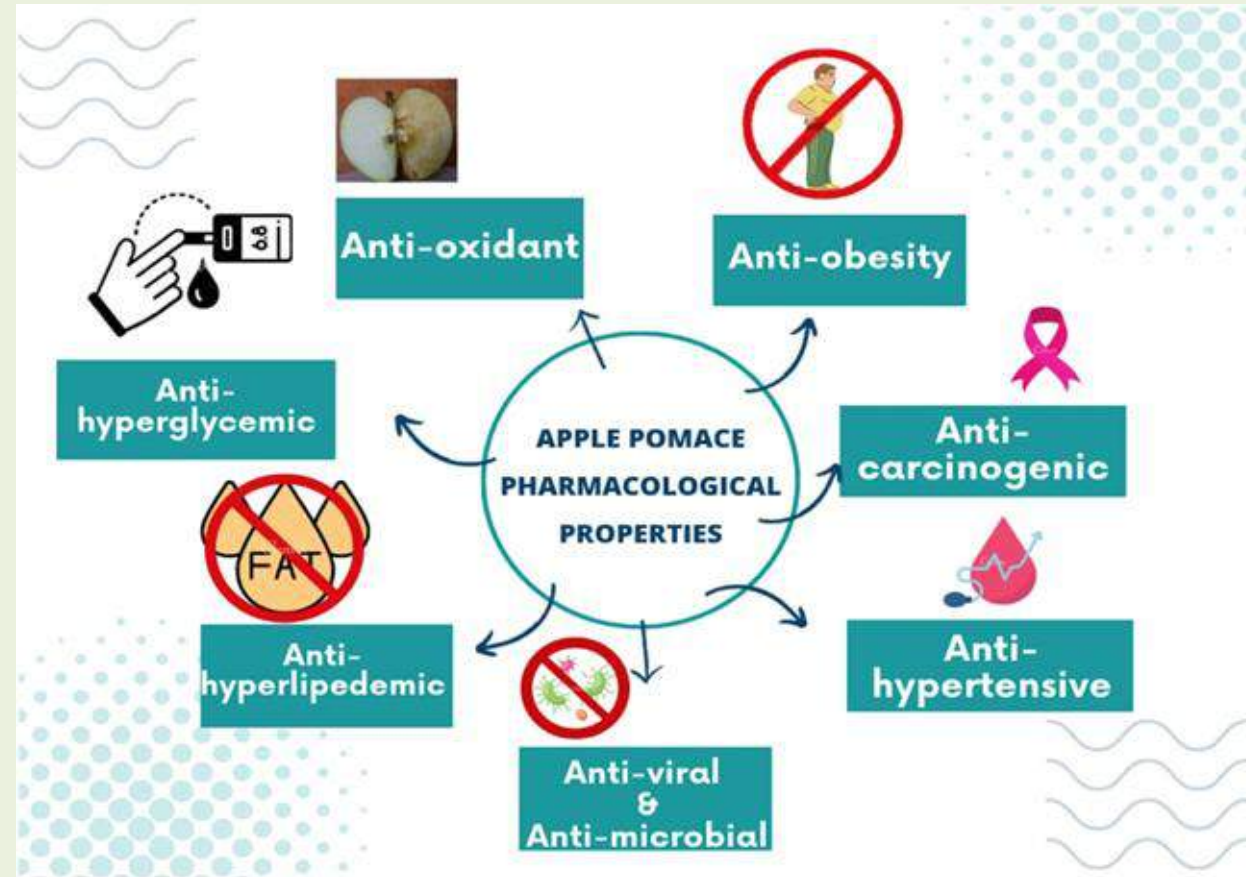
Subprodutos do processamento da maçã

- Apesar da sua importância em termos de consumo, a recuperação de bioprodutos permanece limitada.



Schematic representation of apple juice extraction and processing steps and their main by-products, Fernandez et al., 2024

Subprodutos do processamento da maçã

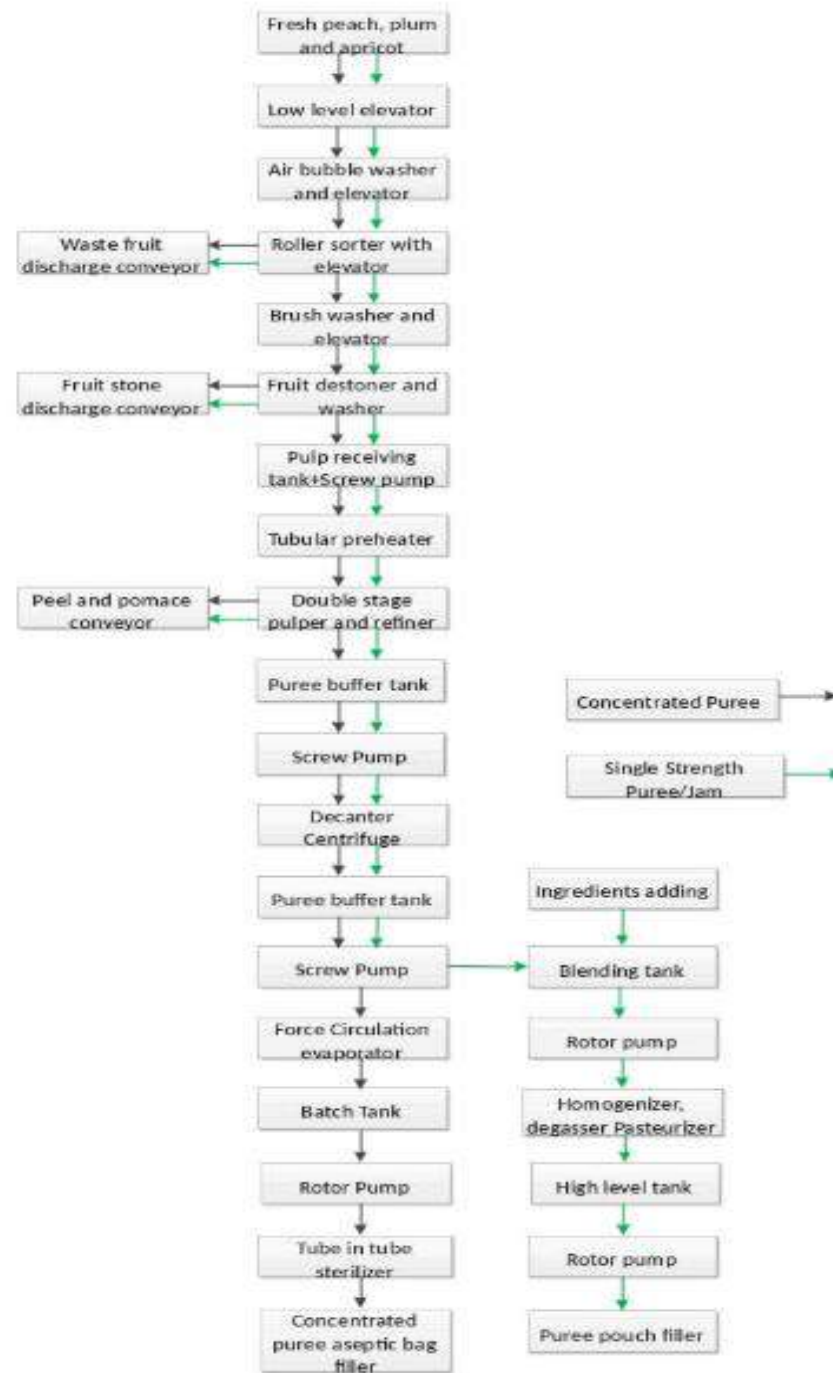


Kauser, et al., 2024,

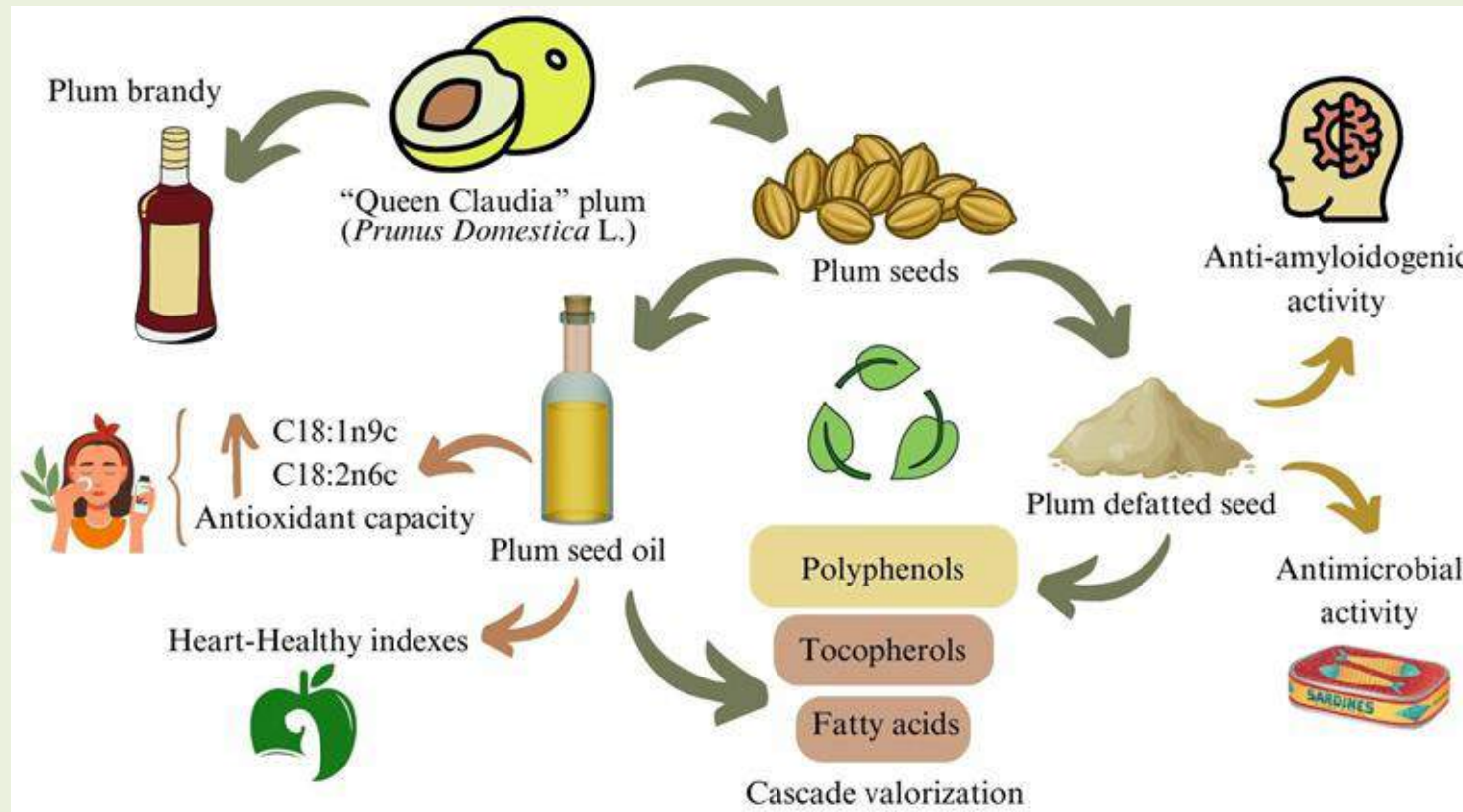
<https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100598>

Subprodutos da ameixa

Durante o processamento industrial de ameixas, são produzidas e descartadas toneladas de **bagaço** (resíduos de bolo de prensagem da indústria do sumo), **sementes** (pedras) e **resíduos de destilaria de aguardente** (polpa/cascas de frutas usadas), Também, durante o processamento em frutos secos, compotas e sumos, são geradas toneladas de caroços de fruta (subprodutos agroindustriais),



Subprodutos das sementes de ameixa



Rodríguez-Blázquez, S et al, 2024,

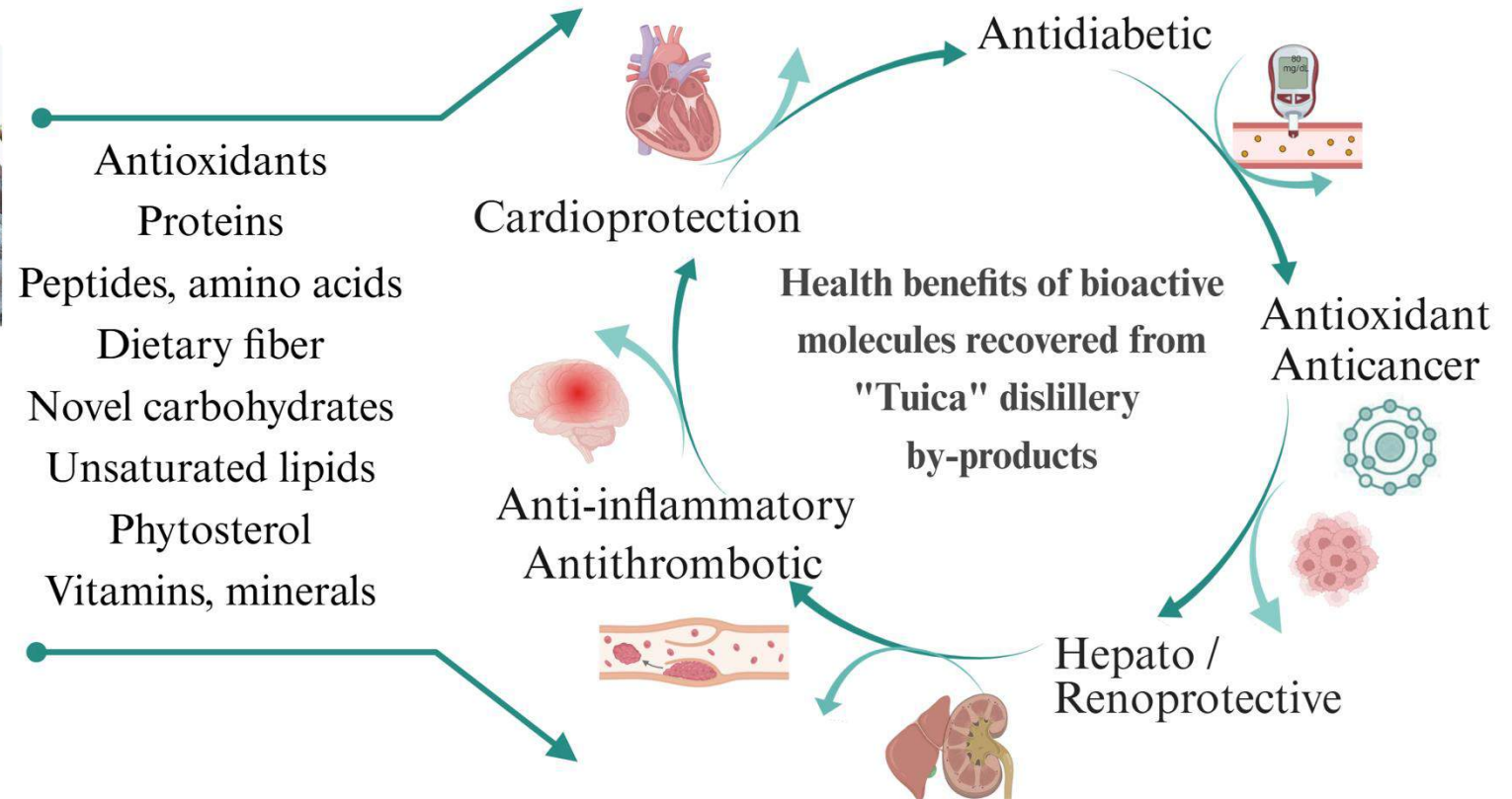
<https://doi.org/10.3390/ijms25021236>

Subprodutos da destilaria "Tuica" – Compostos bioativos

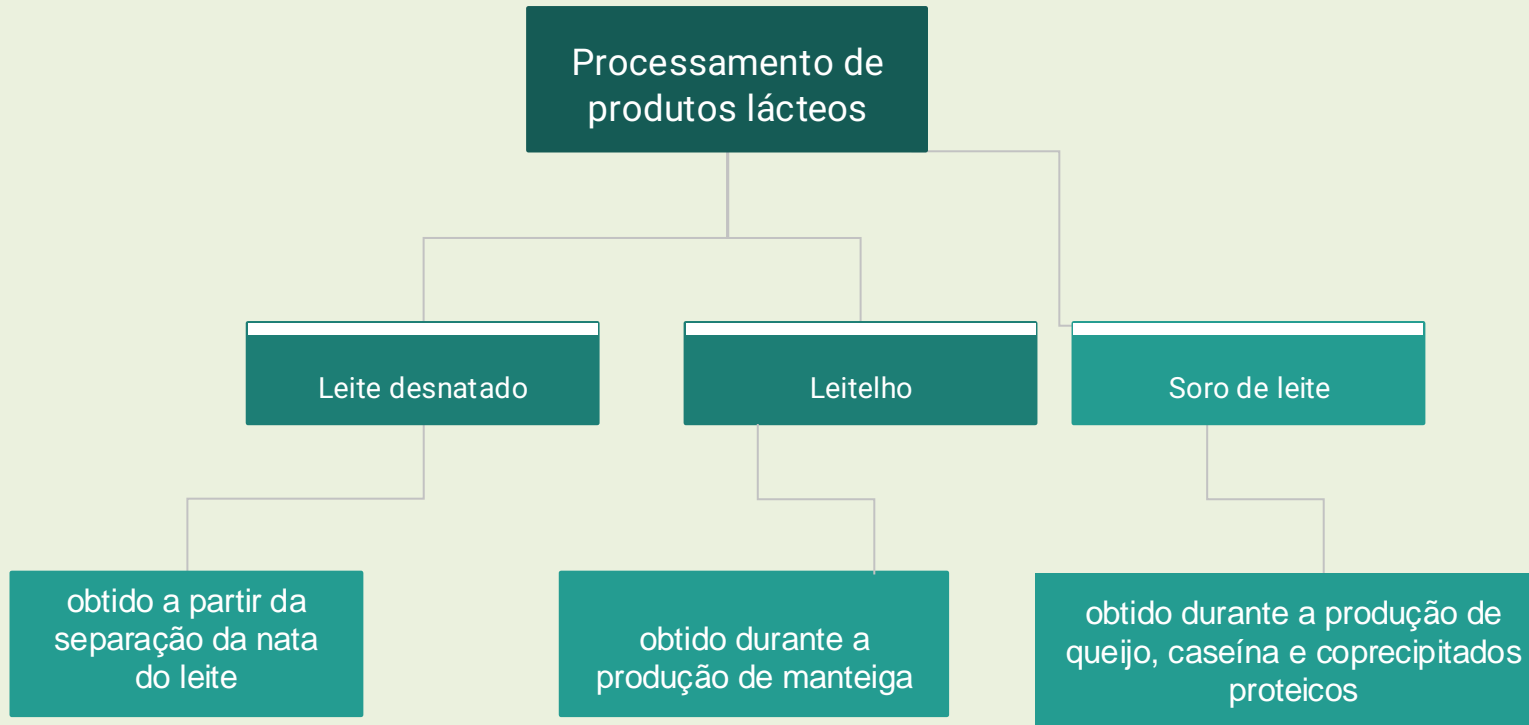


"Tuica" distillery by-products

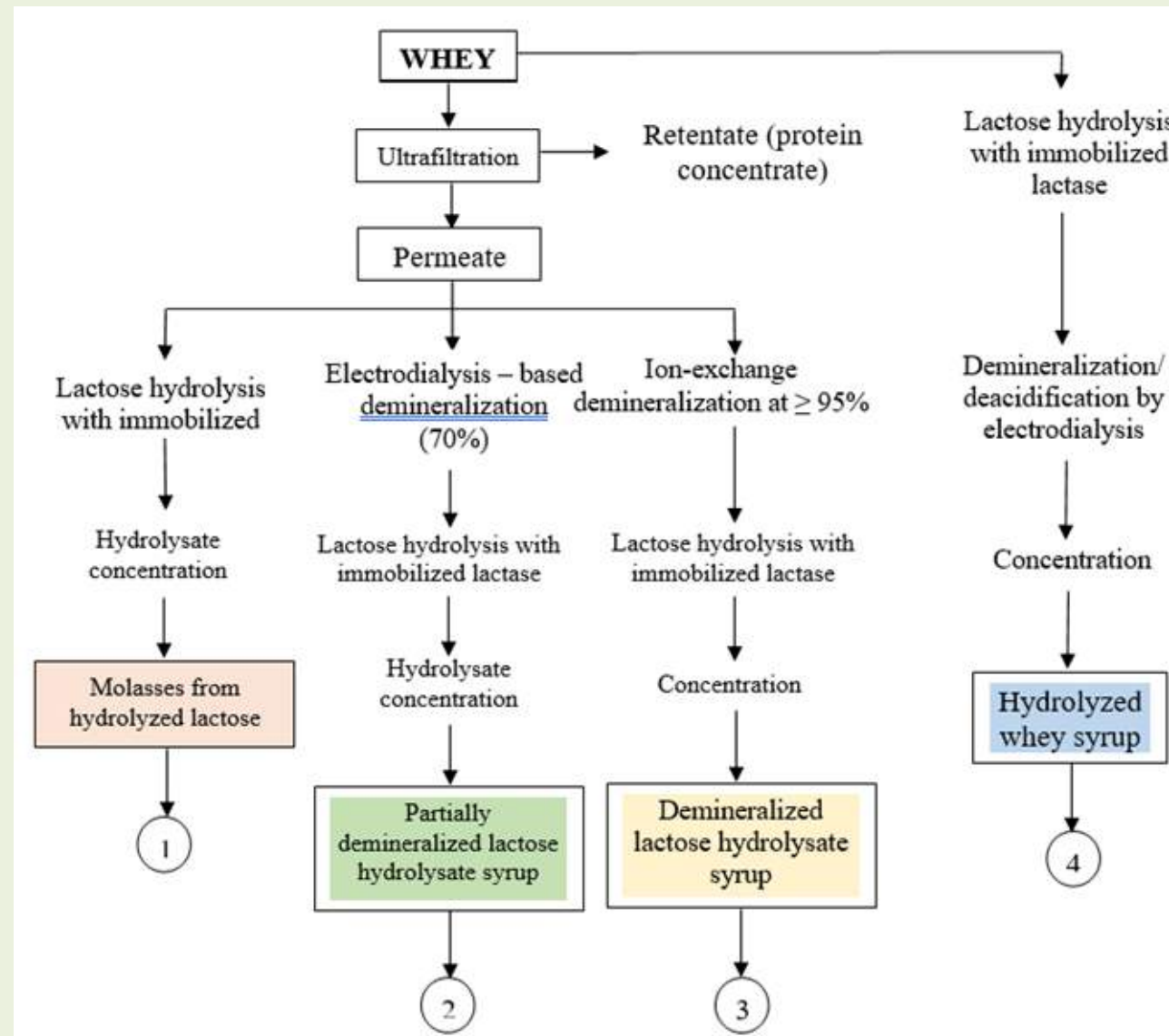
- seeds (stones)
- spent fruit: pulp/peels



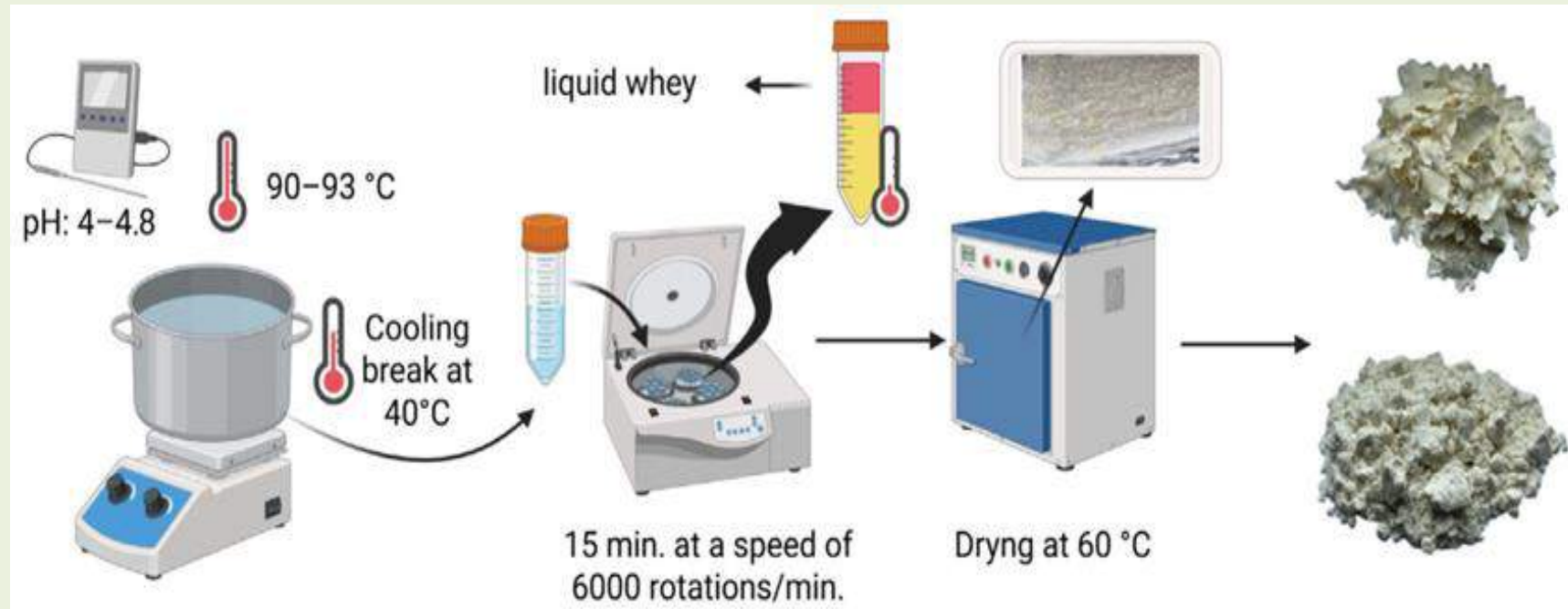
Subprodutos da indústria láctea



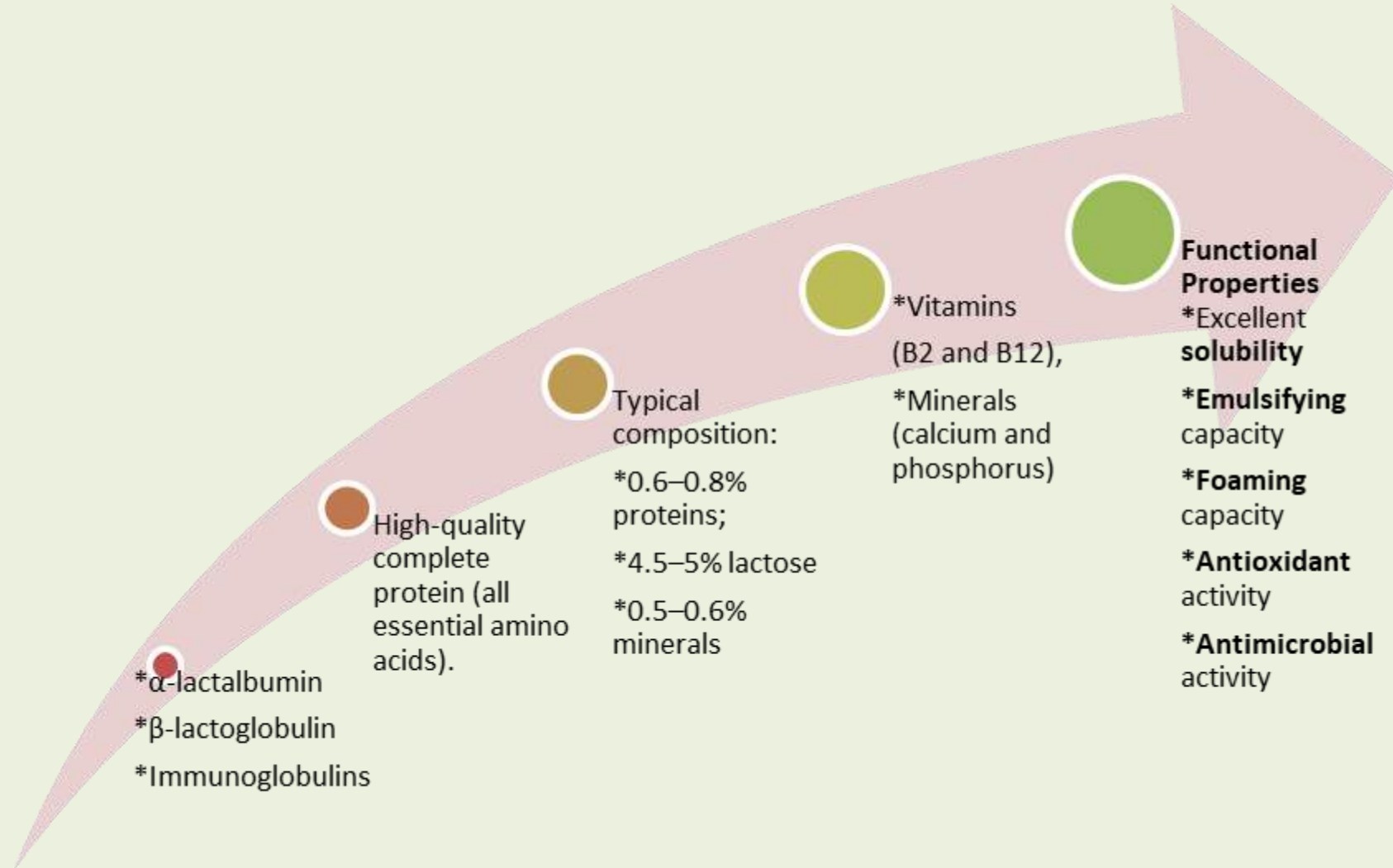
Fluxograma tecnológico do processamento do soro de leite e do permeado



PROCESSAMENTO DO SORO EM PÓ



PROPRIEDADES DO SORO DE LEITE



Características do soro obtido no processamento do leite de vaca

As principais características químicas do soro

Composição (%)	Soro doce	Soro ácido
Água	93 - 94	94 – 95
Matéria seca	6 - 7	5 – 6
Lípidos	0 – 0,3	0 – 0,1
Proteínas	0,8 – 0,1	0,8 – 0,1
Lactose	4,5 – 4,9	3,8 – 4,2
Substâncias minerais	0,5 – 0,7	0,7 – 0,8
Ácido láctico	Vestígios	0,8

Características físico-químicas

- **Densidade (ρ):** 1,023 g/cm³
- **Acidez:** 100 °T
- **Matéria seca:** Mínimo 6,3%

Características microbiológicas

O soro é um meio favorável para o desenvolvimento de vários tipos de microrganismos. Dependendo da origem do soro, os microrganismos presentes podem ser muito diversos. Os mais frequentemente encontrados são: bolores, leveduras, bactérias do ácido láctico, bactérias coliformes e bactérias butíricas,

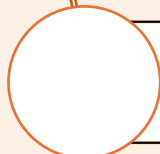
Metodologias para valorizar subprodutos



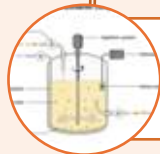
1, Secagem: Esta operação é uma alternativa bem conhecida para obter produtos secos com longa vida útil, reduzindo significativamente as perdas durante os períodos de colheita e diminuindo os custos de tratamento dos resíduos resultantes. Os tipos de secagem utilizados são: secagem convencional em forno, secagem por forno por convecção a ar quente, secagem a vácuo, condicionamento por liofilização, secagem por pulverização,



2, Encapsulamento: é um processo em que um material de núcleo é embalado em material de parede de grau alimentar. As tecnologias de microencapsulamento e encapsulamento referem-se às técnicas utilizadas para aprisionar substâncias sólidas, líquidas ou gasosas dentro de uma matriz de revestimento contínua, formando cápsulas que variam em tamanho desde o micrómetro até ao milímetro,



3, Extração:



4, Fermentação: é um termo de engenharia usado para descrever os processos que utilizam uma alteração química induzida por microrganismos, em particular bactérias, leveduras ou bolores, que produzem um produto específico, geralmente incluindo a aeração potenciadora da proliferação de microrganismos,

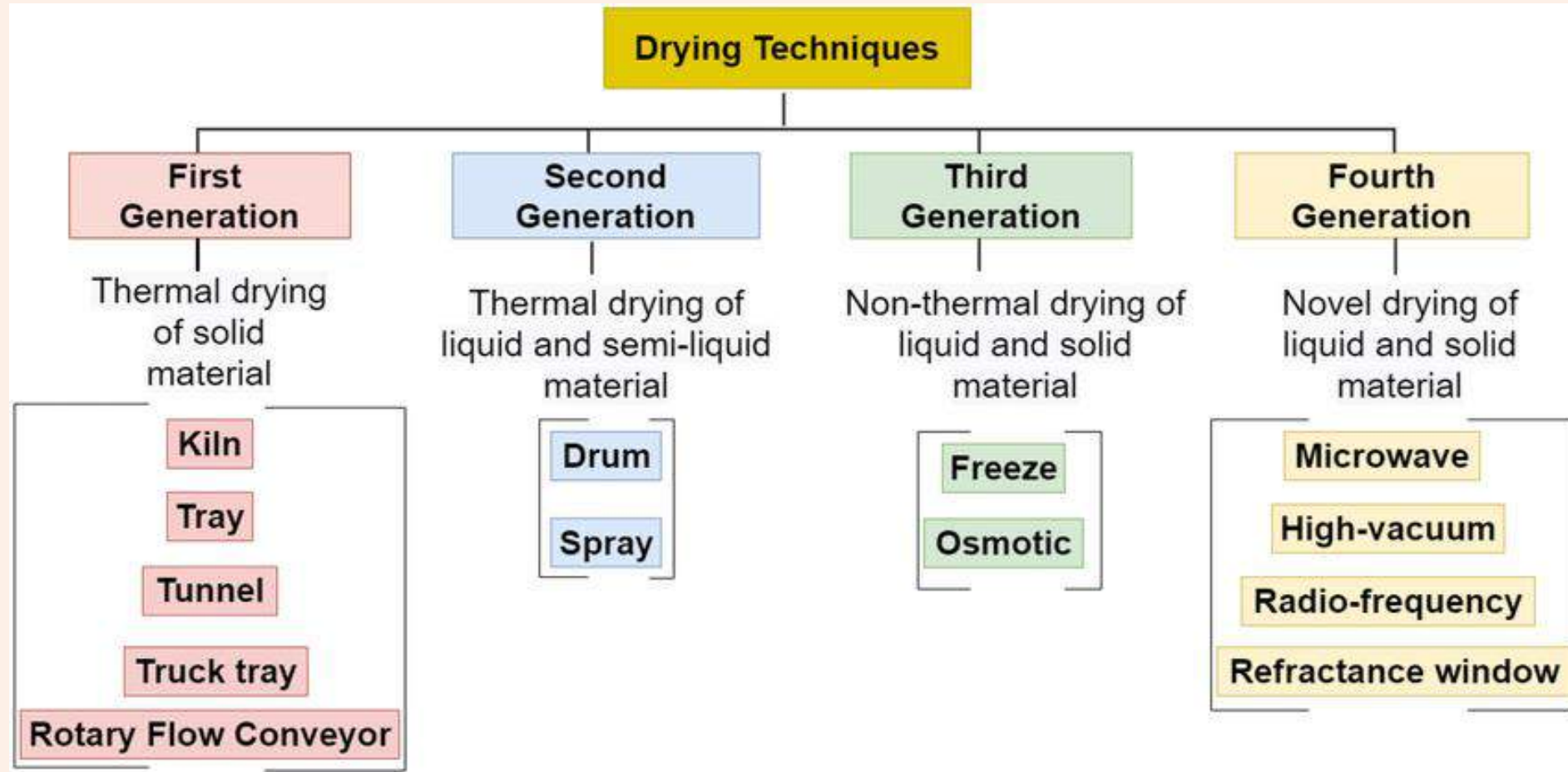


5, extrusão

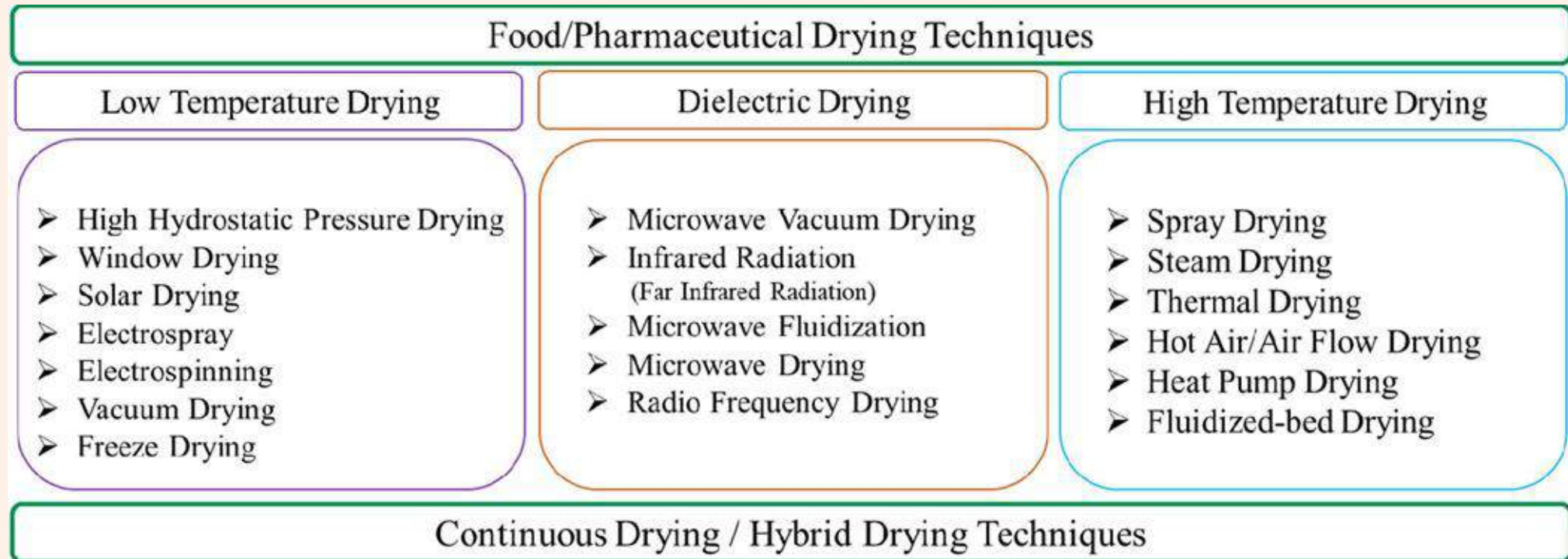


6, Embalagens alimentares: Os resíduos agroindustriais são uma alternativa para o desenvolvimento de materiais de embalagem biodegradáveis, renováveis e sustentáveis para responder à crescente procura de soluções amigas do ambiente no setor alimentar,

1, Técnicas de SECAR: Evolução



Classificação das técnicas de secagem segundo o tipo de sistema de aquecimento:
Mecanismos de secagem baseados em baixas temperaturas, altas temperaturas e dielétricos



Métodos convencionais de secagem



Secagem em tambor

- ✓ É aplicado vapor para aumentar a temperatura interna da superfície do tambor,
- ✓ O material adere aos tambores à medida que é pulverizado e seca no interior,
- ✓ O grau de separação entre os tambores, a pressão do vapor e a taxa de rotação do tambor pode ser modificado para alcançar a saída necessária,



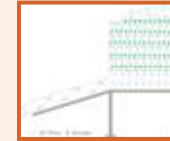
Secagem em estufa

- ✓ Um produto é espalhado em tabuleiros ou prateleiras e sujeito a calor e fluxo de ar controlados para remover a humidade,
- ✓ Limites: processamento em lote, secagem desigual, perda de qualidade, maior necessidade de espaço para instalação de equipamentos, aplicação limitada,



Secagem em estufa de ar

- Usado para produzir pós, frutos secos para serem usados na produção alimentar, na pastelaria ou como ingredientes em vários produtos,
- ✓ Acredita-se que seja um processo bem-sucedido para manter a qualidade e o sabor, ao mesmo tempo que remove a humidade de forma eficiente,
- Limitações** relativamente lento, especialmente para materiais com elevado teor de humidade, demora um tempo considerável. O processo pode ser intensivo em energia para processos de secagem em grande escala e pode levar a maiores níveis de secagem



Secagem solar

- ✓ Utilizado para produtos como legumes, frutas, tabaco, chá, café, fruta, frutos secos, cereais e arroz, necessita de uma energia a baixa temperatura e tem desempenhado um papel vital na vida humana e na tecnologia desde tempos antigos,
- ✓ A secagem solar não depende apenas da energia solar, pode também ser aplicada em combinação com outras fontes de energia, como o combustível,
- Além disso, a secagem solar proporciona maior eficiência de secagem, uniformidade, conservação de energia e menos espaço

Métodos convencionais de secagem



Secagem a vácuo

- ✓ Um método valioso para produzir concentrados e pó secos de alta qualidade, preservando o sabor e o conteúdo nutricional originais,
- ✓ A secagem a vácuo funciona a uma temperatura mais baixa em comparação com a maioria dos métodos de secagem e ajuda na preservação do sabor natural, cor e conteúdo nutricional,
- ✓ A secagem a vácuo ocorre em condições de pressão reduzida, o que resulta na diminuição do ponto de ebulição da água e facilita a evaporação da água a uma temperatura mais baixa, prevenindo danos térmicos ao pó produzido,



Secagem por pulverização

- ✓ É um método mais comum e versátil utilizado para secar produtos líquidos,
- ✓ Vantagens - qualidade de produção, estabilidade na prateleira com sabor e cor preservados
- ✓ As principais características da secagem por pulverização incluem as suas capacidades de secagem rápida, que a tornam adequada para produção em maior escala, controlo do tamanho das partículas do pó seco com base em requisitos específicos, exposição curta ao calor, maior durabilidade e a sua versatilidade para vários produtos, incluindo bebidas instantâneas, aromatizantes e ingredientes na indústria alimentar
- ✓ Etapas: (1) atomização da alimentação de entrada; (2) mistura de gotículas (pulverizando gás, ar/azoto neutro) e humidade livre/revestida; (3) pulverizar a mistura, o ar e a gota até ao bico; e (4) recuperação de produto



Liofilização

- A liofilização é um processo de secagem utilizado para remover a humidade, preservando a sua estrutura, sabor e conteúdo nutricional e bioativo através do processo de sublimação,
- ✓ **Este método é conveniente para aplicações industriais,**
 - ✓ **Vantagens** – conservação de qualidade, maior estabilidade em prateleira, melhor capacidade de reidratação, baixa densidade de volume e menos hipóteses de contaminação microbiana,
 - **Limitação:** O custo de equipamentos e processamento, tempo, consumo de energia, complexidade do equipamento, etc., são alguns dos fatores para a utilização da liofilização a nível industrial de pequena escala
 - Trata-se de um processo em três etapas, incluindo congelação (entre -70 e -80°C de modo que todos os componentes tenham uma estrutura de gelo cristalino), primária (remove por sublimação a água da solução) e secagem secundária (remove a água restante, ligada a um hidrato cristalino ou a um sólido amorfo),



Secagem em leito fluidizado

- Depende da fluidização da amostra. Funciona através da alimentação contínua de partículas húmidas em contacto com uma superfície quente ou ar quente soprado para manter o material fluidizado. A secagem fluidizada em leito é utilizada nas indústrias alimentar, farmacêutica e química para secar pós húmidos e cápsulas/partículas sólidas.
- ✓ O secador de leito fluido proporciona transferência eficiente de calor e massa, tempo de secagem curto, elevada taxa de secagem, elevada eficiência e condensação uniforme,
 - ✓ As unidades de operação requerem elevada potência térmica, elevada taxa de fluxo de gás fluidizante e elevada taxa de transporte de sólidos para e para o secador,

Métodos inovadores de secagem e vantagens



Secagem por atomização seguida de liofilização

- ✓É um método inovador e avançado de secagem utilizado para preservar as características e a qualidade de diversos materiais, incluindo pós, produtos farmacêuticos e biomateriais,
- ✓Este processo combina os princípios da secagem por atomização e da liofilização, permitindo uma secagem rápida, mantendo simultaneamente a integridade dos materiais secos,
- ✓As vantagens em relação aos métodos convencionais de secagem incluem o congelamento rápido do pó atomizado, a minimização da exposição ao calor, uma maior capacidade de reidratação, baixa densidade aparente e baixo peso, tornando-o adequado para armazenamento e transporte, além de reduzir o risco de contaminação microbiana e de danos oxidativos, preservando a cor, a textura, os componentes nutricionais e bioativos.



Secagem assistida por campo elétrico pulsado (PEF)

- ✓Envolve a aplicação de impulsos de alta tensão ao alimento colocado entre dois eletrodos. A secagem por PEF é considerada uma técnica inovadora de secagem que combina a tecnologia de campo elétrico pulsado com o processo de secagem. Os impulsos elétricos provocam a permeabilização da membrana celular, permitindo que a água intracelular se liberte e seja posteriormente removida, principalmente através de secagem por atomização ou liofilização
- ✓Vantagens: ajuda a preservar o sabor, a cor e os componentes nutricionais e bioativos, ao minimizar a exposição ao calor durante o processo de secagem. Além disso, acelera o processo de secagem ao aumentar a mobilidade da água intracelular, o que pode reduzir significativamente o tempo de secagem.



Secagem por micro-ondas

- É uma técnica inovadora de secagem que utiliza energia de micro-ondas para remover a humidade das matrizes alimentares, preservando a sua qualidade e características. Quando o alimento é exposto às micro-ondas, as ondas eletromagnéticas penetram na matriz alimentar e geram calor, resultando na vaporização da água
- ✓Utiliza equipamentos elétricos não convencionais com frequência na gama de 10^8 – 10^{10} Hz. O mecanismo de aquecimento por micro-ondas (MW), também conhecido como aquecimento volumétrico, gera calor em todo o material através da conversão de energia em calor quando a frequência das micro-ondas interage com o material,
- Vantagens: permite uma secagem rápida e eficiente, tornando-se adequada para processos de produção de alta velocidade. As micro-ondas proporcionam um aquecimento uniforme e controlado.



Secagem por micro-ondas sob vácuo

- ✓Na técnica de secagem por micro-ondas sob vácuo, são utilizadas micro-ondas com radiofrequências entre 300 e 30 000 MHz como fonte de calor, em substituição dos sistemas convencionais de aquecimento,
- ✓As micro-ondas (MW) fornecem energia uniforme em todo o material e no solvente, devido à vaporização da humidade nas camadas internas dos poros do material. Além disso, a secagem por micro-ondas sob vácuo pode ser cerca de 50% mais rápida e eficiente, devido à combinação com a secagem sob vácuo (vácuo de alta pressão), que facilita a remoção da humidade
- ✓Vantagens: proporciona produtos com textura homogênea e de elevada qualidade, mantendo a composição química do material, em comparação com a secagem convencional sob vácuo. Além disso, a secagem por micro-ondas sob vácuo (VMW) tem sido utilizada mais recentemente na indústria alimentar para funções de aquecimento, extração, secagem e esterilização,

Métodos inovadores de secagem e vantagens



Secagem por radiação infravermelha

- ✓ Os comprimentos de onda IR, cerca de 1–6 μm , interagem com a camada interna do produto, promovendo o aumento da temperatura e, conseqüentemente, a evaporação da humidade
- ✓ A radiação infravermelha distante (FIR), devido à sua capacidade de proporcionar uma distribuição uniforme do aquecimento, tem sido aplicada como uma opção de secagem
- ✓ Deve ter-se em consideração que a secagem por infravermelhos distantes (FIR) é mais rápida do que a secagem por ar quente, mais dispendiosa e energeticamente mais exigente do que a liofilização, e apresenta uma taxa de secagem superior em comparação com as técnicas convencionais de secagem,
A técnica de secagem por infravermelhos distantes (FIR) é utilizada em substituição das técnicas convencionais de secagem nas indústrias farmacêutica e alimentar, especialmente no processamento de frutas, hortícolas e carne, devido ao menor consumo energético e à maior rapidez do processo



Secagem hidrotérmica por condução

- É um processo inovador de secagem que transmite calor diretamente de uma superfície aquecida para o material. O material retém o calor, aumentando a temperatura interna e provocando a evaporação da humidade,
- ✓ A secagem por CHD envolve a distribuição uniforme do material sobre uma correia transportadora de plástico transparente e resistente ao calor, sendo posteriormente exposto à radiação infravermelha com um comprimento de onda específico. Este processo permite uma penetração e aquecimento eficientes, sem sobreaquecimento ou danos ao produto,
- ✓ O aquecimento contínuo provoca a evaporação da água, originando pó seco. Os pós obtidos por CHD apresentam características-chave, como a preservação da qualidade, eficiência energética, redução da oxidação, possibilidade de personalização e higiene.



Secagem com fluido supercrítico

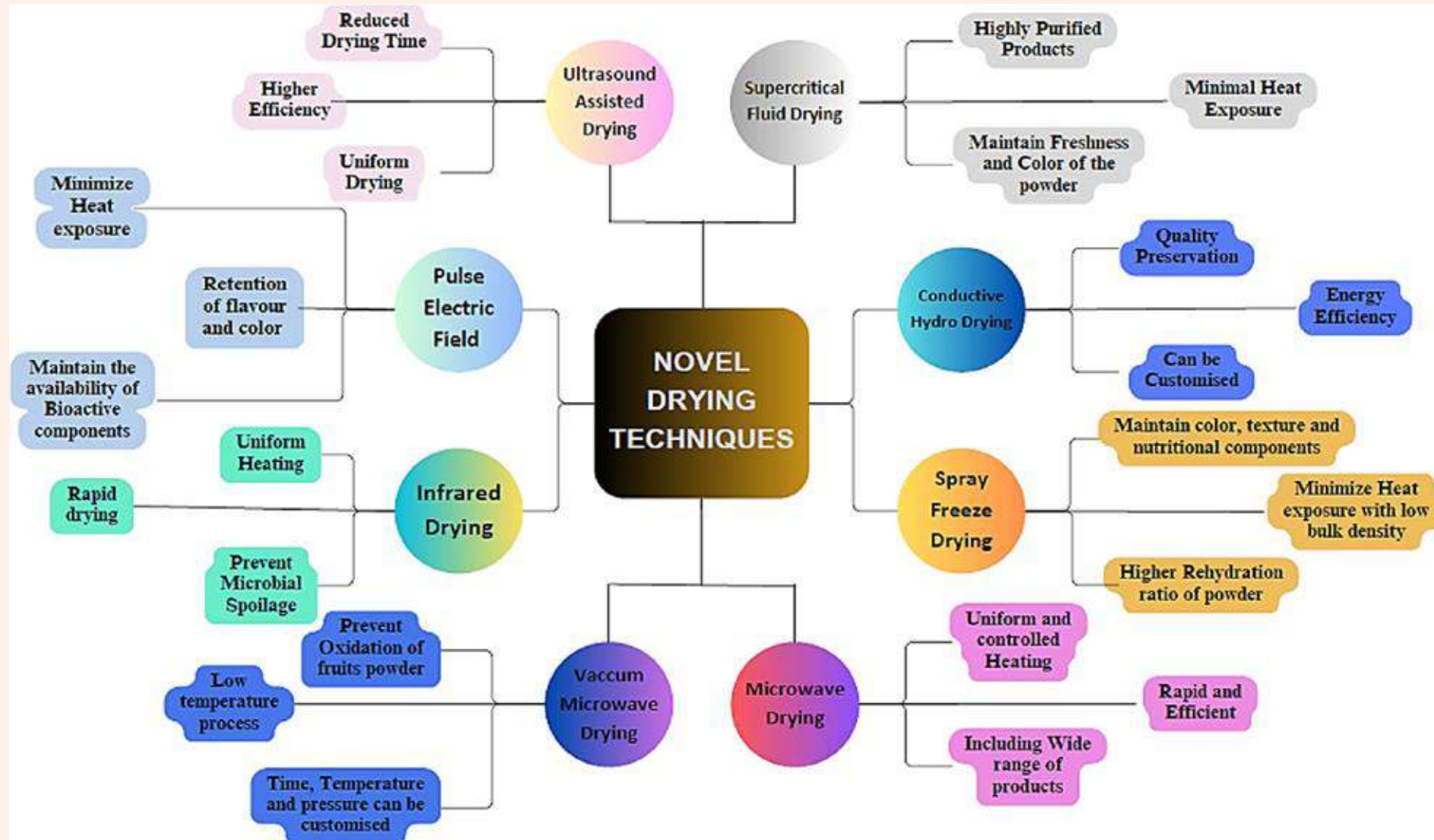
A secagem com fluido supercrítico é também considerada um método revolucionário de secagem para a produção de pós. Apresenta múltiplas aplicações, incluindo a produção de sumos de fruta em pó para bebidas instantâneas, fabrico de alimentos e suplementos alimentares. O CO_2 é utilizado como fluido supercrítico, apresentando propriedades de líquido e de gás a pressões e temperaturas específicas. A temperatura e a pressão são controladas para expandir o fluido supercrítico, resultando na precipitação dos componentes e na separação do CO_2 do pó seco. O CO_2 é naturalmente não tóxico, tornando esta técnica ideal para a obtenção de produtos de elevada pureza. A exposição mínima ao calor reduz a oxidação, mantendo a frescura e a cor do pó.



Fluidização por micro-ondas

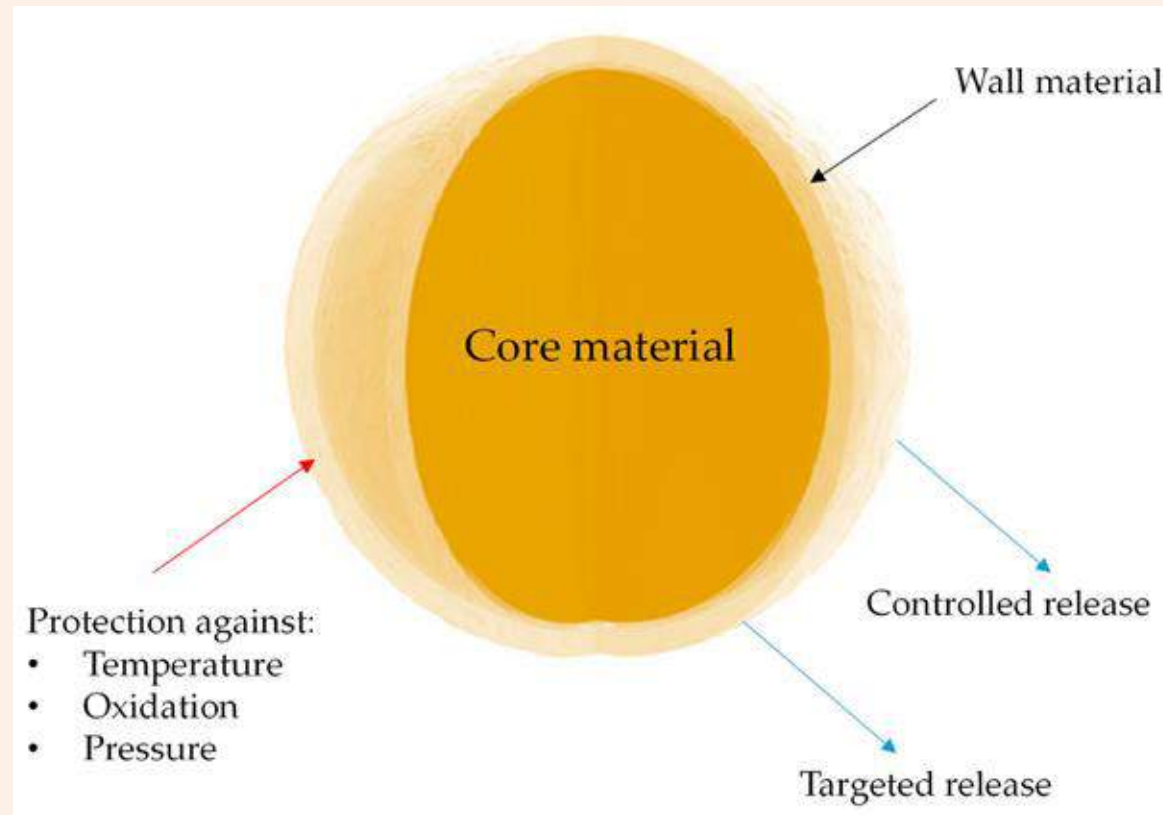
- ✓ Utiliza micro-ondas (MW) em vez de geradores de calor tradicionais em secadores de leite fluidizado. A radiação eletromagnética constitui a fonte de energia, originando vibração interna (energia) que aquece o material e promove a migração da humidade do interior para o exterior.
- ✓ A temperatura de secagem é semelhante à da secagem por ar quente, mas o processo ocorre mais rapidamente, resultando numa secagem mais rápida.,
- ✓ A tecnologia de fluidização por micro-ondas (MW) é considerada uma técnica eficaz, segura e prática para a secagem de frutas e hortícolas frescos, bem como para melhorar a uniformidade das amostras e a eficiência do processo de secagem
A secagem em leite jorrante por ar quente assistida por micro-ondas, a secagem por micro-ondas sob vácuo em leite jorrante com pulsos de ar comprimido e a secagem por fluidização por micro-ondas com vibração mecânica foram reportadas como técnicas modificadas de secagem por fluidização assistida por micro-ondas (técnicas combinadas).

Vantagens de utilizar métodos inovadores de secagem na produção de pó

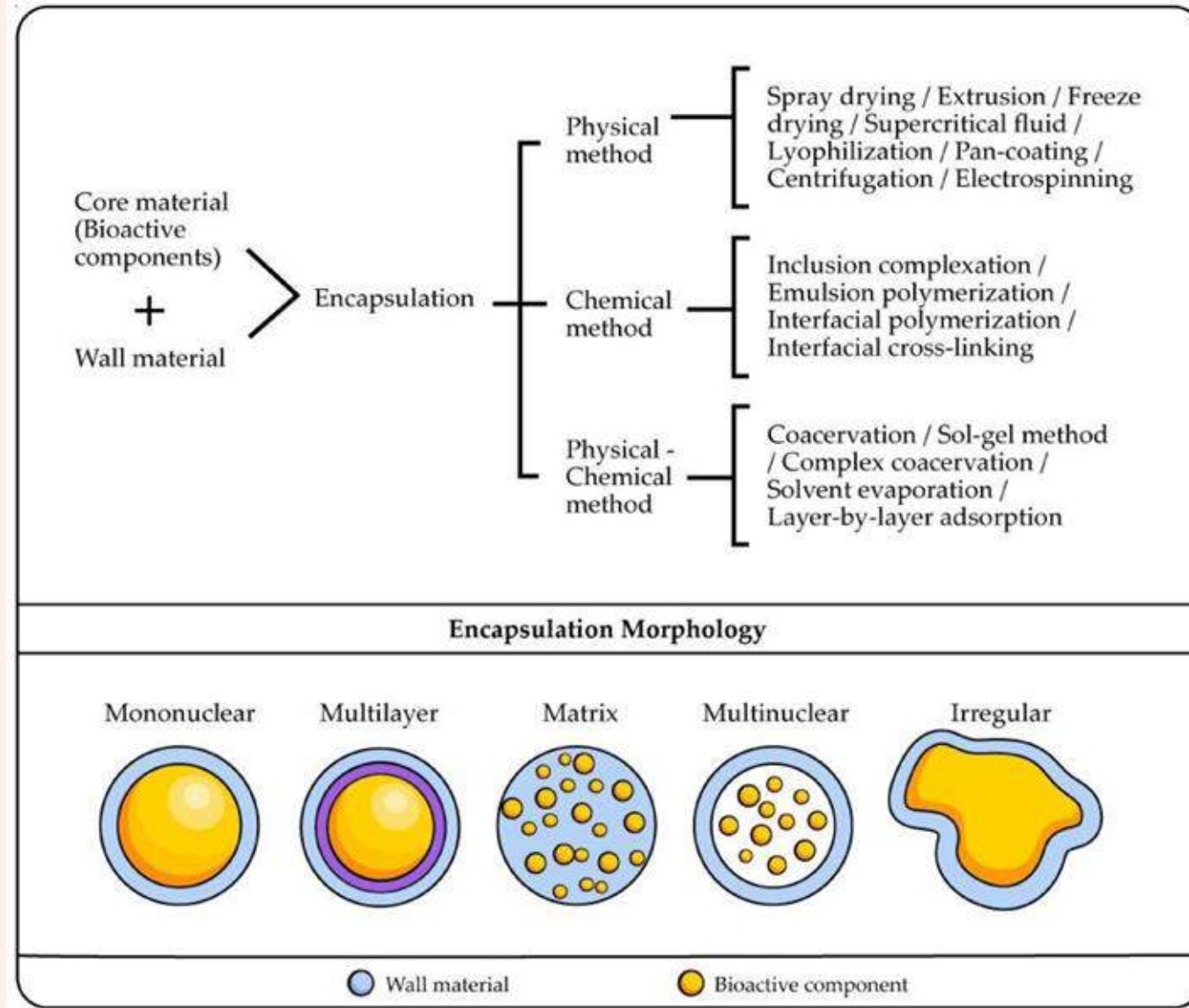


2, ENCAPSULAMENTO para subprodutos

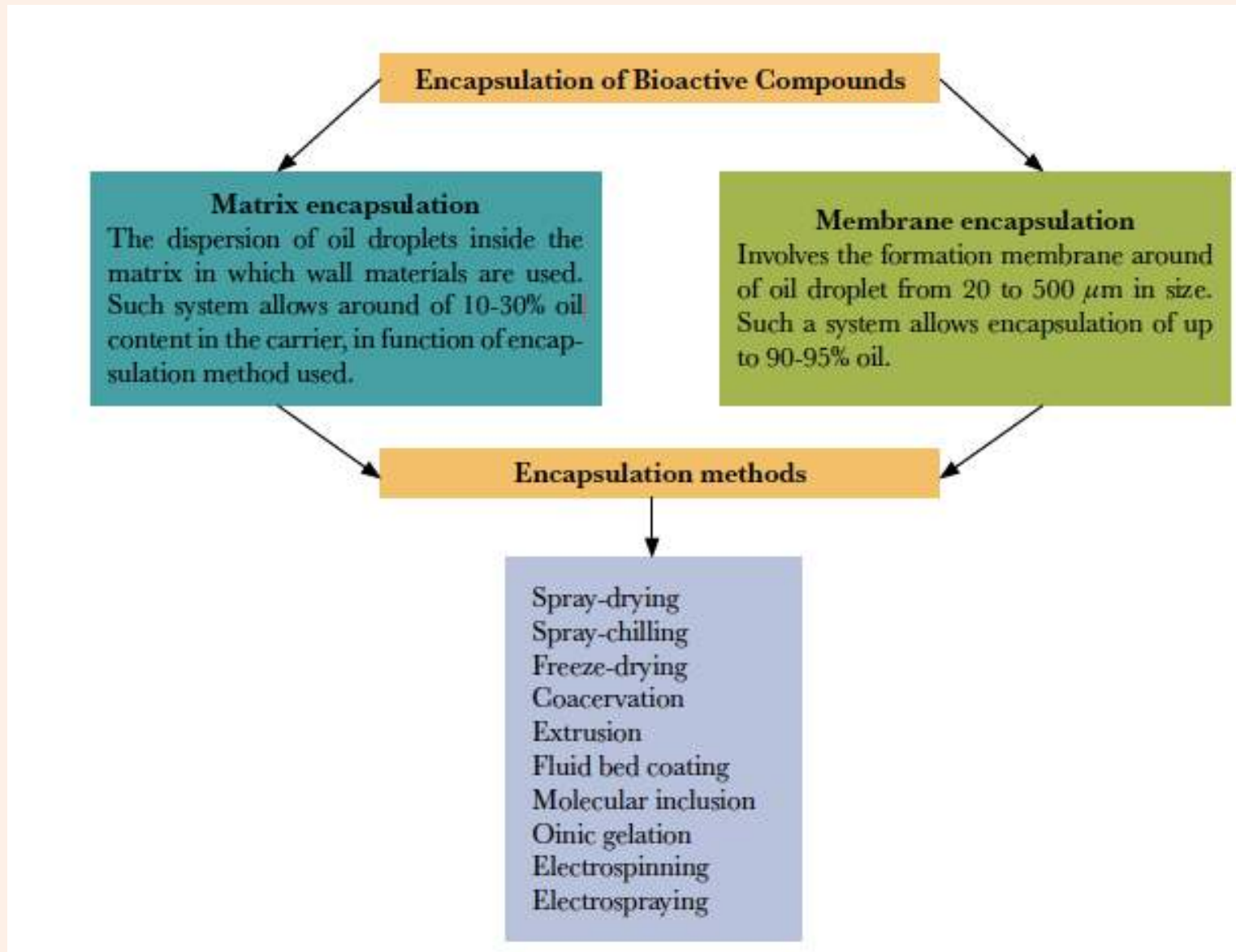
Conceito básico de microencapsulamento para compostos bioativos

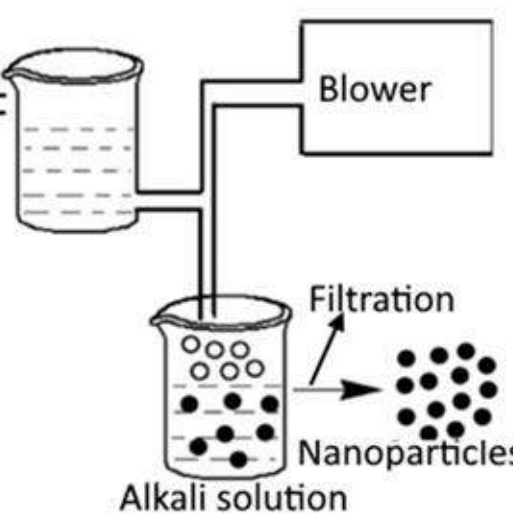
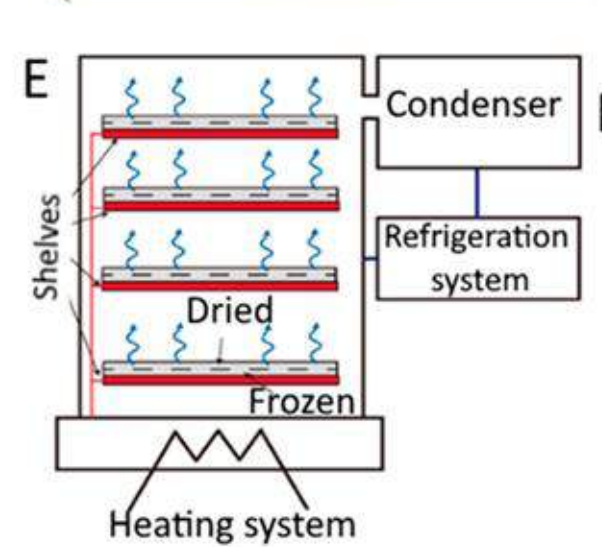
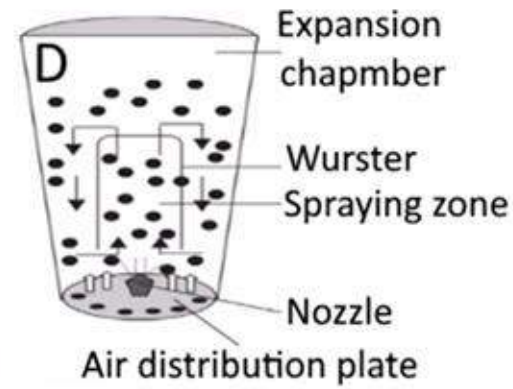
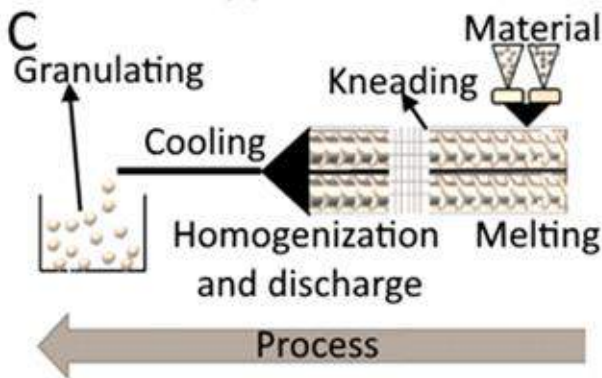
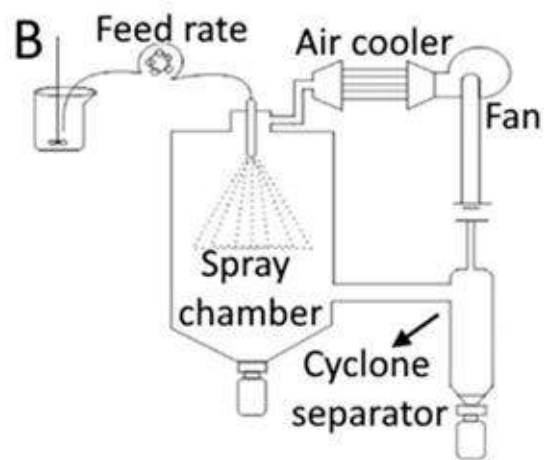
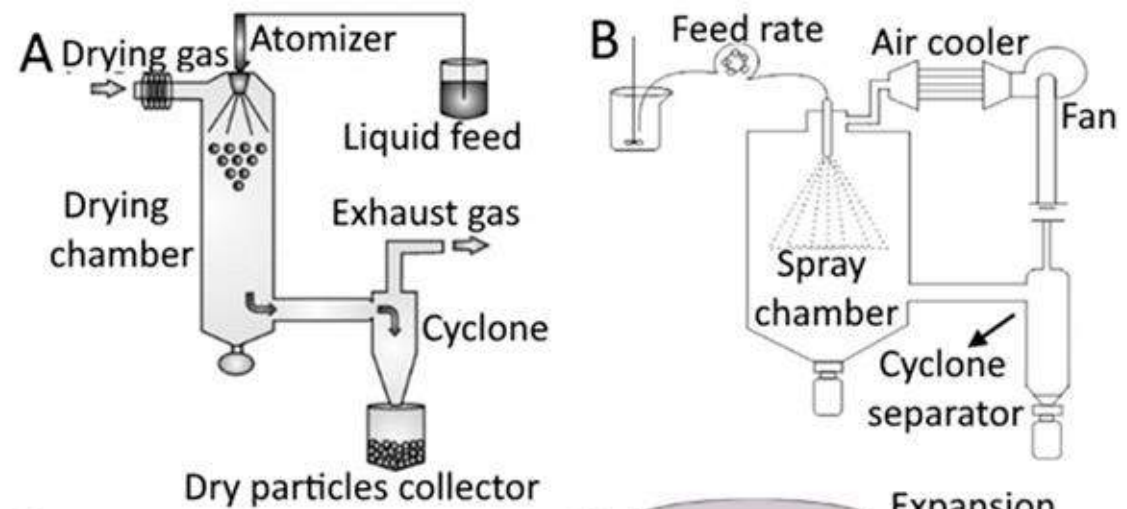


Classificação geral da encapsulação



Métodos de encapsulamento





Métodos para encapsulamento

- A. Secagem por atomização
- B. Arrefecimento por atomização
- C. Extrusão
- D. Revestimento em leito fluidizado
- E. Liofilização
- F. Coacervação

MICROENCAPSULATION

MEAT

Preservatives, fat replacement, sensory improvement, functional food



MILK

Sensory improvement, functional food, preservatives



FRUITS

Functional food (probiotics and prebiotics), sensory improvement



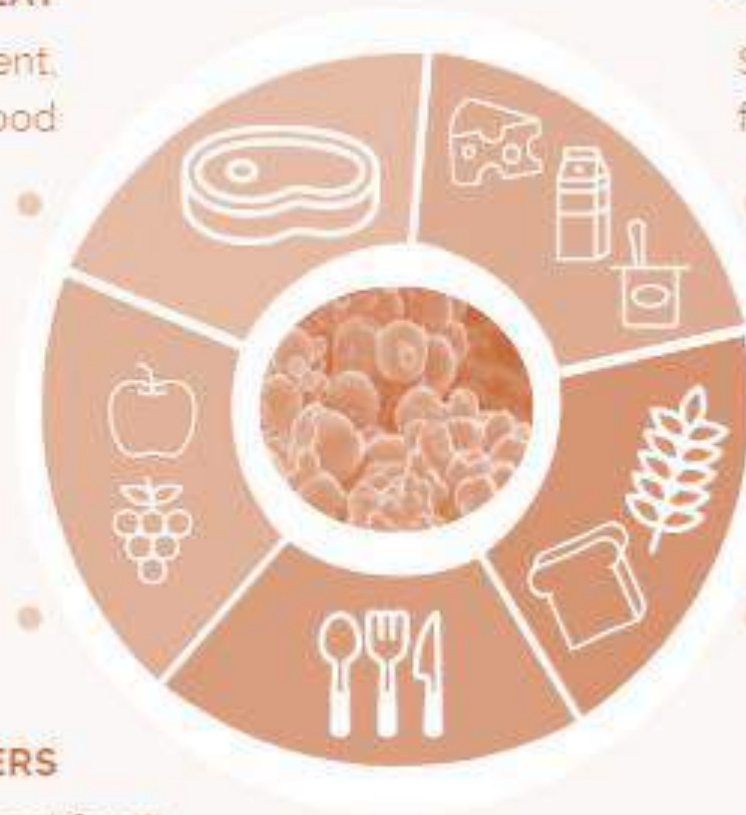
CEREALS

Functional food (prebiotics and probiotics), sensory improvement



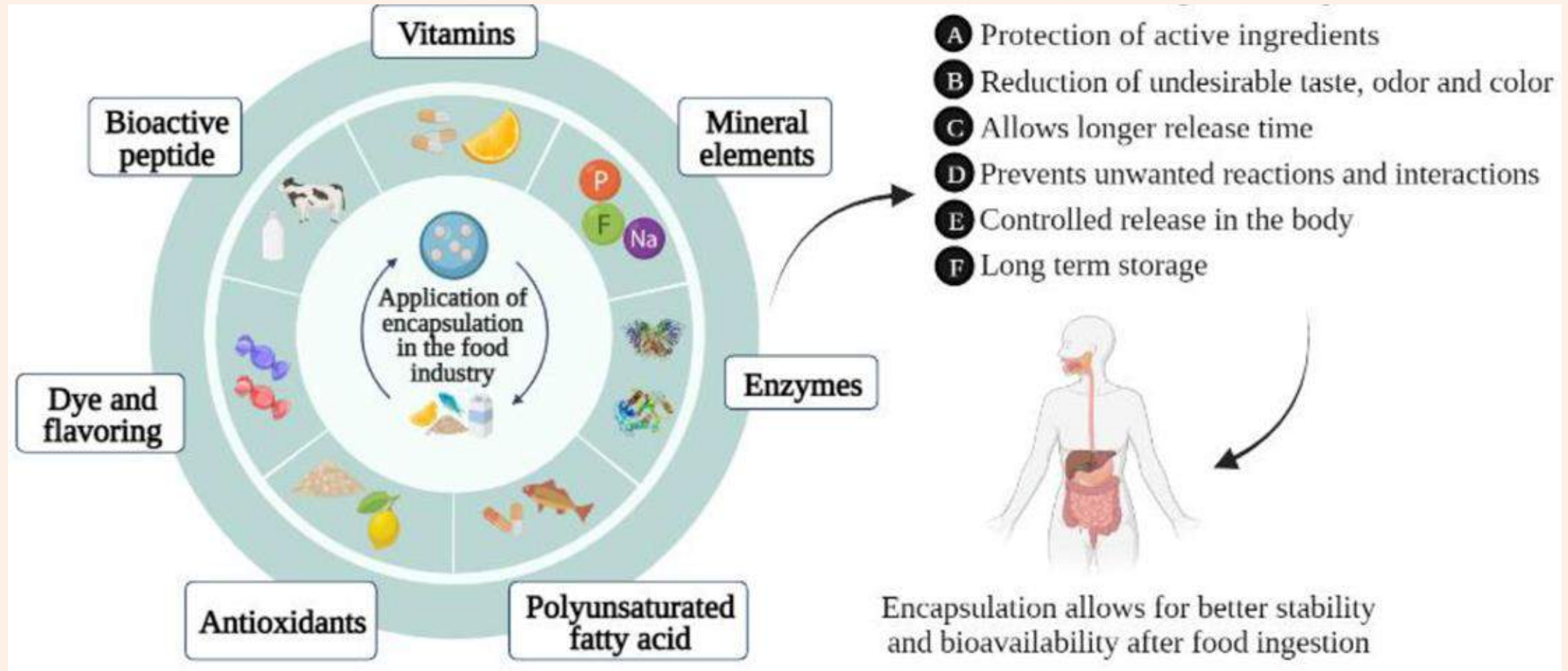
OTHERS

Beer (functional food)



IN FOOD

As principais vantagens do encapsulamento



3, Tecnologias de EXTRAÇÃO

Olive pomace



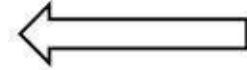
or



Ultrasound Assisted Extraction (UAE)

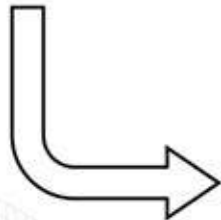
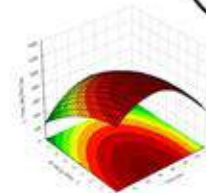
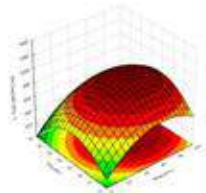
Optimized conditions:
1.53 g of olive pomace
with 100 mL of 65.7% aqueous ethanol
pH 7.27, 16 min 30 sec, 51% of power

Ethanol

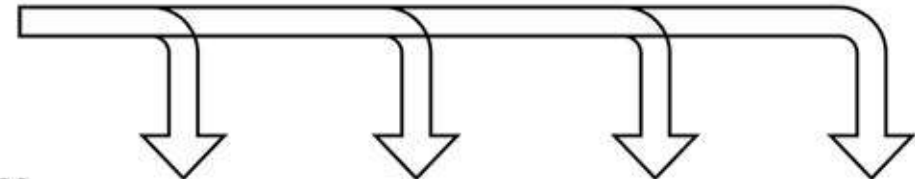


Microwave Assisted Extraction (MAE)

Optimized conditions:
1.25 g of olive pomace
with 100 mL of 75.8% aqueous ethanol
pH of 7.00, 76 °C, 28 min 30 sec



Olive pomace extract

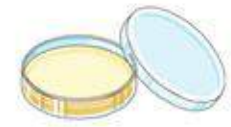


TPC/TFC

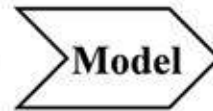
Antioxidants

UHPLC

Microbiology



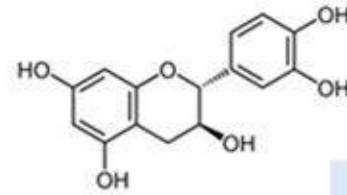
$$TFC_{MAE} = 666.83 + 69.08X_1 + 30.52X_4 + 38.10X_5 + 57.91X_3^2 - 29.28X_1X_5 - 27.88X_3X_4$$



3, Tecnologias de EXTRAÇÃO

Microwave Assisted Extraction (MAE)

Optimized conditions:
1.25 g of olive pomace
with 100 mL of 75.8% aqueous ethanol
pH of 7.00, 76 °C, 28 min 30 sec



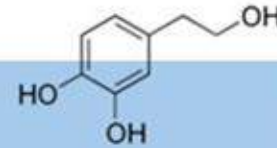
Circular economy



Agri-food industry



By-products valorization

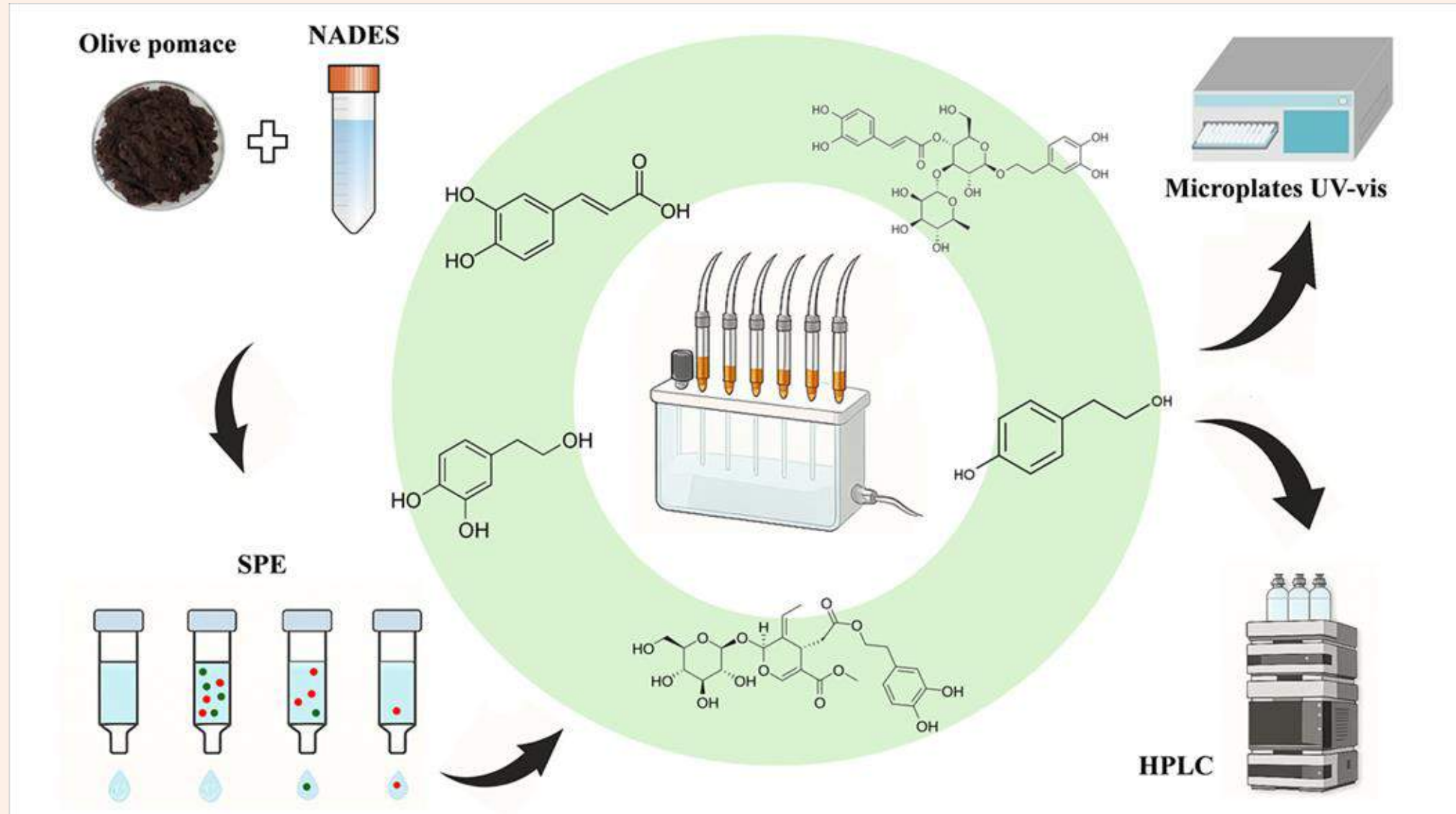


Bioactive compounds

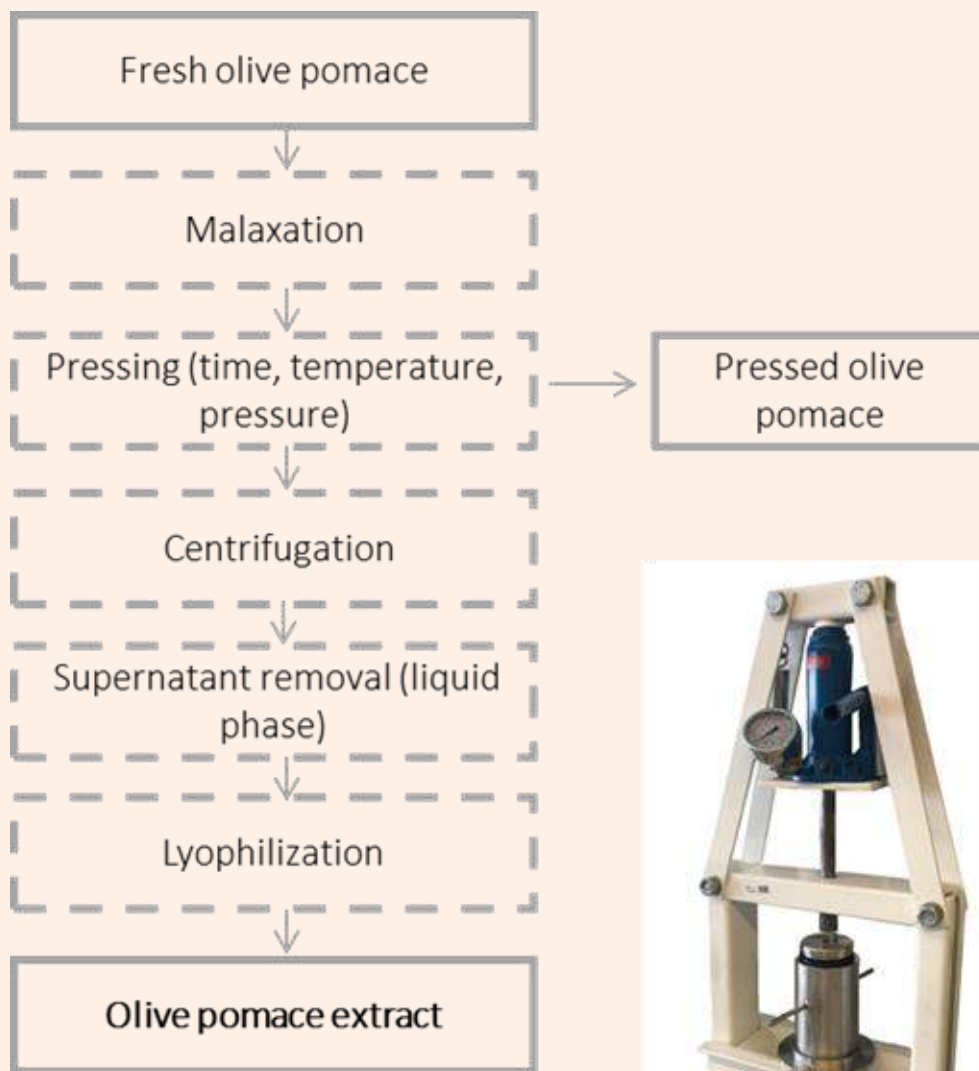
Ultrasound Assisted Extraction (UAE)

Optimized conditions:
1.53 g of olive pomace
with 100 mL of 65.7% aqueous ethanol
pH 7.27, 16 min 30 sec, 51% of power

3, Tecnologias de EXTRAÇÃO



3, Tecnologias de EXTRAÇÃO



Food Bioscience 61 (2024) 104759

Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Food Bioscience

journal homepage: www.elsevier.com/locate/fbio

Comprehensive analysis of the phytochemical composition and antitumoral activity of an olive pomace extract obtained by mechanical pressing

Diana Melo Ferreira^a, Juliana Barreto-Peixoto^a, Nelson Andrade^{a,b}, Susana Machado^a, Cláudia Silva^{a,b}, Joana C. Lobo^a, Maria A. Nunes^a, Gerardo Álvarez-Rivera^{c,e}, Elena Ibáñez^c, Alejandro Cifuentes^c, Fátima Martel^{b,d}, M. Beatriz P.P. Oliveira^a, Rita C. Alves^{a,*}

Total fat (g/100 g)	7.99 ± 0.05	Ash (g/100 g)	11.4 ± 0.02
Total vitamin E (mg/100 g)	2.0 ± 0.4	Total protein (g/100 g)	0.94 ± 0.02
α-tocopherol	1.8 ± 0.4	Total carbohydrates (g/100 g)	79.71 ± 0.03
α-tocotrienol	0.065 ± 0.001	Brix of sugar (%)	28.1 ± 0.8
β-tocopherol	0.049 ± 0.002	pH	5.40 ± 0.03
γ-tocopherol	0.09 ± 0.01	Total phenolics (g GAE/100 g)	2.9 ± 0.1
Palmitic acid (C16:0) (relative %)	12.69 ± 0.06	Hydroxytyrosol (mg/100 g)	215 ± 9
Stearic acid (C18:0) (relative %)	3.05 ± 0.01	Total flavonoids (g CE/100 g)	2.29 ± 0.08
Oleic acid (C18:1n9c) (relative %)	72.14 ± 0.04	FRAP (g FSE/100 g)	2.3 ± 0.1
Linoleic acid (C18:2n6c) (relative %)	9.31 ± 0.05	DPPH (g TE/100 g)	1.0 ± 0.2
		ABTS (g TE/100 g)	0.193 ± 0.001

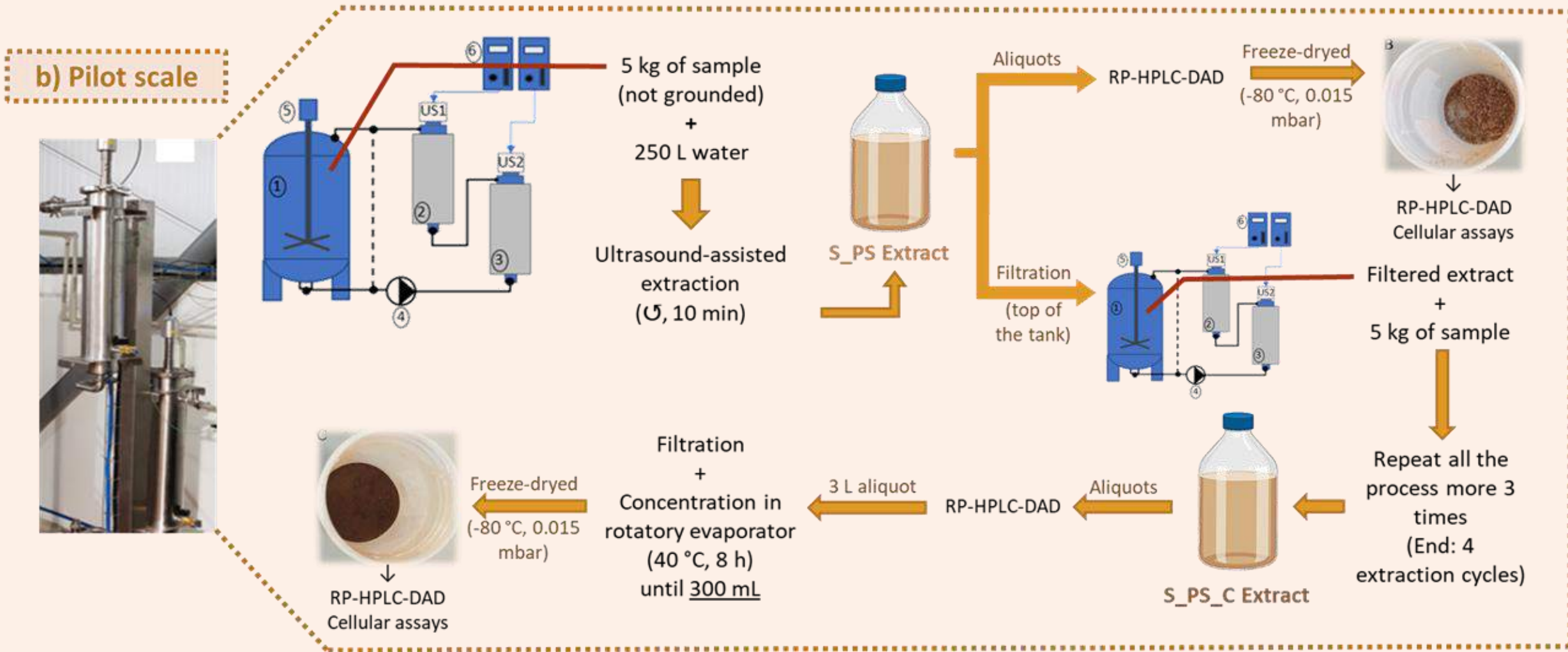
3, Tecnologias de EXTRAÇÃO

1) Extracts preparation by Ultrasound-assisted extraction (UAE)



3, Tecnologias de EXTRAÇÃO

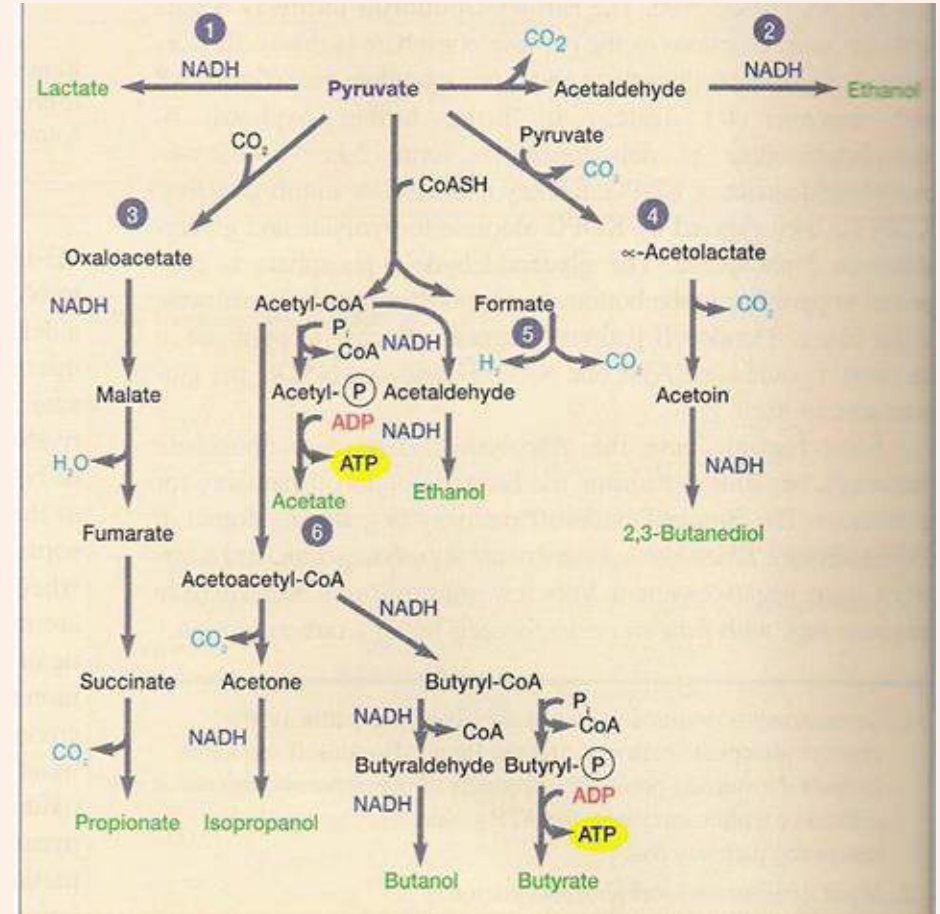
1) Extracts preparation by Ultrasound-assisted extraction (UAE)



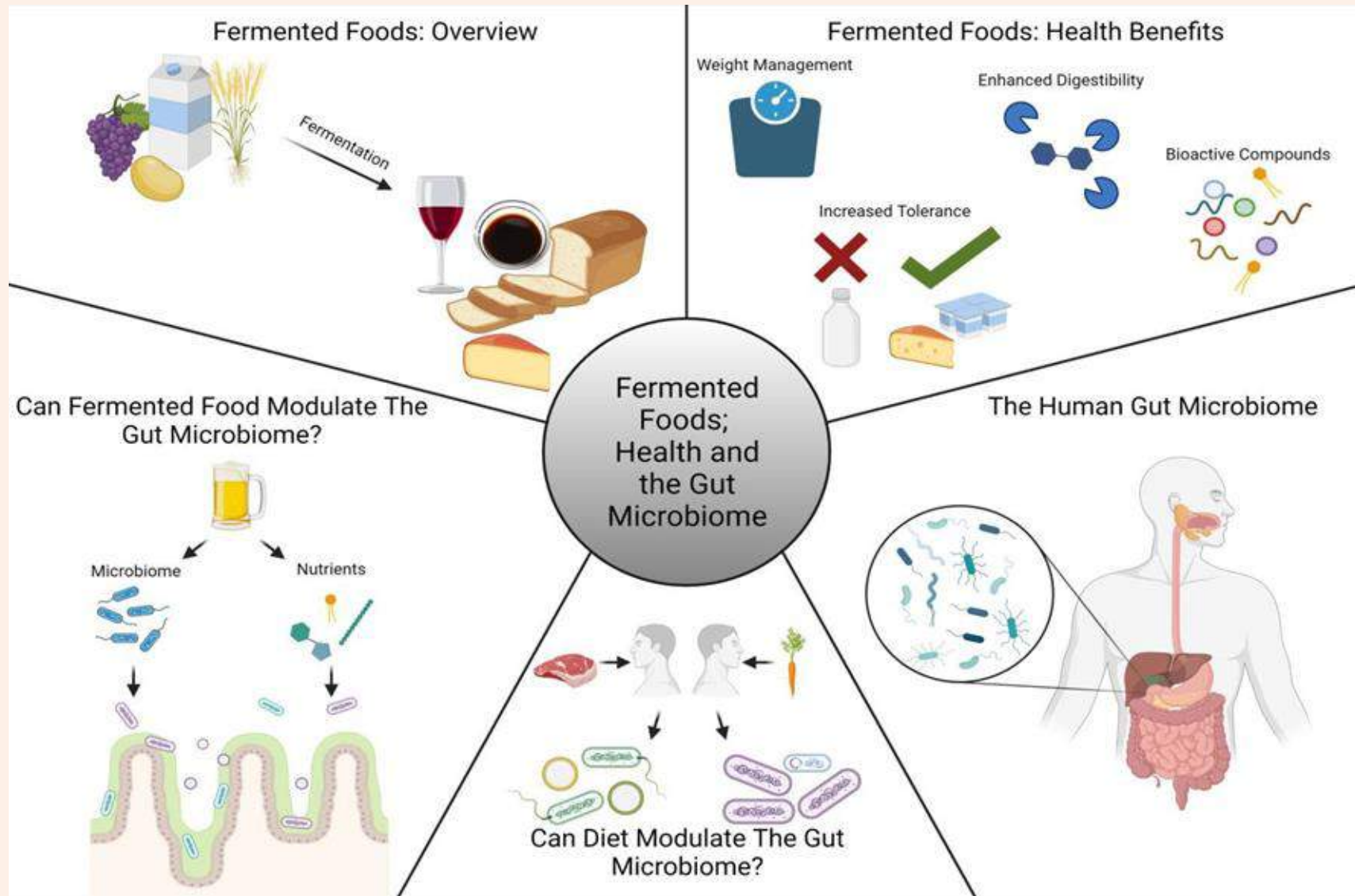
4, FERMENTAÇÃO

Do ponto de vista bioquímico, a fermentação é um processo metabólico através do qual os compostos orgânicos são convertidos em energia, sem o envolvimento de um agente oxidante. Como Louis Pasteur sugeriu de forma sucinta, a fermentação é “la vie sans l’air”, ou “vida sem ar”. No entanto, a fermentação não é um processo uniforme. Existe, na realidade, uma grande diversidade de processos fermentativos, uma vez que diferentes microrganismos apresentam mecanismos distintos para a conversão da glicose em energia.

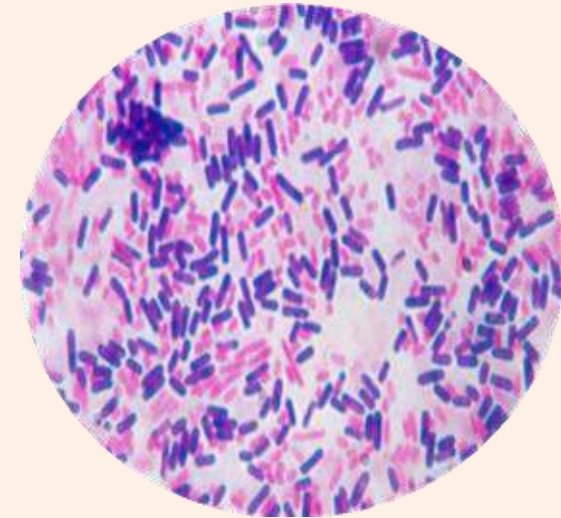
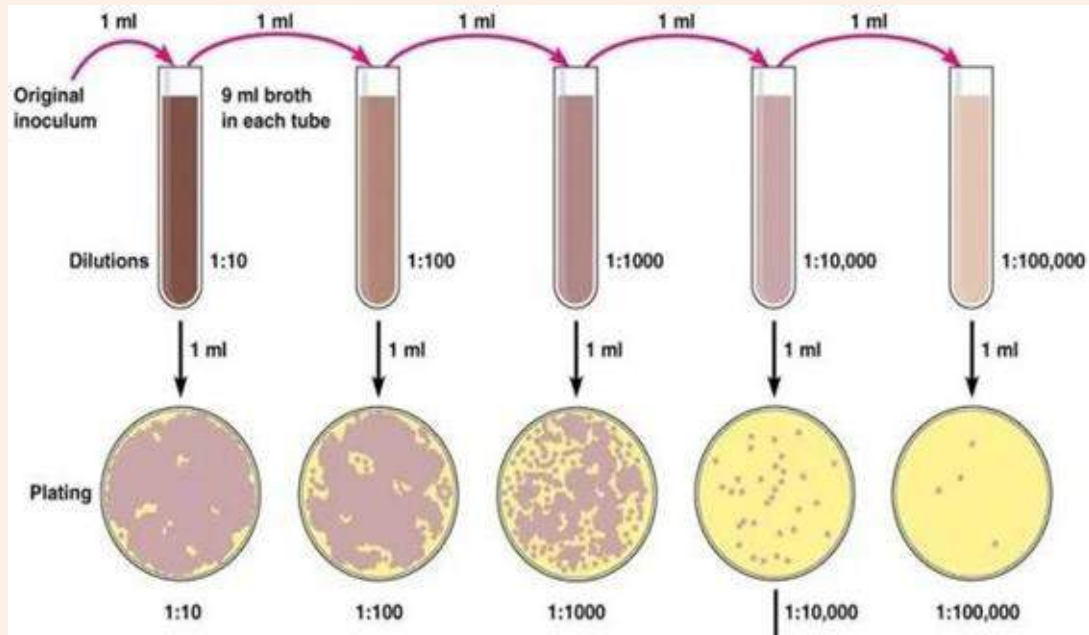
Os ácidos gordos de cadeia curta (AGCC), produzidos a partir da dieta, são importantes moduladores do sistema imunitário e podem desempenhar um papel na perda de peso



Exemplos de produtos de fermentação



Pasta de Bagaço de Azeitona: Microbiota Nativa



Principal

- Bactérias – Lactobacilli (lactobacilos)
- Leveduras

A contagem total de microrganismos foi avaliada através da técnica de espalhamento em superfície em meios de cultura adequados e em condições de incubação apropriadas, com o objetivo de caracterizar os tipos de microrganismos presentes.

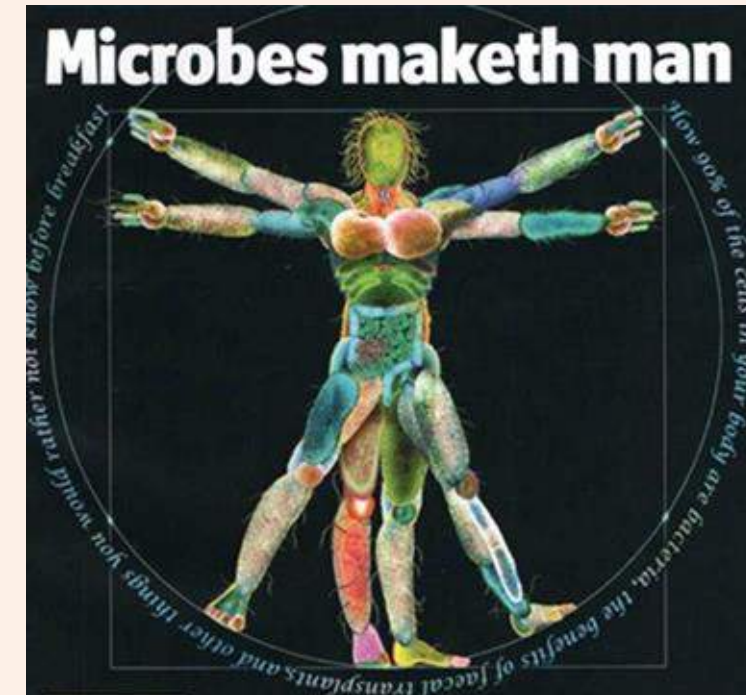
O nosso estudo avaliou o potencial da fermentação do bagaço de azeitona como um processo de valorização para a obtenção de um novo ingrediente alimentar

Os subprodutos do azeite são ricos em **compostos bioativos** que podem promover o crescimento de bactérias intestinais benéficas. Após a fermentação, estes subprodutos podem originar **alimentos funcionais simbióticos** ou ingredientes alimentares relevantes para a **saúde e o bem-estar intestinal**, também devido às suas propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias associadas aos polifenóis presentes. Estes compostos ajudam a estimular o crescimento de **probióticos**, melhorando a saúde intestinal e produzindo enzimas e metabolitos benéficos que contribuem para a melhoria do microbioma intestinal. Esta abordagem pode ainda ser vantajosa na obtenção de bebidas funcionais simbióticas de baixo teor alcoólico, bem aceites pelos consumidores. Esta abordagem permitirá acrescentar valor aos subprodutos, enquanto prática sustentável e regenerativa.

Nutrição

Modulação do microbioma intestinal

Microbiota intestinal saudável



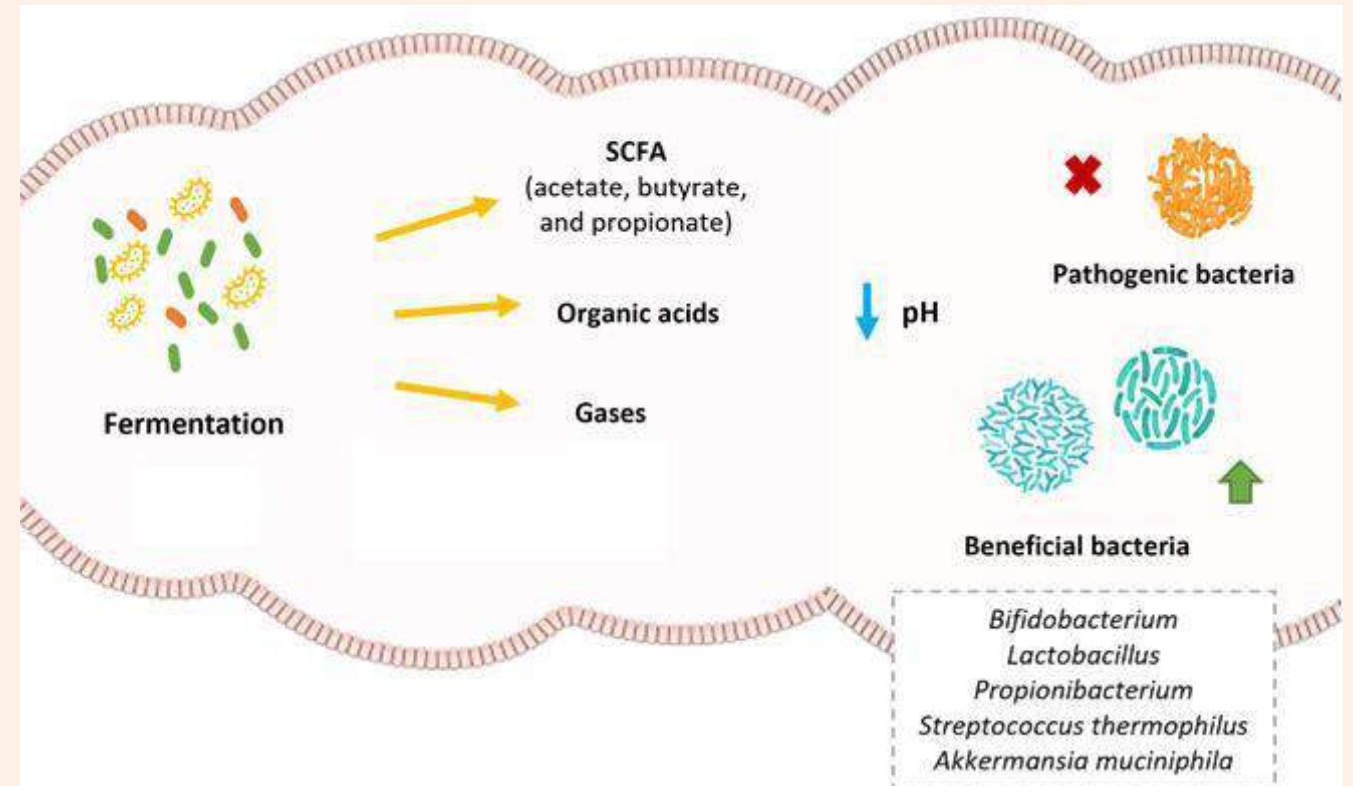
Subprodutos do Café Fermentado



Os prebióticos são substratos utilizados seletivamente por microrganismos que favorecem a saúde do hospedeiro



Os prebióticos devem satisfazer três requisitos:

- Ser resistentes à absorção no trato gastrointestinal dos mamíferos, ao ácido gástrico e à hidrólise por enzimas digestivas;
- Ser metabolizados pela microbiota intestinal e estimular seletivamente o crescimento e/ou a atividade de bactérias com efeitos benéficos para a saúde;
- Não causar efeitos negativos no hospedeiro, como, por exemplo, o crescimento de microrganismos patogênicos.



5, Processamento por extrusão alimentar

- Processamento térmico

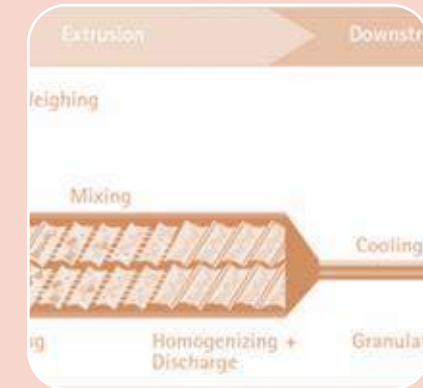
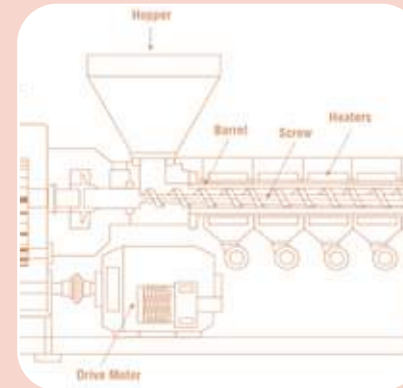
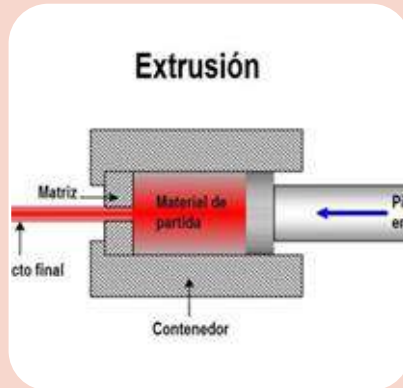
 **A frio**  Obtêm-se produtos com elevada densidade e elevado teor de humidade, como bolachas, muffins, doces ou salsichas.



 **Aplicação de calor**  Obtêm-se produtos com baixa densidade e baixo teor de humidade, como snacks.



Extrusores por sistema mecânico



Pistão

- O mais simples dos extrusores,
- Consiste num único pistão que força o material a passar através de um orifício,
- Projetado para dosagem precisa e utilizado nas indústrias de confeitaria e da carne.

Rolos

- Consiste em dois rolos com rotação em sentidos opostos,
- O espaço entre os rolos é controlado;
- Uma variedade de produtos pode ser obtida através da alteração do espaçamento, da velocidade de rotação e da superfície dos rolos.
- Aplicado na produção de crackers, bolachas duras, entre outros;
- Utilizado também na produção de flocos (após cozedura).

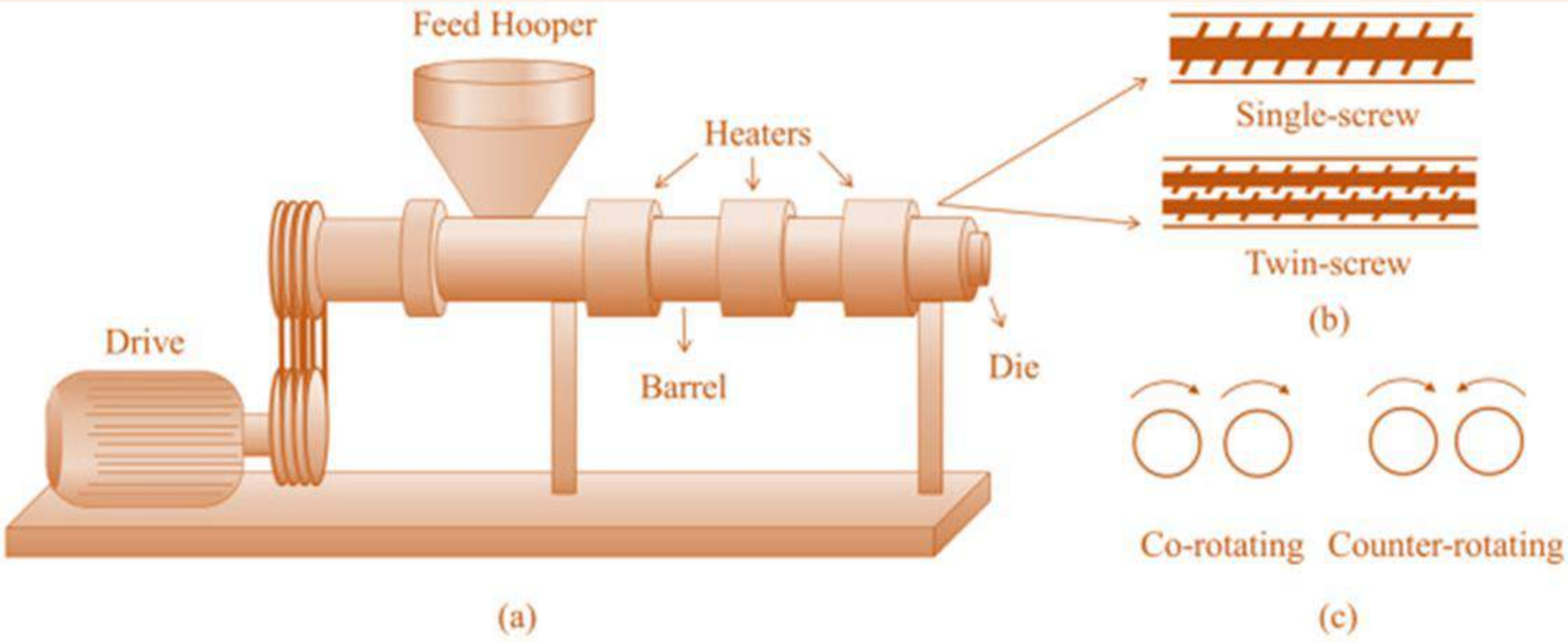
Parafuso único

- Significa que existe apenas um parafuso no interior do cilindro (barrel);
- A razão comprimento/diâmetro (L/D) varia entre 2:1 e 25:1 (corresponde à relação entre o diâmetro do parafuso e o comprimento do cilindro);
- Apresenta três secções no interior do cilindro: secção de alimentação, secção de transição, secção de dosagem.

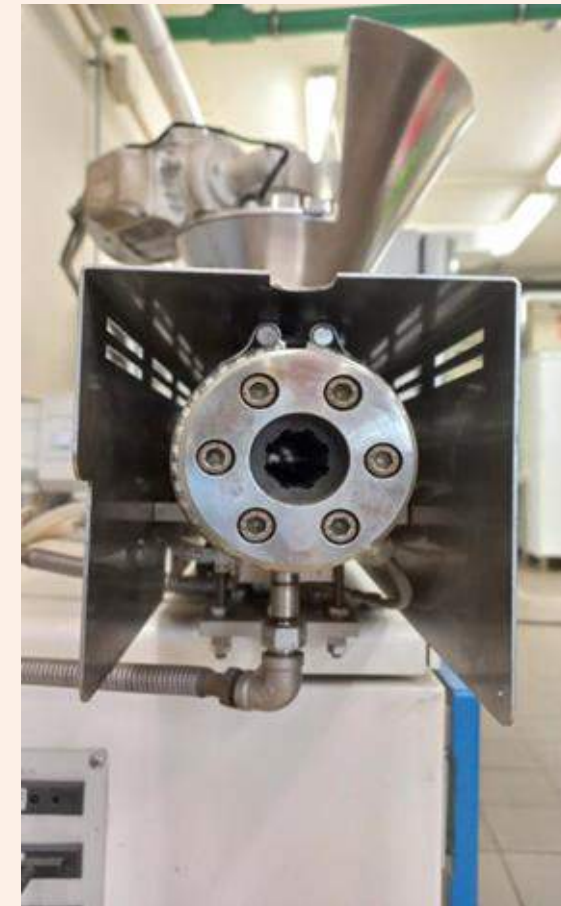
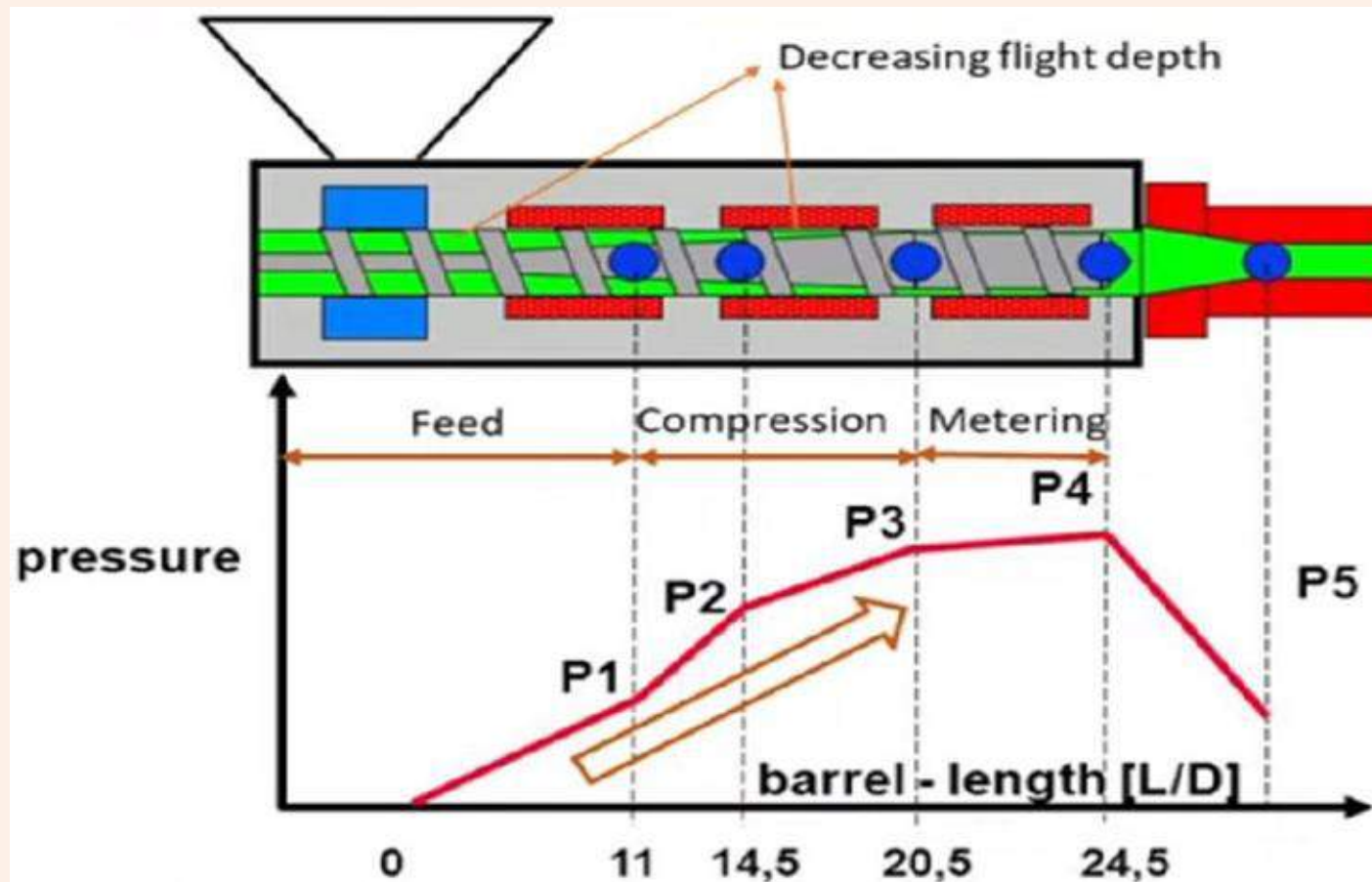
Duplo parafuso

- Existem dois parafusos no interior do cilindro fechado
- Cilindro com abertura superior tipo clamshell (facilita a substituição);
- Revestimentos internos do cilindro substituíveis (maior rapidez);
- Componentes do parafuso montados em linha;
- Ejeção do parafuso;
- Em comparação com o extrusor de parafuso único (12–17% de gorduras), o extrusor de duplo parafuso permite maior teor de gorduras (18–22%) e melhor incorporação dos restantes componentes;
- Ampla gama de humidade (superior a 30%)

Extrusores de parafuso



Extrusor de parafuso único

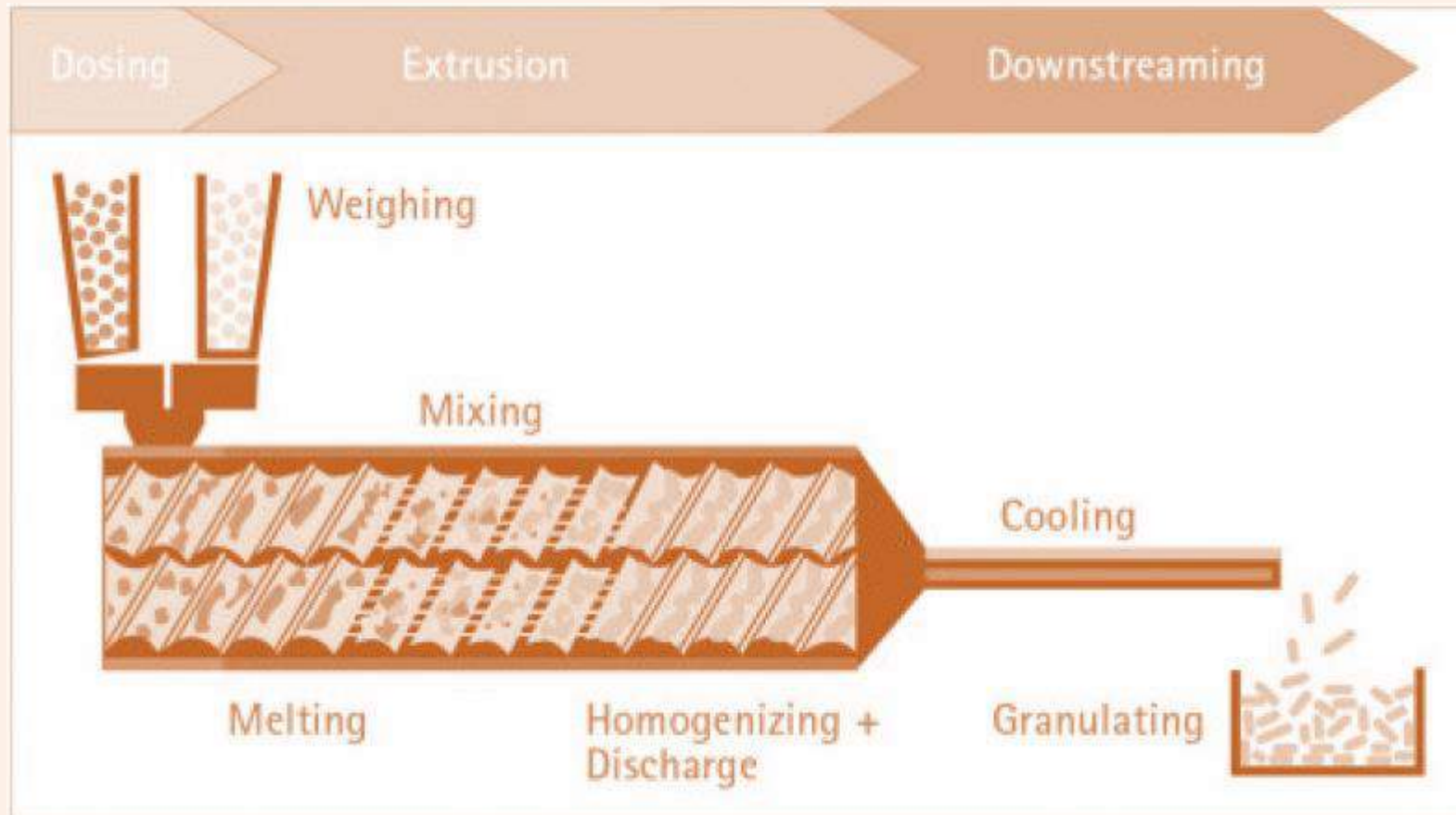


Secção de alimentação: possui parafusos de avanço profundo que ajudam a transportar o material para a frente

Secção de compressão: O material é parcialmente cozinhado e sujeito a alta pressão

Secção de medição: Receber o material comprimido, homogeneizá-lo e forçá-lo através do chip a pressão constante

Extrusor de dois parafusos



Extrusor de dois parafusos

Na indústria alimentar, os sistemas de parafuso duplo são mais utilizados devido à sua flexibilidade,



Múltiplas operações - uma máquina

- A extrusão que aplica calor é uma operação de processamento termomecânica que combina várias operações unitárias:
- Mistura
- Amassar
- Cisalhamento
- Aquecimento
- Formação
- Secagem parcial
- Etc,



Vantagens

- Os sistemas de extrusão reduzem o espaço ocupado na fábrica de processamento alimentar, permitindo custos operacionais e energéticos mais baixos,

Redução de espaço



- A extrusão tem custos de processamento mais baixos do que outros métodos de cozinha, menos matéria-prima, mão de obra e investimento de capital,

Baixo custo



- Uma variedade de produtos é viável alterando os ingredientes menores e as condições de funcionamento do extrusor,

Adaptabilidade



- O processo é contínuo e capaz de acontecer em curto espaço de tempo (< 1 minuto),

Velocidade



- A extrusão pode modificar proteínas (animais e vegetais), farinhas e outros materiais alimentares para produzir uma variedade de produtos alimentares,

Novo produto alimentar



- A extrusão pode ser totalmente automatizada,

Controlo automático



- Devido à extrusão ser um processo contínuo e em curto espaço de tempo, minimiza a degradação dos nutrientes alimentares enquanto melhora a digestibilidade das proteínas e amidos (também reduz enzimas indesejáveis,

Produtos de alta qualidade



- Formas, texturas, cores, diferentes aparências, etc., que não são fáceis de produzir com outros métodos de produção,

Gama ampla



Ingredientes

**Ingredientes
de extrusão
mais usados**



**Alimentos
ricos em
amido**

Farinhas de cereais como trigo, milho, arroz, etc.,



**Alimentos
ricos em
proteína**

Isolados de proteína de soja, girassol, legumes e cereais

Ingredientes complementares:

- Extratos de plantas
- Produtos funcionais
- Sais
- Leguminosas
- Insetos (formigas, grilos, etc.)
- Subprodutos

Que tipo de produtos obtemos com estes ingredientes?

- Snacks expandidos
- Cereais de pequeno-almoço
- Doces
- Bolachas
- Massa
- Farinhas pré-cozinhadas
- Alimento para animais (aquacultura, ração, etc.)
- Proteínas texturizadas



Melhoria das propriedades funcionais dos alimentos

- A extrusão afeta a estrutura e composição das proteínas,
- Desnaturação,
- Formação de ligações



- Solubilidade
- Capacidade de retenção de água
- Gelificação
- Texturização
- Emulsificação




Substituto de carne



Melhoria das propriedades funcionais dos alimentos

- Desnaturação e inativação de fatores antinutricionais,
- Alguns legumes têm elevado valor nutricional, mas elevadas concentrações de fatores antinutricionais

- 
- As condições utilizadas na extrusão melhoram a adequação destes alimentos vegetais ao consumo humano,
 - Aflatoxinas,
 - Gelificação de proteínas vegetais,
 - Saponinas,
 - Lectinas,
 - Inativação enzimática
 - Etc.



**melhor
digestibilidade**

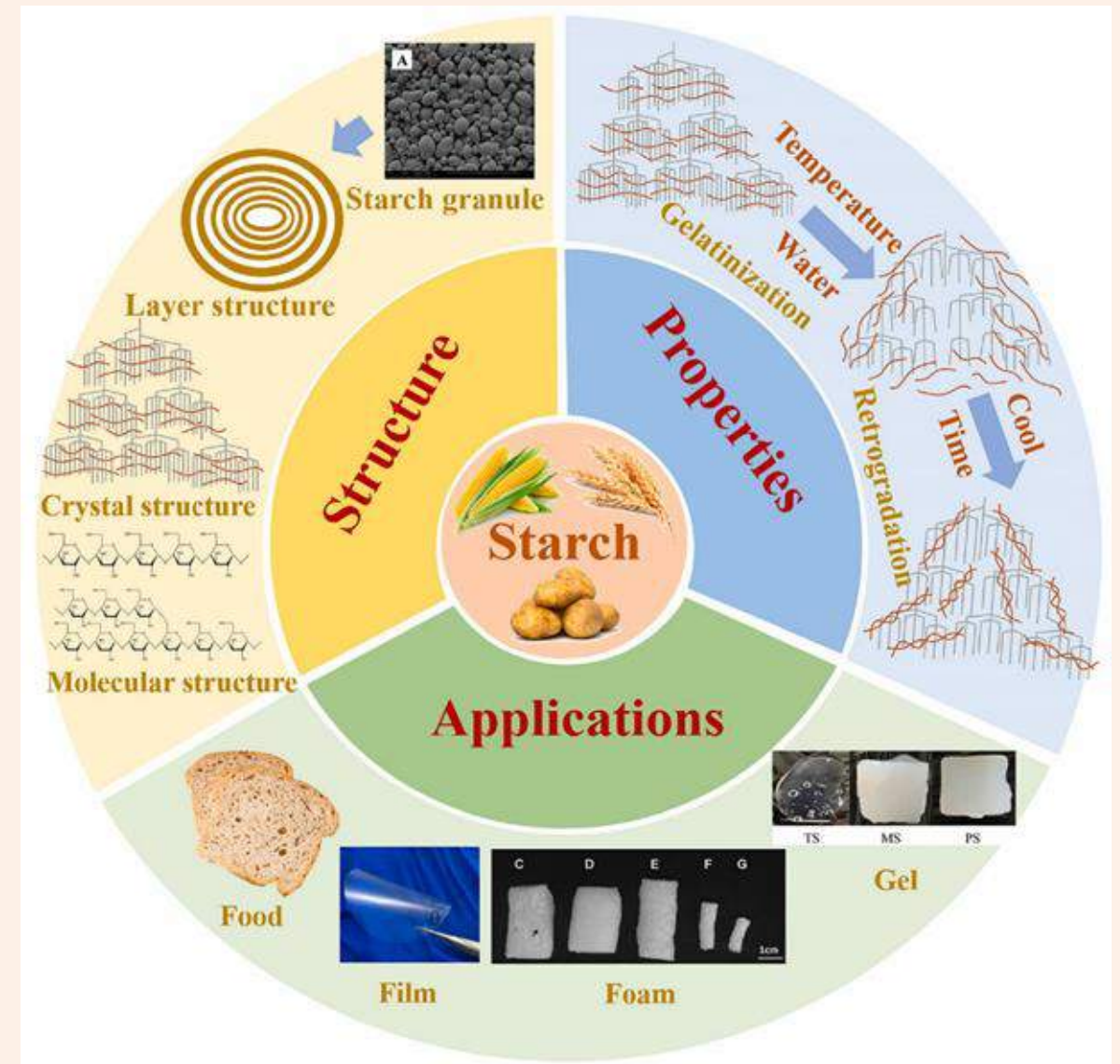
6, EMBALAGEM DE ALIMENTOS A PARTIR DE SUBPRODUTOS ALIMENTARES



Cereais para embalagem

- O amido é uma boa fonte de material biodegradável para embalagens alimentares, originário de **trigo, milho, arroz e batatas**, É amplamente visto como um substituto sustentável dos plásticos nas embalagens alimentares,
- Além disso, vários alimentos, como **frutas, legumes, snacks e produtos secos** podem ser embalados usando amido como filme biodegradável

Kolybaba, et al., 2021, DOI:[10.13031/2013.41300](https://doi.org/10.13031/2013.41300)



Composition, characteristics, and uses of starch

Cheng, H.; et al., 2021,
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108364>

O processo de obtenção da embalagem do amido de milho



Colhe o milho, deixando-o de molho em água para separar o endosperma da fibra e do glúten. Os grãos de milho são depois embebidos em água quente e solução de dióxido de enxofre, que os decompõe em amido, proteína e fibra,

O líquido melange é centrifugado para remover o óleo de milho, deixando para trás amido puro,

Enzimas são adicionadas ao amido de milho, convertendo-o em açúcares simples,

As culturas bacterianas são introduzidas nos açúcares, fermentando-os em ácido láctico. As moléculas de ácido láctico ligam-se entre si para formar cadeias poliméricas, resultando na formação do ácido poliláctico (PLA),

Pellets de plástico PLA são produzidos a partir desta mistura, depois fundidos e moldados em formas específicas para várias aplicações,

Uma vez fixada e arrefecida, a embalagem final é retirada do molde e pronta para transporte e venda,



Tipos de embalagem de amido de milho

O amido de milho pode ser moldado em diferentes formas e tipos de embalagem para servir vários propósitos práticos:



Recipientes
tipo concha



Tabuleiros
de carne



Sacos de
comida re-
seláveis



Caixas de
bebidas

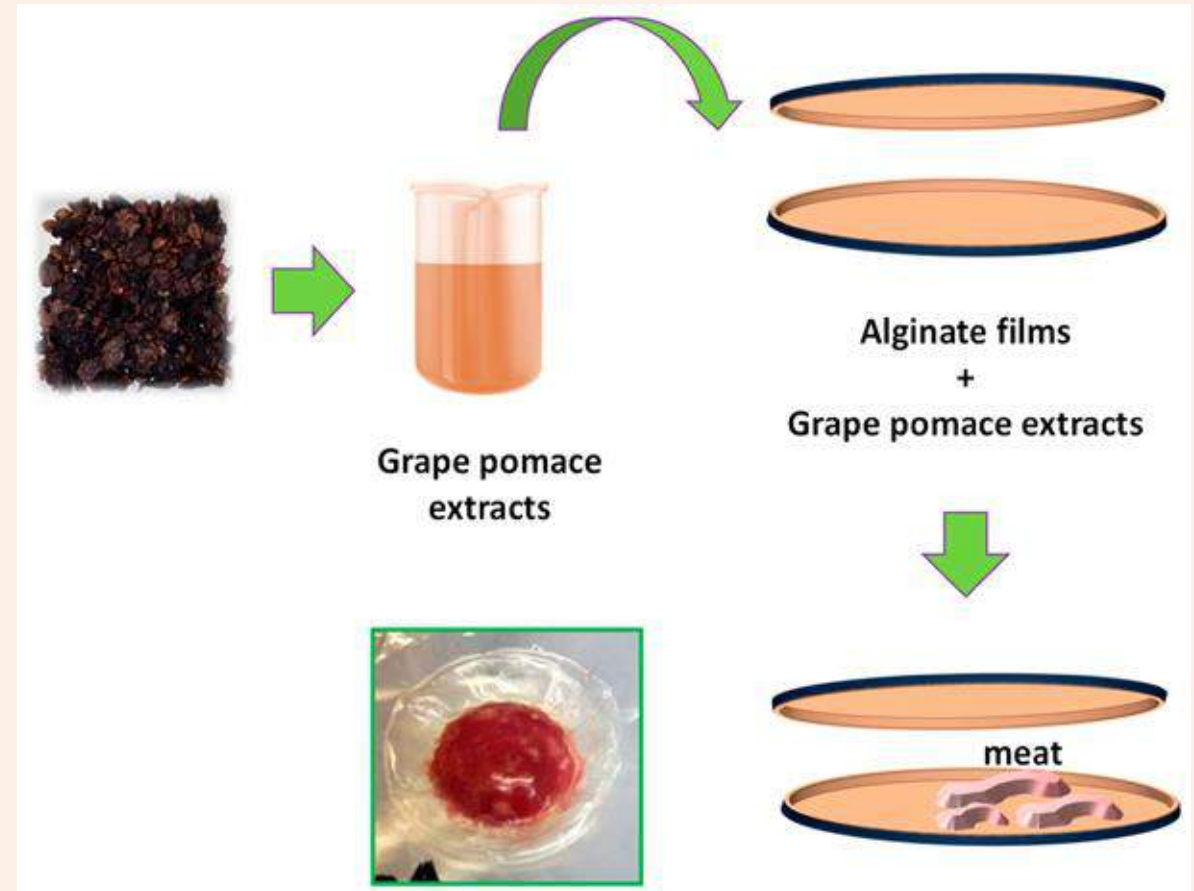


Tampas dos
copos

Frutas e legumes para embalagem

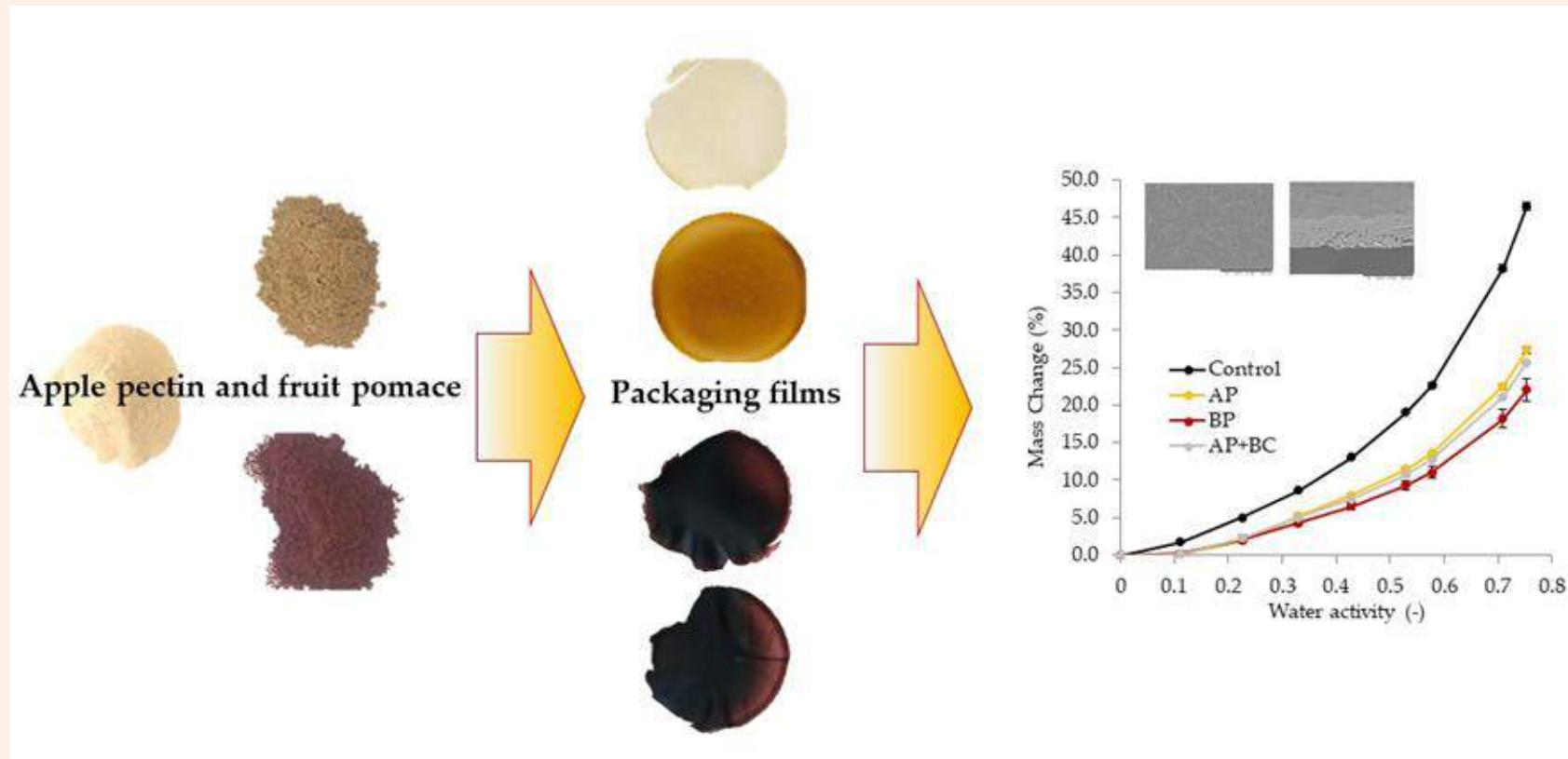
A fruta e o vegetal são fontes valiosas de celulose, pectina e outros biopolímeros com potencial em aplicações de embalagem,

Material de embalagem ecológico à base de ácido algínico e extrato de bagaço de uva de *Vitis vinifera* L (subprodutos da vinificação) para armazenar carne vermelha no frigorífico. Especificamente, as amins biogénicas são consideradas "sentinelas" dos processos putrefativos,



Pós de maçã e bagaço de groselha negra como componentes de filmes de embalagem de pectina

A adição de bagaço de fruta aumenta significativamente a espessura e a resistência mecânica dos filmes de pectina, enquanto a adsorção em água é reduzida. Todos os filmes analisados mostraram uma solubilidade muito boa em água, indicando o potencial para boa degradação dos materiais em condições aquosas,



O bagaço de tomate como recurso renovável para a produção de bioplásticos

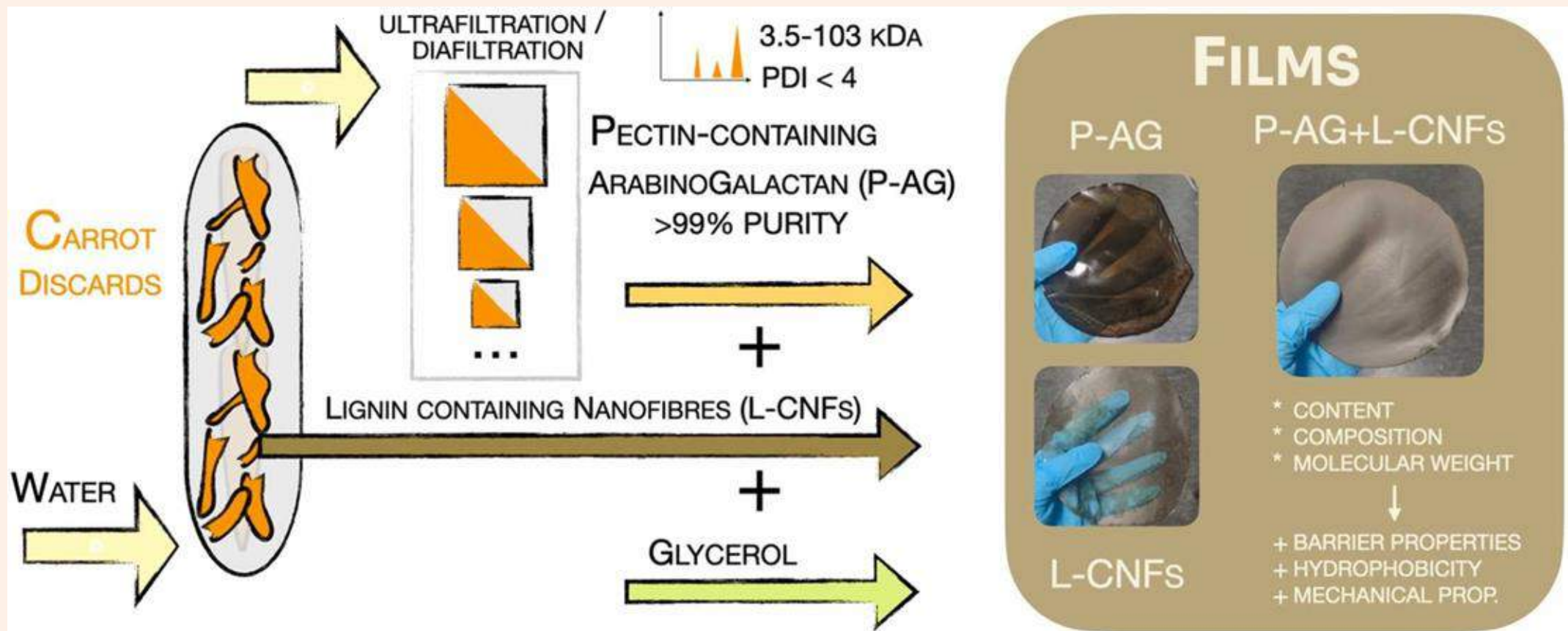
O bagaço de tomate é o subproduto resultante do processamento do fruto do tomate para a preparação de molhos, ketchups, sumos, gaspachos, purés, concentrados, entre outros produtos. É composto por cascas (cerca de metade), sementes (aproximadamente 40%) e um material fibroso residual.

A extração de celulose a partir das cascas de tomate descartadas pela indústria conserveira após a produção de pasta de tomate, molhos ou ketchup permite obter um material que pode ser modificado com substâncias bioativas antibacterianas e antioxidantes. Este material apresenta propriedades adequadas para aplicações em embalagens alimentares e, adicionalmente, degrada-se mais rapidamente do que os recipientes plásticos convencionais.



Resíduos de cenoura utilizados na produção de filmes (biodegradáveis)

As cenouras descartadas foram valorizadas com sucesso através de hidrólise subcrítica, originando frações biopoliméricas utilizadas na produção de filmes de base biológica. A arabinogalactana contendo pectina (P-AG), extraída por tratamento hidrotermal, foi purificada através de múltiplos ciclos de ultrafiltração (UF) e diafiltração (DF), resultando na obtenção de frações sólidas.

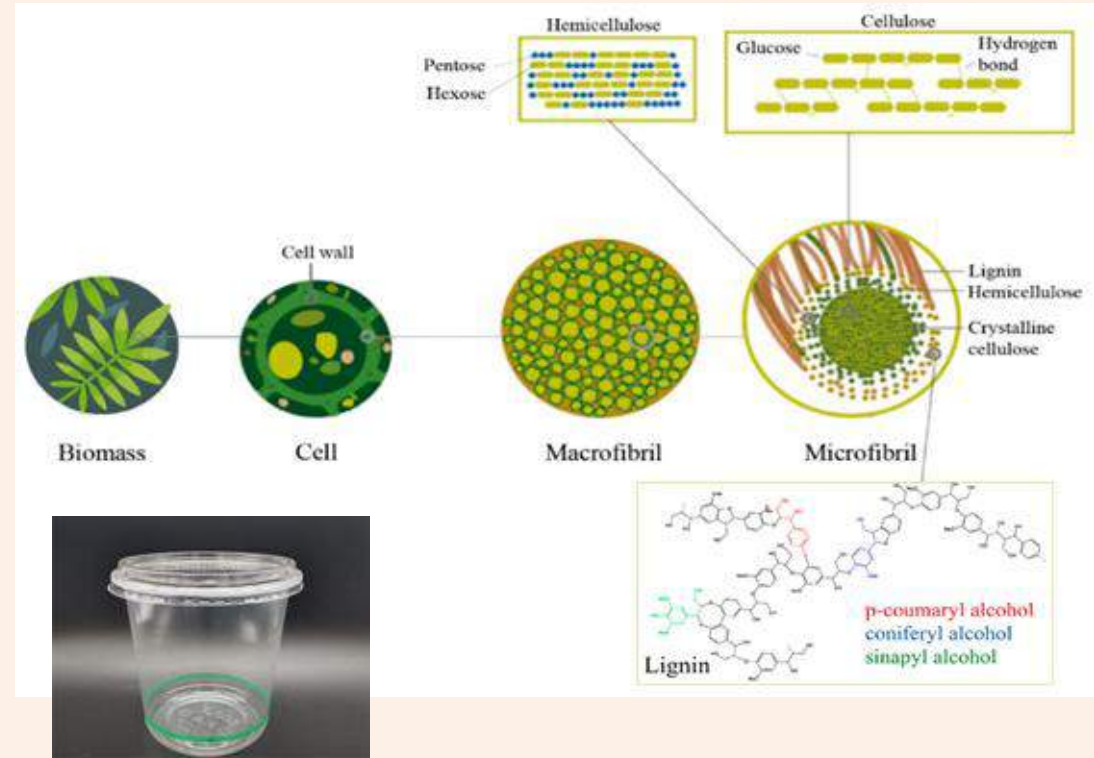


Polpa de beterraba sacarina para embalagens

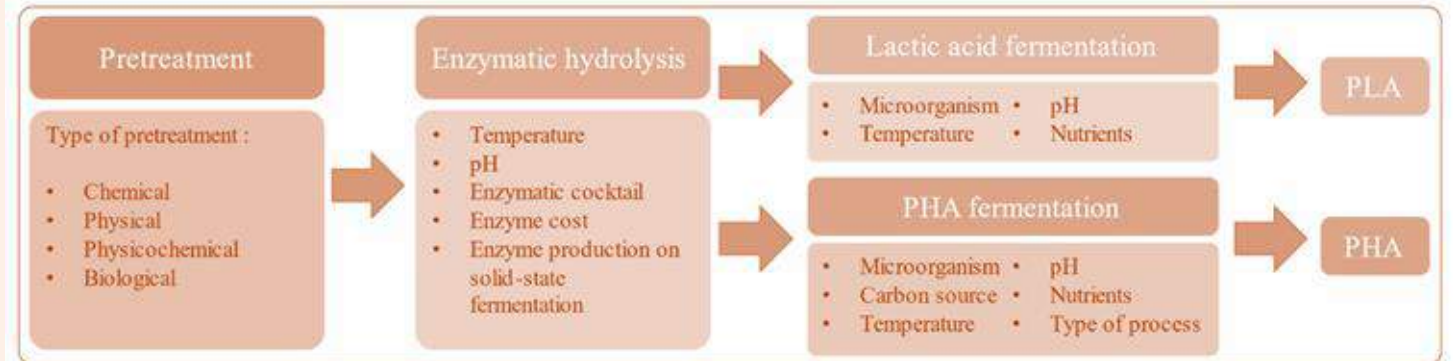
O ácido poliláctico (PLA) e os PHAs são bioplásticos de base biológica e biodegradáveis. O PLA é um polímero constituído por monómeros de ácido láctico (LA) e é classificado como um poliéster termoplástico alifático linear. O PLA pode ser utilizado em diferentes áreas, como, por exemplo, embalagens alimentares.

A polpa de beterraba sacarina é um subproduto lignocelulósico da indústria açucareira que tem sido tradicionalmente utilizada na alimentação animal. No entanto, tem também sido utilizada como matéria-prima para a produção de uma ampla gama de produtos de valor acrescentado, como o ácido láctico (LA) ou os PHAs, através de processos biotecnológicos.

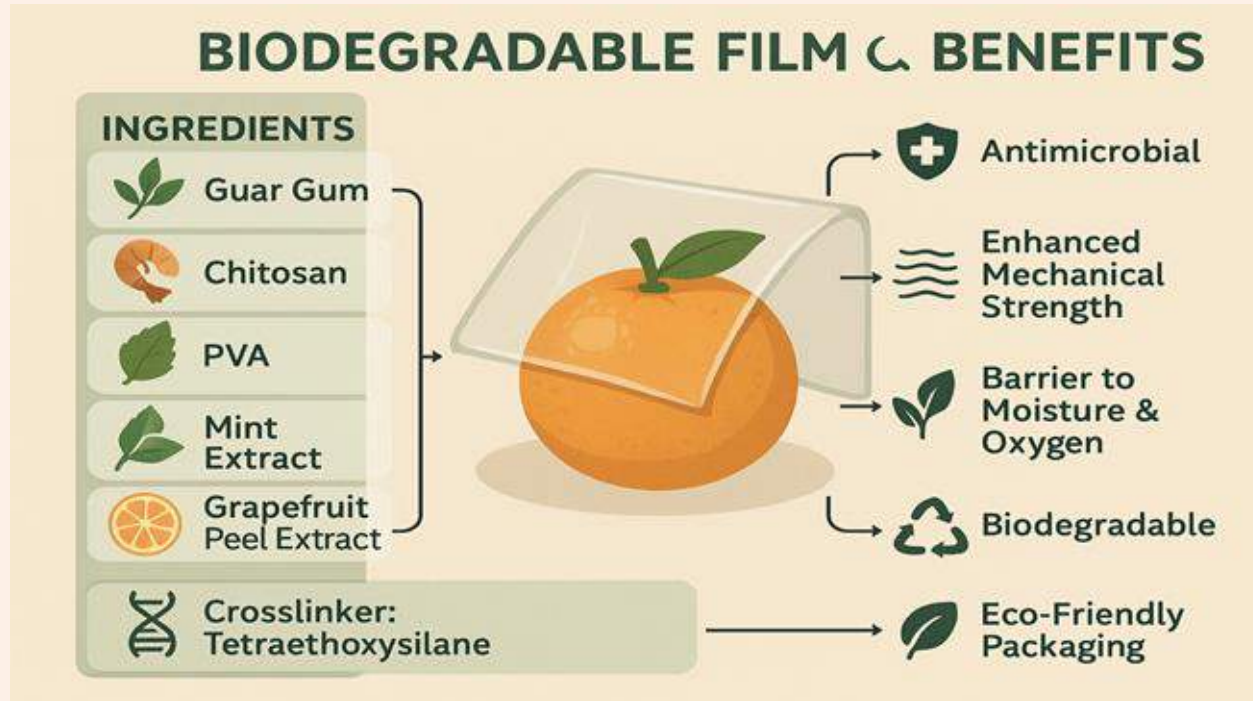
O ácido poliláctico (PLA) é o biopolímero mais amplamente utilizado na indústria de embalagens alimentares, com uma produção anual de cerca de 140 000 toneladas. O PLA é classificado como Generally Recognized As Safe (GRAS) pela FDA dos Estados Unidos, o que o torna adequado para todas as aplicações em contacto com alimentos.



MAIN STEPS IN THE PRODUCTION OF BIOPLASTICS FROM SUGAR BEET PULP



Filmes antimicrobianos biodegradáveis



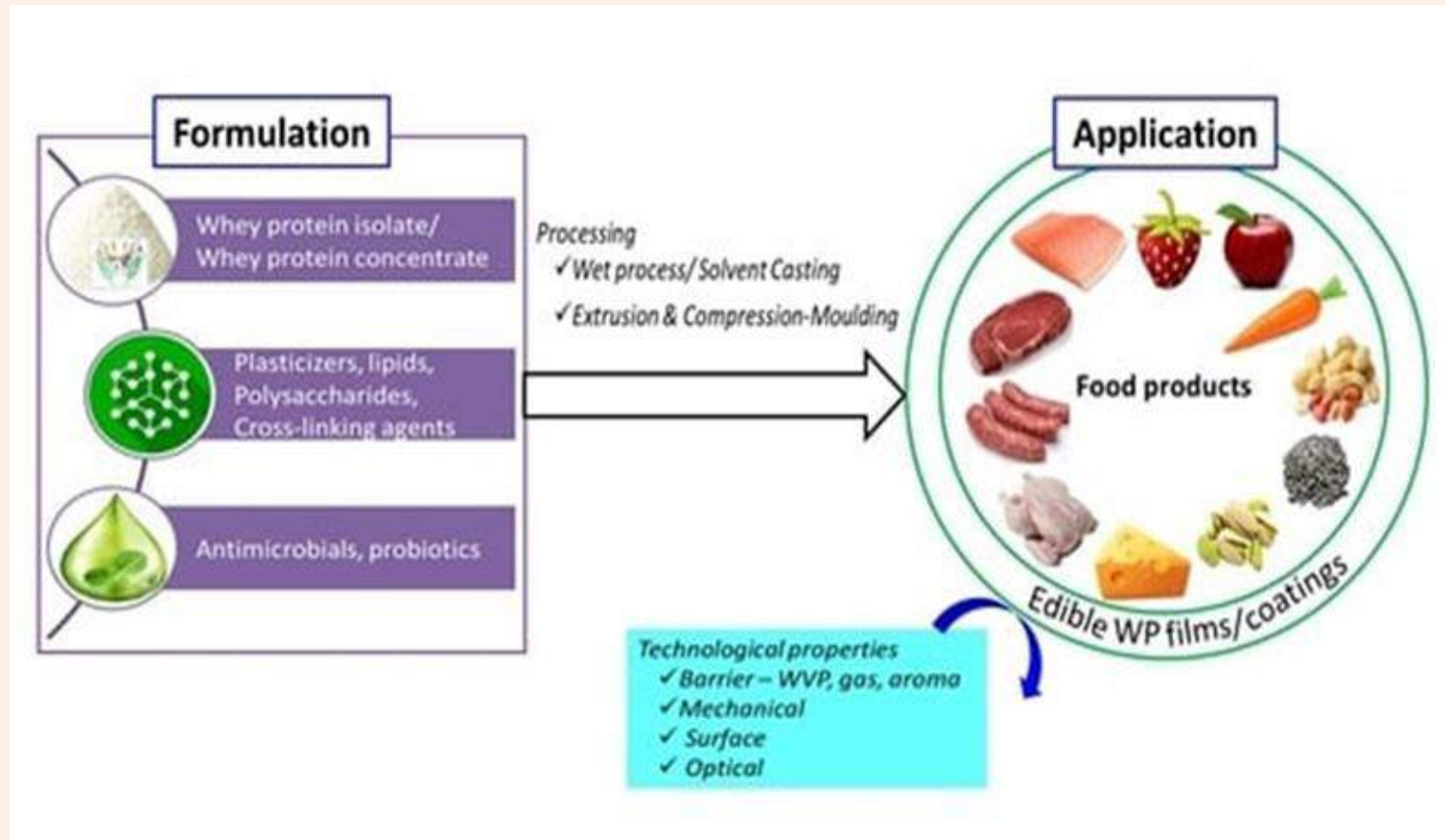
Bashir et al. desenvolveram filmes biodegradáveis inovadores através da mistura de goma guar, quitosano e álcool polivinílico (PVA).

Estes filmes foram posteriormente melhorados através da incorporação de extratos de casca de hortelã e de toranja, ambos conhecidos pelas suas propriedades naturais antimicrobianas e antioxidantes. Para melhorar a resistência mecânica e a estabilidade, os filmes foram reticulados utilizando tetraetoxissilano (TEOS) não tóxico.

Os filmes resultantes apresentaram propriedades de barreira, mecânicas e biológicas melhoradas, tornando-os adequados para aplicações em embalagens alimentares.

A utilização de materiais de origem vegetal e polímeros biodegradáveis apoia o desenvolvimento de alternativas sustentáveis e ambientalmente responsáveis às embalagens plásticas sintéticas.

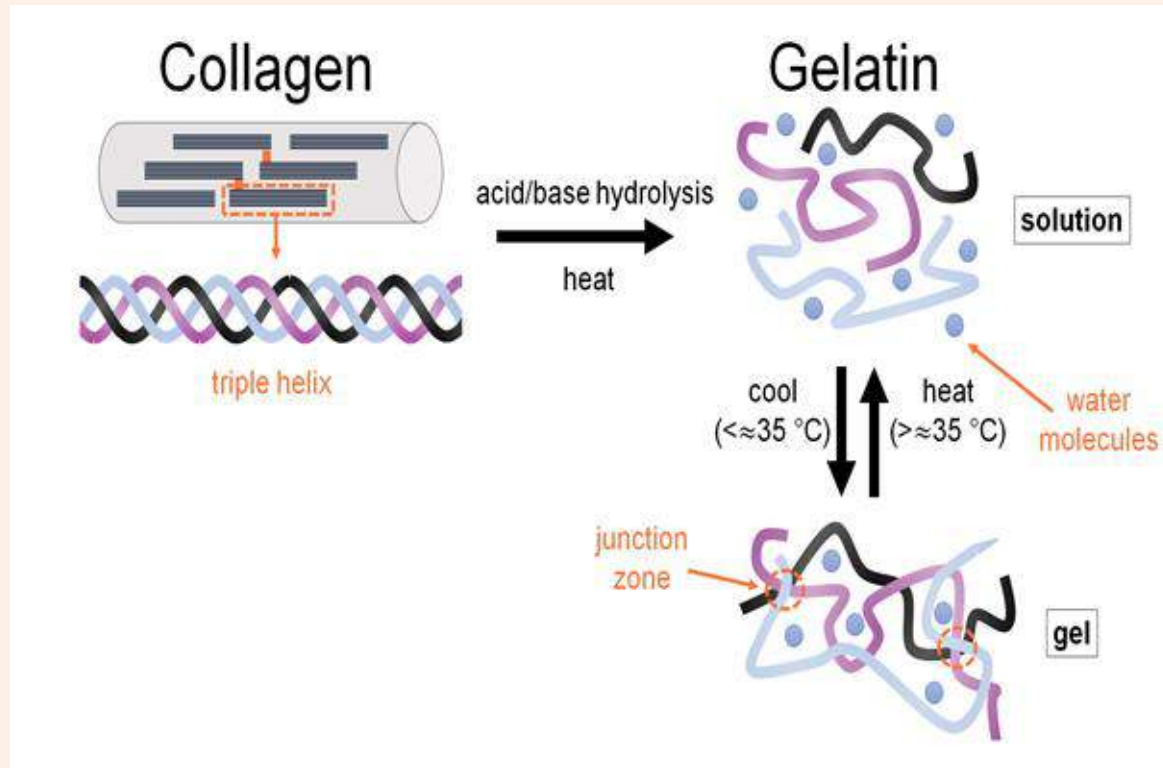
Filmes e revestimentos biodegradáveis à base de soro de leite



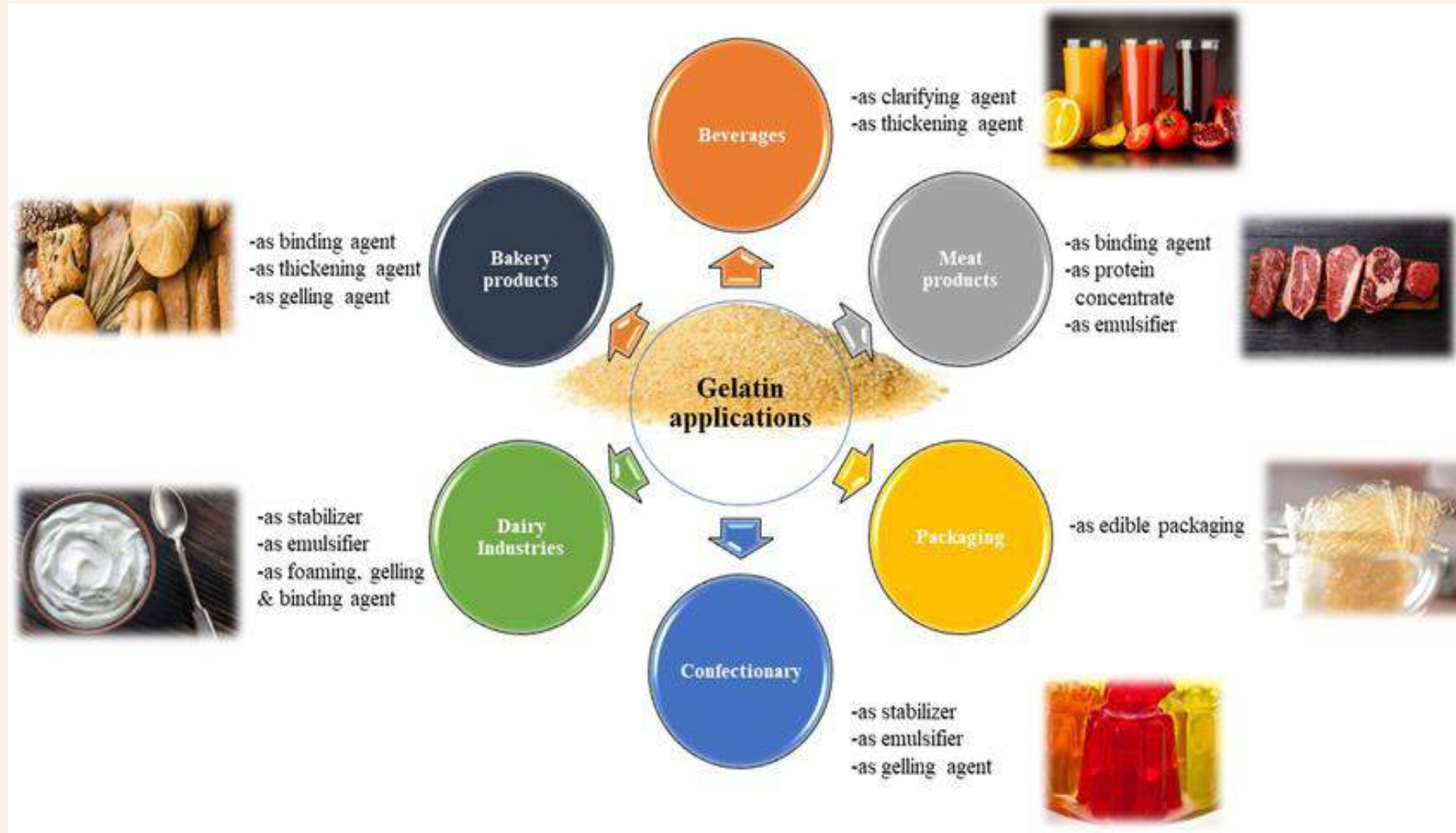
A indústria láctea gera grandes volumes de resíduos líquidos como subproduto durante o processo de coagulação da caseína. Este líquido, designado por soro de leite (DW), é um subproduto proteico solúvel em água, de coloração amarelo-esverdeada, obtido após a extração da caseína no processamento do queijo.

Indústria da carne

No setor da carne, os matadouros geram diversos subprodutos de origem animal, como órgãos, sangue, ossos e gorduras. Estes materiais podem ser processados para a produção de gelatina destinada a revestimentos ou utilizados em materiais compósitos. Derivada do colagénio presente na pele e nos ossos de animais (por exemplo, bovinos e suínos) e em subprodutos de peixe, a gelatina consiste num conjunto de segmentos proteicos com diferentes pesos moleculares (100 a 300 kDa), bem como agregados de elevado peso molecular e frações peptídicas (<100 kDa).



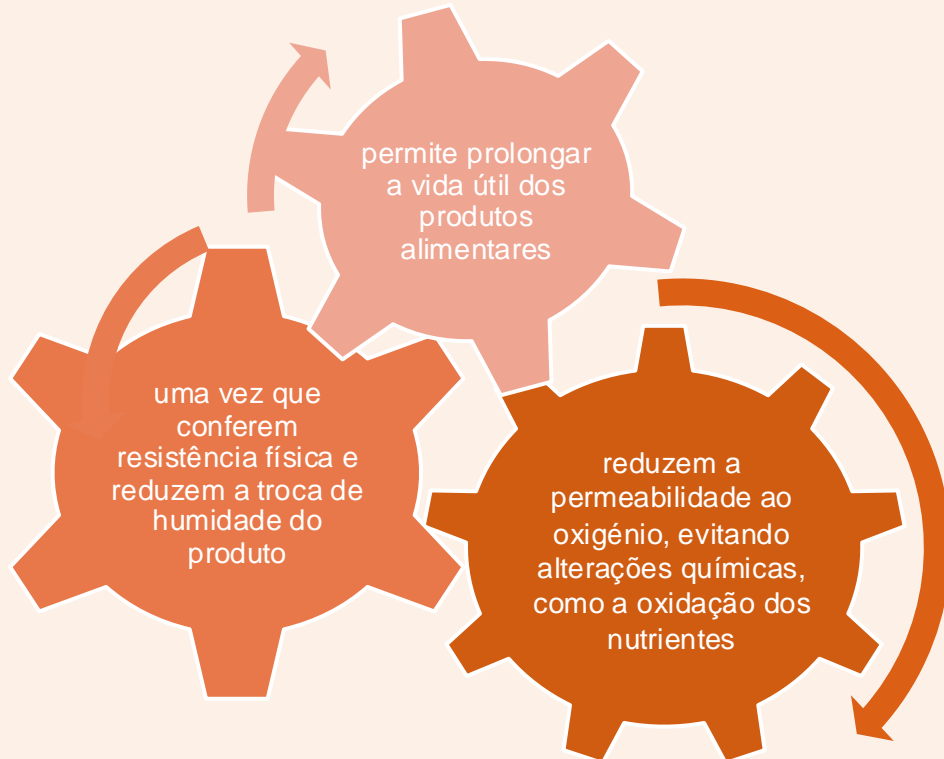
Aplicações da gelatina



A indústria dos óleos vegetais

A indústria dos óleos vegetais, que inclui o processamento de sementes de girassol, colza e soja, produz tortas e outros resíduos ricos em proteínas e fibras.

Propriedades de revestimentos comestíveis obtidos a partir de tortas oleaginosas:



Tortas oleaginosas

As tortas oleaginosas são os principais subprodutos obtidos após a extração de óleo das sementes. Posteriormente, são secas ao ar para remover a água antes do armazenamento

De modo geral, a farinha resultante é utilizada na alimentação animal como ração, uma vez que constitui uma excelente fonte de proteínas, contribuindo assim para o aumento da biomassa. Pode também ser utilizada para consumo humano (Serrapica et al., 2019)

Os aminoácidos essenciais presentes nas tortas de girassol são a cisteína, metionina, leucina, valina, isoleucina, triptofano, alanina e fenilalanina (Petru et al., 2021)

Os filmes comestíveis são adequados para embalagens se apresentarem propriedades estruturais, biológicas, óticas e de barreira adequadas. Devem bloquear eficazmente odores, vapor, óleo, água, oxigênio e luz, de modo a prevenir a oxidação lipídica, a perda de umidade e a descoloração, preservando assim a qualidade e a aparência do produto

Os filmes comestíveis devem apresentar boa solubilidade, atividade antimicrobiana e propriedades sensoriais favoráveis. Em última análise, a sua viabilidade comercial depende da sua comestibilidade

A torta de girassol é um subproduto que permanece após a extração de óleo das **sementes oleaginosas** pelo processo de prensagem, principalmente na produção de óleos alimentares não refinados ou prensados a frio. As tortas são ricas em proteínas e fibras, tornando-as excelentes fontes para a produção de biopolímeros

Biopolímeros à base de proteínas

Torta de soja: contém proteína de soja e é utilizada na produção de filmes biodegradáveis com boas propriedades mecânicas e de barreira.

Torta de girassol: rica em proteínas de girassol, adequada para a formação de filmes com resistência moderada à água.

Torta de colza (canola): contém proteínas de colza e é utilizada na produção de filmes comestíveis com atividade antioxidante e antimicrobiana

Torta de amendoim: rica em proteínas, utilizada na produção de filmes biodegradáveis com boa flexibilidade

Biopolímeros compósitos

Tortas oleaginosas mistas (por exemplo, misturas de soja e girassol): utilizadas na formulação de filmes compósitos de biopolímeros, combinando proteínas e fibras para melhorar o desempenho mecânico e as propriedades de barreira.



As tortas de sementes de girassol obtidas na produção de óleos prensados a frio




UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



U.PORTO
FACULDADE DE FARMÁCIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776



Capítulo 4: Novos subprodutos alimentares como potenciadores do valor nutricional e funcional



Co-funded by
the European Union

Porquê os subprodutos alimentares?



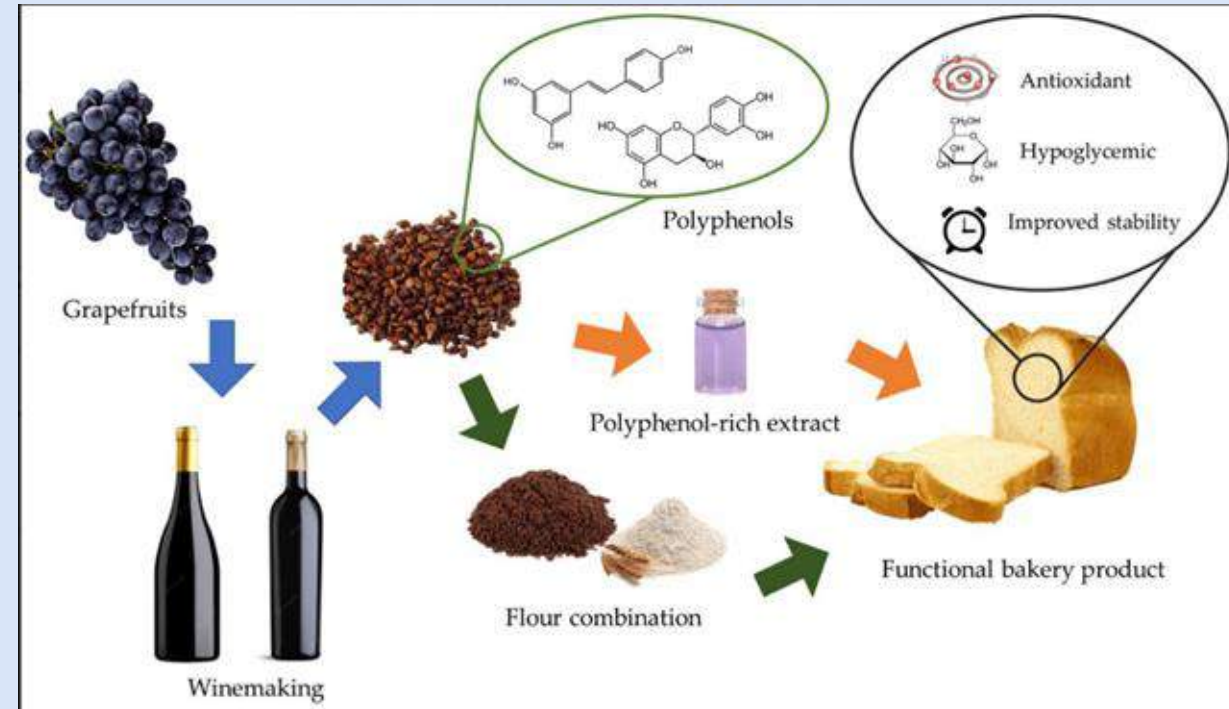
Indústria dos subprodutos do vinho: estudo de caso do bagaço de uva

A valorização dos resíduos da indústria vinícola, como o bagaço de uva, pode ser facilmente e de forma vantajosa reintegrada na indústria da panificação

Estes resíduos representam fontes naturais de antioxidantes, cuja reutilização permite reduzir o recurso a análogos sintéticos associados a efeitos secundários negativos

A incorporação destes antioxidantes como conservantes permite manter a estabilidade do produto final, acrescentando simultaneamente potenciais benefícios para a saúde

A reutilização do bagaço de uva pode constituir uma estratégia eficaz para a criação de produtos de valor acrescentado, ao mesmo tempo que reduz os volumes desta biomassa destinados a aterro, promovendo assim um modelo de economia circular



Bolachas enriquecidas com bagaço de uva tinta

As bolachas são um alimento básico na dieta da maioria das populações em todo o mundo

As bolachas caracterizam-se geralmente por um perfil nutricional pouco equilibrado, sendo uma fonte de hidratos de carbono com elevado índice glicémico, açúcares e ácidos gordos saturados e/ou trans



De um modo geral, as bolachas são consumidas diariamente, sendo adequadas para diversas ocasiões de consumo, desde o pequeno-almoço até a um lanche após as refeições



Farinha de bagaço de uva

As cascas, as sementes e os engaços da uva são obtidos na indústria do vinho ou do sumo de uva imediatamente após a prensagem

O bagaço de uva fresco é seco a 50 °C durante 24 horas e submetido a um processo de moagem para a obtenção de farinha

A farinha de bagaço de uva foi peneirada e incorporada na preparação de bolachas como substituição parcial da farinha de trigo

Produção de vinho



Bagaço de uva



Bolachas



Farinha de bagaço de uva

Bolachas enriquecidas com bagaço de uva tinta

As bolachas podem ser produzidas a partir de uma fórmula básica contendo farinha de trigo, açúcar branco, azeite, leite e fermento em pó

A farinha de bagaço de uva substituiu 20–30% da quantidade de farinha de trigo

A percentagem de farinha de bagaço de uva foi selecionada como um compromisso entre a maximização dos potenciais benefícios para a saúde e a garantia da trabalhabilidade da massa



Uva



Bolachas



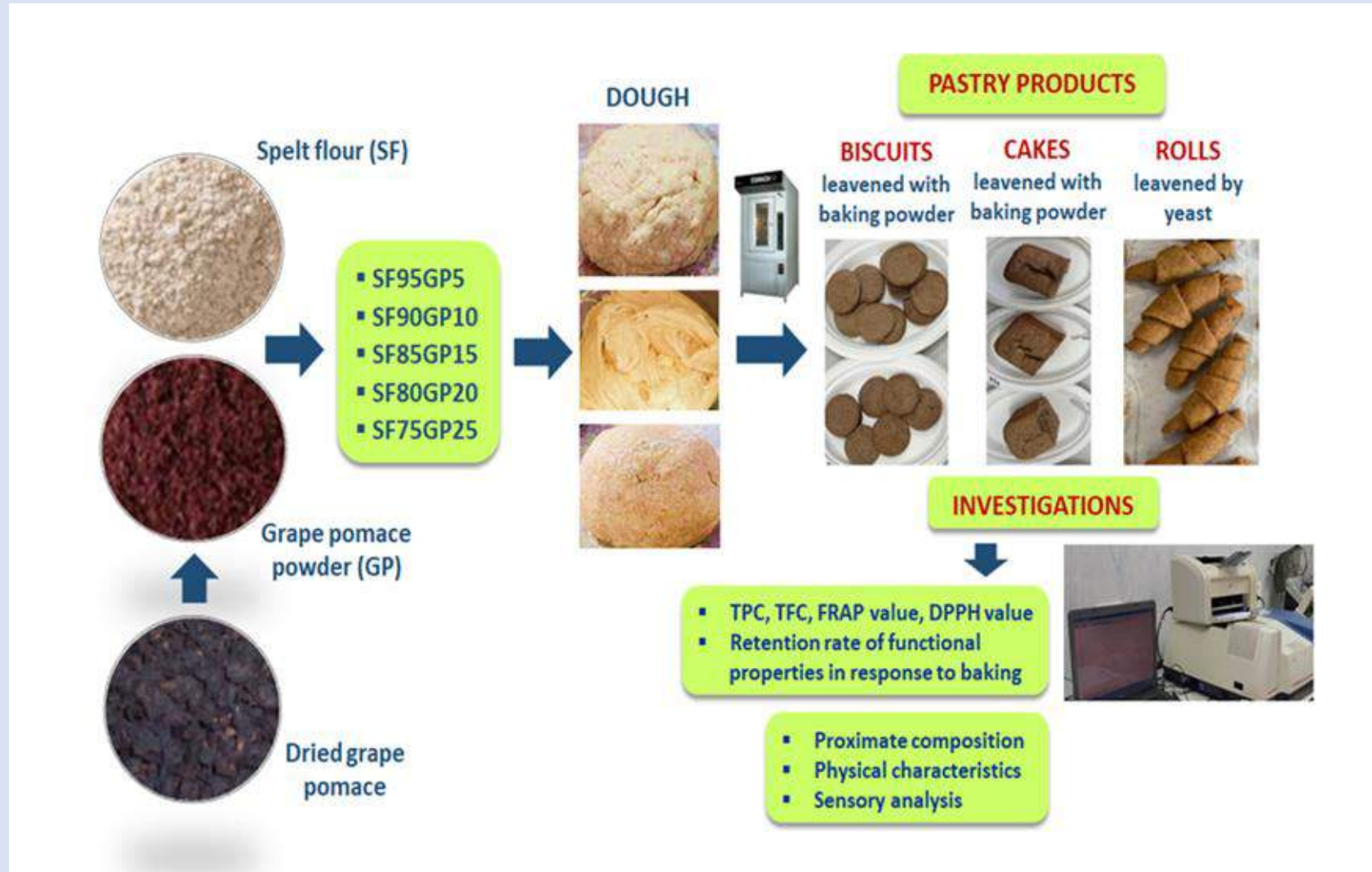
Bagaço de uva



Farinha de bagaço de uva

Produtos de pastelaria com pó de bagaço de uva

Bolachas, bolos e rolos foram desenvolvidos utilizando farinha de trigo espelta e diferentes percentagens de bagaço de uva (BU)



A incorporação de farinha de bagaço de uva nas formulações melhorou o perfil nutricional, aumentando o teor de fibras e polifenóis e reduzindo o teor lipídico e o valor energético.

Bolachas enriquecidas com bagaço de uva tinta



Wheat flour



Grape pomace flour



Milk



Olive oil



Sugar



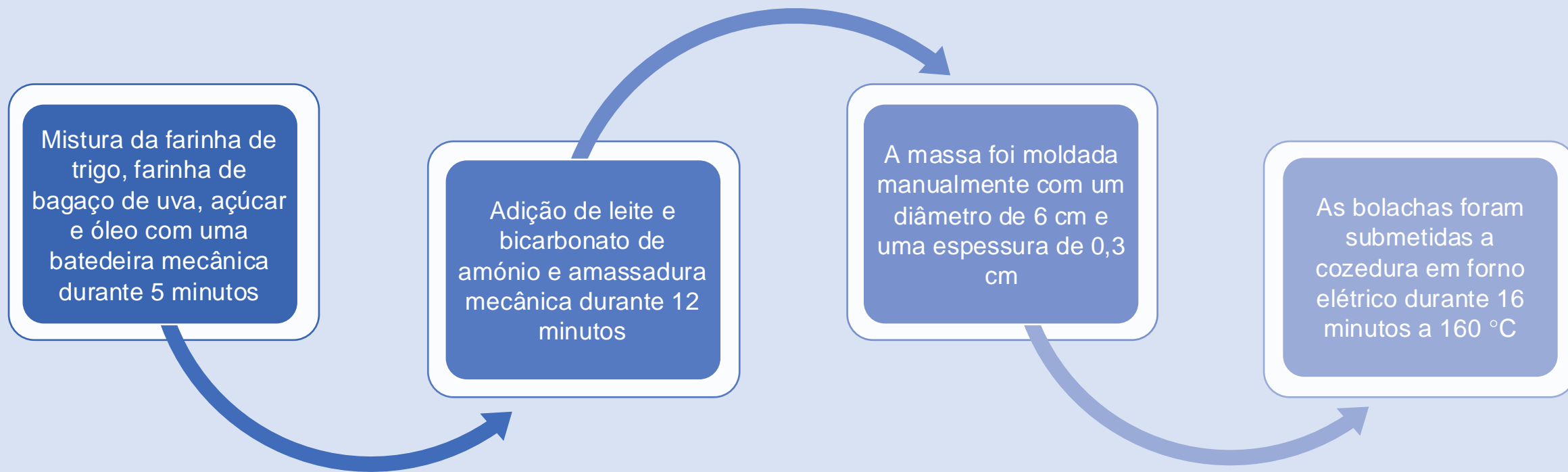
Ammonium bicarbonate



Ingredientes das bolachas



Bolachas enriquecidas com bagaço de uva tinta



Processo de produção de bolachas



BOLACHAS DE BAGAÇO DE UVA

Propriedades físico-químicas (de acordo com as especificações técnicas)

Propriedades	Valor
Humidade (%)	16,8
Proteínas (%)	8,46
Lípidos (%)	22,17
Ácidos gordos (%)	12,36
Hidratos de carbono (%)	46,16
Valor energético, kJ/100g	1770,21
Açúcar (%)	16,69
Fibra (%)	6,42
Sais (%)	0,25



Propriedades sensoriais (de acordo com as especificações técnicas)

Propriedades	Condições de admissibilidade
Aspeto	Peças redondas e planas, inteiras, com superfície semiclusa, lisas, sem elementos, diâmetro 8 cm
Cor	Não é permitido castanho-avermelhado claro a avermelhado, característico do pomaça da uva, cor branca ou queimada
Sabor	Agradável, característico, adequado para o doce, sem sabor ácido ou amargo
Sabor	Agradável, característica do espinheiro-do-mar
Olfato	Sem cheiro estranho (bolor, rançoso, etc.)

Outros usos do bagaço de uva

O bagaço de uva e os seus constituintes têm sido adicionados a uma variedade de alimentos, incluindo pão, produtos de pastelaria, bolachas, massas alimentícias, cereais expandidos, entre outros



Bagaço de uva

Produtos alimentares



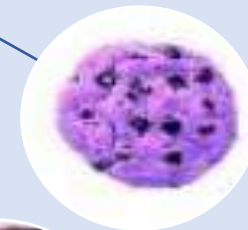
Pão



Cereais extrudidos



Muffins



Bolachas



Massa (tipo noodles)

Para além das antocianinas, o bagaço de uva contém flavonoides e procianidinas provenientes das sementes de uva, contribuindo para a notável capacidade antioxidante dos produtos alimentares

MASSA DE UVA E BAGAÇO

Ingredientes

Farinha de trigo spelta, pré-mistura de bagaço de uva, ovos, sal, água

Propriedades físico-químicas (de acordo com as especificações técnicas)

Propriedades	Valor
Humidade (%)	12,4
Proteínas (%)	13,6
Lípidos (%)	5,7
Hidratos de carbono (%)	60
Valores energéticos, kcal/100g	262
Açúcar (%)	0,8
Ácidos gordos (%)	1,2
Sais (%)	0,8
Fibra (%)	8,4



Propriedades sensoriais (de acordo com as especificações técnicas)

Propriedades	Condições de admissão
Aspetto	superfície lisa sem vestígios de farinha não fermentada, na quebra do aspeto vítreo, são permitidas partículas pontuadas de porosidade castanha da farinha de Spelta
Cor	Castanho-avermelhado específico do bagaço da uva
Sabor	Agradável, característico, adequado para o doce, sem sabor ácido ou amargo
Corpos estrangeiros ausente	Corpos estranhos ausente

MUFFINS DE BAGAÇO DE UVA

Ingredientes

Farinha de trigo de espelta, pré-mistura de bagaço de uva, ovos, manteiga, açúcar, óleo vegetal, sal, poder de pastelaria, sabores

Propriedades físico-químicas (de acordo com as especificações técnicas)

Propriedades	Valor
Humidade (%)	21,7
Proteínas (%)	6,7
Lípidos (%)	27,9
Hidratos de carbono (%)	40,4
Valor energético, kcal/100 g	443,83
Ácidos gordos (%)	3,3
Açúcares (%)	25
Sal (%)	0,3
Fibra (%)	3,3



Propriedades sensoriais (de acordo com especificações técnicas)

Propriedades	Condições de admissibilidade
Forma	Característica do produto dos muffins
Aparência	Superfície mate, não queimada, ligeiramente rachada
Cor	Castanho, uniforme
Núcleo	Massa homogénea, característica de um produto bem cozido, em secção sem grumos ou vestígios de farinha não congelada
Sabor	Agradável, característica do bagaço de uva, adequada para o doce, sem sabor ácido ou amargo
Olfato	Agradável, frutado, característico, sem cheiro estranho (a bolor, rançoso, rançoso, etc.)
Consistência	Núcleo denso, ligeiramente húmido ao toque, ligeiramente esfarelado com vazios

Efeitos dos polifenóis isolados do bagaço da uva na saúde humana

Propriedades cardiovasculares



Propriedades antidiabéticas



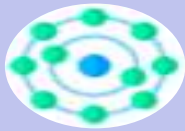
Propriedades antimicrobianas



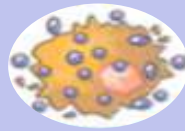
Propriedades anti-envelhecimento



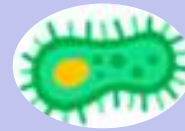
Propriedades antioxidantes



Propriedades anti-inflamatórias



Propriedades antioxidantes



PROPRIEDADES DE SAÚDE

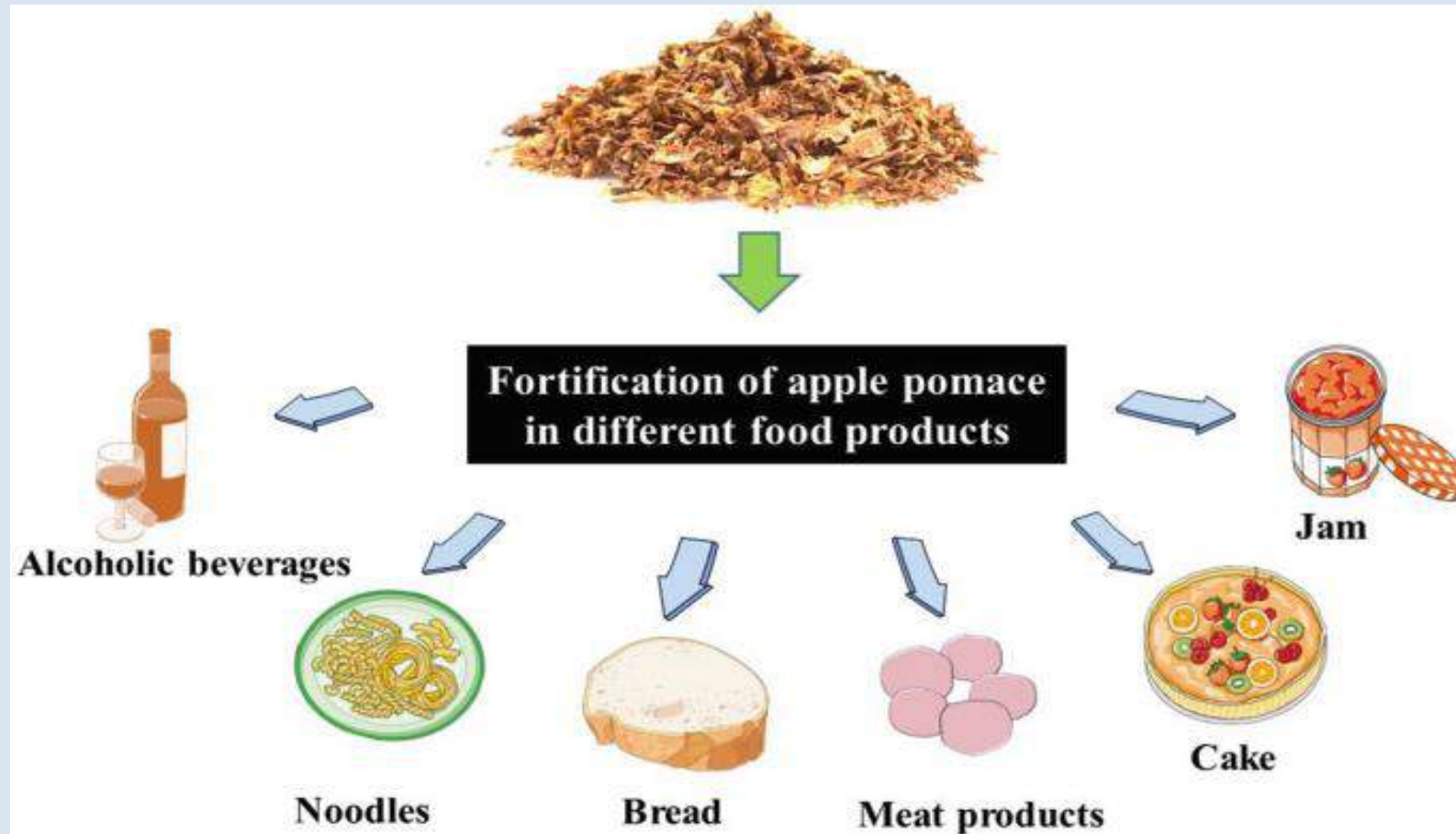


SUBPRODUTO DA PRODUÇÃO DE VINHO



BAGAÇO

APPLE PROCESSANDO SUBPRODUTOS COMO UMA POTENCIAL FONTE DE MOLÉCULAS BIOATIVAS



please Anamaria add source, authors and doi

APPLE PROCESSANDO SUBPRODUTOS COMO UMA POTENCIAL FONTE DE MOLÉCULAS BIOATIVAS

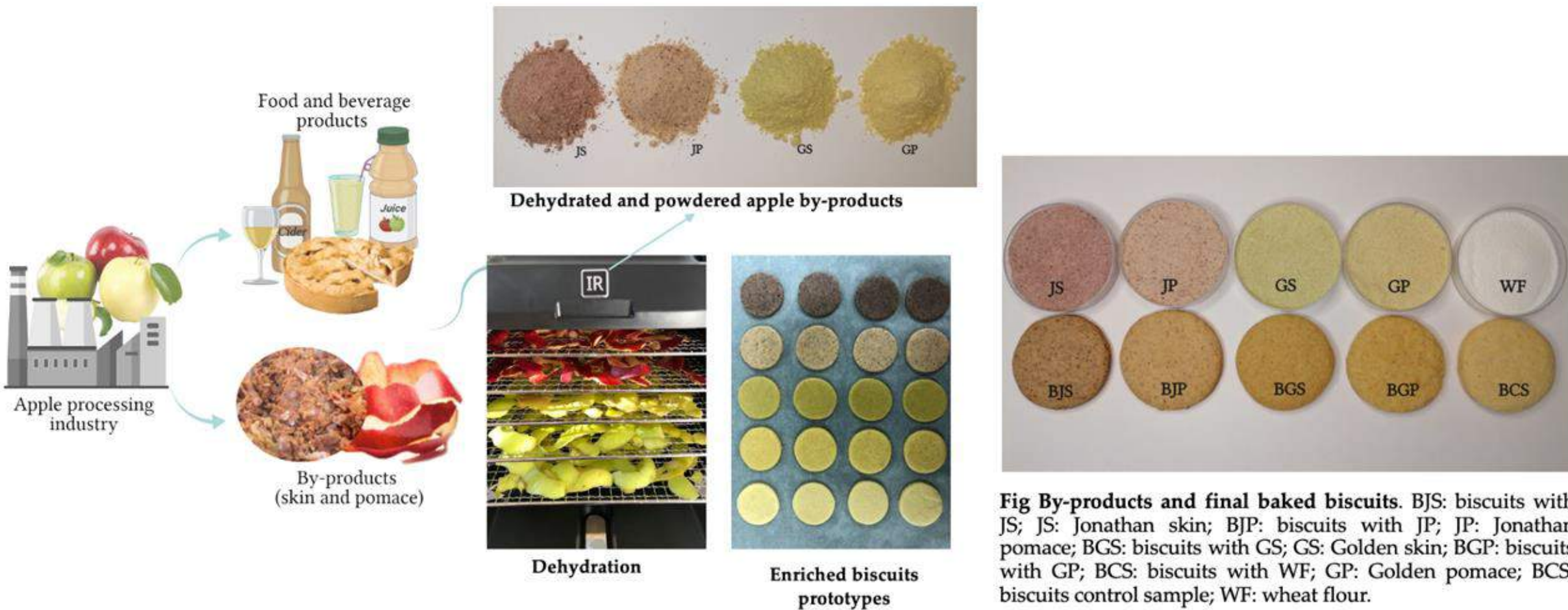
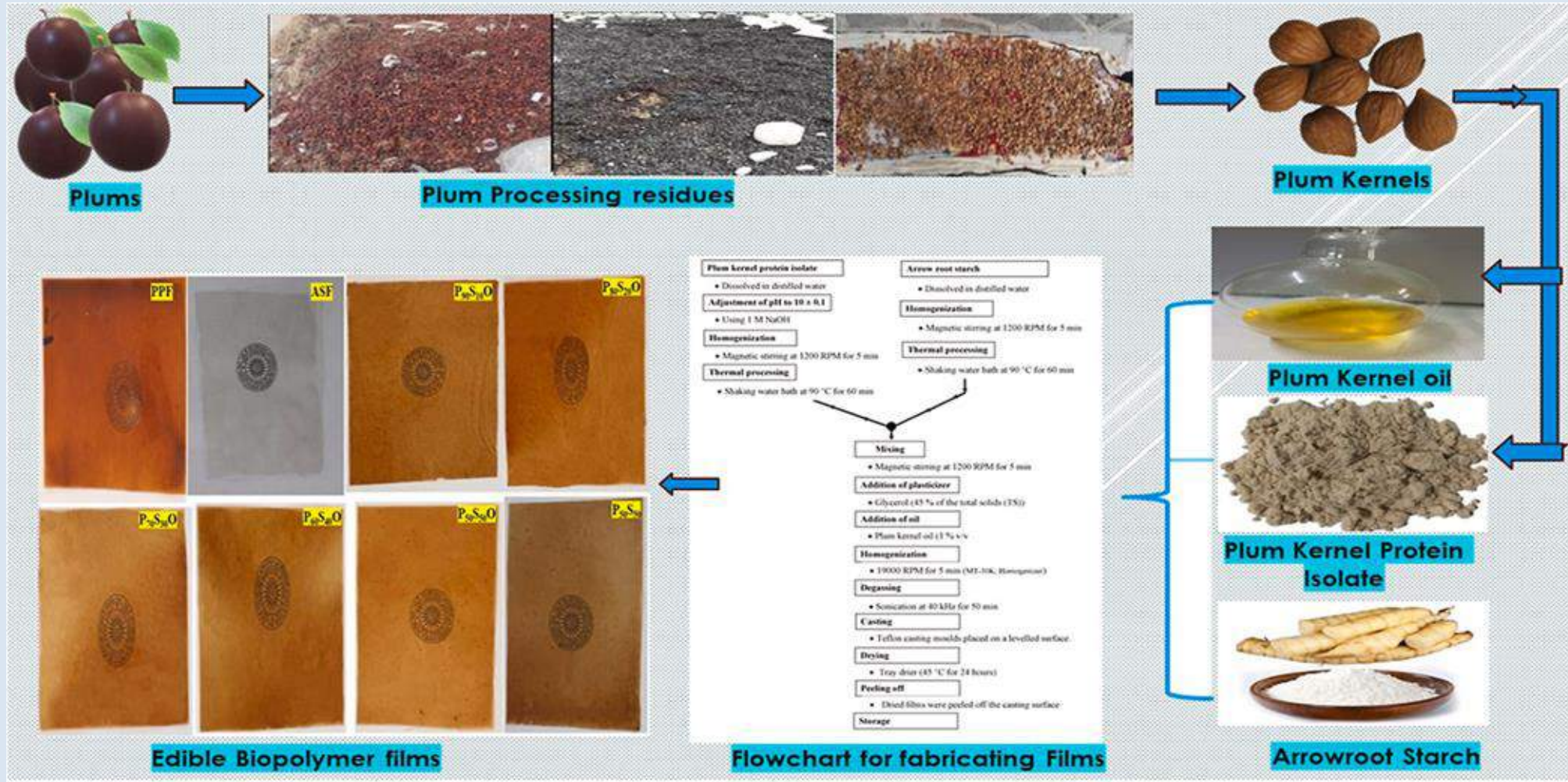
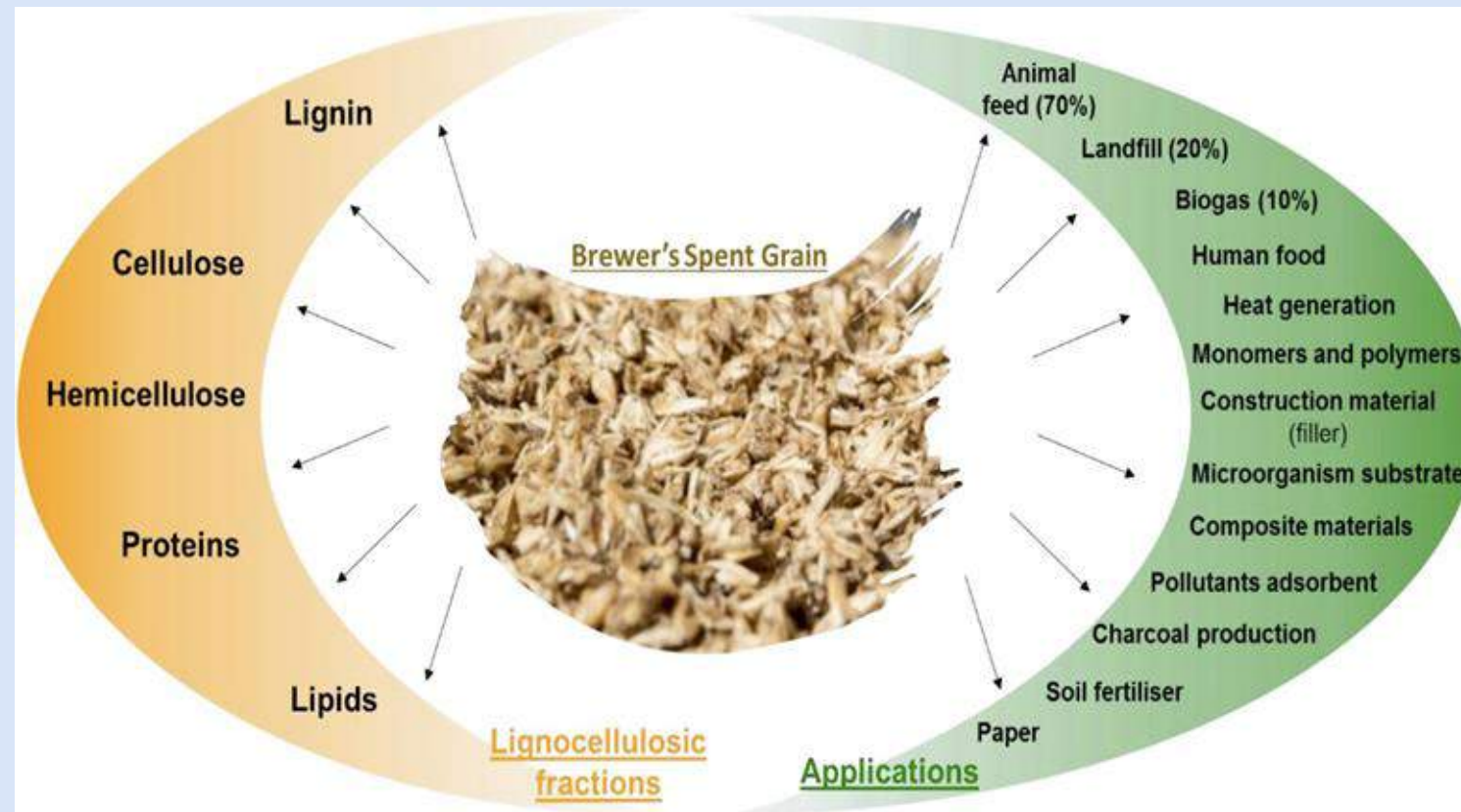


Fig By-products and final baked biscuits. BJS: biscuits with JS; JS: Jonathan skin; BJP: biscuits with JP; JP: Jonathan pomace; BGS: biscuits with GS; GS: Golden skin; BGP: biscuits with GP; BCS: biscuits with WF; GP: Golden pomace; BCS: biscuits control sample; WF: wheat flour.

SUBPRODUTOS DO PROCESSAMENTO DA AMEIXA COMO FONTE POTENCIAL DE MOLÉCULAS BIOATIVAS



Valorização dos subprodutos da cerveja



Fractions present in BSG's lignocellulosic biomass and their potential applications,

Arnaud 2024, <https://hal.science/hal-04437457v1>

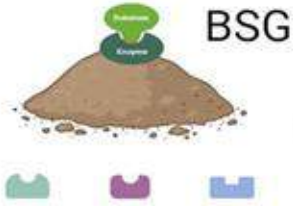


Beer



Barley

Valorisation of Brewers' spent grain for applications in Human health

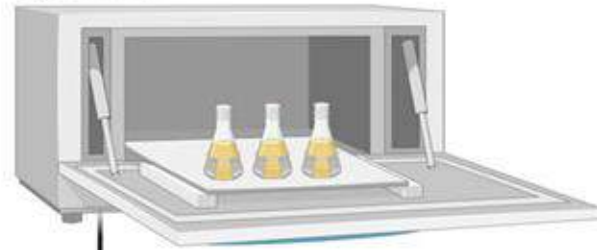


BSG

Proteases

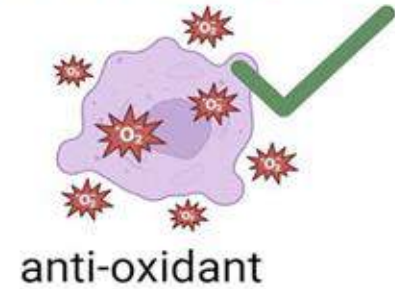
Pro1,Pro2,Pro3,Pro4,Pro5,Pro6, Pro1:Pro4, Pro2:Pro6

Hydrolysis at pH and Temp optima



Centrifugation

Freeze dry supernatant



anti-oxidant



Brain health ?



gut health

Integração direta da BSG na composição alimentar – estudo de caso

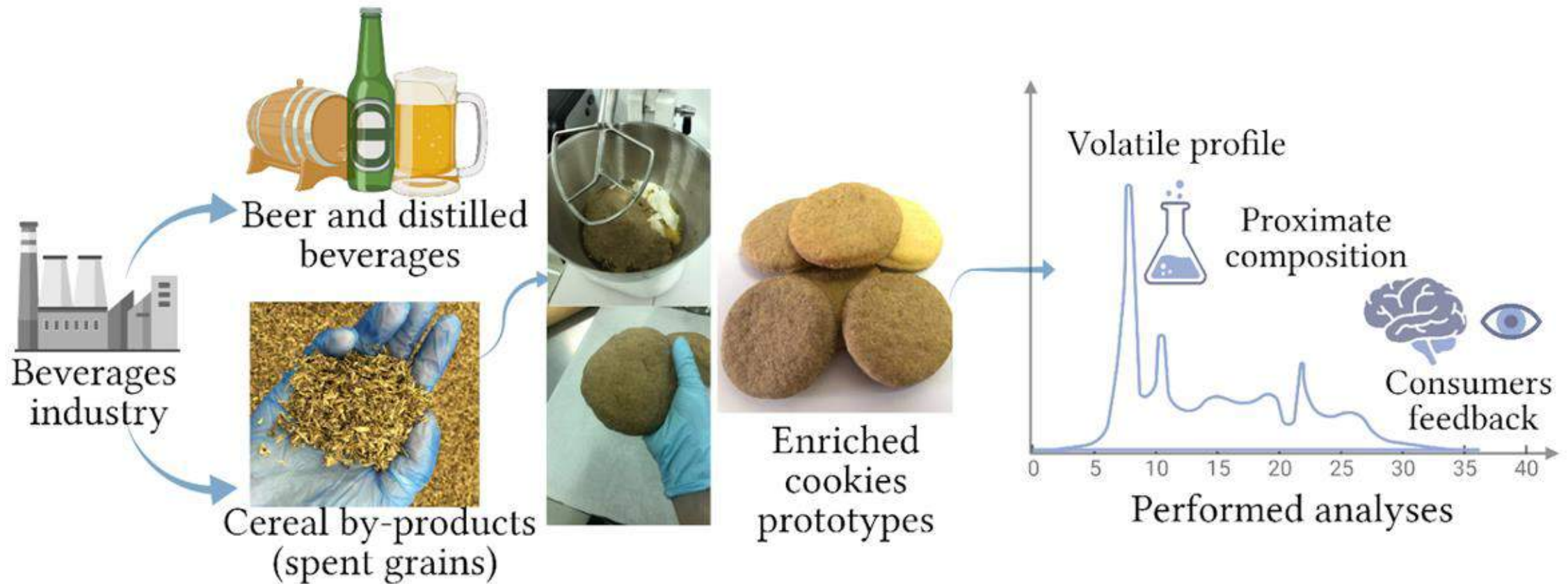


Figure – Graphic abstract of the experimental design

Integração direta da BSG na composição alimentar – estudo de caso



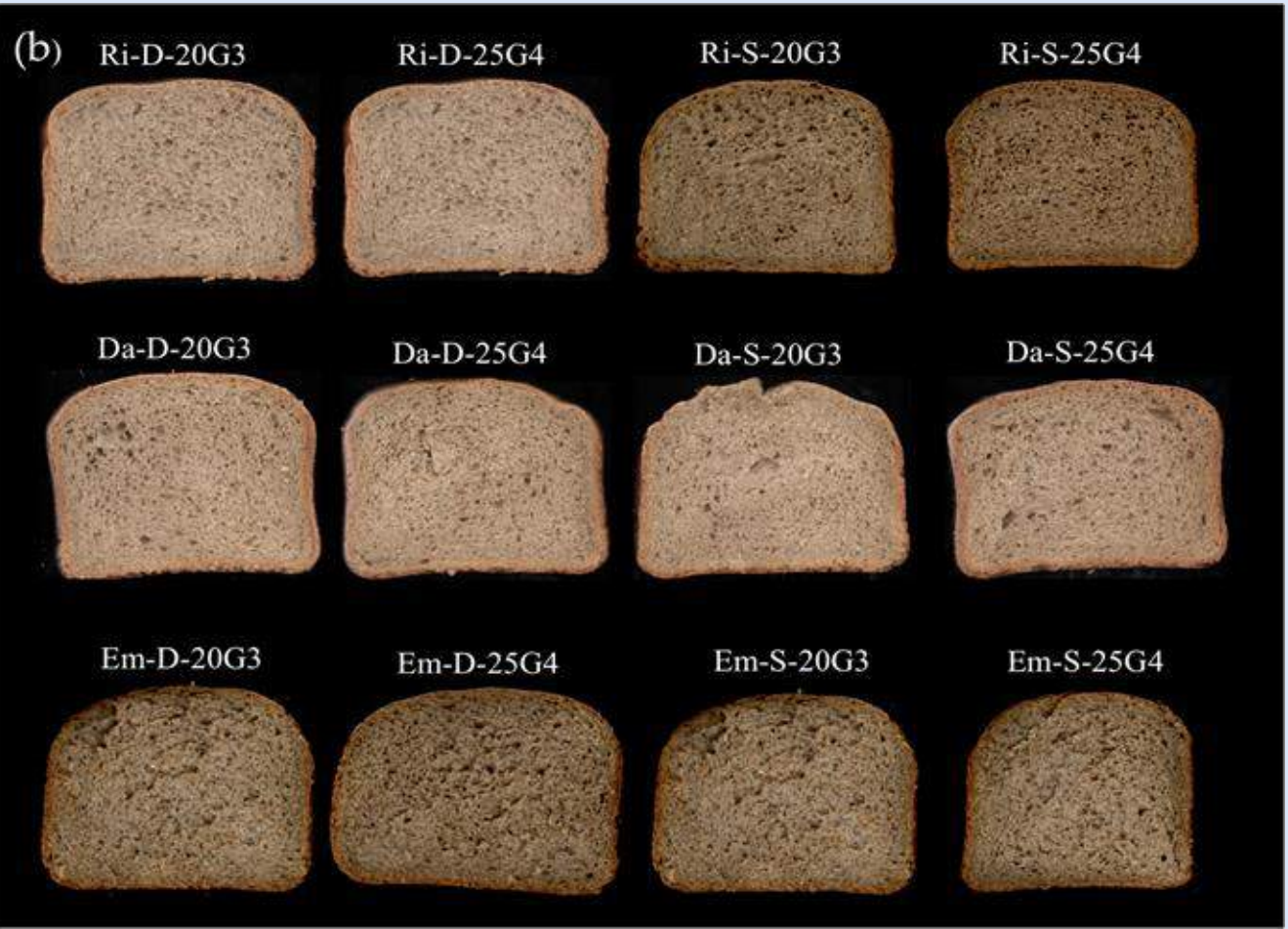
Figura – Resumo gráfico dos Crackers do desenho experimental



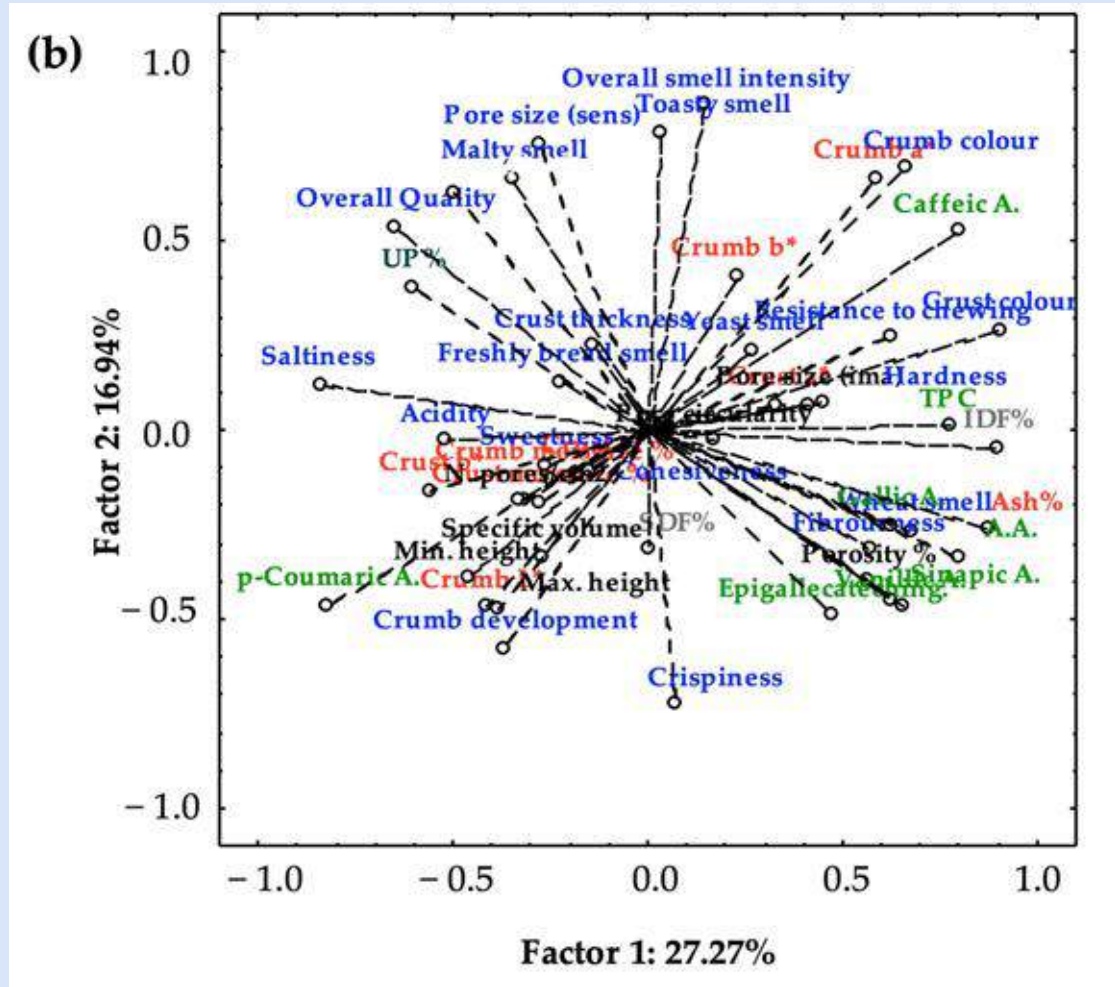
2021 and 2022 – Gold and Bronze Medals at International Invention Salons



Visual appearance of muffins produced for the sensory study with different levels (0–10%) of supplementation of brewers' spent grain (BSG) sample A (BSGA) and enzymatically hydrolysed BSG sample B (BSGB), Cermeño et al., 2021



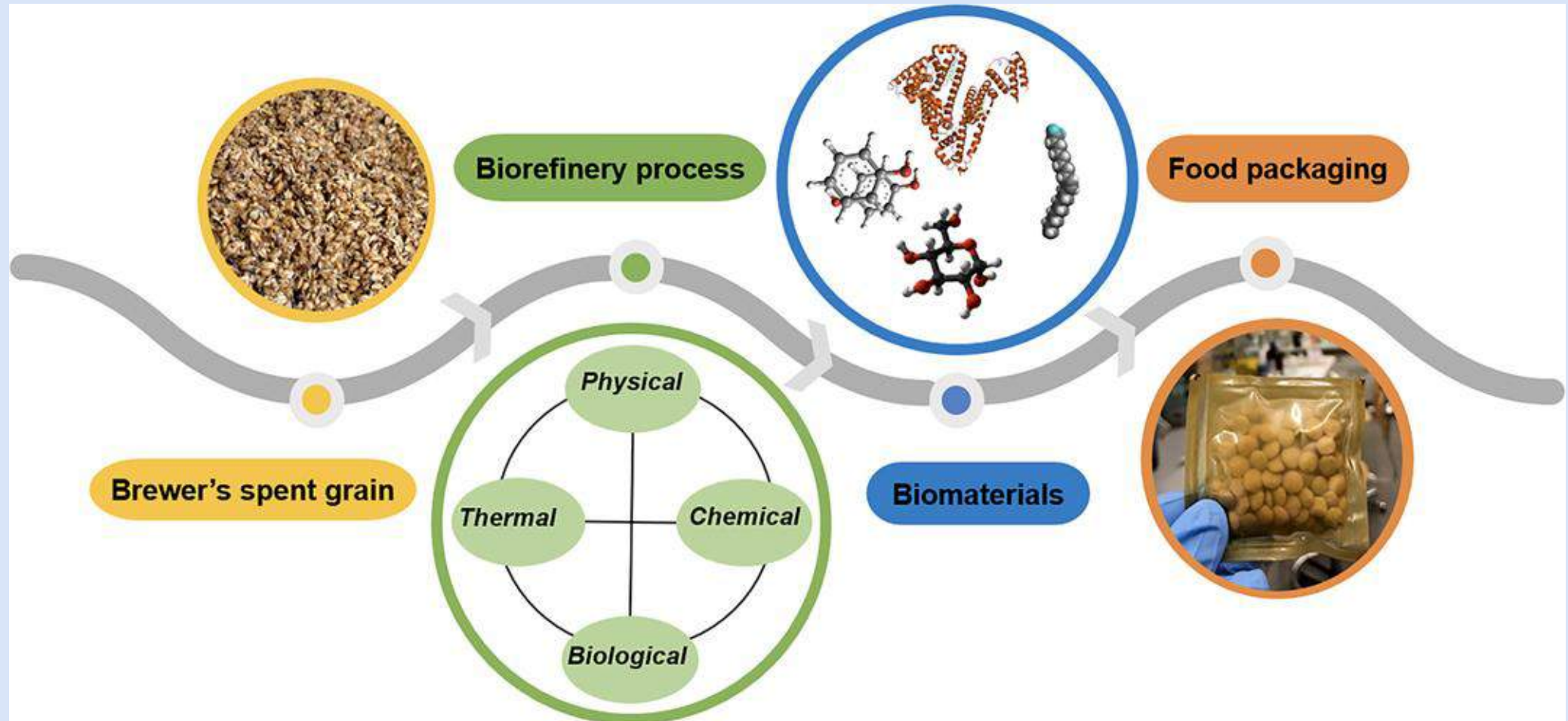
(b)



(a)

Fatias de pão de controlo (a) e (b) os 12 pães funcionais produzidos com adição de cereais usados pela cervejaria; (b) projeções de pães funcionais obtidos Os fenólicos estão em fonte verde; As Fibras Alimentares Insolúveis e Solúveis são de púrpura; UP% está em verde escuro; Os índices de humidade, % de cinzas e colorimétricos estão em vermelho; os parâmetros estruturais estão a preto (Baiano et al., 2022),

Esquema do processo de biorrefinaria para transformar o BSG em embalagens alimentares biodegradáveis



Subprodutos da azeitona

Valorization strategies

Sprelive

Fresh olive pomace

Extracted olive pomace

Soilife

Patent PCT/IB2018/060111

Foodstuff composition, process and uses thereof

This functional ingredient is a mixture of bioactive compounds, in particular hydroxytyrosol, tyrosol, sterols, tocopherols, triterpenes, coenzyme Q10, K, Mg and Ca, among others, obtained from olive pomace by mechanical pressing.

Patent PCT/IB2017/053422

Olive pomace products, method of production and their uses

The present disclosure relates to olive pomace and a green methodology to obtain derivative products for its valorization.

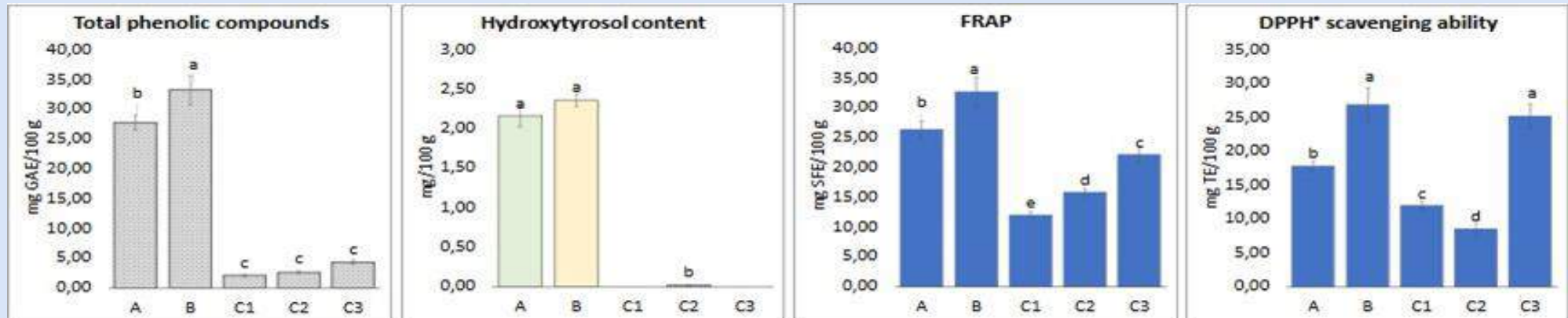
The obtained products may be used as a solid substrate, nutraceuticals, cosmetics or food supplements.

Creme de pasta à base de azeite com extrato de bagaço de azeitona

70% azeite
Água
Agentes tecnológicos
Extrato



70% azeite
Óleo de coco
Água
Agentes tecnológicos
Extrato



GAE, gallic acid equivalents; FSE, ferrous sulfate equivalents; TE, trolox equivalents; FRAP, ferric reducing antioxidant power; DPPH*, 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl radical scavenging ability. Data expressed as mean \pm standard deviation. Different lower-case letters mean significant differences between samples.

Olive pomace pasta

Bagaço de azeitona



- Dried 40 °C 48h
- Dried 70 °C 24h



Sieved for stone fragments removal

Liofilizado e moído

After chemical analysis results, olive pomace dried at 70 °C 24 h was selected for pasta incorporation



Benefícios da incorporação do bagaço de azeitona nos alimentos:

Economia circular

- Upcycling da OPP
- Desenvolvimento de novos produtos alimentares
- Valorização do setor do azeite

Pasta Incorporating Olive Pomace: Impact on Nutritional Composition and Consumer Acceptance of a Prototype

by Diana Melo Ferreira ^{1,†}, Bárbara C. C. Oliveira ^{1,†}, Carla Barbosa ^{1,2}, Anabela S. G. Costa ¹, Maria Antónia Nunes ¹, Maria Beatriz P. P. Oliveira ^{1,*} and Rita C. Alves ¹

¹ LAQV/REQUIMTE, Department of Chemical Sciences, Faculty of Pharmacy, University of Porto, Street of Jorge Viterbo Ferreira, 4050-313 Porto, Portugal

² CISAS/IPVC, Polytechnic Institute of Viana do Castelo, Avenue of Atlantic, 4900-348 Viana do Castelo, Portugal

* Author to whom correspondence should be addressed.

† These authors contributed equally to this work.

Foods 2024, 13(18), 2933; <https://doi.org/10.3390/foods13182933>

Massa com bagaço de azeitona

- Pasta dried at 50 °C 5 h
- Cooked at 100 °C 10 min

A massa enriquecida tinha aumento de macronutrientes, vitamina E e atividade antioxidante

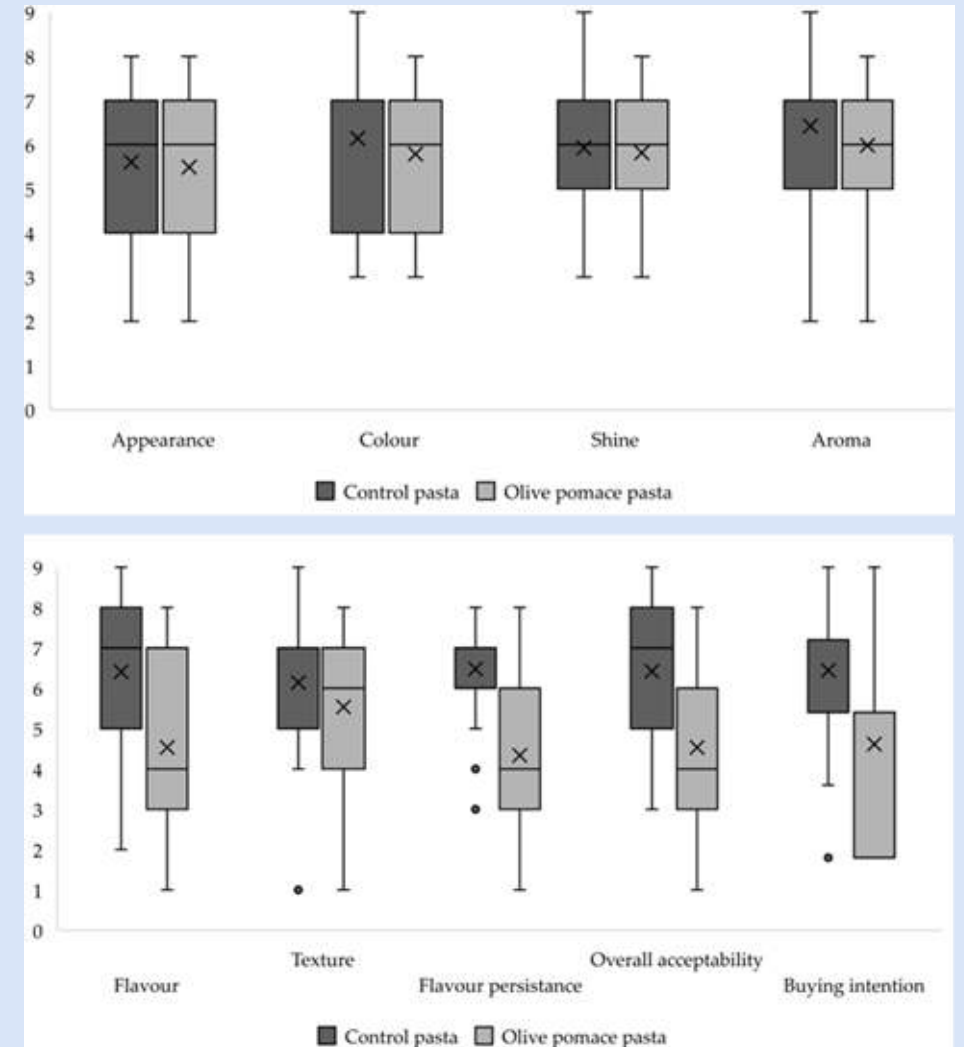


200 g de farinha de trigo +
110 mL de água



185 g de farinha de trigo + 15
g de bagaço de azeitona +
110 ml de água

Análise sensorial

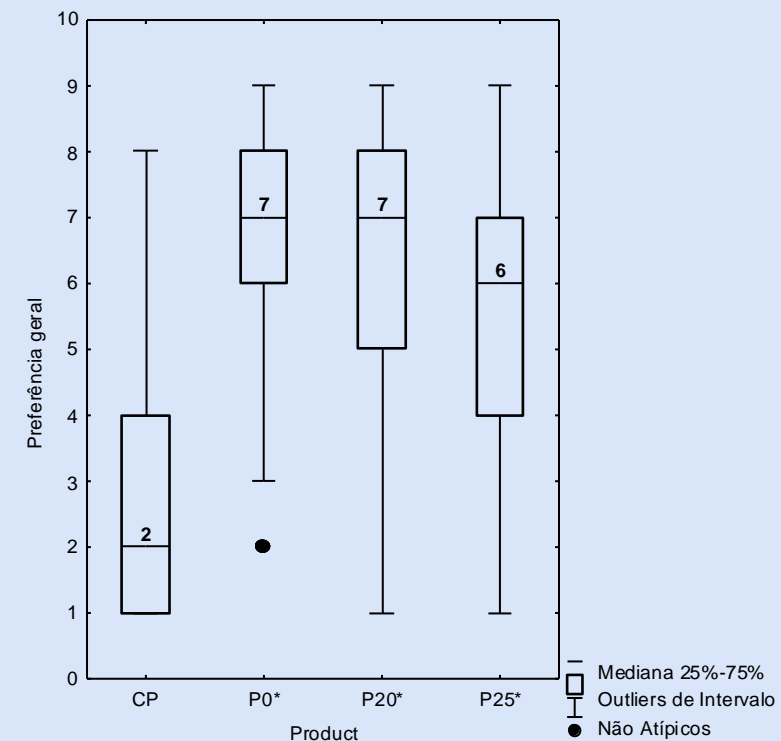


Patês de bagaço de azeitona

Patê de azeitona	Ingredientes
Patê de azeitona (P0)	75% representavam azeitonas pretas oxidadas, 10% vinagre, 10% AVIR, 3% ervas aromáticas, 1% alho em pó e 1% sal,
Patê de azeitona com 20% HT-OPP (P20)	55% representavam azeitonas pretas oxidadas, 20% HT-OPP, 10% vinagre, 10% AVIRG, 3% ervas aromáticas, 1% alho em pó e 1% sal,
Patê de azeitona com 25% HT-OPP (P25)	50% representavam azeitonas pretas oxidadas, 25% HT-OPP, 10% vinagre, 10% AOVER, 3% ervas aromáticas, 1% alho em pó e 1% sal,



Processamento de Alta Pressão (HPP)



Bagaço de azeitona e aplicação cosmética



Chemical and Rheological Characterization of a Facial Mask Containing an Olive Pomace Fraction

by Raquel Rodrigues ^{1,†}, Joana C. Lobo ^{1,†}, Diana M. Ferreira ¹, Ewa Senderowicz ¹, M. Antónia Nunes ¹, M. Helena Amaral ^{2,3,*}, Rita C. Alves ^{1,*} and M. Beatriz P. P. Oliveira ¹

¹ REQUIMTE/LAQV, Department of Chemical Sciences, Faculty of Pharmacy, University of Porto, R. J. Viterbo Ferreira, 228, 4050-313 Porto, Portugal

² Associate Laboratory i4HB—Institute for Health and Bioeconomy, Faculty of Pharmacy, University of Porto, 4050-313 Porto, Portugal

³ UCIBIO—Applied Molecular Biosciences Unit, MEDTECH, Laboratory of Pharmaceutical Technology, Department of Drug Sciences, Faculty of Pharmacy, University of Porto, 4050-313 Porto, Portugal

* Authors to whom correspondence should be addressed.

† These authors contributed equally to this work.

Cosmetics **2023**, *10*(2), 64; <https://doi.org/10.3390/cosmetics10020064>

A incorporação de pasta de bagaço de oliva a 5% nas máscaras faciais resultou em:

- Um aumento de 17 vezes no conteúdo fenólico total, aumentando a capacidade antioxidante,
- Máscaras com boa textura, sem odor e com um aspeto apelativo,
- Melhoria da viscosidade e firmeza da máscara, mantendo a desejável espalhabilidade e facilidade de aplicação.

Subprodutos de café: Aplicações alimentares



Coffee silverskin: from challenge to reality

DEVELOPMENT OF NEW FOOD PRODUCTS

- ↑ Protein
- ↑ Fibre
- ↑ Minerals
- ↑ Caffeine



- ↑ phenolics
- ↑ caffeine

Subprodutos de café: Aplicações alimentares



UAE: An effective and viable option to be applied by industries to recover bioactive compounds from silverskin



Good source of bioactive compounds (CGA and caffeine)

- Easily extracted using “green” solvents and methods
- Several anti-MetS effects (e.g., antidiabetic, antiadipogenic, and anti-inflammatory) found in different cell lines

• Possibility to develop a functional product



Cookies enriched with CS well accepted by consumers



✓ **Silverskin valorization**
(Sustainability and Circular economy in coffee industries)

✓ **Prevention/ management of MetS**
(Major concern in developed countries)



Sustainable alternative



Promote health and well-being



Promote sustainability and circular economy of coffee value chain



Innovate and increase the availability and diversity of food

Impacto das cascas e da pele prata nas propriedades prebióticas



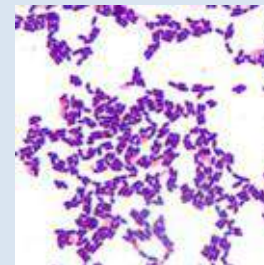
Pele de prata



Cascas



Digestão gastrointestinal in vitro (GID)



Incubação com Lactobacilos

- ✓ Perfil de hidratos de carbono
- ✓ Perfil de ácido clorogénico
- ✓ Conteúdo de cafeína

- ✓ O crescimento das estirpes dos lactobacilos
- ✓ Produção de ácido orgânico
- ✓ Variação do pH

A fração polissacarídica apresentou resistência à digestão, com predominância de polissacarídeos pécnicos. Os **ácidos clorogénicos e a cafeína revelaram estabilidade moderada**, sugerindo que uma fração significativa destes compostos poderá atingir o cólon e atuar como substrato para a microbiota local

Tanto as amostras controlo como as amostras digeridas promoveram o crescimento e o metabolismo de estirpes **probióticas**, evidenciado pelo aumento da densidade celular, diminuição do pH e produção de ácidos orgânicos

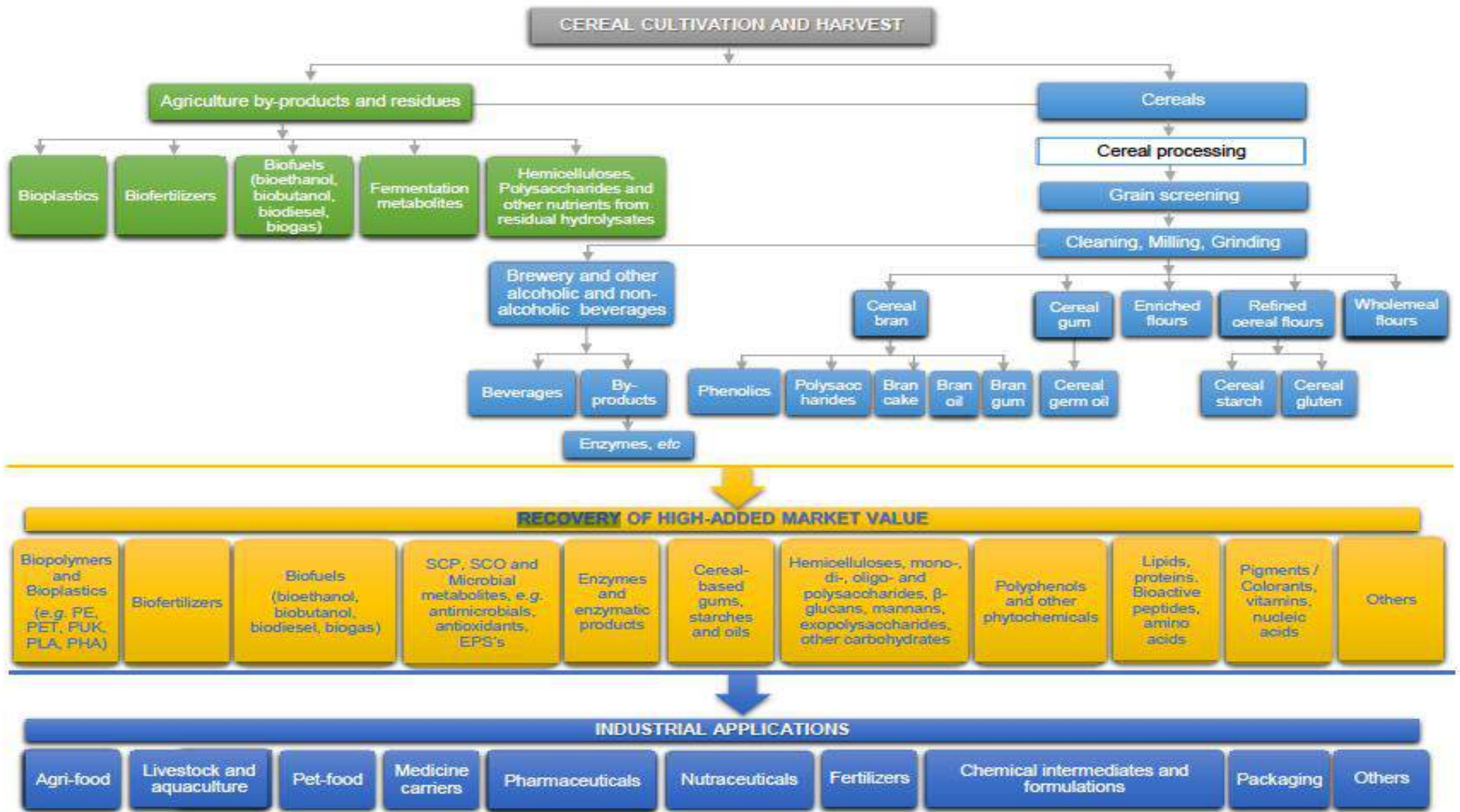
No entanto, persistem limitações que justificam a realização de estudos futuros, nomeadamente a **avaliação em modelos *in vitro* de fermentação colónica** mais realistas e a realização de ensaios *in vivo* para confirmar os benefícios observados. A utilização de **subprodutos do café na sua forma integral como ingrediente prebiótico** poderá constituir uma forma de contribuir para a redução do desperdício alimentar e para a diminuição do impacto ambiental.



Estudo em curso: Simulação *in vitro* da fermentação do cólon humano de cascas e pele prateada

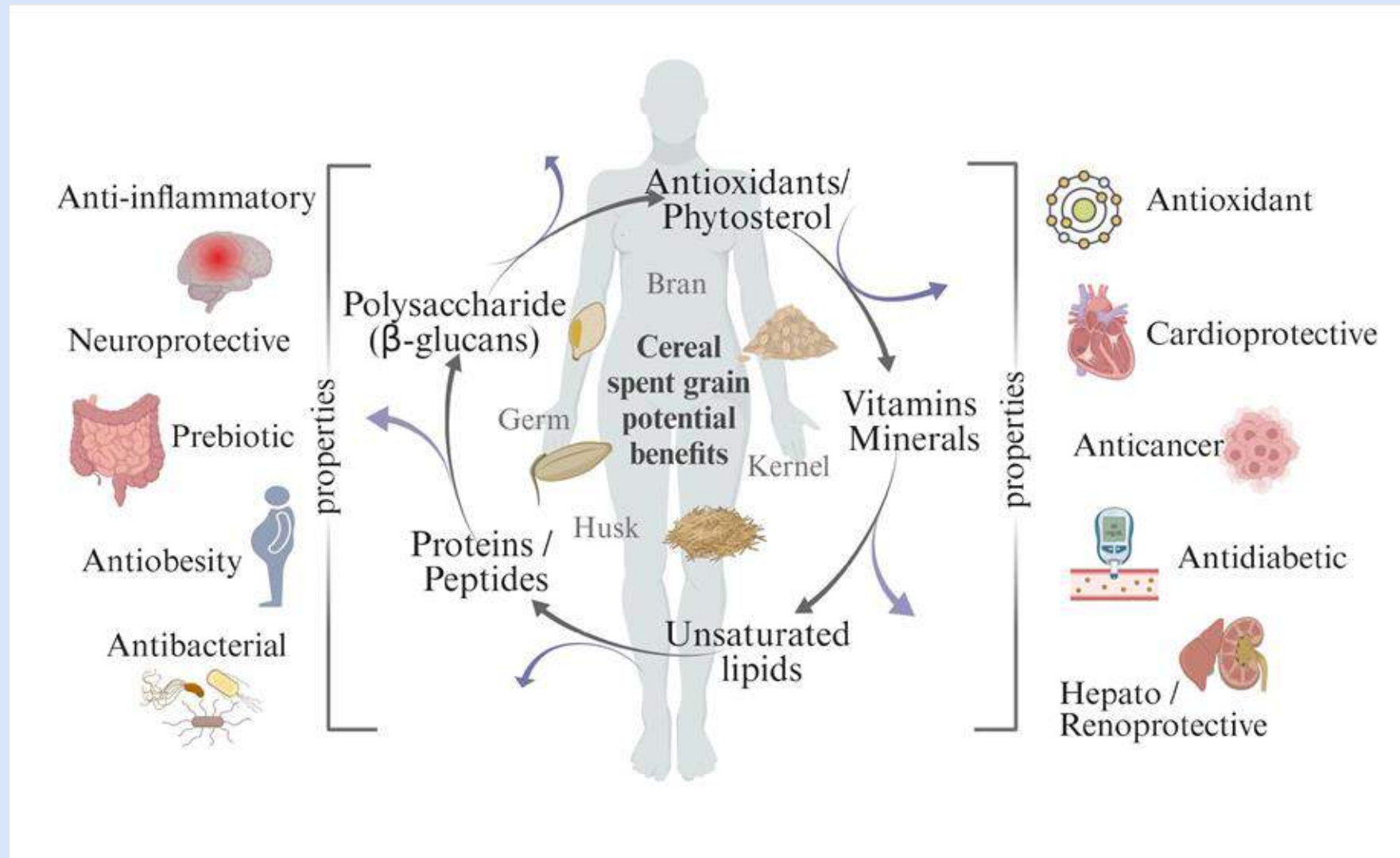


Valorização dos subprodutos cereais



Valorisation of by-products and wastes from cereal-based processing industry, Skendi et al., 2020, doi:10.3390/foods9091243

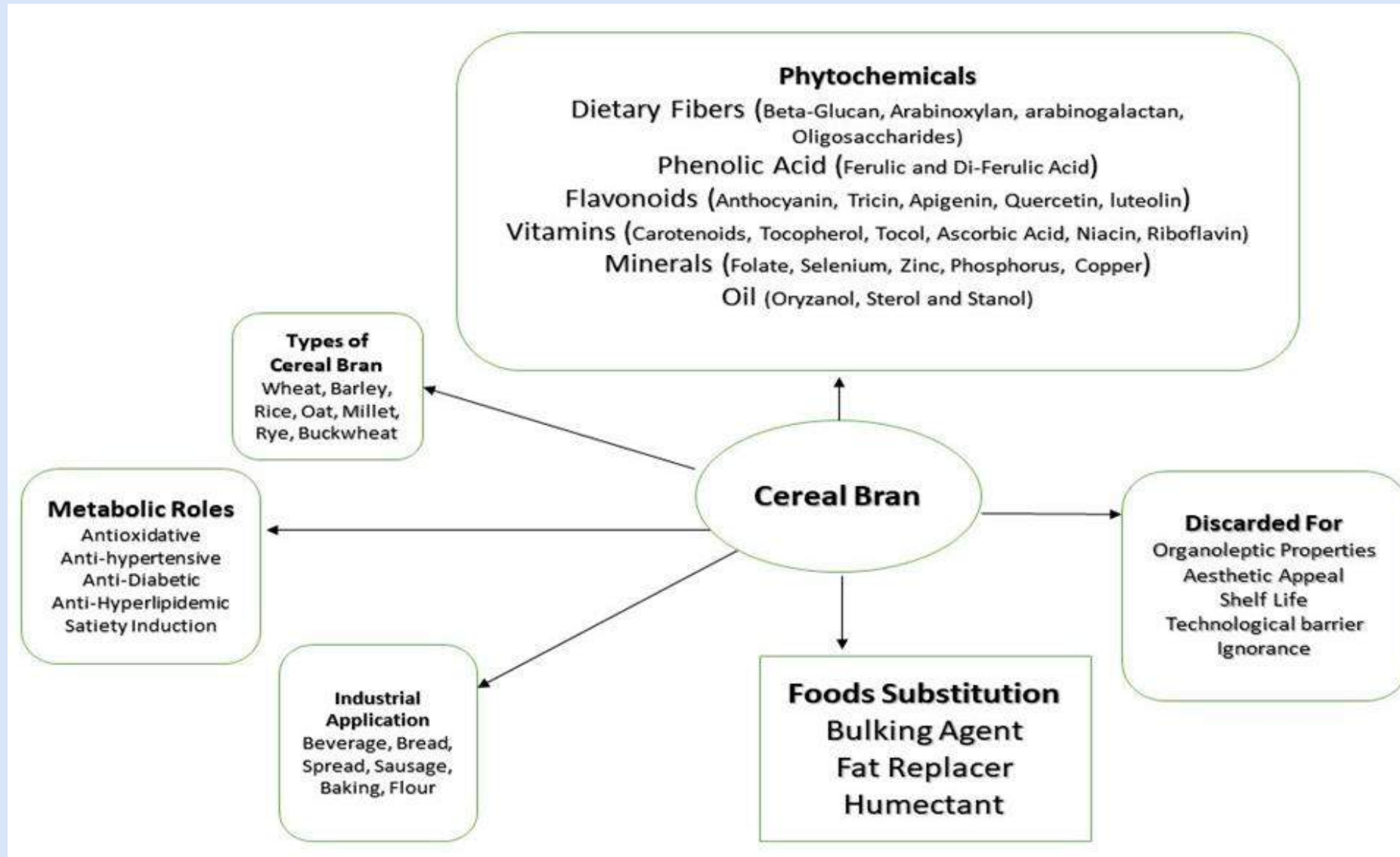
Os efeitos potenciais mais relevantes dos compostos bioativos identificados em subprodutos de cereais

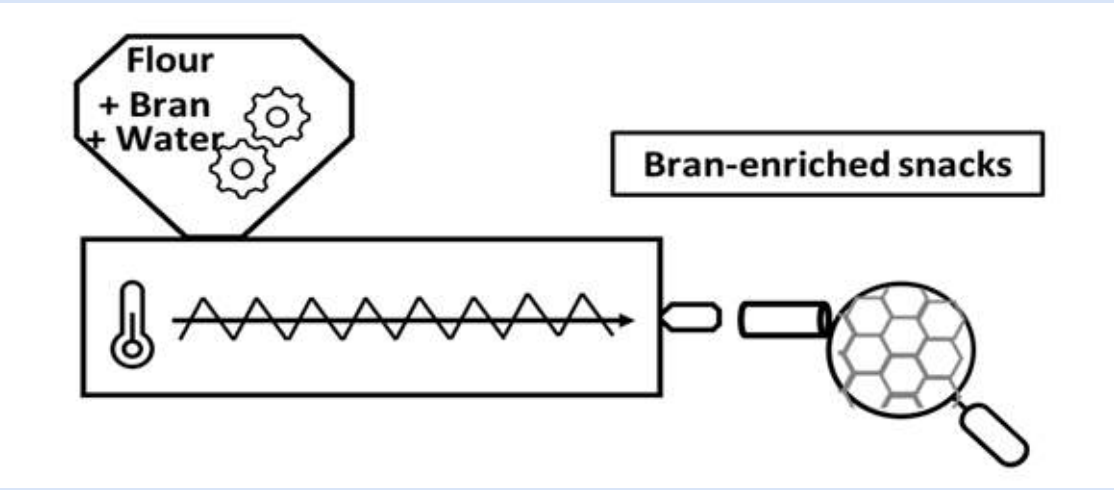
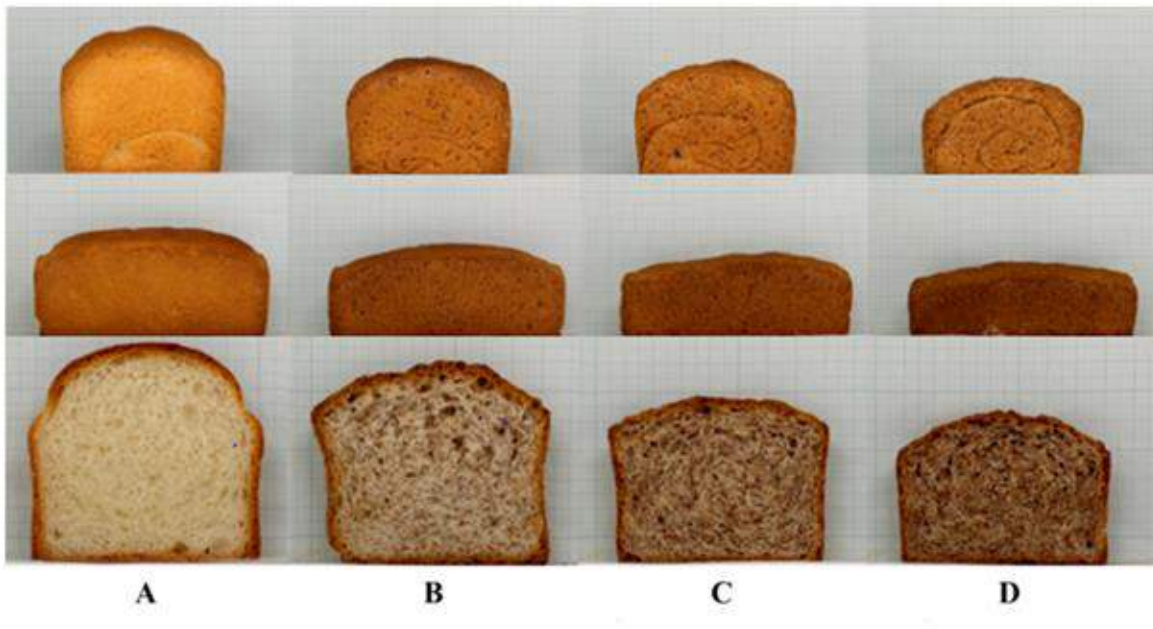


Fonte: Chis and Farcas Intech Open 2024

DOI: 10,5772/intechopen,1004865

Farelo de cereais como produto funcional em diferentes indústrias



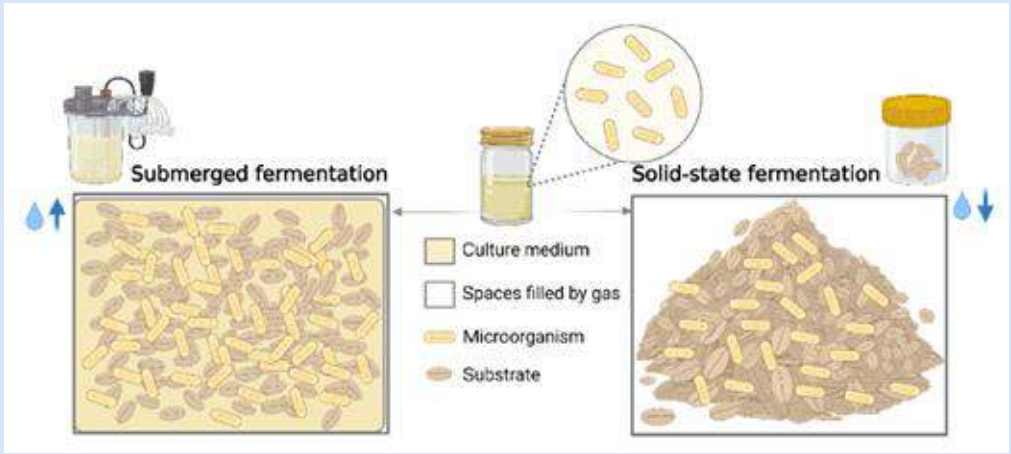


Bran-enriched snacks, Tyl et al., 2021, <https://doi.org/10.3390/foods10092024>



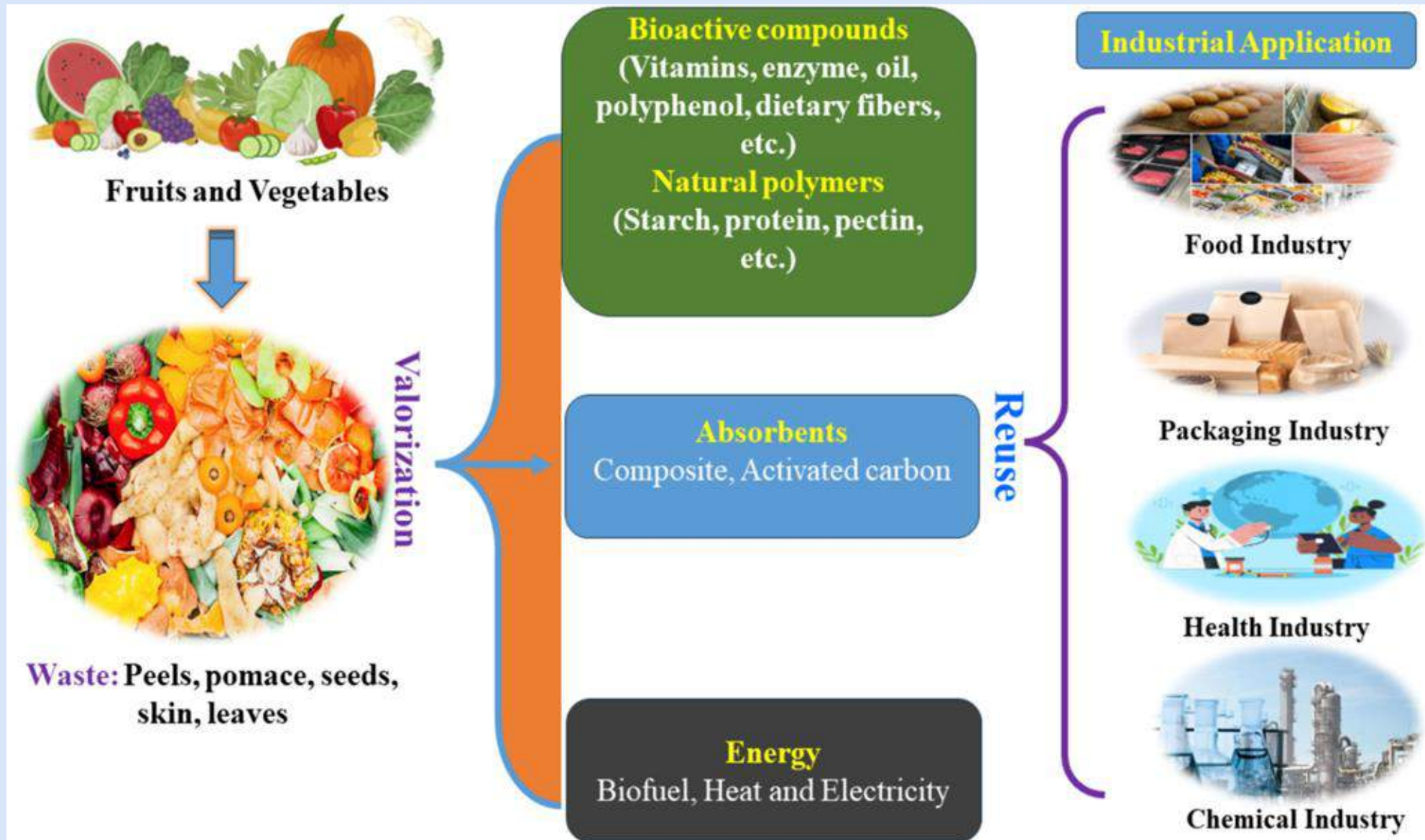
Nutri-cereal bran enriched muffins and buns, Mrunal et al., 2020, [10.9734/IRJPAC/2020/v21i2030282](https://doi.org/10.9734/IRJPAC/2020/v21i2030282)

Vista lateral e secções transversais dos pães formulados com misturas de farinha e farelo em diferentes proporções: (A) F100/B0; (B) F90/B10; (C) F80/B20; (D) F70/B30 (Seo et al., 2021, <https://doi.org/10.3390/app11094034>),

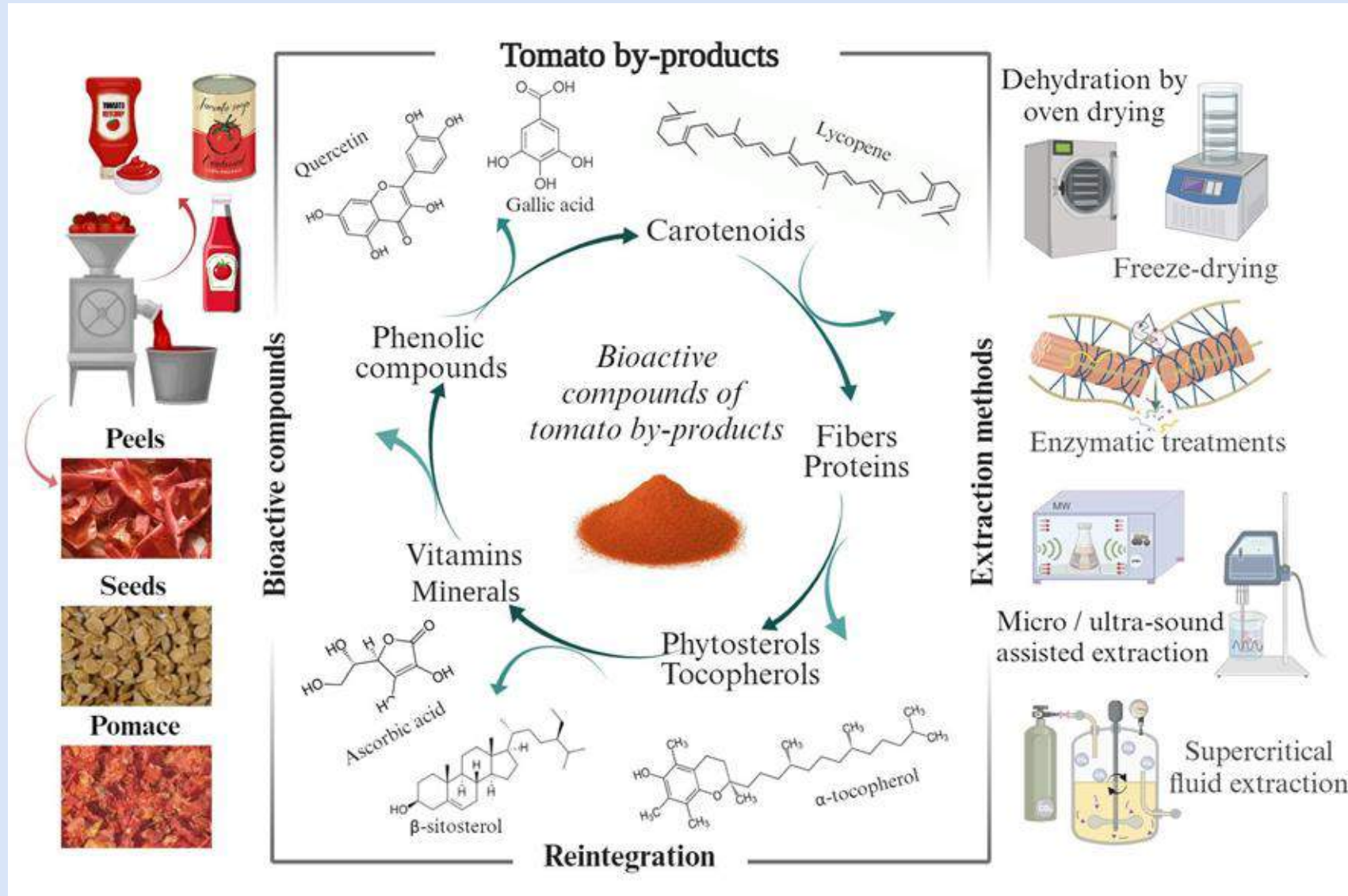


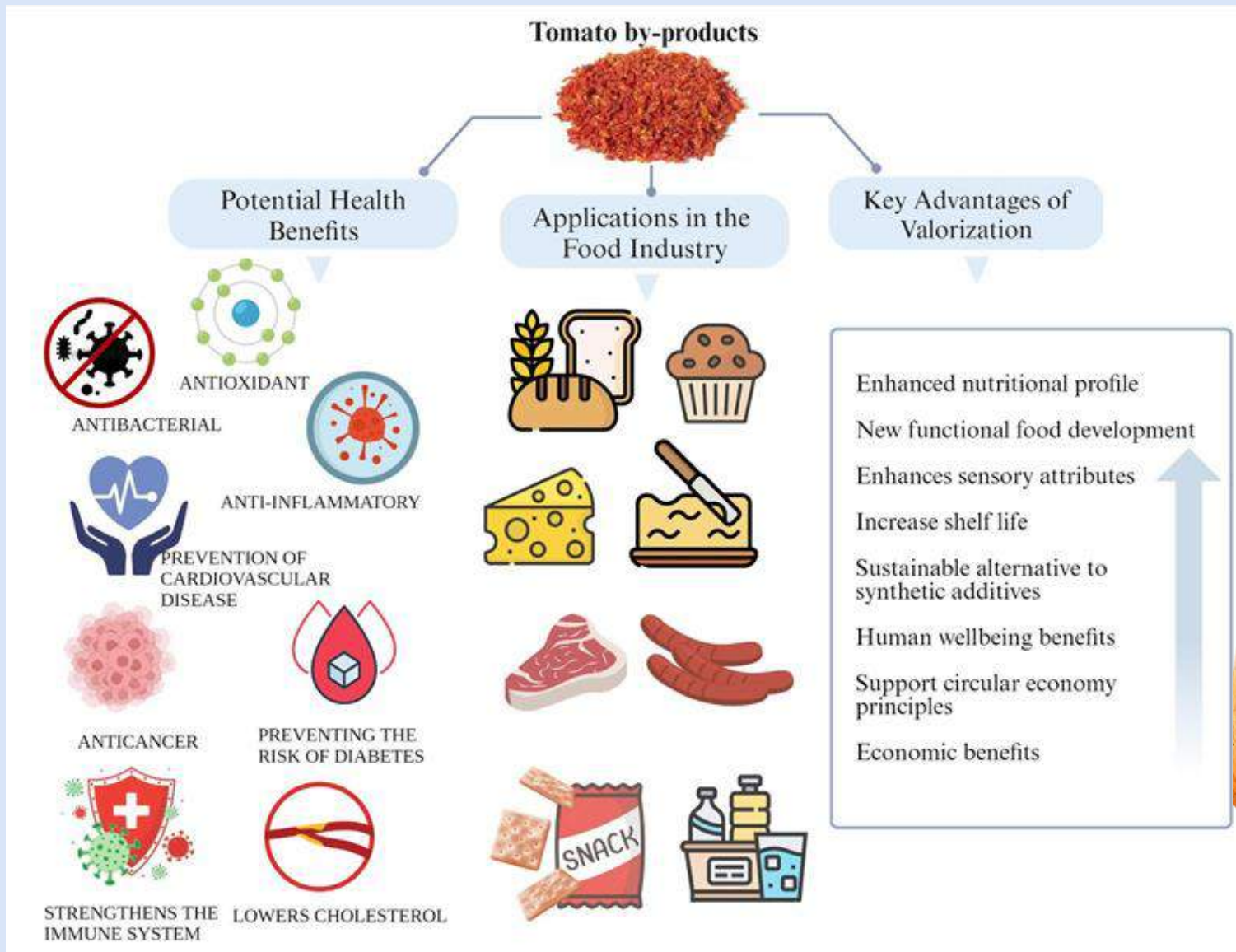
Fermentação em estado sólido e fermentação submersa de farelo de cereais (Nemeş et al., 2022, <https://doi.org/10.3390/antiox11112159>)

Subprodutos de frutas e legumes



Subprodutos de processamento de tomate na indústria alimentar



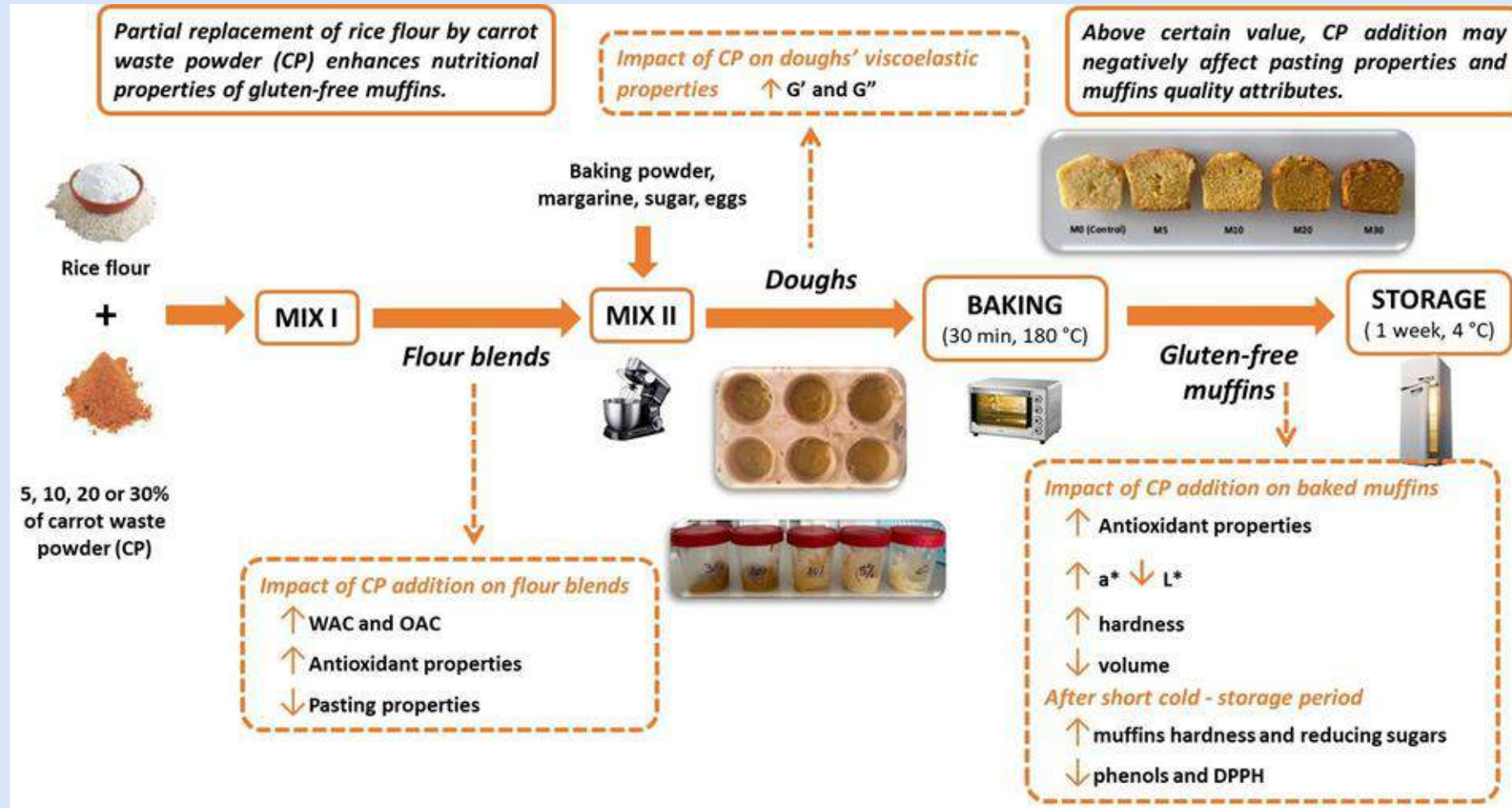


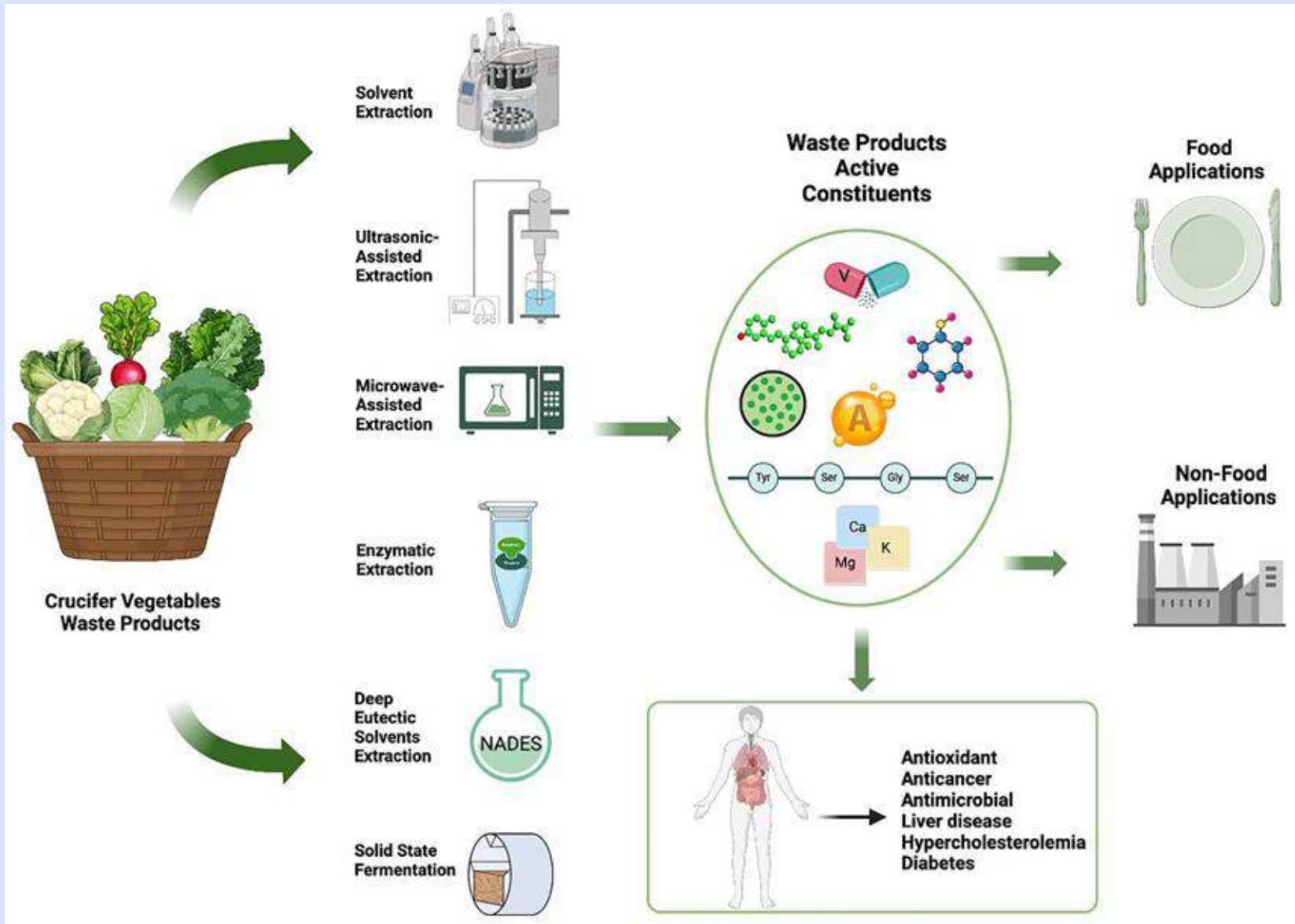
Hoje vamos fazer focaccia com pó de subproduto de tomate



Valorização da Farinha de Desperdício de Cenoura em produtos de pastelaria

Neste estudo, o pó de resíduos de cenoura (CP), proveniente de uma linha de processamento de cenoura, foi adicionado em diferentes proporções a formulações de muffins à base de arroz sem glúten, com o objetivo de avaliar o seu efeito nas propriedades físico-químicas e antioxidantes das misturas, das massas e dos produtos finais. O objetivo final foi valorizar os resíduos de cenoura como ingrediente funcional para a obtenção de muffins mais saudáveis e sustentáveis.

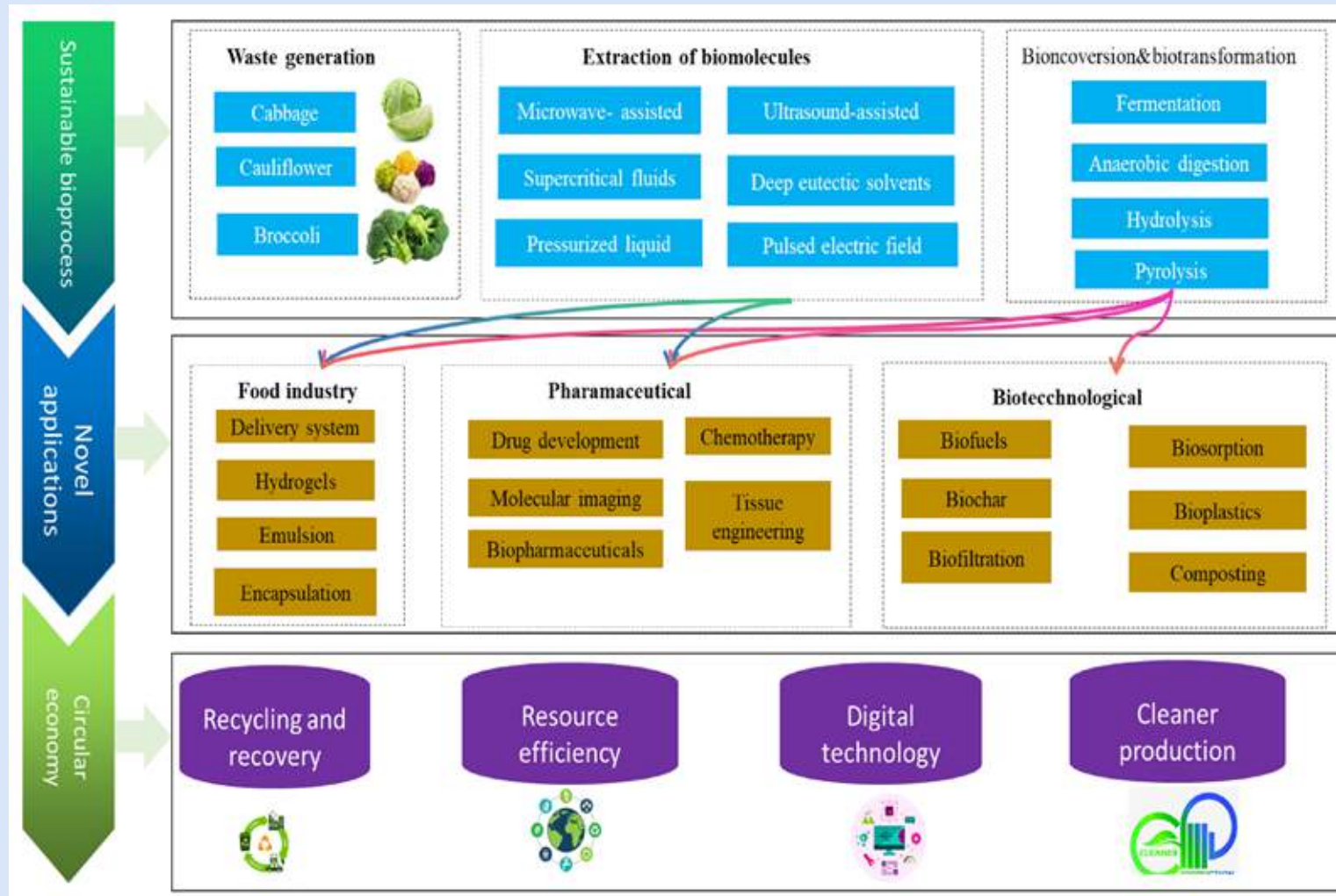




Valorization of agri-food crucifer vegetables waste for food, functional food and nutraceuticals applications, Kaled et al., 2025, <https://doi.org/10.1186/s40643-025-00895-4>

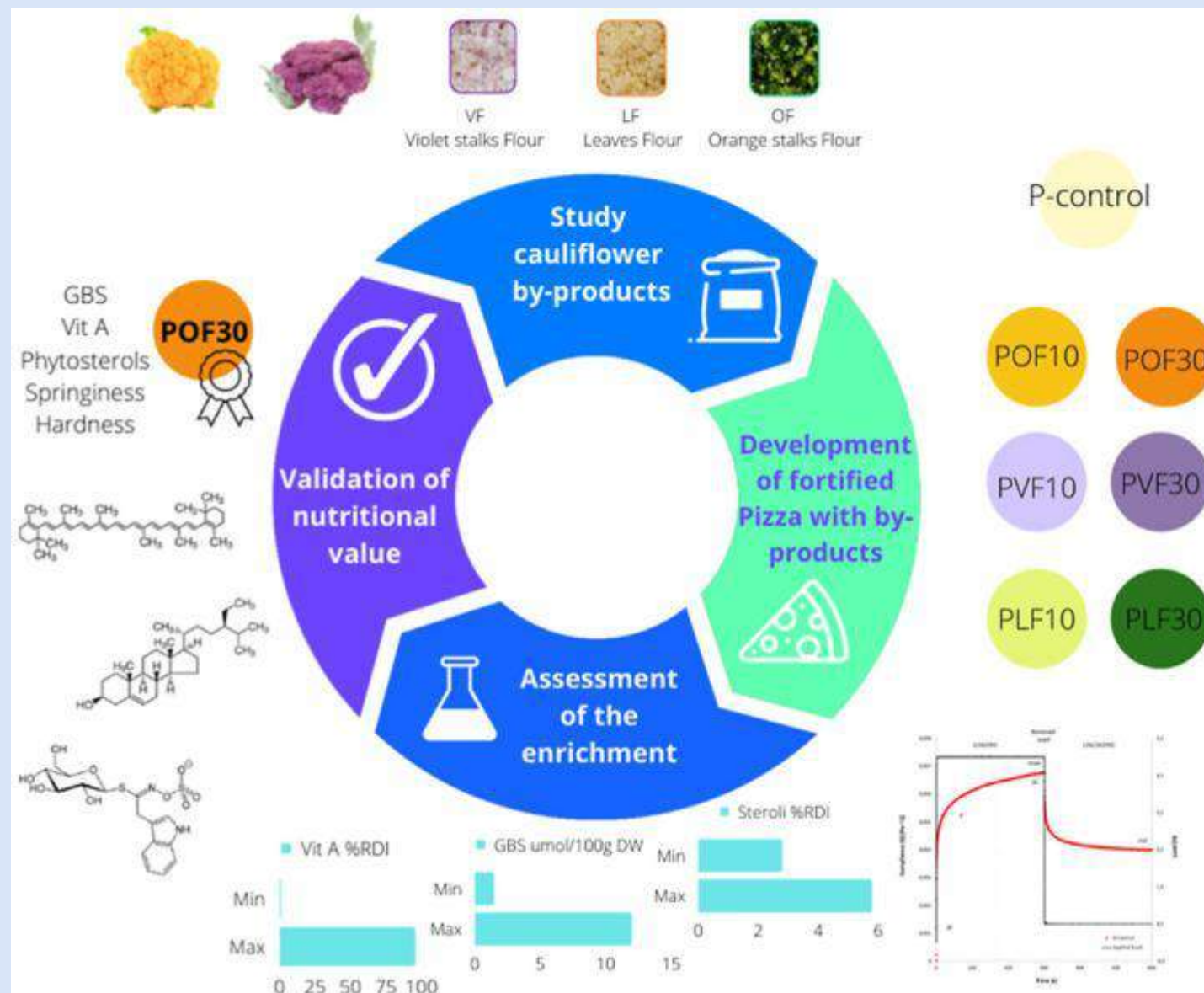
Potenciais aplicações dos subprodutos de couve, brócolo e couve-flor

Existe um interesse crescente na utilização de resíduos e subprodutos de hortícolas crucíferos, incluindo couve, brócolos e couve-flor, na alimentação, uma vez que continuam a ser ricos em nutrientes benéficos e em perfis fitoquímicos.

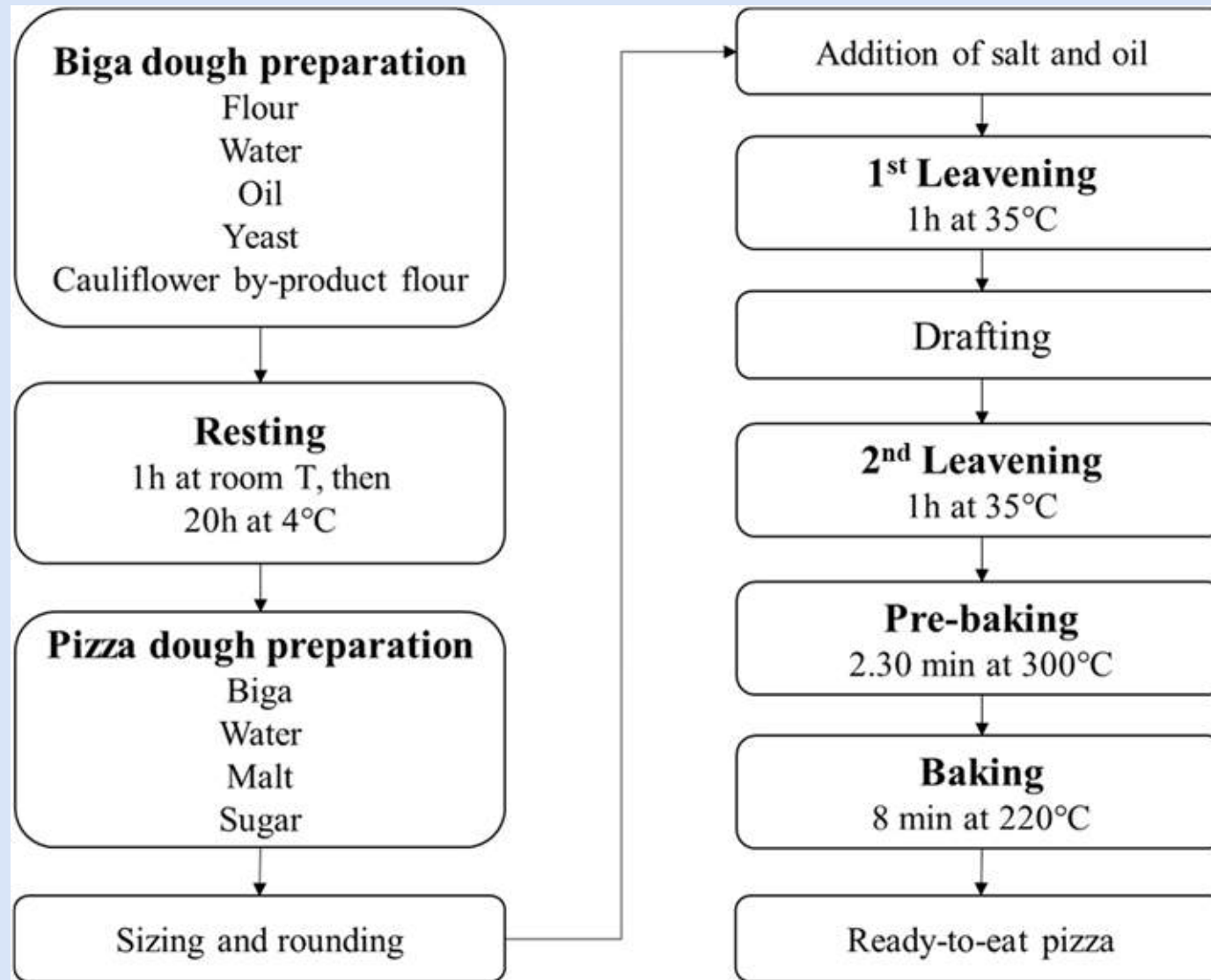


Subprodutos de couve-flor valorizados em produtos de panificação

Os subprodutos da couve-flor, incluindo folhas e caules, podem ser utilizados como ingredientes alimentares de elevado valor. Estes subprodutos são ricos em compostos bioativos, como glucosinolatos, carotenoides e fitoesteróis, bem como em fibra alimentar, proteínas e antioxidantes. A sua valorização pode ser alcançada através da incorporação de farinhas especiais obtidas a partir destes subprodutos em produtos alimentares, como pão e pizza.

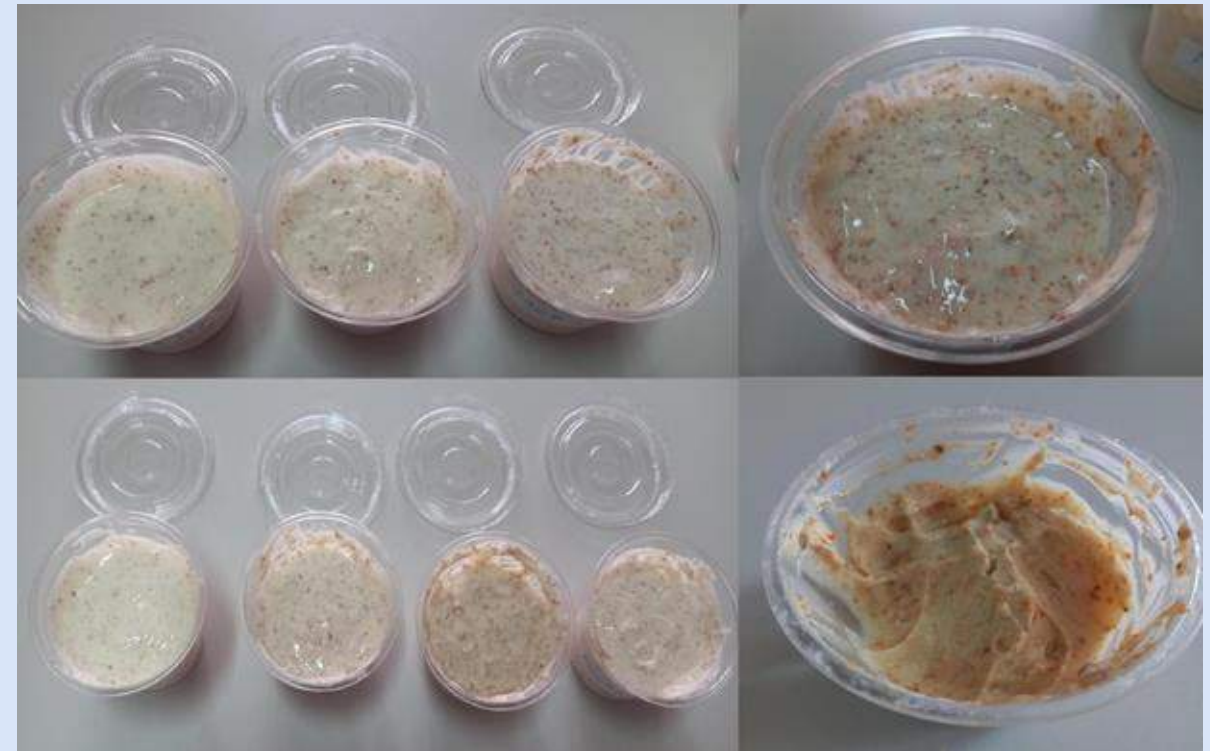
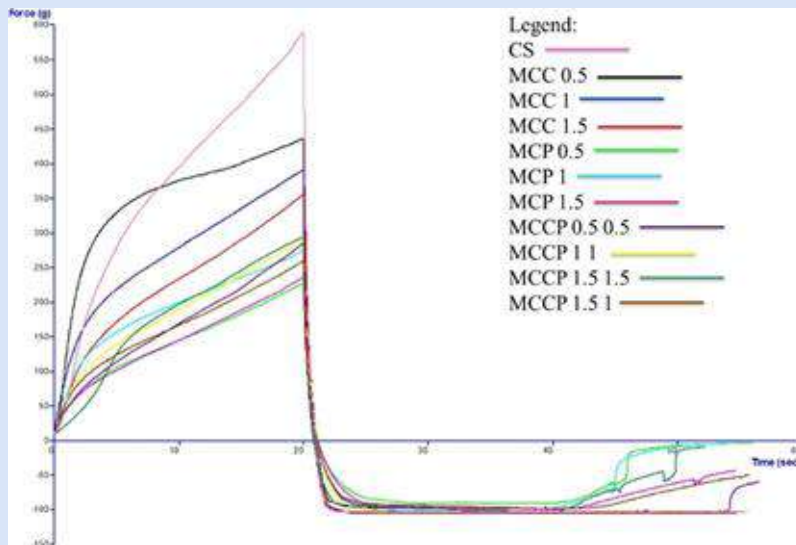


Fluxograma da preparação profissional de pizzas



Subprodutos de batata e cenoura em queijo processado

Neste estudo, foram preparadas amostras de queijo fundido com a adição de cascas de batata e de cenoura. Estas adições alteraram as propriedades físico-químicas, aumentando a acidez, a atividade da água e o teor de matéria seca, enquanto reduziram o pH e os níveis de sal. Adicionalmente, o teor de ácido L-láctico aumentou, enquanto os níveis de glucose, lactose e galactose diminuíram.



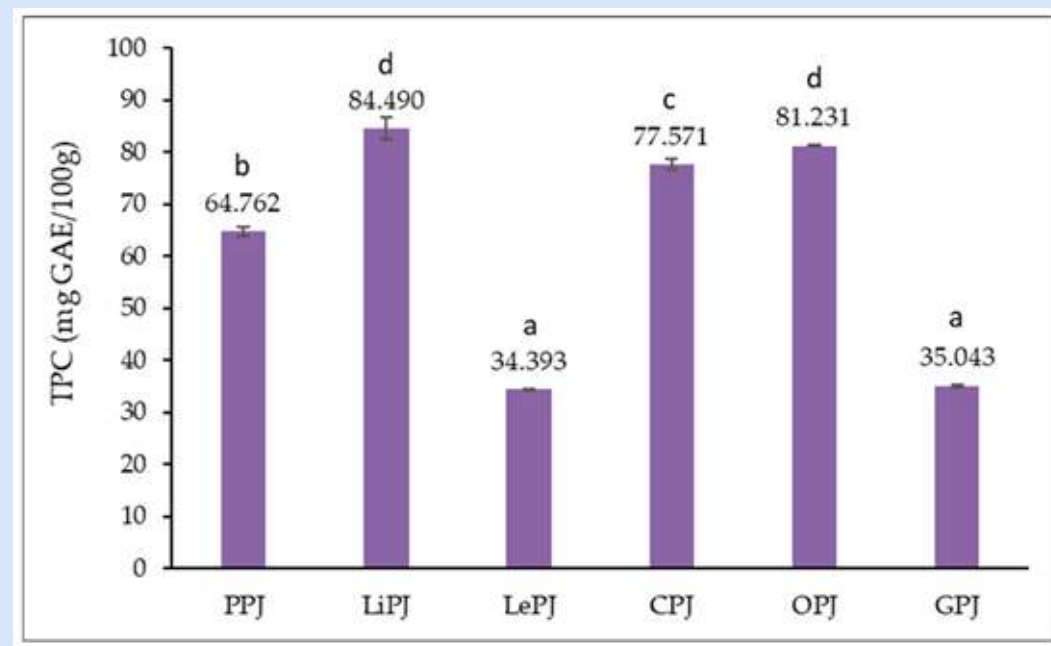
Amostras de queijo derretido com cascas de cenoura e batata

Valorização dos Subprodutos da Casca de Citrinos - Compotas

PPJ — compota de casca de pomelo; LiPJ — compota de casca de lima; LePJ — compota de casca de limão; CPJ — compota de pele de clementina; OPJ—compota de casca de laranja; GPJ — compota de casca de toranja)



OPJ — compota de casca de laranja



Conteúdo polifenólico total (TPC) das amostras de compota, os resultados para o TPC são apresentados como o valor médio de três determinações \pm desvio padrão (DE)

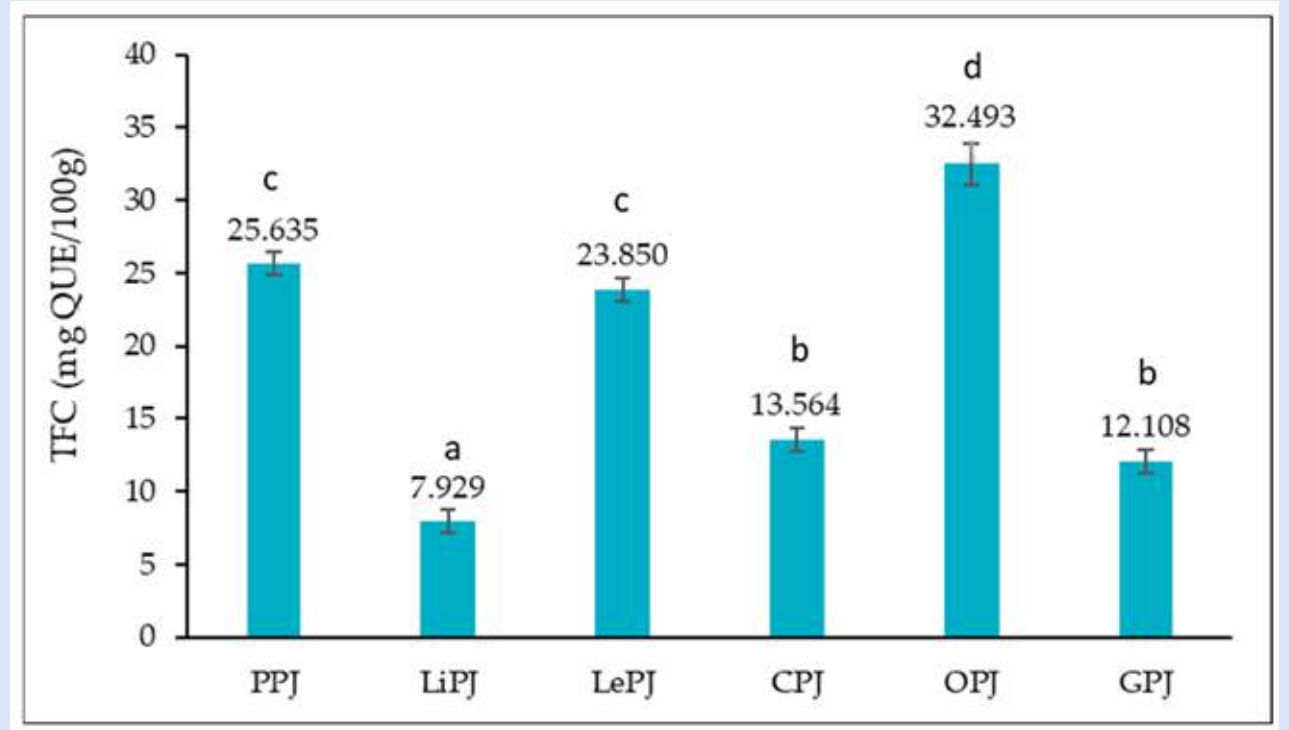


LePJ — compota de casca de lămâie;
LiPJ — compota de casca de lime





GPJ—compota de casca de toranja



O teor total de flavonoides (TFC) das amostras de doce foi determinado. Os resultados do TFC são apresentados como o valor médio de três determinações \pm desvio padrão (DP).

Valorização dos subprodutos de laticínios - soro de leite

Gelatina funcional baseada em soro de leite

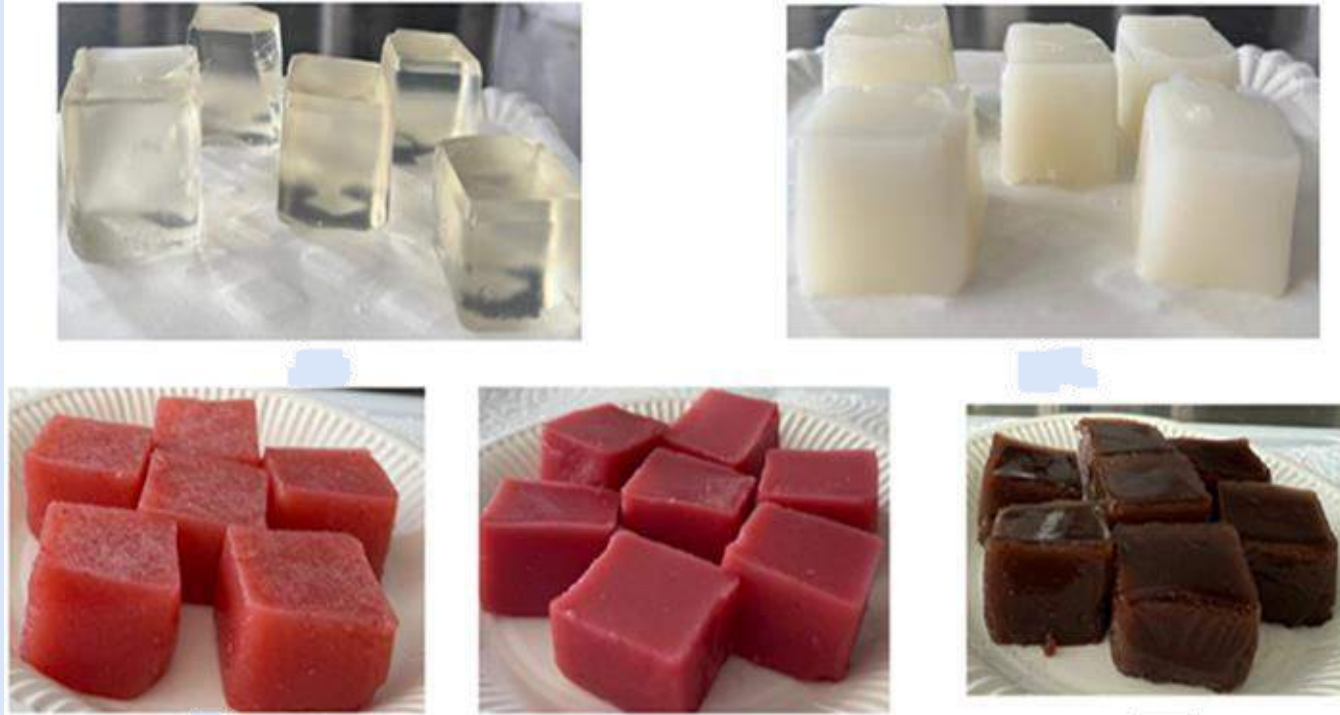
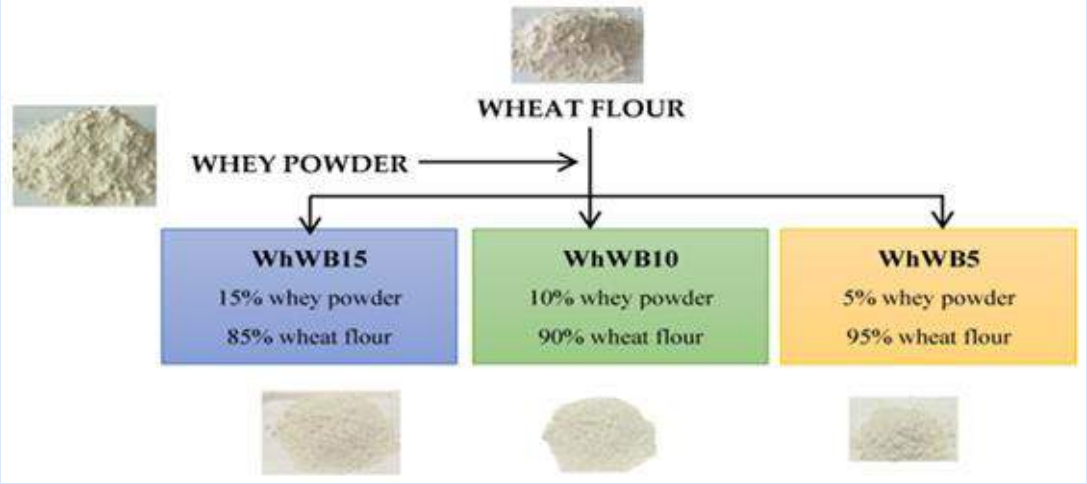


Table 1. Recipes for jellies.

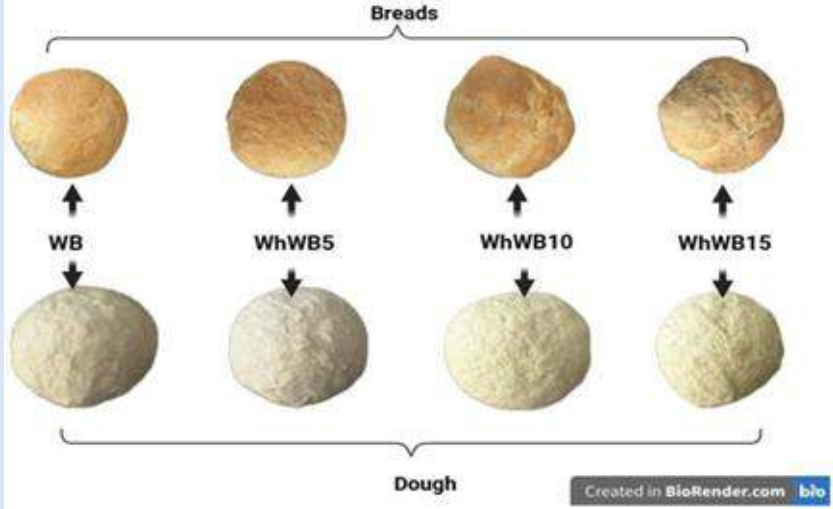
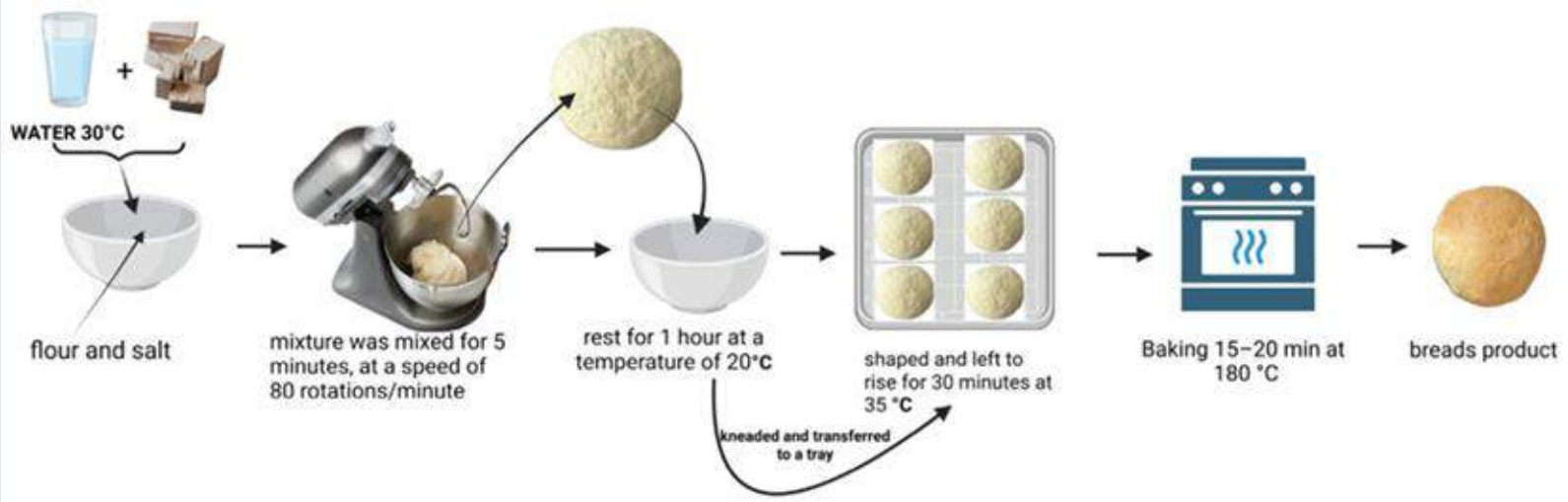
Sample	Abbreviation	Berry Juice (mL)	Whey (mL)	Gelatin (g)	Sugar (g)	Water (mL)
Control	CJ	-	-	10	80	550
Whey jelly	WhJ	-	200	10	80	350
Whey strawberry jelly	WhSJ	300	200	10	80	50
Whey raspberry jelly	WhRJ	300	200	10	80	50
Whey blueberry jelly	WhBJ	300	200	10	80	50

A valorização do soro de leite para a produção de geleias constitui uma abordagem inovadora para a criação de alimentos funcionais enriquecidos com nutrientes essenciais e compostos bioativos. Os produtos mantiveram-se estruturalmente estáveis quando armazenados a 4 °C; contudo, o armazenamento à temperatura ambiente conduziu a uma diminuição do pH e a um aumento da acidez após 14 dias (Flueraşu et al., 2025).

Pão com soro de leite em pó



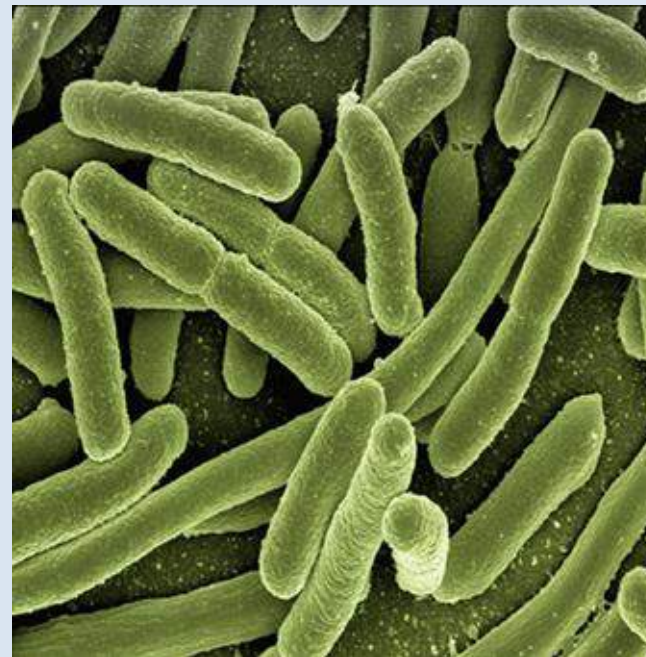
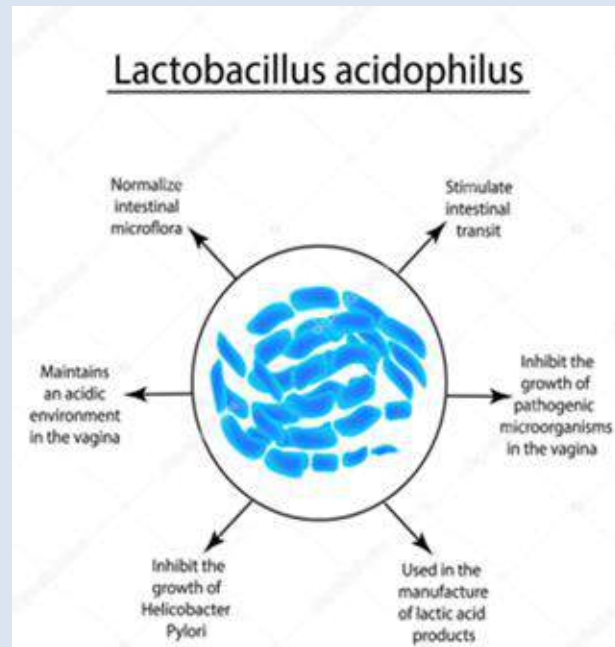
A farinha de trigo pode ser fortificada com 5%, 10% e 15% de soro de leite em pó, o que melhora significativamente o perfil nutricional tanto da farinha como do pão resultante. A adição de soro de leite aumenta o teor de proteínas e minerais, enquanto reduz os níveis de hidratos de carbono. O pão fortificado com 15% de soro de leite apresenta melhorias minerais notáveis, incluindo um aumento de 27,8% em potássio, 7,01% em magnésio e 28,67% em cálcio, em comparação com as amostras controlo (Fluerasu et al., 2025).



Estirpes de Lactobacillus e Bifidobacterium

Estirpes de Lactobacillus e Bifidobacterium, provenientes de **subprodutos lácteos fermentados** (soro de leite e leiteinho), contribuem para o equilíbrio da microbiota intestinal (Galanakis, 2021).

Os probióticos são microrganismos vivos que contribuem para a saúde intestinal, melhorando a digestão e a função imunitária.





UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

U. PORTO
FACULDADE DE FARMÁCIA
UNIVERSIDADE DO PORTO



Project code: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776



Capítulo 5: Bioaccessibilidad e biodisponibilidad



Co-funded by the
European Union

ÍNDICE



1, Modelos de Digestão *In Vitro*

Historical evolution of in vitro digestion models

Representative in vitro digestion models



2, Protocolo INFOGEST (Modelo de Referência)

Development and validation of the INFOGEST method

Detailed outline of the INFOGEST protocol

Static vs, dynamic INFOGEST digestion

Parameters and measured results



3, Avaliação da Bioatividade

Applied cell models

Combination of in vitro models + cellular models

Functional bioactivity assays

Microphysiological systems

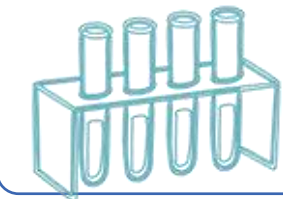


4, Conclusões e perspectivas futuras

Modelos de Digestão *In Vitro*



Evolução Histórica dos Modelos de Digestão *In Vitro*



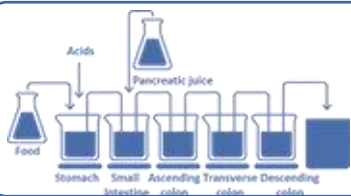
Primeiros Modelos Estáticos (Antes dos anos 2000)

- Digestão simples em tubo de ensaio usando enzimas (por exemplo, pepsina, pancreatina),
- Ajustes básicos de pH e controlo de temperatura,
- Limitações: Sem simulação de peristaltes, temporização de secreção ou trânsito dinâmico.



Modelos Estáticos Avançados (década de 2000)

- Mais concentrações fisiológicas de enzimas e tempos de digestão,
- Inclusão de sais biliares e fases de digestão por etapas,
- Ainda limitado pela ausência de funções gastrointestinais dinâmicas.



Modelos Dinâmicos Multicompartimentais (décadas de 2000–2010)

- Exemplos: TIM-1, SHIME, Modelo Gástrico Dinâmico (DGM),
- Simular peristaltismo, secreção, gradientes de pH e cinética digestiva,
- Vantagens: Mais próximas das condições *in vivo*, úteis para estudar a bioacessibilidade e sistemas de administração de nutrientes,
- Limitações: Alto custo e complexidade.

INFOGEST

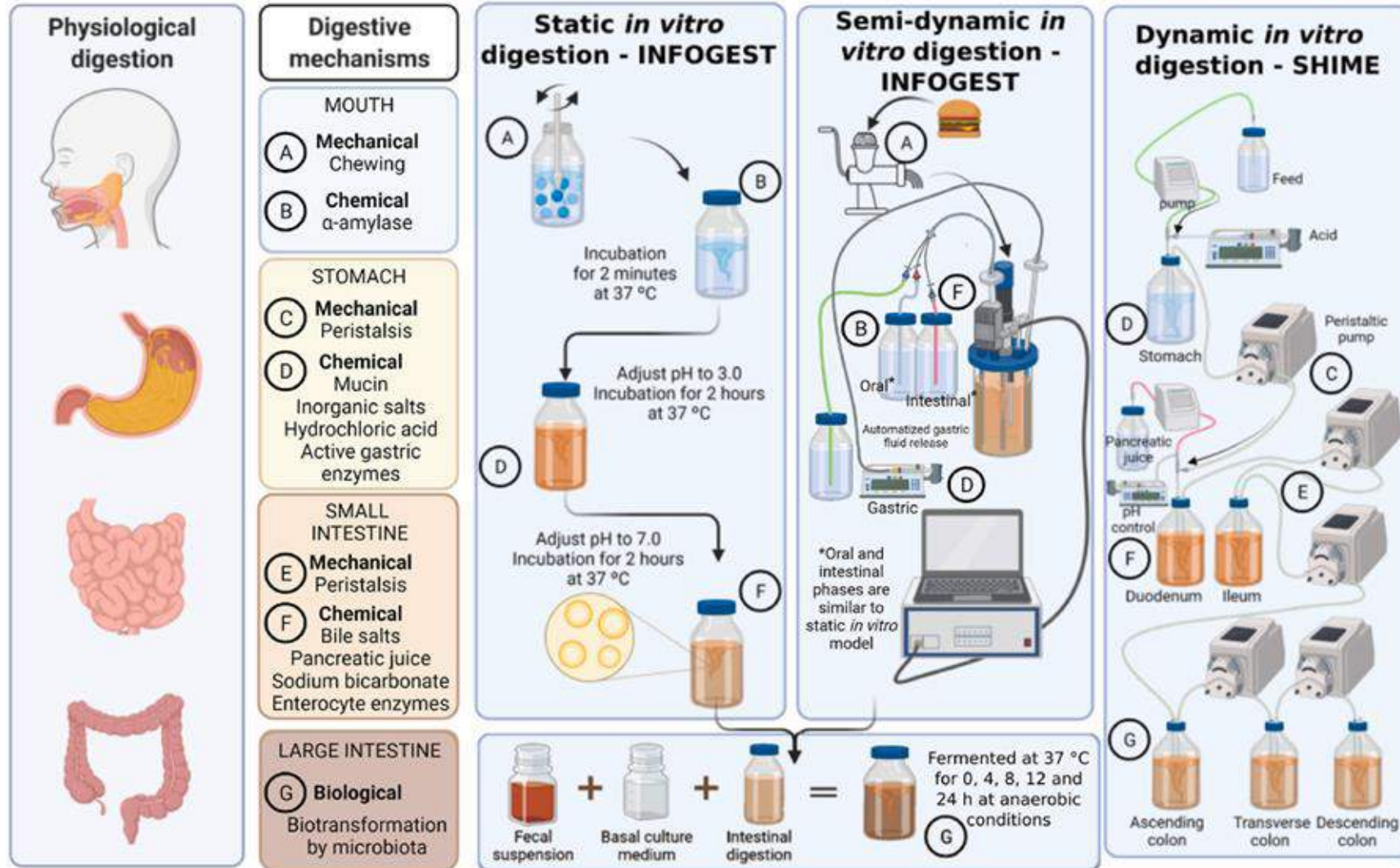
Protocolo Estático INFOGEST (2014–presente)

- Desenvolvido através de colaboração internacional,
- Vantagens: - Protocolo harmonizado para reprodutibilidade entre laboratórios,
 - Amplamente adotado nas ciências alimentares e nutricionais,
 - Adequado para avaliar a digestibilidade e bioacessibilidade de várias matrizes alimentares.

References:

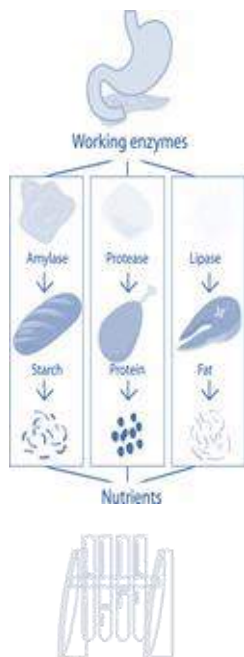
- Minekus M, et al, (2014), Food & Function, 5(6), 1113–1124,
- Brodkorb A, et al, (2019), Nature Protocols, 14, 991–1014,

Modelos Representativos de Digestão *In Vitro*



3, Protocolo INFOGEST (Modelo de Referência)

CONSIDERAÇÕES GERAIS



Objetivo: Simular a digestão gastrointestinal humana para estudos de bioacessibilidade, estrutura alimentar e estudos de libertação de nutrientes,

Parâmetros de controlo: pH, atividade enzimática, composição eletrolítica, tempo de digestão e velocidade de agitação,

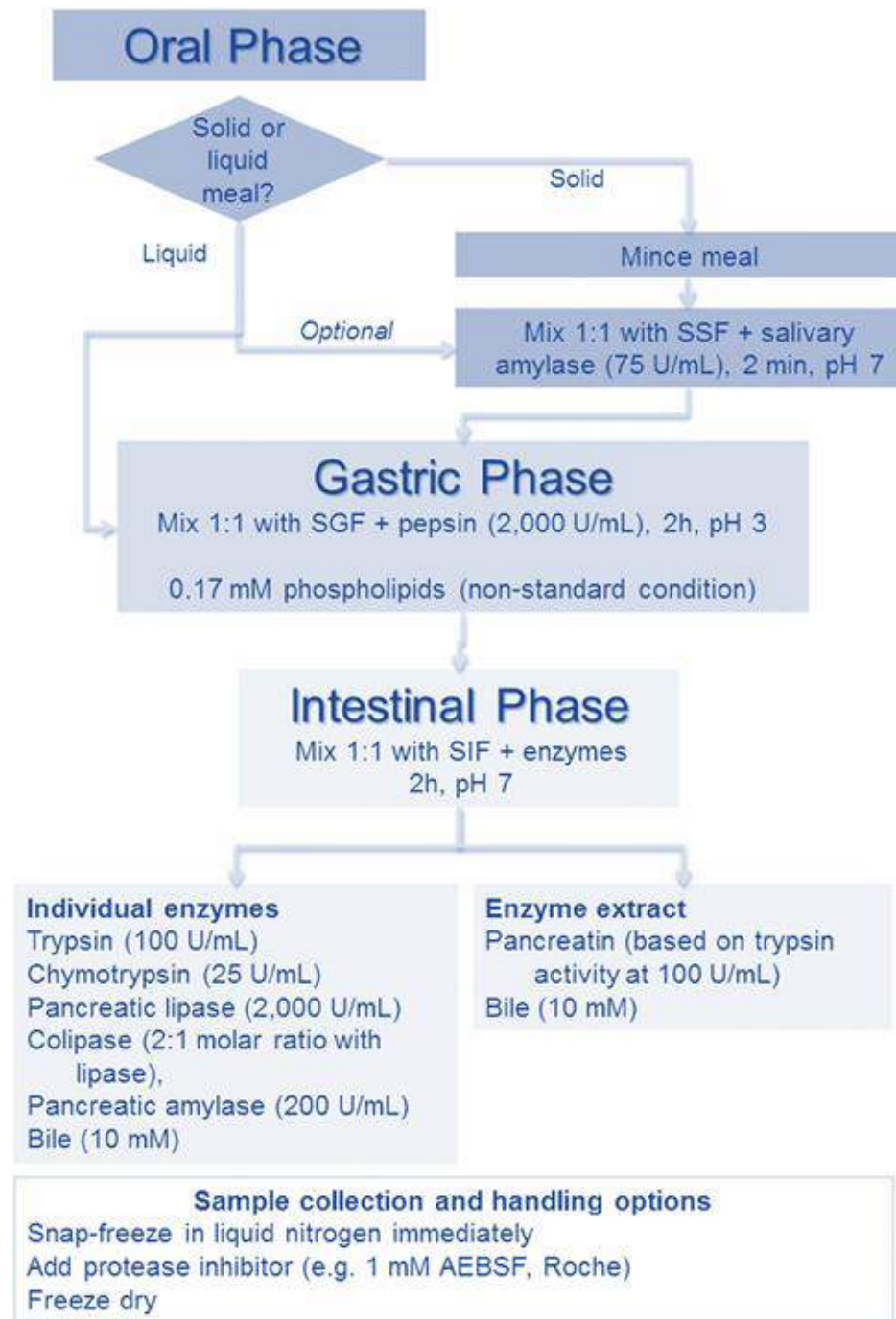
Aplicabilidade: Todos os tipos de matrizes alimentares (líquidas, semi-sólidas, sólidas, emulsões),

Rácios de volume: o volume total padrão da digestão é de 10 mL (pode ser ajustado proporcionalmente).

Desenvolvimento e validação do método INFOGEST

O método INFOGEST foi concebido para simular as fases oral, gástrica e do intestino delgado da digestão humana de forma reprodutível e fisiologicamente relevante. Este protocolo foi validado pelo consórcio INFOGEST em 2014 (atualizado em 2019)

Descrição detalhada do protocolo INFOGEST (digestão *in vitro* estática)



Descrição detalhada do protocolo INFOGEST (digestão *in vitro* estática)

PROCESSAMENTO PÓS-DIGESTÃO

· **Separação:** Centrifugação ou filtração para obter a fração bioacessível,

· **Armazenamento:** Análise imediata ou armazenamento a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ para ensaios bioquímicos,

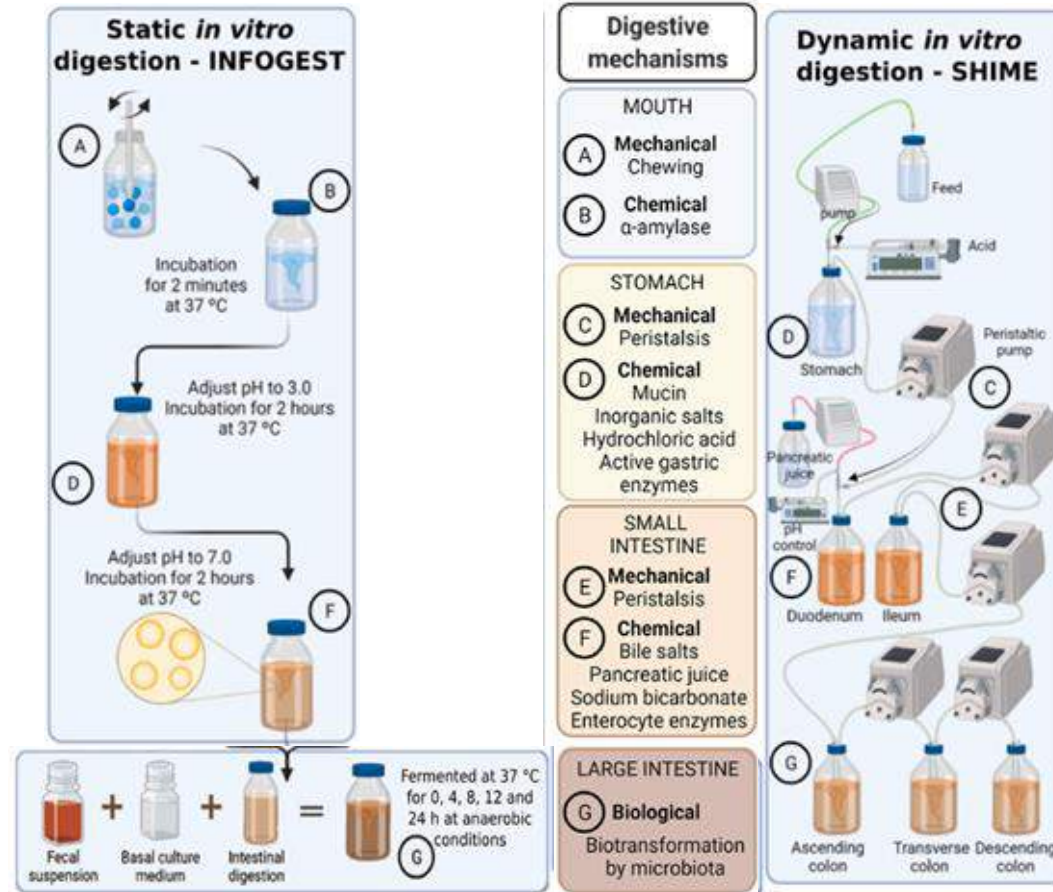
· **Ensaio opcionais:** Formação de micelas, tamanho das partículas, atividade enzimática, liberação de nutrientes, capacidade antioxidante,



Digestão estática vs dinâmica INFOGEST

Digestão *In Vitro* Estática

- **Condições fixas:** utilização de pH constante, concentrações enzimáticas controladas e tempos de incubação definidos,
- **Modelo simplificado:** representa condições digestivas médias, sem simular alterações fisiológicas.
- **Baixo custo e fácil replicação:** ideal para estudos de rastreio de elevada capacidade (high-throughput).
- **Realismo limitado:** não reproduz a peristalse, a dinâmica de secreção ou as variações graduais do pH.
- **Aplicação comum:** avaliação preliminar da digestibilidade, da bioacessibilidade ou da desintegração da estrutura alimentar.



Digestão Dinâmica *In Vitro*

- **Condições variáveis:** simulam alterações em tempo real do pH, da secreção enzimática e dos tempos de trânsito.
- **Maior relevância fisiológica:** reproduz o esvaziamento gástrico, a peristalse e a absorção intestinal.
- **Complexidade e custo elevados:** requer equipamento especializado e protocolos específicos.
- **Maior poder preditivo:** reflete melhor a digestão *in vivo* e a libertação de nutrientes.
- **Utilização comum:** estudos avançados sobre biodisponibilidade de nutrientes, sistemas de libertação de fármacos ou alimentos funcionais.

Parâmetros e resultados experimentais

PERCENTAGEM DE DIGESTÃO IN VITRO – IVD (%)

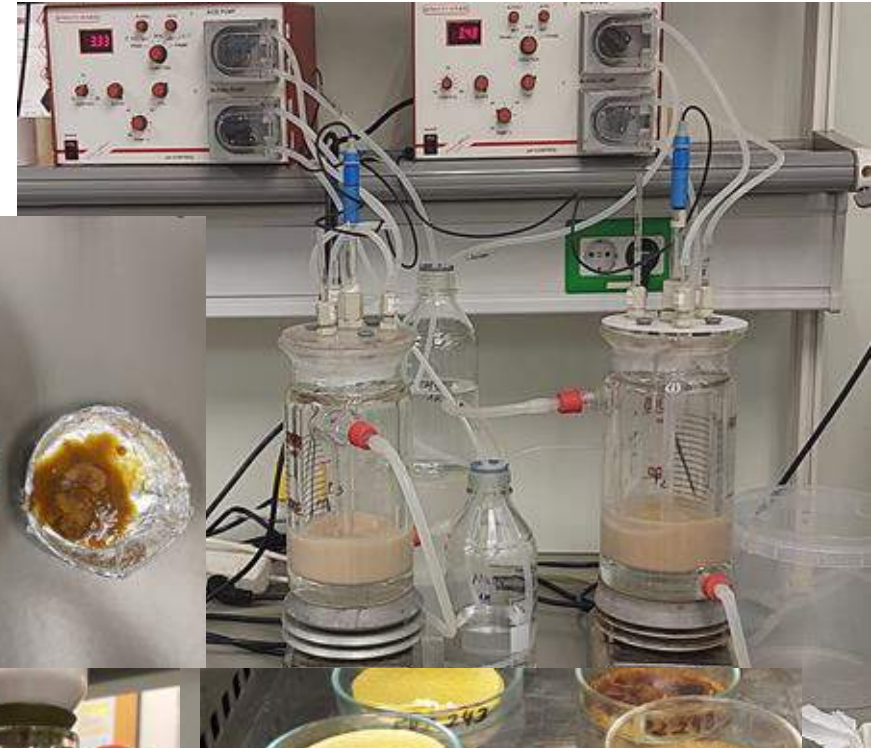
$$IVD = \left(\frac{\text{Initial mass} - \text{Undigested mass}}{\text{Initial mass}} \right) \times 100$$

BIOACCESSIBILIDADE DE UM COMPOSTO (%)

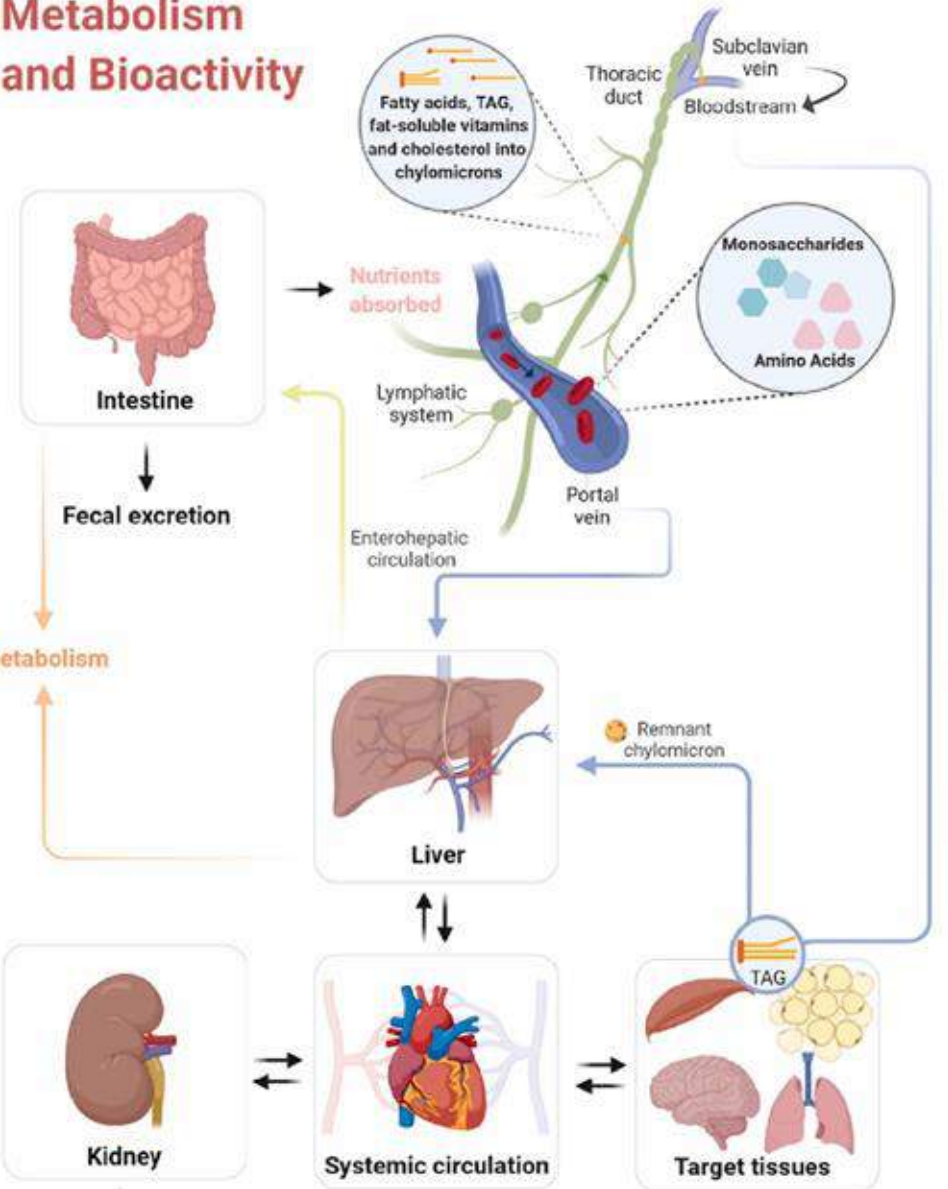
$$\text{Bioaccessibility} = \left(\frac{A}{B} \right) \times 100$$

A: concentração do composto na fração bioacessível corrigida com composto presente na água da torneira e nos reagentes

B: concentração do composto na amostra antes da digestão,



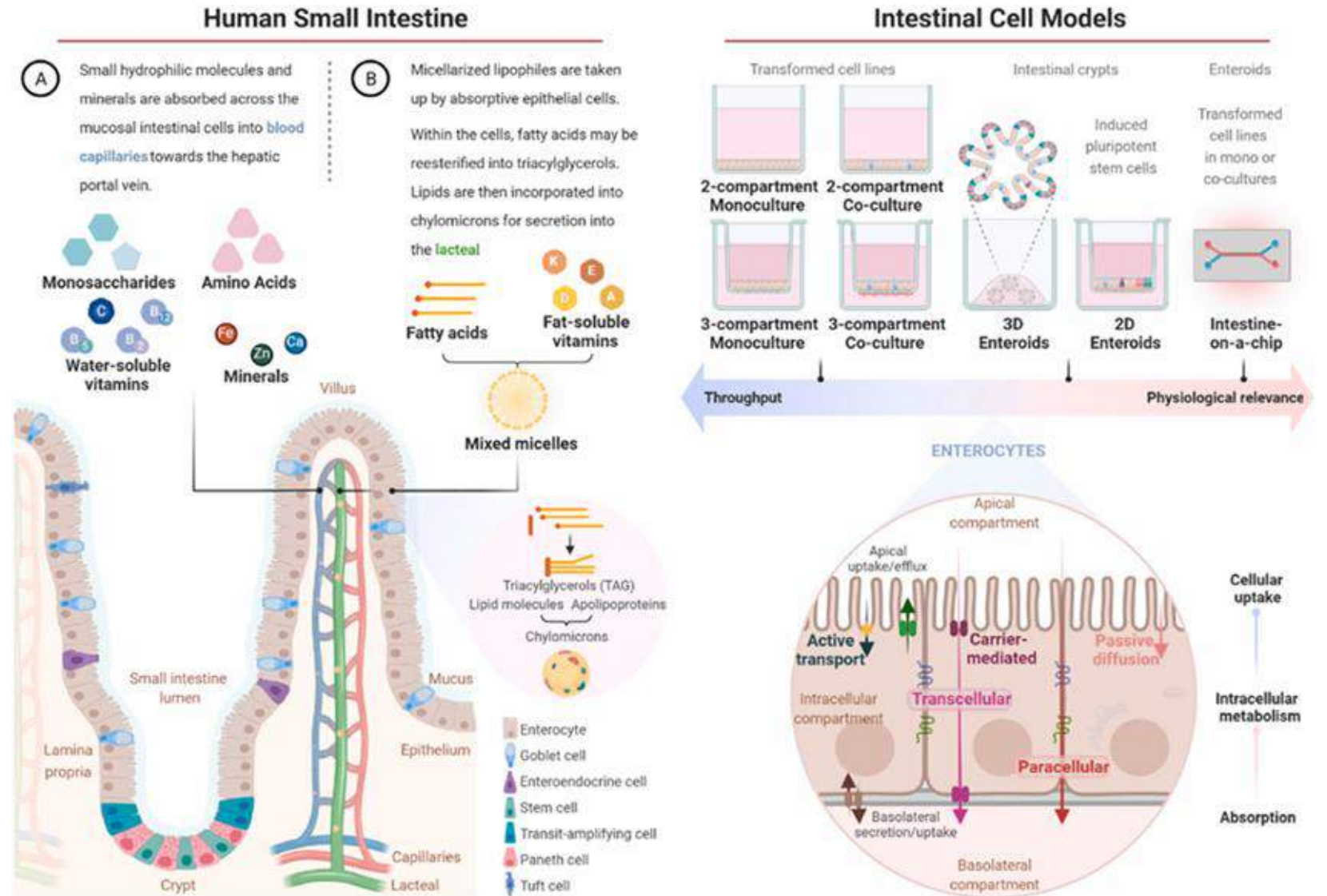
Distribution, Metabolism and Bioactivity



4, Avaliação da Bioatividade

Rodrigues, D, B,, et al,(2022), [Figure 5, Overview of nutrient distribution between systemic circulation and tissues after intestinal absorption, in vivo,] [Image], In Trust your gut: Bioavailability and bioaccessibility of dietary compounds, Current Research in Food Science, 5, 100123, <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.01.002>, Licence: [CC BY-NC-ND 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

4. Modelos celulares aplicados

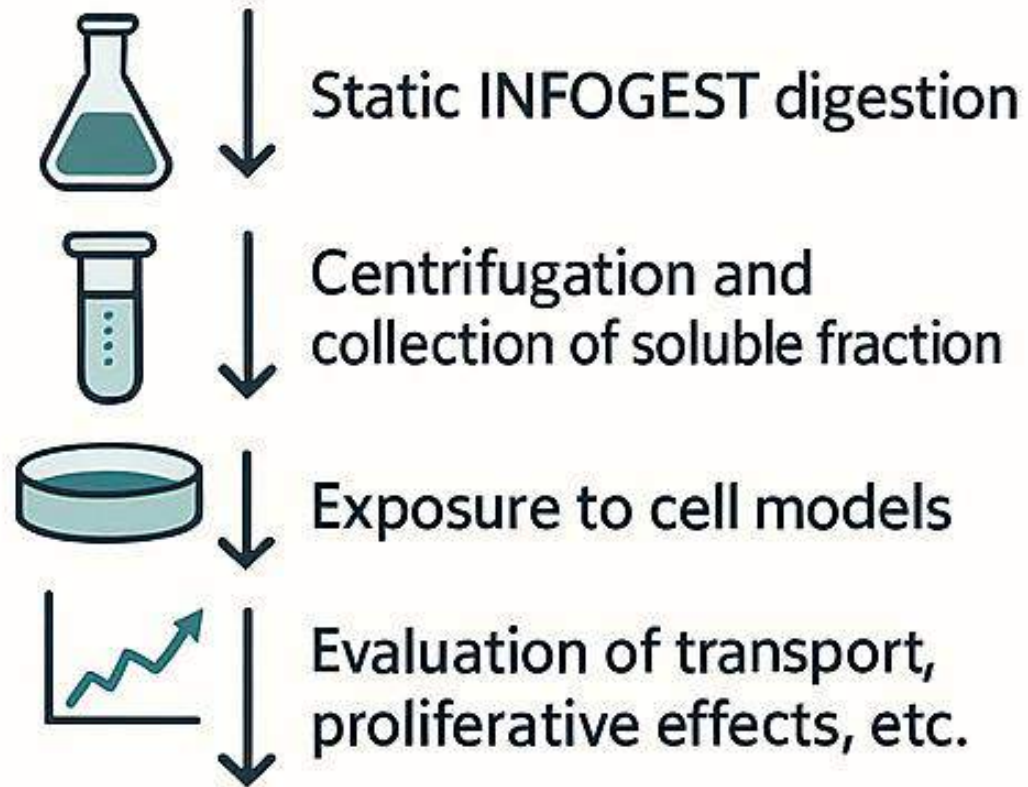


Rodrigues, D, B., et al,(2022), [Figure 4, Intestinal uptake, metabolism, and absorption of nutrients in vivo and intestinal cell models of varying degrees of complexity, potential throughput, and physiological relevance.] [Image], In Trust your gut: Bioavailability and bioaccessibility of dietary compounds, Current Research in Food Science, 5, 100123, <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.01.002>, Licence: CC BY-NC-ND 4.0,

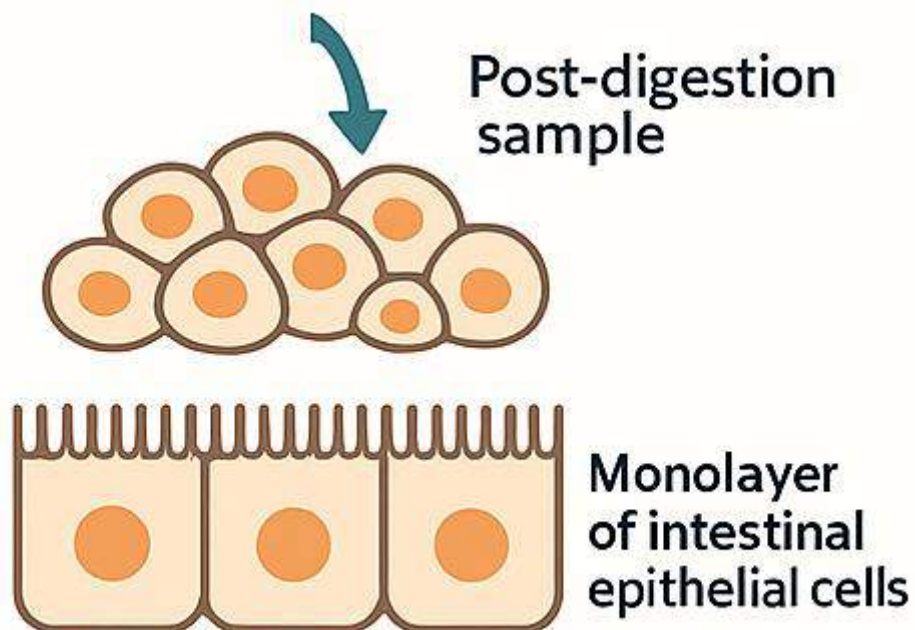
Conceitos Básicos: Modelos Celulares Aplicados para a Absorção de Nutrientes

1, Objetivo dos Modelos Celulares	2, Vias de Transporte Celular	3, Tipos de Modelos <i>In Vitro</i>	4, Configuração de Cultura Celular	5, Limitações dos Modelos Transformados	6, Mecanismos de Transporte	7, Administração de Compostos <i>In Vitro</i>
<p>Para simular a absorção intestinal após a digestão, Foco nos nutrientes bioacessíveis:</p> <ul style="list-style-type: none">• Hidrossolúveis (por exemplo, vitaminas, aminoácidos);• Lipossolúveis (por exemplo, carotenoides, vitaminas lipossolúveis).	<p>Captação apical pelos enterócitos a partir do lúmen intestinal;</p> <p>Processamento intracelular: metabolismo, utilização ou efluxo;</p> <p>Transporte basolateral indica a absorção efetiva:</p> <p>Nutrientes hidrossolúveis → capilares sanguíneos → fígado;</p> <p>Compostos lipossolúveis → quilomícrons → sistema linfático.</p>	<p>Monocamadas de Células Transformadas:</p> <ul style="list-style-type: none">○ Caco-2 (semelhante a um enterócito)○ HT-29 (semelhante a um cálice)○ Utilizado em sistemas de 2 ou 3 compartimentos (apical, celular, basolateral) <p>Modelos Avançados:</p> <ul style="list-style-type: none">○ Enteroides (estruturas derivadas de células estaminais 2D/3D)○ Gut-on-a-chip (fluxo dinâmico, melhor simulação da fisiologia).	<p>Sistemas estáticos:</p> <ul style="list-style-type: none">○ Monocamadas planas em inserções plásticas ou de membrana <p>Sistemas de três compartimentos:</p> <ul style="list-style-type: none">○ Simular passagem apical → celular → basolateral○ Permitir o estudo da absorção real de nutrientes.	<p>O Caco-2 e os clones (por exemplo, TC7) podem não imitar totalmente os enterócitos normais.</p> <p>Diferenças em transportadores e enzimas.</p> <p>Absorção ≠ absorção a menos que o transporte basolateral seja demonstrado.</p>	<p>Transcelular (transporte passivo ou ativo)</p> <p>Paracelular (difusão através de junções apertadas)</p>	<p>Tipicamente para compartimento apical utilizando:</p> <ul style="list-style-type: none">○ Frações solúveis ou micelares a partir de quimo digerido○ Extratos compostos ou micelas artificiais

Combinação de modelos *in vitro* + modelos celulares



Ensaio de bioatividade funcional: O modelo CaCo-2 simulou absorção intestinal



- As células epiteliais humanas (CaCo-2) formam monocamadas que simulam o epitélio intestinal,
- A fração solúvel é exposta a pós-digestão para avaliar a absorção transepitelial,
- Este modelo é amplamente utilizado em estudos sobre carotenoides, fenóis e outros nutrientes,

Sistemas microfisiológicos (MPS), ou multi-órgãos num chip

Estes métodos avançados são plataformas *in vitro* que simulam a interação entre diferentes órgãos — como intestino, fígado e rim — usando chips de órgãos interligados

CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS:

- Reproduzem a digestão, absorção, metabolismo e excreção (ADME) de compostos alimentares.
- Os órgãos são interligados por canais microfluídicos que simulam o fluxo sanguíneo e urinário.
- Permitem o estudo da bioatividade dos nutrientes em condições dinâmicas e fisiologicamente relevantes.

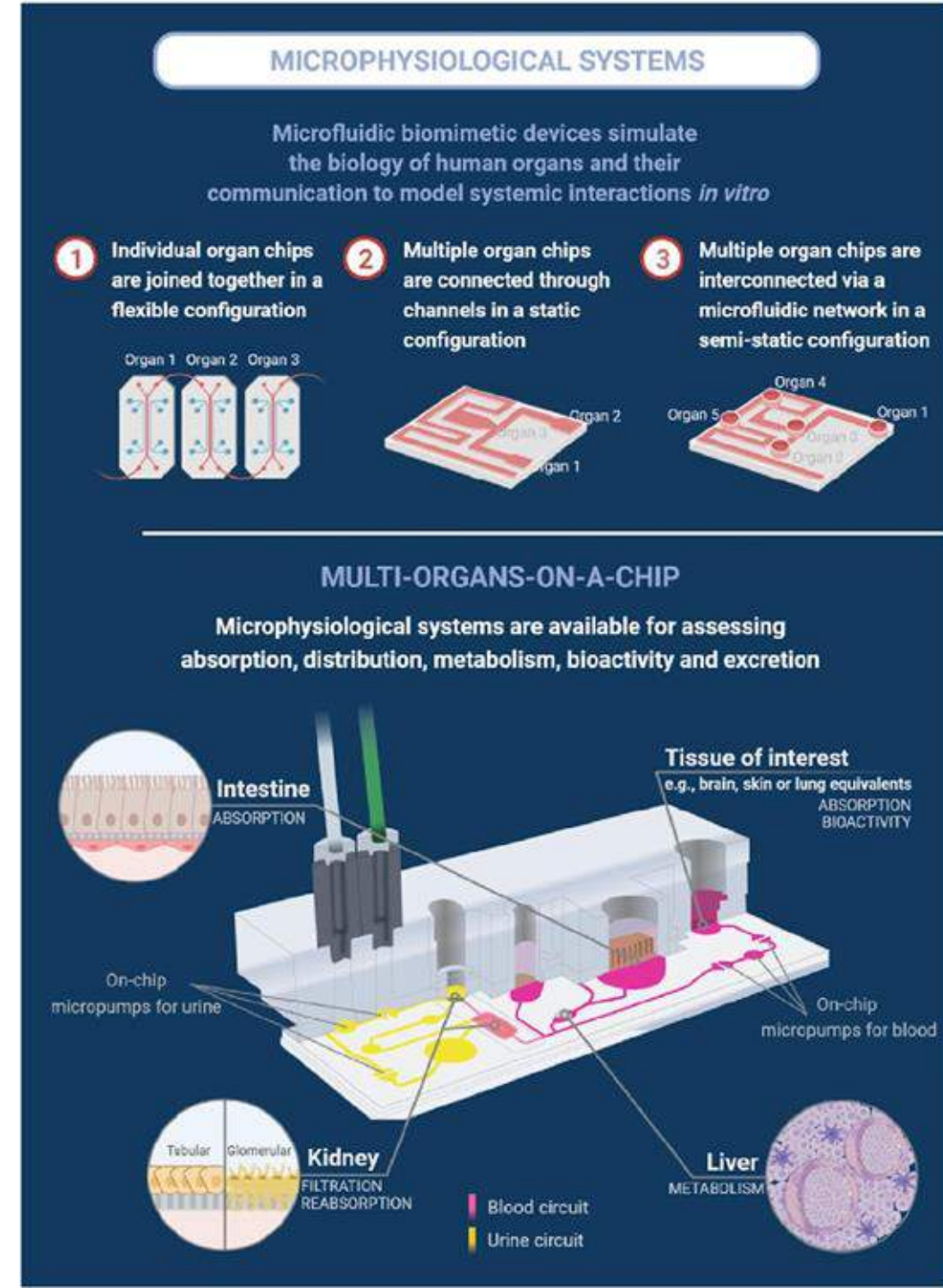
TIPOS DE PLATAFORMAS

1. Modular: chips de órgãos separados interligados por tubagens.
2. Placa Microfluídica Fixa: Ligações permanentes de órgãos com fluxo constante
3. Placa Única Reconfigurável: Chips inseridos e ligados através de canais incorporados

Exemplo: Humimic Chip4 (TissUse GmbH)

- Liga o intestino, fígado, rim e outro tecido,
- Suporta culturas complexas (organoides, esferóides),
- Útil para simular a absorção e metabolismo de nutrientes.

Ainda em desenvolvimento inicial; usado principalmente na indústria farmacêutica, mas promissor para a Ciência Alimentar e da Nutrição





5, Conclusões e Perpetivas Futuras



A digestão *in vitro*, em particular o modelo INFOGEST, permite uma avaliação reprodutível e padronizada da bioacessibilidade.



A combinação com modelos celulares funcionais (Caco-2, HT-29, etc.) oferece uma abordagem mais realista da biodisponibilidade e bioatividade.



A validação dos efeitos *in vitro* fornece evidências úteis para o desenvolvimento de alimentos funcionais e estratégias de reformulação.



São necessários estudos adicionais que integrem digestão, absorção e metabolismo secundário para aproximar as condições fisiológicas humanas.

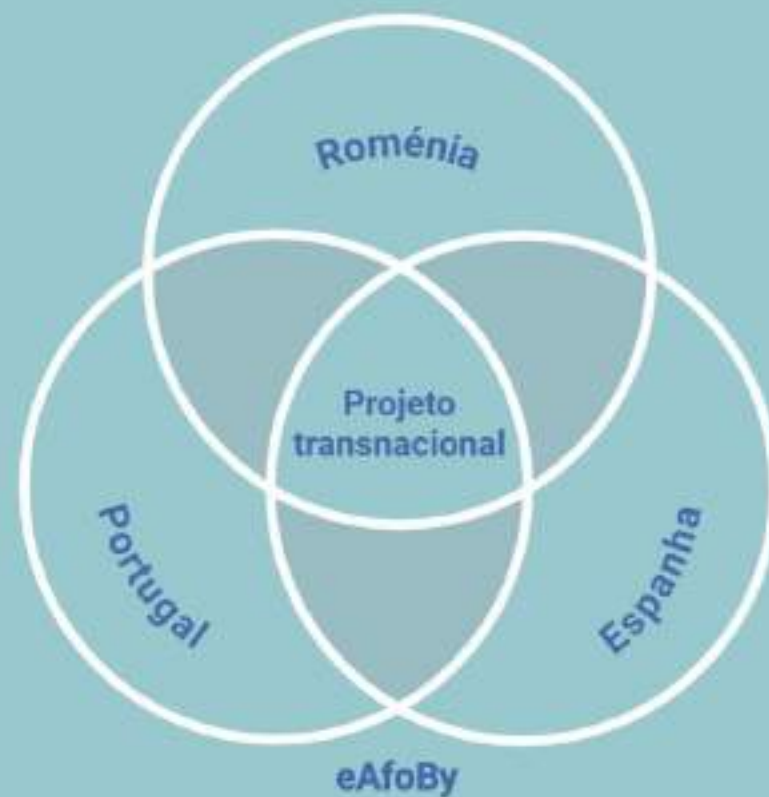


Novas estratégias *in silico* e organ-on-chip representam caminhos promissores para o futuro.

Coordenadores e parceiros:



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Projeto n.º: 2024-1-RO01-KA220-HED-000246776



Co-funded by
the European Union