

SYMBIOS: Plataforma Digital para Simbiose Industrial e Economia Circular

PACOTE DE TRABALHO 2.6

Modelar o Mecanismo e a Lacuna de Competências da Simbiose Industrial

SETOR AGROALIMENTAR

ÍNDICE

Introdução	5
Objetivos do Modelo	5
Enquadrar a Simbiose Industrial dentro da Economia Circular	5
Relevância para o Setor Agroalimentar	6
Metodologia e Fontes	6
Capítulo 1 – Mecanismo Simbiótico	8
1.1 Definição: Conceitos e Princípios-Chave	8
Produtos, Resíduos e Subprodutos: Uma Distinção Fundamental	9
1.2 Recursos, Fluxos e Restrições	9
O Processo de Produção Agroalimentar: Da Matéria-Prima ao Produto Acabado	9
Co-Produtos: Exemplos Ilustrativos de Entrada–Saída	10
1.3 Políticas e Quadro Regulatório	13
O Nível da União Europeia	13
Nível Nacional e Regional	14
1.4 Ligações Intersectoriais	15
Conexões de Entrada: O que Flui para a Produção de Alimentos e Bebidas	15
Ligações Outbound: Para onde Vão os Subprodutos de Alimentos e Bebidas	16
Modos de Colaboração e Interação	16
Considerações Custo-Benefício	17
Em Profundidade: Simbiose da Indústria Alimentar–Couro	17
1.5 Boas Práticas e Referência	18
Modelo 1. Rede de Simbiose de Kalundborg (Dinamarca)	18
Modelo 2. Valorização do Grão Gasto da Cervejeira (BSG)	19
Modelo 3. Valorização do Soro de Leite	19
Modelo 4. Subprodutos de Processamento de Frutas e Legumes	19
Grupos de Foco SYMBIOS: Estudos de Caso Nacionais Emergentes	20
Plataformas Digitais que Suportam a Simbiose Industrial	21
Modelos que Podem Ser Copiados	21
O Que Funciona e O Que Atrapalha	22
Capítulo 2 – Conhecimentos e Competências para a Simbiose Industrial	24
2.1 Conhecimentos e Competências Necessárias	24
Gestão de Resíduos e Subprodutos	24

Eficiência de Recursos e Análise do Fluxo de Materiais/Energia	25
Negociação Comercial e Desenvolvimento de Casos de Negócio	25
Networking e Construção de Parcerias	25
Gestão de Projetos	25
Resolução de Problemas e Pensamento Sistémico	26
Competências Digitais (Plataformas, Análise de Dados e Relatórios ESG)	26
Mapeamento e Caracterização de Correntes Laterais	26
Biotecnologia e Vias Avançadas de Valorização	26
Perspetivas Específicas por País de Especialistas Académicos	27
Resumo: Onde a Diferença É Mais Grande	27
2.2 Competências por Grupo-Alvo	28
2.2.1 Jovens Licenciados: Competências de Entrada e Perfis Profissionais Emergentes	28
2.2.2 Trabalhadores Empregados (C-VET e Aprendizagem ao Longo da Vida): Necessidades de Desenvolvimento e Requalificação	29
2.2.3 Gestores e Decisores: Competências Estratégicas e Liderança para a Sustentabilidade	30
2.2.4 Grupos Desempregados e Desfavorecidos: Vias de Requalificação e Reintegração no Mercado de Trabalho	31
2.3 Ferramentas e Recomendações de Treino	31
Programas de Formação Existentes e Mecanismos de Apoio	31
Uma Revisão Sistemática das Ofertas Existentes da Aprendizagem em Simbiose Industrial	33
Resultados comparativos	34
Metodologias de Aprendizagem	35
Recomendações para Profissionais de Terapia Profissional	35
Recomendações para Decisores Políticos	36
Conclusões	38
Resumo das Principais Conclusões	38
Oportunidades Futuras para o Setor	39
Recomendações Operacionais	40
Referências	42
Anexos	45
Annex A – Glossário	45
Anexo B – Visão Geral dos Instrumentos de Recolha de Dados (Inquéritos e Entrevistas)	47
B.1 Grupos focais (WP 2.1)	47

B.2 Estrutura do levantamento (WP 2.3)	47
B.3 Protocolos de entrevista (WP 2.3)	47
Anexo C – Quadro Detalhado de Competências por Grupo-Alvo	49
Anexo D – Mapeamento de Competências para os Quadros de Referência Europeus (EQF, ESCO, GreenComp)	50

Introdução

A simbiose industrial (IS) é uma das estratégias operacionais mais concretas disponíveis para traduzir a ambição abstrata da economia circular em prática industrial mensurável. Em vez de tratar resíduos, subprodutos, resíduos energéticos e água como um custo a eliminar, a simbiose industrial reformula-os como recursos com valor de mercado para outro interveniente, muitas vezes num setor diferente. Este modelo foi desenvolvido no Pacote de Trabalho 2 (WP2: "Investigação sobre Simbiose Industrial direcionada aos Setores Agroalimentare e do Couro") do projeto Erasmus+ KA220-VET SYMBIOS – Digital Platform for Industrial Symbiosis & Circular Economy (Projeto nº 2024-1-PT01-KA220-VET-000253813). Foca-se especificamente no setor agroalimentar, um dos dois setores estratégicos de fabrico selecionados pela parceria SYMBIOS devido ao seu tamanho, pegada ambiental e potencial largamente inexplorado para circularidade.

Objetivos do Modelo

O objetivo deste documento é duplo, espelhando os dois objetivos específicos do Pacote de Trabalho 2 estabelecidos no Acordo de Subvenção do projeto. Primeiro, reconstrói o mecanismo simbiótico que governa o setor agroalimentar: o que significa simbiose industrial neste setor, que recursos e fluxos estão envolvidos, que quadro regulatório possibilita ou restringe a sua troca, quais as ligações intersetoriais mais promissoras e quais as melhores práticas que já demonstram que o modelo funciona na prática. Segundo, mapeia os conhecimentos e competências que indivíduos e organizações necessitam para operar profissionalmente nesta área, diferenciados por grupo-alvo (jovens licenciados, trabalhadores empregados, gestores e decisores, e grupos desempregados ou desfavorecidos), juntamente com ferramentas de formação e recomendações para prestadores de EFP e decisores políticos. Em conjunto, os dois capítulos fornecem a base conceptual e pedagógica sobre a qual a Plataforma Digital SYMBIOS, e especificamente o seu MOOC aberto sobre simbiose industrial (WP 3.1), é construída.

Enquadrar a Simbiose Industrial dentro da Economia Circular

A simbiose industrial não é sinónimo de economia circular, mas um dos seus principais mecanismos de habilitação. Enquanto a economia circular descreve uma visão sistémica em que o valor dos produtos, materiais e recursos é mantido pelo maior tempo possível, a simbiose industrial descreve o mecanismo interorganizacional específico através do qual tal é alcançado quando o ator capaz de criar valor a partir de um recurso não é quem o gerou. Chertow (2000) definiu a simbiose industrial como o envolvimento de indústrias tradicionalmente separadas numa abordagem coletiva que envolve a troca física de materiais, energia, água e subprodutos, gerando benefício económico e ambiental mútuo. Vinte anos depois, a mesma lógica foi formalmente incorporada na política da União Europeia: o Plano de Ação para a Economia Circular de 2020, uma pedra angular do Pacto Verde Europeu, identifica explicitamente a simbiose industrial como estratégia para manter os

recursos a circular na economia europeia, enquanto a Diretiva-Quadro de Resíduos revista exige que os Estados-Membros promovam práticas de simbiose industrial replicáveis. Para o setor agroalimentar, este alinhamento político é particularmente significativo porque a produção alimentar é simultaneamente um dos maiores geradores de subprodutos biológicos na economia e um dos setores que enfrenta a maior pressão, proveniente da regulação, dos retalhistas, dos investidores e dos consumidores, para demonstrar progressos mensuráveis em sustentabilidade.

Relevância para o Setor Agroalimentar

O setor agroalimentar caracteriza-se por volumes muito elevados de matérias-primas, água e energia e, correspondentemente, por volumes muito elevados de subprodutos, águas residuais e resíduos de embalagens. De acordo com dados recolhidos no Pacote de Trabalho 2 em Espanha, Itália e Eslovénia, a indústria agroalimentar representa um dos maiores setores industriais em cada país parceiro em volume de negócios (avaliado em mais de 126 mil milhões de euros em Espanha, 64 mil milhões em Itália e cerca de 2,4 mil milhões só no setor alimentar e de bebidas da Eslovénia). Ao mesmo tempo, é precisamente o setor em que a reutilização de subprodutos é mais limitada pelas regras de segurança alimentar, rastreabilidade e higiene, tornando o equilíbrio entre circularidade e segurança a questão central de qualquer modelo de simbiose agroalimentar. Este modelo foi concebido para ajudar a resolver essa tensão: mostra onde o setor já gera valor a partir do que seria desperdício, onde o quadro regulatório apoia ou bloqueia tais trocas, e que conhecimentos e competências são necessários para escalar estas práticas de práticas isoladas para comportamentos industriais sistémicos e quotidianos.

Metodologia e Fontes

Este modelo baseia-se na investigação de métodos mistos realizada no âmbito do Pacote de Trabalho 2 do projeto SYMBIOS entre o final de 2025 e meados de 2026, complementada pela literatura revista por pares e institucional sobre simbiose industrial. As fontes primárias utilizadas são:

- **Grupos focais (WP 2.1)** realizados com partes interessadas agroalimentares na Eslovénia (seis participantes da indústria, investigação, associações setoriais e administração pública) pela GZS e em Espanha (doze participantes da indústria e do meio académico), facilitados pela IATA-CSIC, foram usados para identificar os objetos de investigação para o inquérito subsequente.
- **Um inquérito multinacional (WP 2.3)** foi administrado a 30 empresas agroalimentares (10 em Espanha, Itália e Eslovénia) entre janeiro e março de 2026, abrangendo o perfil da empresa, processos produtivos, gestão de resíduos e práticas circulares, barreiras regulatórias, bem como necessidades de competências e formação.

- **Entrevistas semi-estruturadas e profundas com partes interessadas da indústria alimentar (WP 2.3)** realizadas com seis empresas na Eslovénia, Itália e Espanha entre janeiro e março de 2026, explorando práticas atuais, barreiras e condições favoráveis para a simbiose industrial.
- **Entrevistas semi-estruturadas e profundas com especialistas académicos (WP 2.3)** realizadas com cinco investigadores sediados em Espanha, Eslovénia e Itália entre janeiro e março de 2026, explorando definições, melhores práticas, trajetórias de inovação e competências exigidas.
- **Investigação documental e revisão bibliográfica setorial específica (WP 2.4)**, abrangendo a literatura revista por pares sobre simbiose industrial (Chertow, 2000, 2007; Mirabella et al., 2014; Jacobsen, 2006; Van Capelleveen et al., 2018, entre outros) e o quadro legislativo aplicável da União Europeia e nacional.
- **Uma revisão sistemática das ofertas existentes de aprendizagem em Simbiose Industrial (WP 2.6)**, abrangendo programas estruturados de educação e formação para os quais a simbiose industrial é o principal objetivo educativo, analisada através de um Quadro de Análise de Ofertas de Aprendizagem para Simbiose Industrial (ISLOAF) construído de raiz para ela.

Capítulo 1 – Mecanismo Simbiótico

1.1 Definição: Conceitos e Princípios-Chave

A simbiose industrial (SI) é uma abordagem colaborativa em que, tradicionalmente, indústrias separadas envolvem-se na troca de materiais, energia, água, serviços e informação para melhorar a eficiência dos recursos e reduzir os impactos ambientais. Na indústria alimentar, a simbiose industrial representa uma estratégia fundamental para implementar princípios da economia circular, transformando fluxos de resíduos e subprodutos em recursos valiosos para outras indústrias.

De acordo com a definição clássica proposta por Chertow (2000), a simbiose industrial envolve a troca mutuamente benéfica de recursos entre empresas, gerando benefícios ambientais, económicos e sociais. No setor alimentar, este conceito vai além da gestão de resíduos e inclui a otimização de recursos ao longo de toda a cadeia de valor, desde a produção agrícola e processamento alimentar até à distribuição e consumo. A definição do Comité Europeu de Normalização (CEN, 2018), usada como definição base durante os grupos focais SYMBIOS para estabelecer um entendimento comum entre as partes interessadas, situa a simbiose industrial firmemente num contexto industrial: trocas de recursos como materiais, água, energia e serviços entre atores industriais de outra forma não relacionados, distinta do comércio comum na cadeia de abastecimento.

Os princípios fundamentais da simbiose industrial na indústria alimentar incluem:

- Eficiência dos recursos através do uso em cascata de materiais, em que um recurso é utilizado na sua aplicação de maior valor antes de ser rebaixado para usos de menor valor, como a recuperação de energia;
- Valorização de subprodutos e resíduos, convertendo o que de outra forma seria um custo de eliminação numa fonte de receita;
- Redução da eliminação de aterros e das emissões de gases com efeito de estufa associadas ao tratamento de resíduos;
- Colaboração intersetorial entre indústrias que não interagiriam naturalmente através das cadeias de abastecimento convencionais;
- Criação de novas oportunidades de negócio, fontes de receita e, em alguns casos, empresas ou unidades de negócio totalmente novas;
- Apoio ao desenvolvimento da economia circular regional, uma vez que muitas trocas simbióticas são fortemente condicionadas pela proximidade geográfica.

As indústrias alimentares geram quantidades significativas de subprodutos orgânicos ricos em nutrientes, fibras, proteínas, lípidos e compostos bioativos. Estes fluxos proporcionam consideráveis oportunidades de reutilização e valorização em setores como alimentação animal, bioenergia, farmacêuticos, cosméticos, biotecnologia, agricultura e processamento de couro. Como confirmado durante o grupo focal SYMBIOS Esloveno, a simbiose industrial não é uma ideia nova; vários participantes notaram que a lógica subjacente existe informalmente há décadas, por exemplo no uso tradicional de farinha de soja e cereais usados por cervejeiros na pecuária, mas a sua aplicação sistemática tem sido nos últimos anos limitada por uma interpretação cada vez mais cautelosa da legislação europeia e pela aplicação do princípio da precaução a materiais biológicos.

Este modelo de simbiose industrial está em estreita linha com o Pacto Verde Europeu, o Plano de Ação para a Economia Circular e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas, em particular o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis).

Produtos, Resíduos e Subprodutos: Uma Distinção Fundamental

No contexto da simbiose industrial alimentar, os produtos, resíduos e subprodutos não são vistos apenas como resíduos que necessitam de eliminação, mas como recursos potenciais que podem criar valor dentro ou entre setores industriais. As indústrias de processamento alimentar geram uma variedade de fluxos de materiais para além dos seus produtos primários destinados ao consumo humano: subprodutos, materiais residuais, águas residuais, calor excedente e resíduos de embalagens.

- Um subproduto é um material secundário gerado durante um processo de produção que tem um uso adicional certo e legal sem exigir processamento adicional significativo; exemplos incluem pomaço de fruta, soro de leite, cereais usados de cervejaria, bagaço de uva e peles de animais.
- O resíduo, em contraste, refere-se a materiais que o detentor descarta, pretende descartar ou é obrigado a descartar ao abrigo dos quadros regulamentares. A simbiose industrial procura transformar fluxos de resíduos em insumos valiosos para outros processos, reduzindo assim o consumo de recursos e os impactos ambientais. Por exemplo, cascas de fruta e resíduos vegetais podem ser convertidos em ração animal ou biofertilizantes, o soro pode ser processado em ingredientes nutricionais, o grão usado pode ser usado em aplicações alimentares, de ração ou bioenergia, e peles animais podem ser fornecidas à indústria do couro.
- Através destas trocas, os outputs de uma indústria tornam-se os insumos de outra, criando sistemas de ciclo fechado que aumentam a eficiência dos recursos, reduzem os custos de eliminação, geram fontes de receita adicionais e apoiam a transição para uma economia circular.

Assim, na simbiose da indústria alimentar, a distinção entre produtos, resíduos e subprodutos é fundamental porque determina o potencial para a recuperação de recursos, colaboração intersetorial e criação sustentável de valor.

1.2 Recursos, Fluxos e Restrições

O Processo de Produção Agroalimentar: Da Matéria-Prima ao Produto Acabado

A indústria alimentar depende de uma vasta gama de insumos, incluindo matérias-primas agrícolas, água, energia, materiais de embalagem, materiais de processamento, produtos químicos e serviços de transporte. Durante a produção e processamento de alimentos, estes recursos são transformados em produtos finais destinados ao consumo humano, mas também são geradas quantidades significativas de produtos secundários, incluindo subprodutos sólidos, resíduos orgânicos, águas residuais, resíduos de embalagens e excesso de calor. A natureza destes subprodutos varia consideravelmente consoante o subsector alimentar.

Subsetor alimentar	Principais entradas	Subprodutos típicos / fluxos de resíduos	Via ilustrativa de valorização
Processamento de frutas e legumes	Produtos frescos, água, embalagens	Cascas, sementes, pomace, polpa	Pectina, antioxidantes, ração animal, biofertilizante
Processamento de lacticínios	Leite, água, energia	Soro, lama, bactofugado	Concentrado de proteína de soro de leite, lactose, bioetanol, biogás
Processamento de carne / matadouros	Gado, água, energia	Ossos, sangue, gorduras, peles, restos	Colagénio, gelatina, biodiesel, couro (peles), ração animal
Processamento de peixe	Peixe cru, água, gelo	Cabeças, escamas, vísceras, peles	Farinha de peixe, óleo de peixe, colagénio, bioestimulantes
Cervejarias	Cereais maltados, lúpulo, água, energia	Cereais usados, levedura excedente, CO2	Alimentação animal, ingredientes alimentares funcionais, biogás, CO2 capturado para reutilização
Adegas	Uvas, água, energia	Maço-de-uva (marc), borras	Polifenóis, ácido tartárico, destilados, composto

Subsetor alimentar	Principais entradas	Subprodutos típicos / fluxos de resíduos	Via ilustrativa de valorização
Pastelaria / confeitaria	Farinha, açúcar, gorduras, embalagens	Produtos off-spec, resíduos de embalagem, pão por vender	Ração animal, matéria-prima para cerveja, farinha rica em proteínas

Tabela 1. Perfil representativo de input-output do setor agroalimentar por subsetor (compilado a partir da investigação documental do WP 2, inquéritos e resultados de entrevistas).

Co-Produtos: Exemplos Ilustrativos de Entrada–Saída

A pesquisa de mesa do WP 2.6 e o trabalho de campo do WP 2 compilaram um vasto inventário de exemplos de coprodução concreta já documentados no setor, ilustrando a diversidade de vias de valorização disponíveis em diferentes pontos da cadeia de valor, desde as fases iniciais de processamento (valor mais elevado, maior gama de utilizações) até resíduos no fim da linha (valor mais baixo, gama de utilizações mais estreita):

Entrada de material	Produção / valorização
Grão gasto de cervejeiro (BSG)	Alimentação animal, farinha rica em proteínas e ingredientes de fibra, biogás, bioetanol
Soro de leite (agridoce e doce)	Concentrado de proteína de soro de leite, lactose, ingredientes de fórmulas infantis, bioetanol
Cascas de fruta e legumes, sementes, bagaço	Pectina, antioxidantes, óleos essenciais, ração animal, biofertilizante
Bagaço de uva (marc) e borras	Polifenóis, ácido tartárico, destilados, composto
Resíduos de processamento de tomate (cutin)	Revestimentos para embalagens de folha de estanho utilizados na cadeia de abastecimento do tomate
Penas de aves	Queratina para fibras têxteis antimicrobianas (piloto, Eslovénia)
Óleo de cozinha usado	Biodiesel
Ossos, sangue e gordura provenientes do processamento de carne	Colagénio, gelatina, ração animal, biodiesel
Restos frios (curados e cozinhados)	Matérias-primas da indústria da massa recheada (Trascinelli, Itália)
Águas residuais municipais e industriais	água reciclada para irrigação (Regulamento (UE) 2020/741); energia recuperada

Tabela 1bis. Exemplos ilustrativos de coprodução ao longo da cadeia de valor agroalimentar (compilados a partir da pesquisa administrativa e trabalho de campo do WP 2).

Em vez de serem tratados como resíduos, muitos destes fluxos possuem um potencial significativo de valorização. Os subprodutos alimentares podem ser convertidos em ração animal, fertilizantes orgânicos, composto, bioenergia, bioplásticos, bioquímicos, produtos farmacêuticos e ingredientes cosméticos. O grão gasto da cervejeira é amplamente utilizado como alimentação para gado e como matéria-prima para o desenvolvimento de bioprodutos, enquanto o soro de leite se tornou uma importante fonte de proteínas para as indústrias alimentar e nutracêutica. Os resíduos orgânicos também podem ser utilizados em sistemas de digestão anaeróbica para produzir biogás e biometano, contribuindo para a geração de energia renovável. A valorização dos subprodutos da indústria alimentar representa um dos mecanismos mais importantes para alcançar eficiência e circularidade de recursos dentro das redes de simbiose industrial (Mirabella et al., 2014; Comissão Europeia, 2020).

O inquérito WP 2.3 a 30 empresas agroalimentares em Espanha, Itália e Eslovénia confirma este quadro empiricamente: 39% dos inquiridos identificaram resíduos orgânicos como o seu tipo predominante de subproduto, seguidos de resíduos de embalagens (29%) e águas residuais (24%). Aproximadamente 70% das empresas inquiridas já reutilizam subprodutos, energia ou águas residuais internamente, mais frequentemente através de recuperação de água Clean-in-Place (CIP), recuperação de calor de compressores de refrigeração usados para aquecer água sanitária ou de processamento, e reutilização de produtos fora de especificação na mesma linha de produção. No entanto, apenas 17% dos subprodutos são atualmente enviados para eliminação externa, enquanto o restante é retido internamente, vendido informalmente ou trocado apenas ocasionalmente — evidência de que o potencial para simbiose industrial estruturada e externa permanece substancialmente por explorar: apenas 9% dos inquiridos relataram uma parceria estável e de longo prazo para valorização de subprodutos, 37% relataram acordos formais com parceiros selecionados e 30% descreveram as suas trocas externas como meramente ocasionais e informais.

Restrições à Valorização: Perecibilidade, Risco de Contaminação e Variabilidade da Qualidade

O setor agroalimentar enfrenta um conjunto de restrições materiais que não se aplicam na maioria dos contextos de IS da manufatura, e que determinam, antes mesmo de qualquer questão regulatória ou económica ser colocada, o que é fisicamente possível. A perecibilidade é a mais fundamental: ao contrário das aparas de cromo ou cereais usados que podem ser armazenados, transportados e processados ao longo de dias ou semanas, uma proporção significativa dos subprodutos agroalimentares começa a degradar-se em poucas horas após a geração. Isto comprime radicalmente a janela logística disponível para qualquer troca, e é uma das principais razões pelas quais a proximidade geográfica, um fator de sucesso identificado nas três vertentes de investigação dos países, não é apenas conveniente mas, em alguns casos, estritamente necessária.

Os académicos italianos entrevistados foram explícitos neste ponto: a valorização bem-sucedida no contexto italiano tende a ocorrer quando as distâncias de transporte são curtas e, idealmente, quando o processamento ocorre no local de geração ou muito próximo.

O risco de contaminação e os requisitos de segurança alimentar acrescentam uma camada adicional que não tem paralelo direto nos sistemas de informação não alimentares. Qualquer subproduto que permaneça na cadeia alimentar, seja para consumo humano, alimentação animal ou aplicações de contacto alimentar, deve cumprir os procedimentos HACCP, protocolos de higiene, requisitos de armazenamento refrigerado e a vácuo, e documentação completa de rastreabilidade ao longo da cadeia de manuseamento, armazenamento e transporte. A barra de conformidade para aplicações de grau alimentar ou ração é significativamente mais alta do que para recuperação de energia ou compostagem, razão pela qual os entrevistados do projeto relatam consistentemente uma tendência para o biogás ou fertilizante como destinos de subproduto, mesmo sabendo que existe uma aplicação de grau alimentar de maior valor em princípio: a infraestrutura de conformidade necessária para a via de maior valor é simplesmente demasiado cara para os volumes envolvidos. As empresas normalmente evitam grandes inventários de matérias-primas e dependem de sistemas de encomenda de curto prazo alinhados com as necessidades reais de produção; em alguns casos, o congelamento imediato em sistemas avançados de arrefecimento é aplicado a produtos selecionados ou produtos semiacabados para prolongar a vida útil, embora tais soluções sejam adequadas apenas para categorias específicas de produtos. Esta dinâmica, tecnicamente viável mas economicamente inviável à escala atual e ao custo de conformidade, é o padrão dominante nas entrevistas de empresas do WP 2.3 e deverá ser o ponto de partida para qualquer conteúdo de formação sobre navegação regulatória no contexto dos SI agroalimentares.

A variabilidade da qualidade acrescenta uma restrição final menos visível mas igualmente consequente. Os subprodutos agroalimentares são diretamente moldados pelas matérias-primas e condições de produção que os geram, o que significa que qualquer variação nos materiais de entrada ou parâmetros de processamento se traduz em variação na composição dos subprodutos, teor de humidade ou carga microbiológica. Um potencial parceiro de SI no lado receptor precisa de consistência para planear as suas próprias operações: não pode construir um processo de produção em torno de uma matéria-prima subproduto cujas propriedades flutuam imprevisivelmente de lote para lote. Esta é outra razão pela qual a lacuna de monitorização identificada no inquérito (40% das empresas com apenas monitorização qualitativa básica dos seus fluxos de resíduos, e apenas 7% usando sistemas digitalmente suportados) é um obstáculo fundamental, pois uma empresa que não consegue caracterizar e documentar os seus próprios fluxos de subprodutos com precisão e consistência suficientes não pode oferecer esses fluxos como um insumo industrial fiável a outra empresa.

1.3 Políticas e Quadro Regulatório

O desenvolvimento da simbiose industrial na indústria alimentar é fortemente influenciado por quadros regulatórios europeus e nacionais que incentivam práticas de economia circular e gestão sustentável de recursos, mas que simultaneamente impõem condições rigorosas destinadas a proteger a saúde humana, animal e ambiental.

O Nível da União Europeia

A nível da UE, a simbiose industrial não opera sob um único instrumento legislativo dedicado. Em vez disso, é moldada por uma combinação de política geral de economia circular e legislação específica por setor, resumida na Tabela 2.

Instrumento	O que estabelece	Relevância para a simbiose industrial
Plano de Ação da UE para a Economia Circular (CEAP, 2020) e Pacto Verde Europeu	Eficiência de recursos, prevenção de resíduos, reutilização e reciclagem em todas as cadeias de valor; design sustentável de produtos	Reconhece explicitamente a simbiose industrial como uma estratégia para manter materiais e recursos em circulação na economia da UE
Diretiva-Quadro de Resíduos (2008/98/CE, alterada pela (UE) 2018/851)	Hierarquia de resíduos, prevenção de resíduos, reciclagem, recuperação, eliminação; distinção entre resíduos, subprodutos e estado de fim de resíduos	O instrumento jurídico mais importante para o SI: ao abrigo do Artigo 5.º, uma substância qualifica-se como subproduto, não como resíduo, se o uso posterior for certo, utilizável sem processamento adicional além da prática industrial normal, produzida como parte integrante da produção, e legal e ambientalmente segura
Regulamento (CE) nº 178/2002 – Lei Geral dos Alimentos	Princípios gerais de segurança alimentar, rastreabilidade e responsabilidade do operador do negócio alimentar	Qualquer subproduto destinado a uso posterior em cadeias de valor alimentares ou de rações deve cumprir requisitos de segurança e rastreabilidade alimentar, condicionando diretamente a viabilidade
Regulamento (CE) n.º 1069/2009 sobre Subprodutos Animais e Regulamento da	Regras de saúde, categorização de risco, recolha, transporte, processamento e utilização de subprodutos animais	Altamente relevante para fluxos secundários à base de carne e laticínios; determina se peles, sangue, gorduras ou vísceras podem ser valorizados através de

Instrumento	O que estabelece	Relevância para a simbiose industrial
Comissão (UE) n.º 142/2011		ração, fertilizante, bioenergia ou biomateriais, e sob que regime de segurança/documentação
Regulamento (UE) 2019/1009 sobre produtos fertilizantes da UE	Requisitos para categorias de funções do produto e materiais componentes dos produtos fertilizantes	Permite que os nutrientes recuperados dos resíduos agroalimentares substituam os insumos de fertilizantes virgens, desde que sejam cumpridos os requisitos de qualidade e segurança
Regulamento (UE) 2020/741 sobre reutilização da água	Requisitos mínimos de qualidade e monitorização para águas recicladas utilizadas na irrigação agrícola	Base para esquemas territoriais de simbiose da água que ligam processadores de alimentos, estações de tratamento de águas residuais e comunidades de irrigação, especialmente relevantes em regiões com escassez de água como Espanha
Regulamento sobre Embalagens e Resíduos de Embalagens (UE 2025/40)	Requisitos mais rigorosos sobre redução de embalagens, reciclabilidade, sistemas de reutilização e conteúdo reciclado	Requer colaboração entre produtores, fornecedores e gestores de resíduos para estabelecer sistemas de reutilização e fluxos circulares de embalagem
Diretiva de Relatórios de Sustentabilidade Corporativa – CSRD (Directiva (UE) 2022/2464)	Relatórios obrigatórios de ESG e economia circular para grandes empresas e, cada vez mais, para os seus fornecedores	Cria um incentivo orientado para relatórios para as empresas documentarem e expandirem a eficiência de recursos e as práticas de simbiose industrial

Tabela 2. Instrumentos legais e políticos da UE mais relevantes para a simbiose industrial no setor agroalimentar (compilado a partir da revisão legislativa WP 2.4/2.6).

A distinção entre estatuto de resíduos e subproduto tem consequências práticas significativas. Quando um material residual se qualifica legalmente como subproduto em vez de resíduo, a sua circulação é facilitada porque não está sujeito ao regime completo de gestão de resíduos, tornando a troca simbiótica mais economicamente atrativa; por outro lado, a incerteza sobre a classificação desencoraja o investimento e cria custos administrativos. O artigo 6.º da Diretiva-Quadro dos Resíduos permite adicionalmente que certos resíduos adquiram o estatuto de "fim de resíduos"

após operações de recuperação, facilitando ainda mais os mercados de matérias-primas secundárias.

Nível Nacional e Regional

A nível nacional, os Estados-Membros adotaram estratégias de economia circular, roteiros de bioeconomia e planos de gestão de resíduos que apoiam ainda mais a simbiose industrial. Na Eslovénia, por exemplo, o Regulamento Nacional sobre Resíduos e o Regulamento sobre Embalagens e Resíduos de Embalagem estabelecem obrigações de classificação, registo e reporte, enquanto a Estratégia e Plano de Ação para a Prevenção de Resíduos Alimentares "Respeitar a Alimentação, Respeitar o Planeta" apoia especificamente a identificação de novos usos para excedentes alimentares e subprodutos. Os instrumentos de apoio identificados durante os grupos focais do WP 2.1 incluem incentivos financeiros, subsídios, benefícios fiscais, programas de financiamento à inovação, clusters industriais e plataformas digitais que facilitam a troca de recursos e a colaboração entre empresas.

Os grupos focais mostram que este quadro regulatório é percebido pela indústria tanto como um facilitador como, mais frequentemente, a barreira mais significativa à simbiose industrial. Em grupos focais e entrevistas eslovenos e internacionais, os participantes identificaram repetidamente o encargo administrativo, a interpretação cautelosa das regras da UE e a falta de especialização sectorial entre os reguladores como fatores que desencorajam intercâmbios ambientalmente benéficos. O inquérito WP 2.3 confirma isto quantitativamente: segurança alimentar (32%) e conformidade ambiental (33%) foram identificadas como as duas áreas regulatórias dominantes que afetam a gestão de subprodutos, e o encargo administrativo associado a licenças e ao custo de conformidade foi apontado como o principal tipo de barreira regulatória. Os requisitos de saúde e segurança ocupacional (OSH) ligados a riscos biológicos, químicos ou relacionados com processos revelaram-se uma restrição menos decisiva, com apenas 10% dos inquiridos a relatarem que a OSH limita significativamente a reutilização ou troca de subprodutos.

1.4 Ligações Intersectoriais

A simbiose industrial no setor alimentar depende fortemente da colaboração intersectorial, permitindo que subprodutos e materiais residuais sejam usados como recursos noutras indústrias. Várias ligações repetem-se consistentemente ao longo da investigação SYMBIOS.

Conexões de Entrada: O que Flui para a Produção de Alimentos e Bebidas

Embora o setor agroalimentar seja mais conhecido como gerador de fluxos de subprodutos de saída, também recebe insumos de outros setores que são eles próprios produto de simbiose industrial noutras partes da economia. A água reciclada proveniente do tratamento de águas residuais municipais e industriais, regulada pelo Regulamento (UE) 2020/741, é cada vez mais utilizada para irrigação agrícola que alimenta a produção alimentar, especialmente em regiões com escassez de

água. Nutrientes recuperados de subprodutos de outros setores podem substituir parte da procura por insumos de fertilizantes virgens na produção agrícola: subprodutos de couro sem cromo, por exemplo, já são valorizados em fertilizantes e bioestimulantes por empresas como a SICIT e a ILSA no modelo paralelo do setor do couro desenvolvido sob o Pacote de Trabalho 2, ilustrando um fluxo direto de entrada do segundo setor-alvo do projeto SYMBIOS para a produção primária própria do agroalimentar. Energia e calor recuperados de outros processos industriais, seguindo a mesma lógica demonstrada em Kalundborg (Secção 1.5), podem, em princípio, fornecer instalações de processamento alimentar localizadas no mesmo cluster industrial.

Ligações Outbound: Para onde Vão os Subprodutos de Alimentos e Bebidas

Os destinos dos subprodutos variam consoante o curso de água e o setor, e várias ligações repetem-se consistentemente ao longo da investigação SYMBIOS:

- **Alimentação e agricultura:** os resíduos orgânicos do processamento alimentar são transformados em ração animal, fertilizantes e emendas do solo; os nutrientes contidos nos resíduos agrícolas e alimentares podem substituir parte da procura por fertilizantes virgens (Regulamento (UE) 2019/1009).
- **Alimentos e energia:** resíduos orgânicos são convertidos em biogás, biometano e eletricidade através de digestão anaeróbia e sistemas combinados de calor e eletricidade; O CO₂ capturado da fermentação da cervejeira é reutilizado como matéria-prima na indústria química, uma prática já documentada na Eslovénia.
- **Alimentação e couro (simbiose agroalimentar–couro):** matadouros e instalações de processamento de carne produzem peles e peles que servem como matéria-prima principal para a produção de couro, representando uma das relações industriais de simbiose mais antigas e estabelecidas existentes; aproximadamente 99% da produção global de couro tem origem em peles e peles produzidas pelos setores da carne e dos laticínios.
- **Alimentos e químicos / biotecnologia / farmacêutica / cosméticos:** subprodutos como cascas de fruta, gorduras animais, tecidos ricos em proteínas, ossos e tecidos conjuntivos são convertidos em óleos essenciais, colagénio, gelatina, compostos bioativos, enzimas e biopolímeros usados em cosméticos, farmacêuticos e nutracêuticos.
- **Alimentação e construção / materiais:** resíduos de embalagens e resíduos de processamento também contribuem para aplicações de materiais e revestimentos; por exemplo, cutin extraído de resíduos de processamento de tomate foi usado para desenvolver um revestimento aplicado à banda stagnata, usada para embalagens dentro da própria cadeia de abastecimento do tomate, um exemplo dado diretamente por um académico italiano entrevistado ao abrigo do WP 2.

Modos de Colaboração e Interação

A colaboração entre empresas de alimentos e bebidas e os seus parceiros simbióticos varia desde a troca informal até à cooperação altamente estruturada e baseada em clusters. Vários modos recorrentes foram identificados ao longo da investigação do WP 2:

- **Fornecimento direto entre empresas:** o exemplo documentado mais claro é o Salumificio Trascinelli Pietro Srl, que fornece cortes selecionados e embalados a frio diretamente à indústria da massa recheada, recuperando matérias-primas à base de carne sem intermediário.
- **Intermediários e corretores:** particularmente importantes para as PME, uma vez que preservar a qualidade dos subprodutos para aceder a aplicações de maior valor e negociar contratos de fornecimento frequentemente requer uma especialização comercial que as empresas individuais não possuem internamente (Secção 2.1).
- **Clusters industriais e territoriais:** associações multipartitórias como a CL.A.N., o Cluster Nacional Agroalimentar Italiano, e Parcerias Estratégicas de Investigação e Inovação, como a SRIP HRANA da Eslovénia, reúnem empresas, associações, universidades e centros de formação em torno da atividade conjunta de economia circular (Secção 2.3).
- **Plataformas digitais de matchmaking:** ferramentas como a Simbylay em Espanha, e a própria Plataforma Digital SYMBIOS, ajudam as empresas a identificar potenciais parceiros e recursos disponíveis, abordando diretamente a lacuna de consciencialização que a investigação do WP 2 identifica repetidamente como uma restrição vinculativa à implementação (Secção 2.1).

Considerações Custo-Benefício

Os benefícios económicos destas colaborações incluem redução dos custos de gestão de resíduos, menor despesa com matérias-primas, aumento das receitas provenientes das vendas de subprodutos e melhoria da eficiência dos recursos; os benefícios ambientais incluem redução das emissões de gases com efeito de estufa, menores taxas de eliminação em aterros e diminuição da extração de recursos virgens. No entanto, a implementação bem-sucedida pode ser limitada pelos custos de transporte, complexidade regulatória, requisitos de garantia de qualidade, incerteza do mercado e necessidade de confiança e coordenação entre as partes interessadas (Van Capelleveen et al., 2018; Pajares et al., 2023).

Em Profundidade: Simbiose da Indústria Alimentar–Couro

A relação entre as indústrias alimentar e do couro representa um dos exemplos mais antigos e estabelecidos de simbiose industrial, sendo de relevância estratégica direta para o projeto SYMBIOS, uma vez que o couro é o segundo setor-alvo da parceria. Matadouros e instalações de processamento de carne geram grandes quantidades de peles e peles animais como subprodutos

inevitáveis da produção de carne. Em vez de serem descartados como resíduo, estes materiais são recolhidos e fornecidos a curtumes, onde são transformados em couro para uso nas indústrias do calçado, mobiliário, automóvel, moda e estofamento, garantindo que os materiais de origem animal sejam plenamente utilizados, reduzindo a geração de resíduos e maximizando o valor económico ao longo de toda a cadeia de valor pecuária (UNIDO, 2017; Buljan & Kral, 2015).

Para além das peles e peles, outros subprodutos do processamento da carne também podem ser valorizados através de vias de simbiose industrial. As gorduras animais e o sebo gerados durante o abate e a transformação são cada vez mais usados como matérias-primas para a produção de biodiesel, oleoquímicos, lubrificantes, sabonetes, detergentes e outros produtos bio-baseados, reduzindo a dependência dos recursos fósseis e criando fontes adicionais de receita. Resíduos ricos em proteínas, como tecidos conjuntivos, ossos, tendões e aparas de pele, podem ser processados para extrair colagénio e gelatina, amplamente utilizados nos setores alimentar, farmacêutico, cosmético, biomédico e nutracêutico (Lasekan et al., 2013; Gómez-Guillén et al., 2011). A implementação bem-sucedida da simbiose industrial alimento-couro depende do cumprimento regulatório, rastreabilidade dos materiais, capacidade tecnológica e procura de mercado por matérias-primas secundárias, sendo cada vez mais reconhecida como um caminho estratégico para melhorar a eficiência dos recursos e apoiar o desenvolvimento de sistemas de bioeconomia circular a nível regional e nacional.

1.5 Boas Práticas e Referência

Vários casos documentados, recolhidos tanto da literatura internacional como das próprias entrevistas e grupos focais do projeto SYMBIOS, demonstram como a simbiose industrial pode melhorar a eficiência dos recursos, reduzir a geração de resíduos e criar novas oportunidades económicas nas indústrias relacionadas com a alimentação.

Modelo 1. Rede de Simbiose de Kalundborg (Dinamarca)

Estabelecido ao longo de várias décadas, o Kalundborg é amplamente considerado o primeiro sistema de simbiose industrial do mundo, envolvendo uma rede de organizações públicas e privadas que trocam energia, água, vapor, gesso, biomassa e outros materiais residuais. Embora não esteja exclusivamente focado no setor alimentar, continua a ser o padrão global para modelos de partilha de recursos aplicáveis às indústrias agroalimentares. O sistema baseia-se no princípio de que a produção ou fluxo residual de uma empresa se torna um insumo valioso para outra, reduzindo o consumo de recursos, a geração de resíduos e o impacto ambiental, ao mesmo tempo que cria benefícios económicos para todos os participantes.

Entradas	Saídas / Recursos Trocados
Águas superficiais (Lago Tissø) e águas subterrâneas	Água de arrefecimento e águas residuais tratadas
Biomassa, gás natural, combustíveis e produtos de refinaria	Biogás, vapor, calor residual, aquecimento distrital, gás de refinaria
Matérias-primas industriais e eletricidade	Gesso (para fabricantes de pladur), cinzas volantes e clínquer (para a indústria do cimento)
Insumos agrícolas e produtos químicos	Lodos e fertilizantes, enxofre e outros subprodutos
Processar água e materiais orgânicos	Resíduos de biomassa redirecionados para bioenergia ou agricultura

Tabela 3. Principais fluxos de recursos na rede de Simbiose de Kalundborg (adaptado de Chertow, 2007; Jacobsen, 2006).

Mais de vinte intercâmbios de recursos envolvendo água, energia e materiais foram desenvolvidos ao longo de várias décadas em Kalundborg, gerando reduções significativas nas emissões de gases com efeito de estufa, consumo de água doce, consumo de energia e geração de resíduos, ao mesmo tempo que melhoram o desempenho económico das organizações participantes. O sucesso de Kalundborg deve-se em grande parte à proximidade geográfica, às relações de confiança entre as partes interessadas, ao compromisso a longo prazo e à identificação de oportunidades de negócio mutuamente benéficas, demonstrando que a simbiose industrial pode evoluir gradualmente através da cooperação orientada pelo mercado, em vez de depender apenas da intervenção regulatória.

Modelo 2. Valorização do Grão Gasto da Cervejeira (BSG)

Na indústria alimentar, um dos exemplos mais bem-sucedidos de simbiose industrial envolve a valorização do grão gasto da cervejeira, o principal subproduto da produção de cerveja, representando aproximadamente 85% do total dos subprodutos da cerveja em volume. Rica em fibra alimentar, proteína, celulose, hemicelulose e compostos bioativos, a BSG ultrapassou largamente o seu papel tradicional como ração de baixo valor para o gado. De acordo com a Convenção Europeia das Cervejeiras, mais de 70% do grão gasto produzido pela cervejaria na Europa é atualmente utilizado como ração animal, através de parcerias de longo prazo entre grandes cervejeiros (por exemplo, Heineken, Carlsberg, AB InBev) e agricultores locais.

Vias de maior valor estão cada vez mais documentadas: o Projeto Circular Community do Grupo Carlsberg na Dinamarca investigou o BSG como fonte de fibra alimentar e ingredientes proteicos para pão, cereais de pequeno-almoço, snacks e alimentos enriquecidos em proteínas. A empresa belga Pure Grain recolhe BSG de cervejarias regionais para produzir farinha rica em proteína e ingredientes de fibra para produtos de padaria, alternativas à carne e massa. Cervejarias na

Alemanha, Bélgica e Países Baixos fornecem grãos usados a instalações de digestão anaeróbia para produção de biogás e biometano; e investigadores em Portugal desenvolveram rotas de fermentação que convertem o BSG em bioetanol e outros químicos de base biológica. Universidades europeias também incorporaram fibras extraídas de grãos usados em compósitos biodegradáveis e materiais de embalagem. A disponibilidade consistente, composição nutricional favorável e tipicamente curta distância de transporte do BSG explicam porque é amplamente considerado um dos modelos de simbiose industrial mais replicáveis no setor agroalimentar.

Modelo 3. Valorização do Soro de Leite

A transformação do soro leiteiro de um passivo ambiental para um recurso industrial de alto valor é outra história de sucesso frequentemente citada. O soro, gerado durante a produção de queijo e caseína, era historicamente considerado um fluxo de resíduos problemático devido à sua elevada carga orgânica e custo de eliminação. Avanços na filtração por membrana, tecnologias de secagem e extração de proteínas permitiram à indústria leiteira converter o soro em concentrados e isolados de proteína de soro, lactose, ingredientes para fórmulas infantis, suplementos desportivos e alimentos funcionais, enquanto os fluxos residuais são usados para produção de bioetanol, geração de biogás e fermentação microbiana. Entrevistas realizadas com empresas de laticínios no WP 2 confirmam que esta transição está bem avançada ao nível da empresa: o soro é tipicamente concentrado em cerca de 30% de matéria seca e vendido em forma líquida, principalmente para exportação, embora a procura do material seja descrita pela indústria como atualmente superior à capacidade de processamento disponível a jusante (Smithers, 2008; Prazeres, Carvalho & Rivas, 2012).

Modelo 4. Subprodutos de Processamento de Frutas e Legumes

Grandes quantidades de cascas, sementes, bagaço e polpa são geradas durante operações de processamento de sumos, vinhos, tomates, azeites e vegetais. Estes resíduos contêm compostos valiosos como polifenóis, fibras alimentares, antioxidantes, pigmentos e óleos essenciais. As iniciativas de simbiose industrial permitiram parcerias entre processadores de alimentos, fabricantes de cosméticos, empresas farmacêuticas e empresas biotecnológicas para recuperar estes compostos para uso em nutracêuticos, cosméticos, aditivos alimentares e materiais de origem biológica — por exemplo, o bagaço de uva de adegas é cada vez mais usado para extrair antioxidantes e compostos fenólicos, enquanto cascas de citrinos servem como fontes de pectina e óleos essenciais (Mirabella, Castellani & Sala, 2014; Galanakis, 2012).

Os sistemas de resíduo alimentar para energia representam outro modelo altamente replicável. Por toda a Europa, as plantas de digestão anaeróbica recebem resíduos orgânicos de fabricantes de alimentos, supermercados, restaurantes e produtores agrícolas para gerar biogás e digerir. Países como Alemanha, Dinamarca, Países Baixos e Itália integraram com sucesso as indústrias de

processamento alimentar com os setores agrícola e energético através de redes regionais de biogás (Ramos-Suárez et al., 2018).

Grupos de Foco SYMBIOS: Estudos de Caso Nacionais Emergentes

A investigação do WP 2 também revelou vários casos concretos diretamente reportados por empresas e investigadores entrevistados nos três países parceiros, ilustrando como os modelos gerais acima se traduzem na prática local:

- **Itália — cutin de tomate para revestimento em folha de estanho:** cutin extraído de resíduos de processamento de tomate usado para desenvolver um revestimento aplicado à banda stagnata usada para embalagens dentro da cadeia de abastecimento do tomate, um exemplo dado diretamente por um académico italiano entrevistado ao abrigo do WP 2.
- **Itália — Projetos Agrimax e Ecolab 2:** investigação colaborativa e projetos de demonstração que convertem resíduos alimentares em produtos de valor acrescentado através de abordagens de biorrefinaria, incluindo a aplicação dos princípios de simbiose industrial a fluxos de resíduos municipais e agroindustriais no Cluster Agroalimentar da Emília-Romanha.
- **Eslovénia — Recuperação de CO₂ e fósforo:** captura e reutilização das emissões de CO₂ das cervejeiras como matéria-prima para a indústria química, e recuperação de fósforo proveniente de águas residuais, juntamente com a extração de alto valor de pectina, compostos bioativos e filmes barreiras derivados do soro.
- **Eslovénia — penas para fibra têxtil:** colaboração entre um interveniente agroalimentar e faculdades universitárias de química/têxteis para extrair queratina de penas de aves para uso em fibras têxteis antimicrobianas para materiais sanitários e farmacêuticos, ilustrando caminhos de investigação de elevado potencial para a indústria que, como referido pelos participantes dos grupos focais, frequentemente não avançam para implementação comercial.
- **Espanha — subprodutos da carne:** conversão de ossos, sangue e gordura da indústria cárnica em materiais valiosos, subprodutos de frutas e vegetais redirecionados para alimentação animal, e óleo de cozinha utilizado convertido em biodiesel, refletindo uma abordagem espanhola prática e orientada para o mercado que prioriza a proximidade geográfica, o agrupamento industrial e mecanismos intermediários/intermediários, particularmente importantes para as PME.

Plataformas Digitais que Suportam a Simbiose Industrial

Por toda a Europa, a simbiose industrial tem sido cada vez mais promovida através de programas regionais e nacionais dedicados de facilitação e ferramentas digitais identificadas durante a investigação SYMBIOS, fornecendo referências diretas de design para a própria Plataforma Digital SYMBIOS (Pacote de Trabalho 3):

- **Programa Nacional de Simbiose Industrial (NISP, Reino Unido):** amplamente reconhecido como uma das iniciativas de facilitação mais bem-sucedidas, ligando milhares de empresas e desviando milhões de toneladas de resíduos do aterro (Laybourn & Lombardi, 2012).
- **VCG. IA (Value Chain Generator):** uma plataforma baseada em IA e aprendizagem automática que combina empresas de vários setores e países com base em produtos, resíduos e desperdícios, transformando desperdício de um custo num recurso gerador de receitas.
- **CIRCI baza (Eslovénia):** uma plataforma digital para simbiose industrial que liga empresas para a troca de matérias-primas secundárias e a gestão eficiente dos fluxos de materiais.
- **SCKG Toolkit e o Centro Esloveno para a Economia Circular:** uma plataforma interativa que oferece ferramentas de autoavaliação de circularidade, uma ferramenta de design de modelos de negócio ecológicos (Be2GreenHub) e um esquema de consultoria e mentoria especializada para PME.
- **SRIP HRANA (Eslovénia):** uma Parceria Estratégica de Investigação e Inovação de Longo Prazo para a Produção Alimentar Sustentável, que liga propriedades agrícolas, empresas, cooperativas, instituições de investigação e investidores.
- **Projeto SYMBIO:** um projeto da UE que reúne oito parceiros de seis países para construir modelos de negócio baseados em biologia, baseados na circularidade desde a fase de conceção e na simbiose industrial.

Modelos que Podem Ser Copiados

Nem todos os modelos documentados nesta secção são igualmente fáceis de replicar. Lidos em conjunto, sugerem três níveis de replicabilidade, úteis para priorizar onde o apoio ao treino e correspondência do SYMBIOS pode ter o impacto mais rápido.

- **Fornecimento direto, bilateral de subprodutos (Salumificio Trascinelli Pietro srl):** o modelo mais fácil de replicar. Qualquer empresa que gere um fluxo de subprodutos bem caracterizado e seguro para alimentos pode, em princípio, vendê-lo diretamente a um comprador já existente a jusante (ração animal, massa recheada, esboçamento) com investimento mínimo, desde que o material esteja devidamente documentado e rastreável.
- **Valorização estabelecida de fluxo único (Brew's Worn Cereal, leite whey, subprodutos de frutas e vegetais):** facilmente replicável onde a infraestrutura de processamento relevante já existe, uma vez que os mercados de compradores, o know-how técnico e, na maioria dos casos, a via regulatória necessária já estão estabelecidos; a principal barreira é a consciência e a ligação, não a tecnologia.
- **Clusters industriais multi-parceiros (estilo Kalundborg):** o nível mais difícil de replicar rapidamente, pois requer governação a longo prazo, confiança entre múltiplas organizações e, muitas vezes, coordenação ao nível do setor público ou cluster do tipo proporcionado pela

CL.A.N. ou SRIP HRANA; estes modelos escalam gradualmente em vez de serem adotados em massa.

1. Direct, bilateral supply of by-products

Easy

Direct sale to an existing downstream buyer (Trascinelli Pietro srl style)

Minimal investment, mainly needs proper traceability

2. Consolidated valorization of single streams

Medium

Brewers' spent grain, whey, fruit and vegetable by-products

Infrastructure and markets exist: barrier is awareness

3. Multi-partner industrial clusters

Hard

Kalundborg-style model, coordination across many organizations

Requires long-term governance and mutual trust

O Que Funciona e O Que Atrapalha

A literatura identifica vários fatores críticos de sucesso que determinam a eficácia das iniciativas de simbiose industrial: forte apoio regulatório, mercados estáveis para matérias-primas secundárias, disponibilidade fiável de fluxos de subprodutos, inovação tecnológica, envolvimento das partes interessadas, proximidade geográfica, confiança entre os participantes e mecanismos de comunicação eficazes, com plataformas digitais e ferramentas de correspondência de recursos a facilitarem cada vez mais a identificação de oportunidades simbióticas (Van Capelleveen et al., 2018). Apesar destes sucessos, várias barreiras continuam a limitar a adoção mais ampla: incerteza regulatória quanto à classificação dos subprodutos, infraestrutura insuficiente, custos de transporte, conhecimento técnico limitado, falta de investimento, variabilidade de qualidade dos materiais secundários e preocupações relacionadas com rastreabilidade e segurança alimentar. Barreiras sociais e organizacionais, incluindo relutância em partilhar informação e falta de confiança entre partes interessadas, ambas confirmadas repetidamente durante os grupos focais SYMBIOS,

também podem dificultar a colaboração. Consequentemente, o apoio político, o reforço de capacidades, o desenvolvimento tecnológico e o envolvimento das partes interessadas continuam essenciais para aumentar a simbiose industrial e maximizar a sua contribuição para a economia circular e o desenvolvimento industrial sustentável (Comissão Europeia, 2020; Neves et al., 2020).

Capítulo 2 – Conhecimentos e Competências para a Simbiose Industrial

Se o Capítulo 1 estabelece que a simbiose industrial no setor agroalimentar é tecnicamente viável, ambientalmente benéfica e cada vez mais apoiada por políticas, o trabalho de campo do WP 2 mostra consistentemente que o seu principal estrangulamento deixa de ser puramente tecnológico: é a disponibilidade do conhecimento e das competências adequadas, distribuídos corretamente entre os diferentes atores que devem atuar em conjunto para que ocorra uma troca simbiótica. Este capítulo mapeia essa lacuna de conhecimento e competências, baseando-se diretamente no inquérito transnacional WP 2.3 (30 empresas, Espanha–Itália–Eslovénia), nas entrevistas profundas do WP 2.3 com representantes de empresas e especialistas académicos, e nos grupos focais eslovenos e espanhóis (WP 2.1).

2.1 Conhecimentos e Competências Necessárias

Em todas as fontes de dados, as competências necessárias para operacionalizar a simbiose industrial agrupam-se em nove domínios interligados, cada um descrito abaixo. Cada domínio é também mapeado com o Quadro Europeu de Qualificações (EQF), a classificação ESCO de competências, competências, qualificações e ocupações, e com o GreenComp, o Quadro Europeu de Competências para a Sustentabilidade (o mapeamento completo está apresentado no Anexo D). O inquérito WP 2.3 pediu às empresas que avaliassem o seu próprio nível de competência em treze áreas específicas. O conhecimento do quadro regulatório e a gestão enxuta obtiveram as pontuações mais elevadas, e a gestão energética (ISO 50001) e as Declarações de Produtos Ambientais (EPD) tiveram as pontuações mais baixas, um padrão que molda as prioridades descritas abaixo. O investimento em formação para colmatar estas lacunas mantém-se surpreendentemente baixo em todo o setor: apenas 7% das empresas inquiridas investem regularmente em formação, 60% apenas ocasionalmente, e 33% não investem em formação, um resultado que reforça a necessidade, discutida na Secção 2.3, de que a formação seja ministrada em formatos curtos, de baixo custo e de fácil acesso, se quiser alcançar a maioria do setor.

Gestão de Resíduos e Subprodutos e Quadro Regulatório

EQF 4–5 · ESCO: Técnico Ambiental, Gestor de Gestão de Resíduos · GreenComp: Atuar em prol da sustentabilidade

A capacidade técnica de caracterizar, classificar, armazenar, tratar e documentar subprodutos e fluxos de resíduos para que possam ser trocados legal e em segurança. Isto inclui conhecimento prático da diferença entre estatuto de resíduos e subprodutos ao abrigo da Diretiva-Quadro de Resíduos, manuseamento compatível com o HACCP, armazenamento refrigerado/a vácuo e documentação de rastreabilidade, competências que as empresas entrevistadas ao abrigo do WP 2.3 geralmente descrevem como já existentes internamente, mas insuficientemente apoiadas por recursos e tempo dedicados.

Eficiência de Recursos, Avaliação de LCA e Análise de Fluxos de Materiais/Energia

EQF 5–6 · ESCO: Engenheiro Ambiental, Especialista Ambiental · GreenComp: Abraçar a complexidade na sustentabilidade

A capacidade de mapear fluxos de materiais, energia e água (por exemplo, Análise de Fluxos de Materiais, auditorias energéticas) para identificar o que uma empresa tem disponível para oferecer e o que precisa de obter. Especialistas académicos entrevistados ao abrigo do WP 2.3 identificaram "a capacidade de analisar fluxos de materiais" e o "pensamento sistémico" como competências fundamentais para qualquer gestor que pretenda operacionalizar simbiose industrial, enquanto os resultados do inquérito mostram que esta continua a ser uma das áreas mais fracas da competência autoavaliada da empresa, juntamente com a Avaliação do Ciclo de Vida (LCA) e as Declarações de Produtos Ambientais, que estão intimamente ligadas e ambas têm maus pontos.

Negociação Comercial e Desenvolvimento de Casos de Negócio

EQF 6–7 · ESCO: Especialista em Ambiente (função de consultoria/consultoria) · GreenComp: Agir pela sustentabilidade

A capacidade de traduzir uma oportunidade ambiental num caso de negócio viável: precificar um subproduto, negociar contratos de fornecimento e construir a avaliação custo-benefício e tecnoeconómica necessária para convencer decisores internos e parceiros externos. Tanto as entrevistas académicas como as empresariais enfatizam esta dimensão: investigadores espanhóis, em particular, enfatizaram a importância de preservar a qualidade dos subprodutos para aceder a aplicações de maior valor e de utilizar intermediários e corretores para tornar as bolsas comercialmente atrativas, especialmente para PME.

Networking e Construção de Parcerias

EQF 5–7 · ESCO: transversal, não ligado a uma única profissão · GreenComp: Agir pela sustentabilidade

A competência relacional para identificar potenciais parceiros, construir confiança e sustentar colaborações a longo prazo, muitas vezes intersectoriais. Isto surgiu como uma das lacunas mais frequentemente citadas em todas as fontes do WP 2.3: as empresas relatam uma persistente falta de conhecimento sobre potenciais parceiros, recursos disponíveis e subprodutos existentes, e o grupo focal esloveno propôs explicitamente uma plataforma dedicada de correspondência, funcionando como um "cartão de visita" para as empresas, como a ferramenta mais solicitada.

Gestão de Projetos

EQF 6–7 · ESCO: transversal, relevante em todas as quatro profissões verdes nomeadas · GreenComp: Agir pela sustentabilidade

A capacidade de estruturar, financiar e orientar uma iniciativa simbiótica da ideia à implementação, incluindo a navegação de chamadas de financiamento públicas e privadas, a gestão de projetos multi-partes interessadas e a gestão dos procedimentos administrativos associados às candidaturas a subsídios, uma competência explicitamente solicitada pelos participantes dos grupos focais, que notaram que colaborações promissoras de investigação frequentemente falham em avançar para uma implementação prática. Especialistas académicos entrevistados ao abrigo do WP 2.3 apontaram especificamente a disponibilidade de fases iniciais financiadas e com recursos para start-ups inovadoras de valorização como uma condição fundamental que as competências de gestão de projetos devem conseguir garantir.

Resolução de Problemas e Pensamento Sistémico

EQF 5–7 · ESCO: competência fundamental transversal · GreenComp: Abraçar a complexidade na sustentabilidade

A capacidade de pensar para além dos limites de uma única empresa e compreender como um recurso gerado num processo pode servir uma indústria completamente diferente. Especialistas académicos entrevistados ao abrigo do WP 2.3 referiram repetidamente o pensamento sistémico, o conhecimento em sustentabilidade e a colaboração intersetorial como competências essenciais para gestores eficazes de simbiose, juntamente com competências "soft" orientadas para a inovação, como abertura e resolução de problemas.

Competências Digitais (Plataformas, Análise de Dados e Relatórios ESG)

EQF 4–6 · ESCO: Técnico Ambiental; Tecnologias de Proteção Ambiental · GreenComp: Atuar em prol da sustentabilidade

A capacidade de utilizar plataformas e bases de dados digitais de correspondência de recursos, gerir e interpretar dados de sustentabilidade (incluindo para fins de reporte ESG e CSRD) e aplicar ferramentas digitais de monitorização para acompanhar fluxos de resíduos e subprodutos. O inquérito mostra que apenas 7% dos sistemas de monitorização inquiridos são suportados digitalmente, comparado com 53% que dependem de monitorização quantitativa avançada mas manual e 40% de rastreamento qualitativo básico, indicando margem substancial para digitalização.

Mapeamento e Caracterização de Correntes Laterais

EQF 4–5 · ESCO: Técnico Ambiental · GreenComp: Abraçar a complexidade na sustentabilidade

Uma competência distinta e mais aplicada do que o conhecimento geral de gestão de resíduos: a capacidade de inventariar, caracterizar e documentar os fluxos de subprodutos de uma empresa com a especificidade necessária para identificar oportunidades de valorização e comunicá-las credivelmente a potenciais parceiros. Especialistas académicos entrevistados ao abrigo do WP 2.3, particularmente os sediados na Eslovénia, destacaram esta como a base necessária de qualquer

modelo eficaz de simbiose industrial, com o argumento de que uma empresa não pode aceder a oportunidades simbióticas que não tenha primeiro mapeado e compreendido nas suas próprias operações. Esta distinção tem uma implicação direta para o desenho curricular: a caracterização paralela merece ser tratada como um módulo independente, em vez de ser incorporada em conteúdo genérico de gestão de resíduos.

Biotecnologia e Vias Avançadas de Valorização

EQF 6–7 · ESCO: Especialista em Ambiente; Tecnologias de Proteção Ambiental · GreenComp: Visualizar futuros sustentáveis

Uma área de competência emergente e mais especializada, identificada principalmente por académicos espanhóis entrevistados ao abrigo do WP 2.3: processos de bioconversão enzimática e microbiana capazes de transformar resíduos de baixo valor em proteínas, compostos bioativos, enzimas e biopolímeros; tecnologias avançadas de extração e separação (ultrassons, micro-ondas, fluidos supercríticos, solventes verdes); e a integração destas técnicas em modelos de biorrefinaria que combinam múltiplas tecnologias para maximizar a utilização dos recursos. Académicos italianos entrevistados enfatizaram igualmente a fermentação e a hidrólise como vias prioritárias de valorização. Embora este continue a ser conhecimento especializado mais adequado a investigadores, consultores e especialistas técnicos, a sua crescente relevância para aplicações agroalimentares de alto valor justifica a sua inclusão em conteúdos de formação avançada e especializada.

Perspetivas Específicas por País de Especialistas Académicos

As cinco entrevistas académicas realizadas ao abrigo do WP 2.3 em Espanha, Eslovénia e Itália revelam um grau de diferenciação geográfica na forma como os investigadores enquadram a agenda de competências, o que é útil para calibrar a ênfase de conteúdo do MOOC SYMBIOS. Os investigadores espanhóis adotam uma perspetiva prática, orientada pela aplicação, priorizando a diversificação dos resultados e caminhos comerciais claros com tecnologias relativamente simples, juntamente com as competências mais avançadas em biotecnologia e extração descritas acima. Os investigadores eslovenos destacam o lado mais sistémico e tecnologicamente avançado da agenda, recuperação de recursos, integração energética e design de sistemas circulares, regressando consistentemente ao mapeamento side-stream como ponto de partida inegociável para a jornada simbiótica de qualquer empresa. Os investigadores italianos dão particular importância à lacuna de transferência de conhecimento: os estudos industriais existentes sobre simbiose e o conhecimento técnico, na sua avaliação, permanecem largamente inacessíveis a profissionais fora das universidades, e são notavelmente mais cépticos do que os seus homólogos espanhóis e eslovenos quanto à medida em que as certificações e políticas da UE têm, na prática, impulsionado a inovação simbiótica, citando os procedimentos complexos exigidos para o cumprimento específico dos alimentos (por exemplo, o Regulamento (CE) nº 1935/2004 sobre materiais em contacto com alimentos) como desincentivo para empresas mais pequenas. Nos três países, contudo, os

entrevistados académicos convergiram num ponto: competências de colaboração intersetorial, negociação, abertura a parceiros e modelos de negócio desconhecidos, e resolução estruturada de problemas eram considerados tão importantes quanto a competência técnica — e, em certos aspetos, mais difíceis de ensinar através dos currículos convencionais.

Resumo: Onde a Diferença É Mais Grande

Área de competência	Nível autoavaliado (inquérito WP 2.3)	Prioridade estratégica para a formação
Quadro regulatório (resíduos, subprodutos, OSH)	Alto	Manter / atualizar à medida que a legislação evolui
Gestão enxuta e melhoria contínua	Alto	Manter; ligar-se explicitamente a métricas de circularidade
Sistema de Gestão Ambiental ISO 14001	Médio–alto	Manter; usar como ponto de entrada para conteúdos de IS
Envolvimento das partes interessadas / colaboração entre empresas para SI	Média	Fortalece através de ferramentas de emparelhamento e networking
Conceitos e modelo de simbiose industrial	Média	Fortalecer através de formação estruturada e acessível (MOOC)
Avaliação económica de soluções circulares/simbióticas	Média	Reforçar: formação custo-benefício e modelo de negócio
Ferramentas digitais para monitorização e correspondência de recursos	Baixo–médio	Prioridade: literacia das plataformas e monitorização digital
Gestão de dados ESG	Média	Reforçar em linha com o lançamento do CSRD
Mapeamento do fluxo de materiais, energia e água (MFA)	Baixo	Área de treino prioritária
Avaliação do Ciclo de Vida	Baixo	Área de treino prioritária
EPD / rotulagem ambiental (EMAS, etc.)	Baixo	Área de treino prioritária
Sistema de Gestão de Energia ISO 50001	O mais baixo	Área de treino de maior prioridade

Tabela 4. Níveis de competência autoavaliados e prioridades de formação, empresas agroalimentares, Espanha–Itália–Eslovénia (inquérito WP 2.3, n=30).

2.2 Competências por Grupo-Alvo

Como a Plataforma Digital SYMBIOS foi concebida para servir aprendizes ao longo da vida em fases muito diferentes da sua carreira, os conhecimentos e competências acima identificados devem ser traduzidos em caminhos de aprendizagem diferenciados para quatro grupos-alvo, consistentes com a definição de grupo-alvo adotada no Acordo de Subvenção do projeto. O mapeamento EQF, ESCO e GreenComp introduzido na Secção 2.1 e detalhado no Anexo D também acompanha amplamente este agrupamento: clusters de conteúdos de nível inicial e de trabalhadores empregados em torno do EQF 4–5, enquanto o conteúdo estratégico direcionado aos gestores agrupa-se em torno do EQF 6–7, fornecendo um ponto de referência adicional reconhecido externamente para calibrar a dificuldade e o posicionamento de cada percurso de aprendizagem abaixo.

2.2.1 Jovens Licenciados: *Competências de Entrada e Perfis Profissionais Emergentes*

Jovens licenciados que entram no mercado de trabalho agroalimentar, provenientes de ciências alimentares, ciências ambientais, engenharia agrícola, química ou negócios, precisam de uma base conceptual sólida antes de poderem contribuir de forma significativa para iniciativas simbióticas. Competências de entrada incluem:

- compreensão dos princípios e terminologia da economia circular e da simbiose industrial (subproduto vs desperdício, uso em cascata, sistemas em circuito fechado);
- mapeamento básico do fluxo de materiais e energia;
- familiaridade com a arquitetura regulatória da UE (Diretiva-Quadro de Resíduos, Regulamento dos Subprodutos Animais, legislação da segurança alimentar);
- Avaliação introdutória do Ciclo de Vida;
- competências digitais na utilização de ferramentas de dados de sustentabilidade;
- competências de gestão de projetos e competências económicas e financeiras.

A investigação aponta também para um conjunto de perfis profissionais emergentes para os quais as vias formais de qualificação mal existem atualmente, mas para os quais se espera que a procura cresça:

- o oficial de simbiose industrial ou analista de economia circular, responsável por mapear as linhas laterais da empresa e identificar oportunidades de correspondência;
- o facilitador ou intermediário da simbiose industrial, um papel de relevância crescente dado o constatado consistente de que as empresas mais pequenas carecem da escala e visibilidade para identificar parceiros simbióticos por iniciativa própria;

- o analista de reporte de sustentabilidade/ESG, cada vez mais exigido à medida que as obrigações do CSRD se estendem nas cadeias de abastecimento;
- o tecnólogo de biorrefinaria/valorização, capaz de ligar a tecnologia alimentar à engenharia de processos para desenhar usos de maior valor para subprodutos (por exemplo, extração de colagénio, pectina ou compostos bioativos).

Os diplomados que ingressam nestes cargos beneficiam de estágios ou estágios em empresas agroalimentares, associações empresariais ou institutos de investigação, como os participantes no SYMBIOS, que proporcionam exposição direta a fluxos reais de subprodutos e práticas regulatórias.

2.2.2 Trabalhadores Empregados (C-VET e Aprendizagem ao Longo da Vida): Necessidades de Desenvolvimento e Requalificação

Para trabalhadores já empregados em empresas agroalimentares, gestores de qualidade, supervisores de produção, responsáveis ambiental/sustentabilidade, técnicos, a prioridade não é o conhecimento fundamental, mas sim o desenvolvimento direcionado de competências que pode ser absorvido juntamente com o emprego a tempo inteiro. As entrevistas à empresa no WP 2.3 são inequívocas neste ponto: as empresas geralmente consideram que o conhecimento técnico necessário e a especialização setorial já existem internamente, e que muitos colaboradores já recebem alguma formação relacionada com a sustentabilidade. A limitação vinculativa é a falta de recursos suficientes, o tempo limitado e a falta de competências especializadas necessárias para escalar a prática existente, em vez da falta de competências básicas.

As necessidades prioritárias de desenvolvimento de competências identificadas através do inquérito e entrevistas incluem:

- gestão energética alinhada com a ISO 50001;
- Avaliação do Ciclo de Vida e Declarações de Produtos Ambientais;
- ferramentas digitais de monitorização e correspondência;
- adaptação a novos modelos de produção à medida que práticas simbióticas são introduzidas.

A investigação destaca várias competências técnicas e profissionais específicas necessárias, tais como: a integração da tecnologia de concentração sérica, a adoção de sistemas de água CIP em circuito fechado, ou a gestão de novas categorias de material recuperado (como o papel revestido a silicone, que foi recentemente introduzido em fluxos de reciclagem por algumas empresas). Como estes trabalhadores não podem deixar facilmente os seus empregos para uma formação prolongada, o formato mais eficaz combina unidades de aprendizagem curtas, modulares e baseadas no trabalho (do tipo previsto para o MOOC SYMBIOS) com mentoria interna e acesso a bases de dados específicas do setor e plataformas de partilha de informação, ambas identificadas pelas empresas como lacunas atuais.

2.2.3 Gestores e Decisores: Competências Estratégicas e Liderança para a Sustentabilidade

Gestores e decisores (CEOs, diretores gerais, gestores de fábrica, diretores de sustentabilidade, etc., e gestores e responsáveis em associações empresariais e administração pública) necessitam de uma combinação diferente, mais estratégica, de competências. Os especialistas académicos entrevistados ao abrigo do WP 2.3 convergem para a visão de que os gestores precisam de uma combinação de competências técnicas, estratégicas e colaborativas:

- pensamento sistémico e conhecimento em sustentabilidade;
- a capacidade de analisar fluxos de materiais;
- especialização em modelos de negócio circulares;
- Avaliação do Ciclo de Vida e avaliação tecnoeconómica;
- fortes capacidades digitais e de dados;
- sólido conhecimento regulatório;
- networking e construção de parcerias;
- negociação comercial.

Igualmente importantes são as competências soft, orientadas para a inovação, a colaboração intersetorial, a negociação, a abertura e a resolução de problemas, que permitem aos gestores identificar e agir sobre oportunidades simbióticas, juntamente com o julgamento estratégico para decidir quando um subproduto deve ser priorizado para uma aplicação de maior valor, em vez de ser relegado a usos de baixo valor, como ração animal ou recuperação de energia.

O inquérito WP 2.3 confirma que as empresas veem cada vez mais a liderança para a sustentabilidade através da perspetiva da responsabilidade externa: os requisitos de reporte ESG e CSRD, e a pressão dos clientes e parceiros da cadeia de abastecimento, já estão a redefinir as prioridades de gestão em torno da gestão de resíduos e circularidade, mesmo quando os detalhes regulatórios permanecem, na perceção de muitos inquiridos, pouco claros ou sujeitos a alterações frequentes. Os gestores necessitam, portanto, também de competências de negociação e construção de parcerias específicas da simbiose industrial: estruturar acordos de fornecimento a longo prazo para subprodutos, envolver-se com clusters industriais e associações setoriais, e construir o caso interno de negócio para investimento em infraestruturas de valorização.

2.2.4 Grupos Desempregados e Desfavorecidos: Vias de Requalificação e Reintegração no Mercado de Trabalho

O grupo-alvo SYMBIOS inclui explicitamente pessoas desempregadas e indivíduos com menos oportunidades, incluindo mulheres que procuram uma carreira em STEM, trabalhadores com mais

de 50 anos em risco de obsolescência de competências e candidatos a emprego cujas competências anteriores se tornaram menos relevantes para a transição verde. Para este grupo, a prioridade é um ponto de entrada acessível e não formal na economia verde que não presuma formação técnica prévia:

- Economia circular básica e simbiose industrial, literacia
- compreensão do emergente mercado de trabalho verde (triagem e caracterização de resíduos, controlo de qualidade de materiais recuperados, cargos de entrada em operações de valorização ou reciclagem),
- confiança na utilização de ferramentas digitais simples, como plataformas de correspondência de recursos.

Como o MOOC SYMBIOS será concebido como uma ferramenta de aprendizagem aberta, gratuita, assíncrona e a ritmo autónomo, sem requisitos de entrada, é particularmente adequado a este grupo: os indivíduos podem estudar a qualquer momento, sem horário fixo, e combinar desenvolvimento pessoal com procura ativa de emprego. Os percursos de requalificação para este grupo beneficiam de estarem explicitamente ligados, sempre que possível, a intermediários locais do mercado de trabalho (serviços públicos de emprego, câmaras de comércio, entidades de formação) que podem traduzir a conclusão do MOOC num passo seguinte concreto (um estágio, um curso profissional ou uma ligação direta a empresas que procuram competências verdes de nível inicial) através da Secção Comunitária SYMBIOS.

2.3 Ferramentas e Recomendações de Treino

Programas de Formação Existentes e Mecanismos de Apoio

Vários programas existentes, identificados através da investigação nacional SYMBIOS nos três países parceiros, já fornecem modelos parciais de como a formação e o apoio em simbiose industrial podem ser prestados, e fornecem referências de design valiosas para a Plataforma Digital SYMBIOS. A Eslovénia oferece o ecossistema nacional mais desenvolvido de ferramentas dedicadas de apoio à economia circular, descritas abaixo; Itália e Espanha oferecem, em vez disso, infraestruturas institucionais e de investigação sólidas existentes, clusters industriais regionais, fundações de EFP e centros de investigação aplicada, sobre os quais pode ser construída formação em simbiose industrial específica por setor, embora ainda não exista uma plataforma de SI dedicada comparável ao modelo esloveno em nenhum dos países.

- **SRIP HRANA (Eslovénia):** uma Parceria Estratégica de Investigação e Inovação de Longo Prazo para a Produção Alimentar Sustentável, que liga propriedades agrícolas, empresas, cooperativas, instituições de investigação e investidores em torno da atividade conjunta de I&D no setor agroalimentar.

- **O Centro Esloveno para a Economia Circular e o seu Kit de Ferramentas SCKG (Eslovénia):** uma plataforma interativa que oferece ferramentas de autoavaliação de circularidade, uma ferramenta de design de modelos de negócio verdes (Be2GreenHub) e um apelo público para consultoria e mentoria individual especializada direcionada especificamente a PME. O Centro também lança um apelo público para a inclusão de fornecedores de soluções verdes na base de dados SCKG, um diretório nacional que oferece às empresas e outros intervenientes fácil acesso a tecnologias, produtos e serviços circulares.
- **CIRCI baza e VCG. AI (Eslovénia):** plataformas digitais de correspondência que ligam fornecedores e destinatários de materiais, diretamente comparáveis em propósito à Secção Comunitária planeada para a Plataforma Digital SYMBIOS.
- **O Vale ESG e a Ferramenta de Autoavaliação Online do Fundo Empresarial Esloveno (Eslovénia):** apoio financeiro e de autoavaliação para PME que preparam relatórios de sustentabilidade e avaliam a sua orientação para a sustentabilidade.
- **Centro de Bioeconomia Esloveno (Eslovénia):** uma iniciativa nacional que reúne academia, ministérios, empresas e os setores agrícola, florestal e alimentar para transformar fluxos de resíduos e subprodutos em biocomponentes de alto valor.
- **CL.A.N. – o Cluster Nacional Agroalimentar Italiano (Itália):** uma associação multipartitória que reúne empresas, associações setoriais e territoriais, universidades, organizações de investigação e centros de formação que operam no setor agroalimentar. No âmbito das atividades CLAN, a parceira do projeto Cisita Parma participou em 2022 no desenho e implementação de um modelo experimental de formação sobre "Bioeconomia Circular na agroalimentação: cenários, fronteiras e histórias de sucesso", direcionado a empresas e associações dentro do Cluster, um precedente institucional direto para o tipo de formação setorial específica que o MOOC SYMBIOS pretende oferecer à escala da UE.
- **ITS Tech & Food Foundation e chamadas de formação financiadas pela Fondimpresa (Itália):** Cisita Parma é membro fundadora da ITS Tech & Food Foundation (EQF 5), que gere cursos técnicos superiores de dois anos em Tecnologia Alimentar e Desenvolvimento Alimentar, e já realizou várias chamadas de formação de trabalhadores financiadas pela Fondimpresa diretamente relacionadas com competências circulares e verdes, incluindo "Novas competências para empresas neutras em carbono" e "Soluções Limpas & Formação Verde", apoiando empresas locais que investem em eficiência energética, produção limpa e gestão de resíduos.
- **Simbylay (Espanha):** uma plataforma digital destacada pelos participantes do grupo focal espanhol SYMBIOS como uma ferramenta existente valiosa para ligar produtores de resíduos a potenciais utilizadores, permitir contacto direto entre empresas, fornecer localização geográfica e aumentar a consciencialização sobre oportunidades intersectorais.

- **A longa tradição de formação em tecnologia alimentar da IATA-CSIC (Espanha):** como instituto pioneiro em Ciências Alimentares, a IATA-CSIC organizou e acolheu o conceituado Curso de Especialização em Tecnologia Alimentar, fundamental na formação profissional de numerosos cientistas alimentares em Espanha durante mais de 30 anos, e continua a integrar investigadores da IATA no ensino de pós-graduação e pós-graduação em várias universidades espanholas e internacionais.

Estas ferramentas e instituições existentes demonstram um padrão consistente nos três países: as formas de apoio mais valorizadas combinam-se:

- A. uma base de conhecimento acessível, infraestrutura de investigação ou ferramenta de autoavaliação,
- B. uma função de correspondência ou de rede,
- C. algum tipo de consultoria especializada personalizada, mentoria ou formação aplicada, especialmente para PME que não têm experiência interna em sustentabilidade.

O ecossistema esloveno é atualmente o mais completo nas dimensões de emparelhamento e autoavaliação, enquanto os exemplos italiano e espanhol são mais fortes em formação técnica aplicada e infraestrutura de investigação específica de setor, confirmando que a Plataforma Digital SYMBIOS, ao combinar uma Secção de Aprendizagem com uma Secção de Comunidade/correspondência, foi concebida para colmatar a lacuna entre estas duas vertentes de apoio, atualmente separadas.

Uma Revisão Sistemática das Ofertas Existentes da Aprendizagem em Simbiose Industrial

Para além destes programas nacionais eslovenos, o parceiro do SYMBIOS, UPT, realizou uma revisão mais ampla e estruturada abrangendo o período 2015–2026 para identificar ofertas de aprendizagem existentes em todo o mundo cujo principal objetivo educativo é especificamente o desenvolvimento de competências em Simbiose Industrial, excluindo deliberadamente cursos que tratam o SI como apenas um dos tópicos dentro de um currículo mais amplo de economia circular ou sustentabilidade. Utilizando um Quadro de Análise de Ofertas de Aprendizagem em Simbiose Industrial (ISLOAF), que analisa cada oferta em cinco dimensões (Contexto de Aprendizagem, Design Curricular, Abordagem Pedagógica, Avaliação e Reconhecimento, e Insights Educativos), foram identificadas e documentadas nove ofertas de aprendizagem elegíveis. Nenhuma destas nove ofertas é específica para agroalimentação, confirmando que um percurso dedicado de aprendizagem agroalimentar dentro do MOOC SYMBIOS preenche uma lacuna genuína em vez de duplicar a oferta existente.

Oferta de aprendizagem	Fornecedor de contexto	/	Grupo-alvo	Entrega duração	/	Certificação
Programa de Formação para Facilitadores de Simbiose Industrial	Consórcio (Erasmus+)	INSIGHT	Perfis múltiplos	Blended, 150h		6 créditos ECVET
Currículo Conjunto de Simbiose Industrial / Curso Presencial	Consórcio (Erasmus+)	INSET	Trabalhadore s empregados	Blended, 100h		Certificado profissional
Currículo e MOOC do Gestor de Simbiose Industrial	Consórcio (Erasmus+)	FReINDs	Trabalhadore s empregados	Online, 60h		Não reportado
Simbiose Industrial Inteligente	Universidade de Stavanger (HE)		Jovens diplomados	Híbrido, ECTS	5	Créditos universitários
Simbiose Industrial (TKMJ38)	Universidade de Linköping (HE)		Jovens diplomados	Campus, ECTS	6	Créditos universitários
Simbiose Industrial	TalTech (HE)		Jovens diplomados	Campus, ECTS	3	Créditos universitários
SUS0310 – Simbiose Industrial	Universidade do Aço (academia industrial)		Trabalhadore s empregados	Online, ~3h		Certificado profissional
Programa de Formação em Simbiose	Simbiose de Kalundborg / SACI		Trabalhadore s empregados	Misturado, não reportado		Certificado de participação
Simbiose Industrial e Desenvolvimento de Parques Eco-Industriais	Desenvolvimento de Competências Avançadas		Trabalhadore s empregados	Online, 5 dias		Certificado profissional

Tabela 6. Matriz de evidências das ofertas existentes de aprendizagem de Simbiose Industrial com IS como principal objetivo educativo, 2015–2026 (revisão sistemática UPT, WP 2.6).

Resultados comparativos

A análise comparativa destas nove ofertas mostra um panorama relativamente pequeno mas diversificado, convergindo para várias características educativas consistentes diretamente relevantes para o desenho do MOOC SYMBIOS. As ofertas cumprem quatro propósitos educativos principais (educação académica, desenvolvimento de facilitadores, desenvolvimento de gestores e desenvolvimento profissional contínuo) e abordam os mesmos três grupos de aprendentes prioritários na Secção 2.2: jovens licenciados (tipicamente através de módulos de ensino superior de 3–6 ECTS), trabalhadores empregados (tipicamente através de programas mistos financiados por Erasmus+ ou cursos curtos em academia da indústria) e profissionais que atuam como facilitadores

ou gestores. O desenho curricular é predominantemente modular, construído em torno de resultados de aprendizagem explicitamente definidos, com tópicos comuns incluindo princípios de SI, identificação de oportunidades, colaboração com partes interessadas, estratégias de implementação e análise de casos reais de SI. Pedagogicamente, a aprendizagem baseada em casos é a metodologia dominante em todos os contextos, complementada por trabalho de projeto e aprendizagem colaborativa; a avaliação e certificação variam consoante o contexto, desde créditos ECTS para cursos universitários até créditos ECVET e certificados profissionais para programas Erasmus+ e da indústria, sendo que os projetos Erasmus+ fornecem geralmente a documentação pública mais rica dos resultados e materiais de aprendizagem.

Metodologias de Aprendizagem

De acordo com as necessidades identificadas entre os grupos-alvo, a parceria SYMBIOS recomenda uma abordagem metodológica mista que combine:

- **Aprendizagem baseada no trabalho:** módulos curtos e autónomos que os trabalhadores empregados podem completar paralelamente ao seu trabalho, abordando diretamente fluxos e processos reais de subprodutos dentro da sua própria empresa (por exemplo, mapear os inputs e outputs da própria linha de produção como exercício prático).
- **Aprendizagem experiencial e baseada em casos:** utilização de melhores práticas documentadas (Kalundborg, cereais usados de cerveja, soro de leite, subprodutos de frutas e legumes, simbiose alimento-couro e os estudos de caso nacionais identificados na Secção 1.5) como material de ensino concreto, permitindo aos alunos ver como conceitos abstratos se traduzem em realidade operacional.
- **Autoavaliação e questionários:** permitir que os alunos verifiquem a sua própria compreensão e progresso ao seu próprio ritmo, consistente com o design assíncrono e não formal da Plataforma Digital SYMBIOS.
- **Networking entre pares e aprendizagem baseada na comunidade:** apoiados pela Secção Comunitária da Plataforma, permitindo que os formandos, especialmente gestores e jovens diplomados, se conectem diretamente com empresas, associações empresariais e investigadores ativos na área.
- **Mentoria e orientação:** particularmente importantes para PME e para aprendizes desempregados ou desfavorecidos, seguindo o modelo já implementado na Eslovénia através do apelo público do SCKG para consultoria especializada individual.

Recomendações para Profissionais de Terapia Profissional

As conclusões apresentadas neste capítulo traduzem-se num conjunto compacto de princípios de conceção para os fornecedores de VET responsáveis por conceber e ministrar formação em simbiose industrial no setor agroalimentar.

- **Adote uma abordagem orientada para competências, seguindo o padrão identificado nas nove ofertas existentes de aprendizagem sobre Simbiose Industrial analisadas pela UPT:** desenhar currículos em torno de competências claramente definidas e perfis profissionais identificáveis (por exemplo, Facilitador, Gestor, Praticante de Simbiose Industrial) em vez de apenas com base no conhecimento disciplinar.
- **Priorizar o conteúdo de formação nas áreas de menor competência autoavaliada identificadas pelo inquérito WP 2.3:** gestão energética (ISO 50001), Avaliação do Ciclo de Vida, Declarações Ambientais de Produtos e mapeamento de materiais/energia/fluxo de água, uma vez que estas representam a lacuna de competências mais clara e consistente entre os três países parceiros.
- **Projetar unidades de aprendizagem curtas, modulares e baseadas no trabalho, em vez de cursos de longa duração:** para corresponder às limitações de tempo repetidamente citadas por trabalhadores empregados e PME como principal barreira à adesão à formação.
- **Incorporar a literacia regulatória, especificamente a distinção prática entre estatuto de resíduos e subprodutos:** e os quadros de subprodutos animais e segurança alimentar, como um tema transversal ao longo do currículo, uma vez que a incerteza regulatória foi identificada como a barreira mais significativa à simbiose industrial em todas as fontes de dados do WP 2.
- **Emparelhar cada via de aprendizagem com uma função de emparelhamento/rede:** (como na Secção Comunitária SYMBIOS), uma vez que a investigação mostra consistentemente que a falta de conhecimento sobre potenciais parceiros e recursos disponíveis, e não falta de conhecimento técnico, é frequentemente a limitação vinculativa na implementação.
- **Diferenciar explicitamente o conteúdo pelo grupo-alvo (Secção 2.2):** em vez de oferecer um único curso genérico, garantir que os jovens diplomados recebam conteúdos fundamentais e orientados para a carreira, os trabalhadores empregados recebam módulos direcionados de desenvolvimento de competências, os gestores recebam conteúdo estratégico e de liderança, e os alunos desempregados/desfavorecidos recebam um ponto de entrada genuinamente acessível, sem pré-requisitos.

Recomendações para Decisores Políticos

Os decisores políticos moldam o financiamento, reconhecimento e condições regulatórias sob as quais operam os prestadores de VET; as duas recomendações abaixo são dirigidas às autoridades nacionais e regionais, e à Comissão Europeia e às suas agências, sendo complementadas por duas recomendações adicionais, relacionadas com clusters e provisão, sintetizadas a partir das evidências deste modelo.

- **Apoiar infraestruturas baseadas em clusters e territoriais:** instrumentos de financiamento específicos, como os concursos de desenvolvimento de competências para propostas

financiados pela Fondimpresa, ou boas práticas em redes, como o cluster italiano C.L.A.N. ou a parceria SRIP HRANA na Eslovenia (Secção 2.3), que ajudam a reduzir os riscos associados à cooperação para PME que, por si só, não conseguem justificar o investimento em formação partilhada ou infraestruturas de correspondência.

- **Expandir a oferta educativa especializada:** a revisão sistemática da UPT concluiu que nenhuma das nove ofertas existentes de aprendizagem sobre Simbiose Industrial identificadas mundialmente é específica para agroalimentos (Secção 2.3), representando uma oportunidade clara para a expansão orientada por políticas da provisão específica por setor.
- **Reconhecer os resultados de aprendizagem em relação aos quadros de referência europeus:** em linha com os quadros nacionais de qualificação referenciados ao EQF, a classificação ESCO de competências, competências e profissões (incluindo profissões verdes como Gestor de Gestão de Resíduos, Engenheiro Ambiental, Técnico Ambiental e áreas de conhecimento verde como Tecnologias de Proteção Ambiental), e o GreenComp, o quadro europeu de competências em sustentabilidade, de modo que os certificados de frequência ou conclusão emitidos através de cursos específicos do SI tenham valor reconhecido.
- **Fornecer financiamento e apoio administrativo para o desenvolvimento de projetos:** como um pedido recorrente de partes interessadas do setor — ecoado tanto por empresas como por participantes de grupos focais — é o acesso mais fácil a fases piloto financiadas para start-ups simbióticas e uma orientação mais clara sobre candidaturas a projetos e procedimentos administrativos.

Em conjunto, estes dez princípios descrevem uma oferta de formação modular em vez de monolítica, orientada para a prática em vez de puramente disciplinar, e explicitamente ligada a uma função de correspondência em vez de entregue isoladamente, precisamente o modelo que as Secções de Aprendizagem e Comunidade da Plataforma Digital SYMBIOS pretendem incorporar.

Conclusões

Resumo das Principais Conclusões

Os resultados combinados do inquérito WP 2.3, entrevistas com empresas e entrevistas com especialistas académicos fornecem uma visão abrangente do estado atual da prática da economia circular e da simbiose industrial no setor agroalimentar europeu, com evidências retiradas de Espanha, Itália e Eslovénia. As empresas estão cada vez mais conscientes dos princípios da sustentabilidade e da economia circular e têm feito progressos mensuráveis na implementação de práticas circulares internas, particularmente na gestão de resíduos, conformidade ambiental, otimização de embalagens, eficiência hídrica, recuperação de energia e valorização de subprodutos: a adoção generalizada de práticas internas de reutilização e o cumprimento de normas como a ISO 14001 demonstram uma verdadeira mudança para sistemas de produção mais eficientes em termos de recursos.

Apesar deste progresso, a implementação da simbiose industrial para além dos limites das empresas continua limitada. Colaborações estáveis e de longo prazo para a troca de subprodutos e partilha de recursos intersetoriais continuam relativamente raras, refletindo barreiras estruturais, regulatórias e económicas persistentes. A complexidade regulatória, o encargo administrativo, a incerteza em torno da classificação de resíduos, os requisitos de segurança e rastreabilidade alimentar, e a perecibilidade intrínseca dos subprodutos alimentares limitam o desenvolvimento de redes mais amplas de simbiose industrial. As quantidades relativamente pequenas de subprodutos gerados por muitas empresas, especialmente PME, limitam frequentemente a viabilidade económica da recolha, transporte, armazenamento, teste e certificação sem apoio financeiro externo.

A investigação também identifica desafios organizacionais e de conhecimento significativos. Os resultados do inquérito revelam importantes lacunas de competências técnicas, regulatórias e digitais, particularmente em gestão energética (ISO 50001), Avaliação do Ciclo de Vida, Declarações de Produtos Ambientais e metodologias avançadas de economia circular. O investimento limitado na formação de colaboradores restringe ainda mais a capacidade das empresas de adotar modelos de negócio circulares mais sofisticados e práticas de simbiose industrial. Entrevistas com peritos reforçam estas conclusões ao enfatizar a necessidade de conhecimentos técnicos especializados, ferramentas digitais para mapeamento e emparelhamento paralelos, e uma transferência de conhecimento mais forte entre a academia e a indústria.

Ao mesmo tempo, o estudo destaca inúmeras oportunidades para acelerar a simbiose industrial no setor alimentar. Empresas e especialistas identificaram consistentemente parcerias interempresariais mais fortes, plataformas digitais de colaboração, bases de dados acessíveis para a troca de subprodutos, quadros regulatórios mais claros e harmonizados, e apoio político

melhorado como principais facilitadores. A inovação tecnológica, incluindo biotecnologia, biorefinarias, tecnologias avançadas de extração e sistemas de recuperação de recursos, foi reconhecida como oferecendo potencial significativo para transformar resíduos do setor alimentar em produtos de alto valor, ao mesmo tempo que melhora a eficiência dos recursos e reduz o impacto ambiental. O aumento dos compromissos ESG, os requisitos de certificação de sustentabilidade e a evolução da política europeia de economia circular também deverão incentivar ainda mais o investimento em soluções circulares.

Embora cada país participante demonstre diferentes pontos fortes e prioridades, com a Espanha a enfatizar a implementação prática, os clusters industriais e a colaboração orientada para o mercado; a Eslovénia a focar-se na inovação tecnológica e na recuperação de recursos de alto valor; e a Itália a destacar a investigação aplicada, projetos-piloto e ecossistemas regionais de inovação (nomeadamente o Cluster Agroalimentar Emília-Romanha), emerge uma visão comum: a simbiose industrial bem-sucedida requer a integração da inovação tecnológica, modelos de negócio práticos, governação de apoio e redes colaborativas.

Oportunidades Futuras para o Setor

As barreiras descritas acima são reais, mas não são, na sua maioria, tecnológicas. Quase todas as oportunidades identificadas através da investigação do WP 2.3 são casos de uma solução que já existe algures no setor, testada num país, numa empresa ou numa cadeia de abastecimento, à espera de ser ligada, financiada ou simplesmente tornada visível às empresas que a poderiam beneficiar. As cinco oportunidades abaixo são, portanto, deliberadamente enquadradas como possibilidades de curto prazo e acionáveis, em vez de aspirações a longo prazo.

- Escalar de boas práticas isoladas para comportamento sistémico: a maioria das trocas simbióticas documentadas no setor agroalimentar atualmente mantém-se baseada em projetos e dependente da iniciativa individual, em vez de incorporada numa estratégia empresarial de longo prazo. A oportunidade mais clara é converter estas em práticas operacionais padrão, apoiadas por parcerias estáveis e contratos de longo prazo.
- Desbloquear fluxos de alto valor subutilizados: soro, cereais usados de cervejaria e subprodutos animais já são bem valorizados em vários países, mas fluxos como penas/queratina, bioativos de bagaço de fruta e legumes, e resíduos de matadouro atualmente exportados para o estrangeiro em vez de valorizados internamente (como relatado na Eslovénia) representam uma oportunidade doméstica significativa e ainda por explorar.
- Extensão da simbiose entre água e energia: os esquemas de água recuperada ao abrigo do Regulamento (UE) 2020/741 e as vias de captura/reutilização de CO₂ já testadas no setor

cervejeiro oferecem um potencial considerável para replicação, especialmente em regiões com escassez de água.

- Digitalização do matching e monitorização: a baixa adoção atual da monitorização digital (7% das empresas inquiridas) e das ferramentas de matching representa a maior oportunidade de melhoria a curto prazo, que será diretamente abordada pela Secção Comunitária da Plataforma Digital SYMBIOS.
- Reforço do corredor de simbiose agroalimentar–couro: como os dois setores-alvo do projeto SYMBIOS, agroalimentar e couro já partilham uma das relações simbióticas mais antigas da indústria (peles e peles); a formação explícita e intersetorial e o emparelhamento entre as duas comunidades do setor SYMBIOS é um passo natural a seguir.

O que une estas cinco oportunidades é que nenhuma delas depende de um avanço tecnológico ainda por vir: o conhecimento habilitador, a base regulatória e, na maioria dos casos, um exemplo funcional, já existem algures nas evidências recolhidas para este modelo. A tarefa que se avizinha é de ligação, replicação e escala, que é precisamente a lacuna que as recomendações operacionais abaixo pretendem ajudar a colmar.

Recomendações Operacionais

Este modelo foi escrito para ser usado, não apenas lido. As recomendações abaixo são dirigidas diretamente a si, a quem quer que seja ao aceder a esta página, a um representante de empresa que explora os seus próprios subprodutos pela primeira vez, a um estudante ou candidato a emprego a considerar uma carreira na economia circular, a um formador ou fornecedor de VET a desenhar um curso, a um responsável por associações ou clusters, ou a um decisor político, em vez de apenas à parceria SYMBIOS. Cada uma é um ponto de partida prático, fundamentado nas evidências deste modelo, para transformar a compreensão da simbiose industrial em ação; a Plataforma Digital SYMBIOS será concebida para ser o primeiro recurso concreto para dar qualquer um dos passos abaixo.

- Se trabalha numa empresa agroalimentar: comece com um exercício interno de mapeamento de materiais/energia/fluxo de água para identificar cursos de água atualmente subvalorizados, usando as áreas de autoavaliação do WP 2.3 na Tabela 4 como lista de verificação; priorize transformar trocas informais e ocasionais em parcerias estáveis e contratos de longo prazo.
- Se representa uma associação empresarial, um cluster industrial ou uma rede setorial: está bem posicionado para desempenhar o papel de intermediário de confiança que esta investigação mostra que muitas vezes falta, ligando empresas, especialmente PME, que não têm capacidade interna para procurar parceiros simbióticos por si próprias.

- Se formar, ensinar ou desenhar programas educativos: adote a abordagem diferenciada e específica para cada grupo-alvo descrita no Capítulo 2, apresentada através de unidades modulares curtas, e procure reconhecimento face aos quadros de referência EQF, ESCO e GreenComp, para que o que os aprendentes ganhem seja portátil e credível.
- Se moldar políticas ou regulamentações: priorize melhorar a clareza regulatória e a consistência da interpretação relativamente à classificação de subprodutos versus resíduos, uma vez que esta foi identificada como a barreira mais significativa em todas as fontes de dados. Procure formas de reduzir riscos na fase inicial e piloto de novas iniciativas simbióticas através de instrumentos de financiamento direcionados.
- Se é estudante, recém-licenciado ou candidato de emprego curioso sobre esta área: não precisa de formação técnica para começar. O MOOC SYMBIOS (Work Package 3.1) será concebido como um ponto de entrada gratuito e auto-ritmado, sem pré-requisitos, utilizá-lo para construir os conhecimentos e competências fundamentais mapeados na Secção 2.2, e usar a Secção Comunidade para se ligar às empresas e organizações mencionadas ao longo deste modelo.

Nenhum destes passos requer esperar por condições ideais ou por um quadro regulatório concluído. As evidências recolhidas para este modelo mostram, repetidamente, que a restrição vinculativa à simbiose industrial no setor agroalimentar é, mais frequentemente uma falta de consciência, mapeamento ou ligação do que falta de tecnologia ou vontade, o que significa que ler este documento e tomar um dos passos acima é, num sentido muito concreto, já uma contribuição para colmatar essa lacuna.

Referências

- Albino, V., Fraccascia, L., & Giannoccaro, I. (2015). Explorando o papel dos contratos para apoiar o surgimento de redes de simbiose industrial auto-organizadas: Um estudo de simulação baseado em agentes. *Journal of Cleaner Production*, 112, 4353–4366.
- Aliyu, S., & Bala, M. (2011). Cereais usados de Brewer: Uma revisão dos seus potenciais e aplicações. *African Journal of Biotechnology*, 10(3), 324–331.
- Awasthi, M. K., Sarsaiya, S., Wainaina, S., Rajendran, K., Kumar, S., Quan, W., et al. (2019). Uma revisão crítica dos modelos de biorrefinaria de estrume orgânico para uma bioeconomia circular sustentável: Desafios tecnológicos, avanços, inovações e perspectivas futuras. *Revisões de Energia Renovável e Sustentável*, 111, 115–131.
- Buljan, J., & Kral, I. (2015). Introdução ao tratamento de efluentes de curtumes. Viena: Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO).
- Carlsberg Group. (2023). Programa Juntos Rumo ao ZERO e Além da Sustentabilidade.
- Chertow, M. R. (2000). Simbiose industrial: Literatura e taxonomia. *Revisão Anual de Energia e Ambiente*, 25, 313–337.
- Chertow, M. R. (2007). Descobrimos simbiose industrial. *Journal of Industrial Ecology*, 11(1), 11–30.
- Costa, I., & Ferrão, P. (2010). Um estudo de caso do desenvolvimento da simbiose industrial usando uma abordagem middle-out. *Journal of Cleaner Production*, 18(10–11), 984–992.
- Cristóbal, J., Matos, C. T., Aurambout, J. P., Manfredi, S., & Kavalov, B. (2018). Avaliação da sustentabilidade ambiental das cadeias de valor da bioeconomia. *Biomassa e Bioenergia*, 89, 159–171.
- Fundação Ellen MacArthur. (2013). Rumo à economia circular: Justificação económica e empresarial para uma transição acelerada.
- Convenção Europeia das Cervejeiras (EBC). (2021). Sustentabilidade e circularidade na produção de cerveja.
- Comissão Europeia. (2019). O Pacto Verde Europeu. COM(2019) 640 final.
- Comissão Europeia. (2020). Um novo plano de ação para a economia circular: Por uma Europa mais limpa e competitiva. COM(2020) 98 final. Bruxelas: Comissão Europeia.
- Parlamento Europeu e Conselho. (2008). Diretiva 2008/98/CE sobre resíduos (Diretiva-Quadro de Resíduos). *Revista Oficial da União Europeia*, L 312, 3–30.
- Parlamento Europeu e Conselho. (2009). Regulamento (CE) nº 1069/2009 que estabelece regras de saúde relativas a subprodutos animais e produtos derivados não destinados ao consumo humano. *Revista Oficial da União Europeia*, L 300.

- Parlamento Europeu e Conselho. (2018). Diretiva (UE) 2018/851 que altera a Diretiva 2008/98/CE sobre resíduos. Jornal Oficial da União Europeia.
- Parlamento Europeu e Conselho. (2019). Regulamento (UE) 2019/1009 que estabelece regras sobre a disponibilização no mercado de produtos fertilizantes da UE. Revista Oficial da União Europeia, L 170.
- Parlamento Europeu e Conselho. (2020). Regulamento (UE) 2020/741 sobre requisitos mínimos para a reutilização da água. Jornal Oficial da União Europeia, L 177.
- Parlamento Europeu e Conselho. (2022). Diretiva (UE) 2022/2464 relativa à reporte de sustentabilidade empresarial (CSRD). Revista Oficial da União Europeia.
- Parlamento Europeu e Conselho. (2025). Regulamento (UE) 2025/40 sobre embalagens e resíduos de embalagens. Revista Oficial da União Europeia.
- Galanakis, C. M. (2012). Recuperação de componentes de alto valor acrescentado a partir de resíduos alimentares. *Processamento de Alimentos e Bioprodutos*, 90(4), 689–694.
- Gómez-Guillén, M. C., Giménez, B., López-Caballero, M. E., & Montero, M. P. (2011). Propriedades funcionais e bioativas do colagénio e da gelatina de fontes alternativas: Uma revisão. *Food Hydrocoloids*, 25(8), 1813–1827.
- Ikram, S., Huang, L. Y., Zhang, H., Wang, J., & Yin, M. (2017). Composição e proposta de valor nutricional do cereal gasto de cervejeiro. *Journal of Food Science*, 82(10), 2232–2242.
- Jacobsen, N. B. (2006). Simbiose industrial em Kalundborg, Dinamarca: Uma avaliação quantitativa dos aspetos económicos e ambientais. *Journal of Industrial Ecology*, 10(1–2), 239–255.
- Kanagaraj, J., Senthilvelan, T., Panda, R. C., & Kavitha, S. (2015). Estratégias ecológicas de gestão de resíduos para um ambiente mais verde em direção ao desenvolvimento sustentável na indústria do couro: uma revisão abrangente. *Journal of Cleaner Production*, 89, 1–17.
- Lasekan, A., Bakar, F. A., & Hashim, D. (2013). Potencial dos subprodutos do frango como fontes de recursos biológicos úteis. *Waste Management*, 33(3), 552–565.
- Laybourn, P., & Lombardi, D. R. (2012). *Simbiose industrial em ação: Programa Nacional de Simbiose Industrial (NISPI)*. Londres: International Synergies Ltd.
- Lombardi, D. R., & Laybourn, P. (2012). Redefinindo a simbiose industrial. *Journal of Industrial Ecology*, 16(1), 28–37.
- Lynch, K. M., Steffen, E. J., & Arendt, E. K. (2016). Cereais usados pelos cervejeiros: Uma revisão com ênfase em alimentos e saúde. *Journal of the Institute of Brewing*, 122(4), 553–568.
- Mirabella, N., Castellani, V., & Sala, S. (2014). Opções atuais para a valorização dos resíduos de fabrico alimentar: uma revisão. *Journal of Cleaner Production*, 65, 28–41.

- Mussatto, S. I., Dragone, G., & Roberto, I. C. (2006). Cereais usados pelos cervejeiros: Geração, características e aplicações potenciais. *Journal of Cereal Science*, 43(1), 1–14.
- Neves, A., Godina, R., Azevedo, S. G., Pimentel, C., & Matias, J. C. O. (2020). O potencial da simbiose industrial: Análise de casos e principais fatores e barreiras. *Sustainability*, 12(14), 5371.
- Pajares, S., de los Ríos, A., & Fernández, F. J. (2023). Simbiose industrial e economia circular no setor agroalimentar. *Recursos, Conservação e Reciclagem*, 190, 106834.
- Prazeres, A. R., Carvalho, F., & Rivas, J. (2012). Gestão do soro de queijo: Uma revisão. *Journal of Environmental Management*, 110, 48–68.
- Ramos-Suárez, J. L., Ritter, A., Mata-González, J., & Camacho-Pérez, A. (2018). Biogás a partir de estrume animal: Uma oportunidade energética sustentável na economia circular. *Journal of Cleaner Production*, 185, 137–149.
- Russ, W., Mörtel, H., & Meyer-Pittroff, R. (2005). Aplicação de grãos usados para aumentar a porosidade em tijolos. *Materiais de construção e construção*, 19(2), 117–126.
- Smithers, G. W. (2008). Soro e proteínas do soro — De 'canaleta a ouro'. *International Dairy Journal*, 18(7), 695–704.
- Steffen, W., et al. (2015). Fronteiras planetárias: Orientar o desenvolvimento humano num planeta em mudança. *Science*, 347(6223).
- Steiner, J., Procopio, S., & Becker, T. (2015). Cereais usados de Brewer: Fonte de polissacarídeos de valor acrescentado para a indústria alimentar. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(43), 10305–10314.
- Sundar, V. J., Muralidharan, C., & Mandal, A. B. (2011). Recuperação e utilização de resíduos proteicos da produção de couro: Uma revisão. *Revisões na Environmental Science and Biotechnology*, 10(2), 151–163.
- Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (UNIDO). (2017). O quadro para a fabricação sustentável de couro. Viena: UNIDO.
- Van Capelleveen, G., Amrit, C., & Yazan, D. M. (2018). Um levantamento bibliográfico de sistemas de informação que facilita a identificação de simbiose industrial. *Journal of Cleaner Production*, 178, 903–921.
- Fórum Económico Mundial. (2019). Inovação com propósito: O papel da inovação tecnológica na aceleração da transformação dos sistemas alimentares.
- Fontes internas do projeto (SYMBIOS WP2, 2025–2026).

Anexos

Annex A – Glossário

Termo	Definição
Simbiose industrial (IS)	Uma abordagem colaborativa em que tradicionalmente indústrias separadas trocam materiais, energia, água, serviços e informação para melhorar a eficiência dos recursos e reduzir o impacto ambiental (Chertow, 2000).
Economia circular	Um modelo económico em que o valor dos produtos, materiais e recursos é mantido na economia pelo maior tempo possível, minimizando a geração de resíduos.
Subproduto	Um material secundário gerado durante um processo de produção que tem um uso adicional certo e legal, sem necessidade de processamento adicional significativo (Diretiva-Quadro de Resíduos, Art. 5).
Desperdício	Um material que o titular descarta, pretende descartar ou é obrigado a descartar segundo os quadros regulamentares.
Estado de fim de resíduos	O momento em que certos resíduos deixam de ser considerados resíduos após a reciclagem ou outra operação de recuperação, sujeita a condições especificadas (Diretiva-Quadro de Resíduos, Art. 6).
Uso em cascata	A utilização sequencial de um recurso através de aplicações sucessivas, do valor mais alto ao mais baixo, antes da eliminação final ou recuperação de energia.
Valorização	O processo de converter um resíduo ou subproduto num material ou produto de valor económico.
Avaliação do Ciclo de Vida (LCA)	Uma metodologia para avaliar os impactos ambientais associados a todas as fases da vida de um produto, desde a extração de matérias-primas até à eliminação.
Declaração de Produto Ambiental (EPD)	Um documento padronizado e verificado que comunica informação transparente e comparável sobre o impacto ambiental ao longo do ciclo de vida de um produto.
Análise de Fluxo de Materiais (MFA)	Uma avaliação sistemática dos fluxos e stocks de materiais dentro de um sistema definido no espaço e no tempo.
Cluster industrial	Uma concentração geográfica de empresas, fornecedores e instituições associadas interligadas num determinado campo, facilitando a cooperação e a partilha de recursos.

Termo	Definição
ESG / CSRD	Critérios de reporte ambiental, social e de governação; CSRD (Diretiva (UE) 2022/2464) é a diretiva da UE que obriga a reporte de sustentabilidade empresarial.
ESCO	A classificação europeia de Competências, Competências, Qualificações e Profissões é uma classificação multilíngue utilizada em toda a UE para descrever competências, competências, qualificações e profissões.
GreenComp	O European Sustainability Competence Framework (Comissão Europeia, janeiro de 2022), que descreve as principais competências necessárias para agir de forma ambientalmente sustentável.
EQF	O Quadro Europeu das Qualificações, um quadro de referência comum que liga os sistemas nacionais de qualificação por toda a Europa.

Anexo B – Visão Geral dos Instrumentos de Recolha de Dados (Inquéritos e Entrevistas)

B.1 Grupos focais (WP 2.1)

Eslovénia: seis participantes (conselheiro SRIP HRANA; especialista em sustentabilidade/bem-estar animal, Ljubljanske Mlekarnje; investigador EMONA RCP/presidente do conselho SRIP HRANA; professor de biotecnologia e fundador da MycoMedica; Diretor do Departamento de Ambiente/Clima/Energia, Câmara de Comércio e Indústria da Eslovénia; especialista em relatórios de sustentabilidade, Mlekarna Celeia), online via Microsoft Teams, 12 de dezembro de 2025, 75 minutos, liderado pela CCIS-Câmara de Empresas Agrícolas e Alimentares.

Espanha: doze participantes da indústria (8) e do meio académico (4), facilitados pela IATA-CSIC, realizados a 17 e 24 de novembro de 2025 às 12:00, abordando a compreensão atual da simbiose industrial, exemplos de valorização de resíduos, barreiras à implementação, o papel da geografia e das plataformas digitais, e condições para o sucesso.

B.2 Estrutura do levantamento (WP 2.3)

Administrado a 30 empresas (10 em Espanha, Itália e Eslovénia) via Google Forms, traduzido para línguas parceiras e estruturado em cinco secções:

- Perfil da empresa (dimensão, papel do respondente, subsetor alimentar, mercados servidos, certificações/padrões).
- Processo de produção (tipo de processo, tipos de subprodutos gerados, práticas internas de reutilização).
- Gestão de resíduos e práticas circulares (destino dos subprodutos, estabilidade da parceria, sofisticação da monitorização).
- Barreiras e restrições regulatórias (áreas regulatórias afetadas, tipo de barreira, impacto na OSH).
- Competências e necessidades de formação (investimento em formação, lacunas de competências, competência autoavaliada em 13 áreas).

B.3 Protocolos de entrevista (WP 2.3)

Estudo I (profissionais da indústria alimentar): seis entrevistas semi-estruturadas (Eslovénia: 3; Itália: 2; Espanha: 1), 45–60 minutos cada, realizada em janeiro–maio de 2026, abrangendo: características de produção da empresa; restrições específicas de alimentos à reutilização de subprodutos (perecibilidade, risco de contaminação, vida útil, regras sanitárias); fluxos críticos de subprodutos/resíduos e tomada de decisões estratégicas; práticas circulares internas; pressões externas (ESG, cadeia de abastecimento); competências/competências em falta; e condições necessárias para desenvolvimento futuro.

Estudo II (especialistas académicos): cinco entrevistas semi-estruturadas (Espanha: 3; Eslovénia: 1; Itália: 1), realizada janeiro–abril de 2026, abrangendo: definições e perceções da simbiose industrial; melhores práticas em redução de resíduos/reutilização de subprodutos; trajetórias de inovação (biotecnologia, processamento circular); exemplos de colaboração intersetorial; estudos de oferta/procura sobre resíduos de processamento alimentar; a influência das certificações e da política da UE; desafios de adoção resolvidos com sucesso; condições para desenvolvimento futuro; lógica/mecanismos essenciais recomendados para o modelo SYMBIOS; e competências de gestão exigidas.

Anexo C – Quadro Detalhado de Competências por Grupo-Alvo

Grupo-alvo	Conhecimentos essenciais	Competências essenciais	Ponto de entrada recomendado
Jovens diplomados	Princípios da economia circular e IS; Fundamentos regulatórios da UE; ACL introdutório	MFA Básico; Literacia em Dados de Sustentabilidade Digital; Redação de Relatórios; Gestão de Projetos e competências económicas e financeiras.	MOOCs SYMBIOS unidades gerais + específicas de setor; estágios em empresas/associações agroalimentares
Trabalhadores empregados (C-VET)	Fluxos de subprodutos específicos por setores; Fundamentos da ISO 14001/50001; HACCP e rastreabilidade	ferramentas digitais de monitorização; adaptação de processos; negociação básica com fornecedores	Unidades curtas e modulares de aprendizagem baseadas no trabalho; mentoria dentro da empresa
Gestores decisores /	modelos de negócio circulares; avaliação tecnoeconómica; quadros CSRD/ESG; estratégia regulatória	Negociação; construção de parcerias; liderança estratégica; pensamento sistémico	Módulos estratégicos + networking de secções comunitárias; envolvimento de clusters setoriais
Desempregados / grupos desfavorecidos	Literacia básica em economia circular; visão geral do mercado de trabalho sustentável	navegação digital por plataformas; competências de nível inicial em gestão de resíduos/controlo de qualidade	Unidades MOOC de acesso aberto, sem pré-requisito; ligações a serviços públicos de emprego

Anexo D – Mapeamento de Competências para os Quadros de Referência Europeus (EQF, ESCO, GreenComp)

Conforme exigido pelo Acordo de Subvenção SYMBIOS, os nove domínios de competência identificados na Secção 2.1 estão mapeados abaixo com três padrões europeus de referência: o Quadro Europeu de Qualificações (EQF), a classificação ESCO de competências, competências, qualificações e ocupações, com referência explícita às profissões verdes e à área de conhecimento verde mencionada no Acordo de Subvenção (Gestor de Gestão de Resíduos, Engenheiro Ambiental, Especialista Ambiental, Técnico Ambiental, Tecnologias de Proteção Ambiental), e GreenComp, o Quadro Europeu de Competências em Sustentabilidade (Comissão Europeia, janeiro de 2022), cujas quatro áreas de competência (Incorporar valores de sustentabilidade; Abraçar a complexidade na sustentabilidade; Imaginar futuros sustentáveis; Agir em prol da sustentabilidade) fornecem a lógica estrutural para a coluna da direita. Este mapeamento destina-se a dar aos resultados de aprendizagem do MOOC SYMBIOS, e a qualquer certificado de assiduidade ou conclusão emitido através da Plataforma SYMBIOS, uma âncora transparente e reconhecida nos quadros europeus existentes, em vez de uma lista de competências autorreferencial.

Domínio de competência (Secção 2.1)	Nível de EQF indicativo	Profissão(s) de referência / área de conhecimento ESCO mais próxima	Área de competência de GreenComp
Gestão de Resíduos e Subprodutos	4–5	Técnico Ambiental; Gestor de Gestão de Resíduos	Agir em prol da sustentabilidade
Mapeamento e Caracterização de Correntes Laterais	4–5	Técnico Ambiental	Abraçar a complexidade na sustentabilidade
Eficiência de Recursos e Análise do Fluxo de Materiais/Energia	5–6	Engenheiro Ambiental; Especialista Ambiental	Abraçar a complexidade na sustentabilidade
Biotecnologia e Vias Avançadas de Valorização	6–7	Especialista em Ambiente; funções de investigador especializado ligadas a Tecnologias de Proteção Ambiental	Imaginar futuros sustentáveis
Negociação Comercial e Desenvolvimento de Casos de Negócio	6–7	Especialista em Ambiente (função de consultoria/consultoria)	Agir em prol da sustentabilidade

Domínio de competência (Secção 2.1)	Nível de EQF indicativo	Profissão(s) de referência / área de conhecimento ESCO mais próxima	Área de competência de GreenComp
Networking e Construção de Parcerias	5–7	Transversalidade; não está ligado a uma única profissão ESCO.	Agir em prol da sustentabilidade
Gestão de Projetos	6–7	Transversalidade; relevante em todas as quatro profissões verdes nomeadas	Agir em prol da sustentabilidade
Resolução de Problemas e Pensamento Sistémico	5–7	Competência fundamental transversal	Abraçar a complexidade na sustentabilidade
Competências Digitais (Plataformas, Análise de Dados e Relatórios ESG)	4–6	Técnico Ambiental; Tecnologias de Proteção Ambiental	Agir em prol da sustentabilidade

Tabela 7. Mapeamento dos domínios de competência agroalimentar do WP 2.6 para o EQF, ESCO e GreenComp, conforme exigido pelo Acordo de Subvenção SYMBIOS (indicadores de qualidade WP 2.6).

Lida juntamente com a Tabela 4 (níveis de competência autoavaliados) e o Anexo C (quadro de competências por grupo-alvo), este mapeamento mostra que os domínios onde a competência autoavaliada da empresa é mais baixa, eficiência de recursos/análise de fluxos, valorização próxima da biotecnologia e competências digitais, agrupam-se principalmente nos níveis 5–7 do EQF e nas áreas "Abraçar a complexidade na sustentabilidade" e "Agir para a sustentabilidade", reforçando a prioridade dada a estes domínios nas recomendações da Secção 2.3.

Fim do documento.