

Modelo conceitual

Centro de referência para pesquisa e desenvolvimento de proteínas alternativas obtidas por fermentação



Créditos

Autores

Isabela Pereira
Maria Clara Manzoki
Stéphanie Massaki
Sérvio Túlio Prado Júnior
Germano Glufke Reis

Revisão

Susan Grace Karp
Carlos Ricardo Soccol
Amanda Leitolis
Cristiana Ambiel

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação - CIP

S586 Pereira, Isabela e Outros
Centro de referência para pesquisa e desenvolvimento de proteínas alternativas obtidas por fermentação: modelo conceitual / Isabela Pereira, Maria Clara Manzoki, Stéphanie Massaki, Sérvio Túlio Prado Júnior e Germano Glufke Reis. – São Paulo: Tikibooks; The Good Food Institute Brasil, 2025.
E-BooK: PDF, 27 p.; IL; Color

ISBN 978-85-66241-46-4

1. Alimentos. 2. Cadeia Produtiva Alimentar. 3. Tecnologia de Alimentos. 4. Inovação. 5. Proteínas Alternativas. 6. Produção de Proteínas Alternativas. 7. Fermentação. 8. Fermentação Tradicional. 9. Fermentação de Biomassa. 10. Fermentação de Precisão. 11. Tecnologia de Fermentação. 12. Centro de Referência em Fermentação. 13. Bioeconomia. I. Título. II. Modelo conceitual. III. Pereira, Isabela. IV. Manzoi, Maria Clara. V. Massaki, Stéphanie. VI. Prado Júnior, Sérvio Túlio. VII. Reis, Germano Glufke. VIII. IFC/Brasil.

CDU 664

CDD 664

Catalogação elaborada por Regina Simão Paulino – CRB 6/1154



O Good Food Institute é uma organização sem fins lucrativos que trabalha globalmente para acelerar a inovação do mercado de proteínas alternativas. Acreditamos que a transição para um sistema alimentar mais sustentável é fundamental para enfrentar a crise climática, diminuir o risco de doenças zoonóticas e alimentar mais pessoas com menos recursos. Por isso, colaboramos com cientistas, investidores, empresários e agentes de governo para desenvolver alimentos análogos vegetais, cultivados ou obtidos por fermentação.

Nosso trabalho se concentra em três áreas principais:

Em **Engajamento Corporativo** apoiamos empresas de todos os tamanhos a desenvolverem, lançarem e comercializarem produtos de proteínas alternativas. Oferecemos ferramentas para apoiar startups e empreendedores em suas estratégias de negócio. Fornecemos inteligência de mercado para ajudar as empresas a tomarem decisões. Realizamos pesquisas para identificar e superar os desafios.

Em **Ciência e Tecnologia** financiamos pesquisas de ponta sobre proteínas alternativas, promovemos colaborações entre cientistas, empresas e governos, publicamos dados e descobertas para impulsionar o progresso científico, desenhamos programas educacionais para formar a próxima geração de líderes em proteínas alternativas.

Em **Políticas Públicas** defendemos políticas públicas que apoiam o desenvolvimento e a comercialização de proteínas alternativas, trabalhamos com governos para criar um ambiente regulatório favorável, educamos o público sobre os benefícios das proteínas alternativas, monitoramos o cenário político e defendemos os interesses do setor.

Com esse trabalho, buscamos soluções para:

-  Alimentar de forma segura, justa e sustentável quase dez bilhões de pessoas até 2050;
-  Conter as mudanças climáticas provocadas pelo atual sistema de produção de alimentos;
-  Criar uma cadeia de produção de alimentos que não dependa de animais;
-  Reduzir a contribuição do setor alimentício para o desenvolvimento de novas doenças infecciosas, algumas com potencial pandêmico.

Em pouco mais de seis anos de atuação no Brasil, o GFI já ajudou o país a se tornar um dos principais atores do mercado global de proteínas vegetais. A intenção é continuar desenvolvendo esse trabalho para transformar o futuro da alimentação, promovendo novas fontes de proteínas e oferecendo alternativas análogas às de origem animal.

Índice

1. Introdução.....	5
2. Apresentação.....	6
3. Panorama e contexto.....	6
3.1. A fermentação no cenário global de proteínas alternativas.....	6
3.2. Achados do mapeamento no Brasil: principais lacunas e oportunidades.....	7
4. Infraestrutura para pesquisa em fermentação: Módulos de referência tecnológica.....	8
5. Descrição de infraestrutura necessária para P&D em cada etapa da cadeia de valor de fermentação.....	10
4.1. Desenvolvimento de Cepas e Processos (Upstream).....	11
4.2. Desenvolvimento de meios de cultivo.....	12
4.3. Desenvolvimento do bioprocesso: módulo de biorreatores.....	14
4.4. Desenvolvimento de processo: Downstream.....	16
4.5. Formulação, protótipos e análise de controle de qualidade.....	18
6. Regulamentações.....	21
7. Considerações finais e recomendações.....	23
8. Anexos.....	23
9. Referências.....	24

1. Introdução

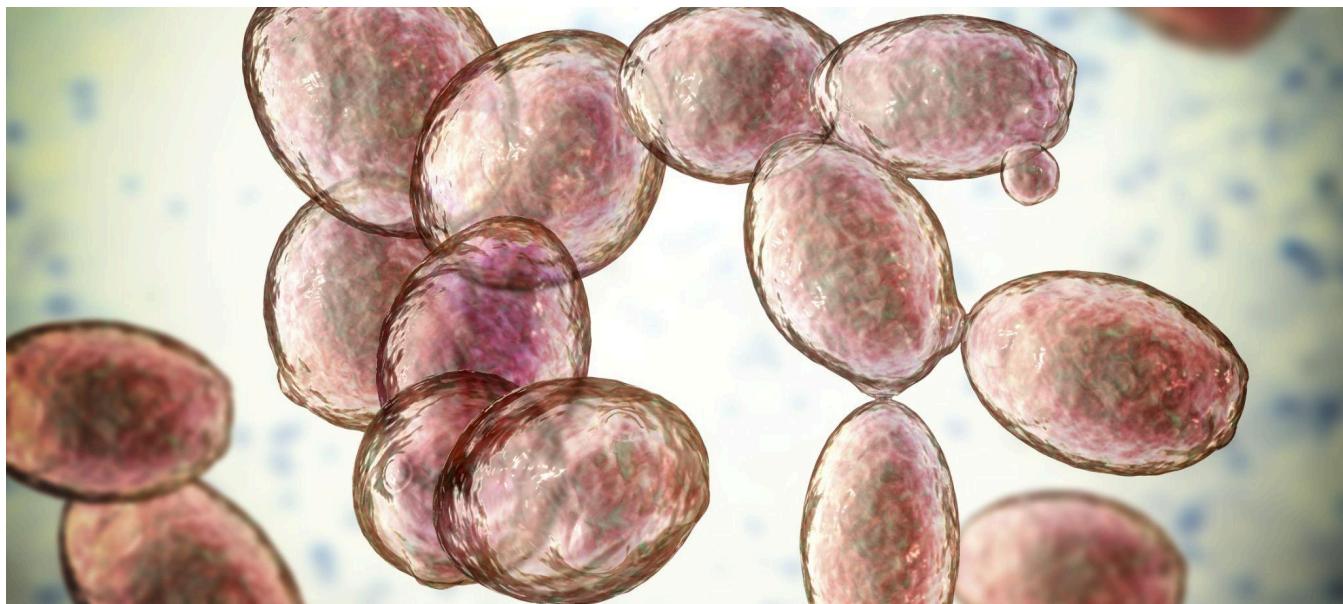


Ilustração 3D da levedura *Saccharomyces cerevisiae*.

A crescente preocupação global com questões ambientais, econômicas e de saúde tem impulsionado a busca por alternativas sustentáveis na produção de proteínas. Segundo o [Banco Mundial](#), as proteínas alternativas são a segunda intervenção agroalimentar mais promissora na redução de GEE, podendo reduzir as emissões em até 6,1 bilhões de toneladas de CO₂ por ano, equivalente a reflorestar uma área um pouco maior que a soma dos 5 maiores estados brasileiros (Amazonas, Pará, Mato Grosso, Minas Gerais e Bahia). Adicionalmente, o investimento é capaz de culminar em retornos significativos: segundo a [ClimateWorks](#), a transição para proteínas alternativas deve ser capaz de criar 83 milhões de novos empregos e alcançar cerca de US\$ 688 bilhões em Valor Agregado Bruto (VAB) para o setor até 2050.

A consolidação do setor de proteínas alternativas depende diretamente do fortalecimento da base científica e tecnológica que sustenta seu desenvolvimento. Embora o avanço de *startups* e investimentos privados tenha ampliado o interesse e a visibilidade do tema, o salto necessário para a produção em escala e a competitividade global exige investimentos consistentes em pesquisa, infraestrutura e inovação aplicada. Nesse contexto, o estabelecimento de centros de referência assume um papel estratégico: ao integrar competências

científicas, tecnológicas e industriais, esses centros funcionam como catalisadores para a geração de conhecimento, formação de recursos humanos qualificados e validação de processos em escala piloto e demonstrativa. Assim, o investimento em ciência e tecnologia torna-se o elo fundamental entre o potencial promissor das proteínas alternativas e sua consolidação como um pilar sustentável, seguro e economicamente viável do sistema alimentar brasileiro.

Este documento apresenta o modelo de um Centro de Referência em Fermentação para Produção de Proteínas Alternativas, abordando as três principais tecnologias — fermentação tradicional, de biomassa e de precisão — e reunindo diretrizes sobre infraestrutura, processos e requisitos regulatórios essenciais para sua implementação. Também contempla boas práticas de fabricação e laboratoriais, controle de qualidade, rotulagem e segurança, além de um anexo técnico com especificações de equipamentos e laboratórios credenciados de análises de alimentos. Ao estruturar esse guia, o *The Good Food Institute Brasil* reforça seu papel de impulsionar o desenvolvimento do ecossistema de proteínas alternativas, promovendo a integração entre ciência, indústria e políticas públicas para acelerar a inovação e o avanço desse setor no país.

2. Apresentação

O presente guia foi desenvolvido com o objetivo de apoiar a criação e o fortalecimento de centros de referência em fermentação voltados à pesquisa e ao desenvolvimento de proteínas alternativas no Brasil.

Construído pela equipe que desenvolveu o estudo “[Fermentação no Brasil: o potencial para a produção de proteínas alternativas](#)”, este documento reúne e organiza informações sobre as tecnologias, equipamentos e módulos de infraestrutura necessários para impulsionar a pesquisa aplicada e o desenvolvimento tecnológico em fermentação.

O guia está estruturado de forma a facilitar tanto a compreensão técnica dos processos quanto a aplicação estratégica das informações. Inicialmente, são apresentados o panorama da pesquisa no Brasil e suas necessidades de infraestrutura. Em seguida, os módulos de referência tecnológica sintetizam as capacidades essenciais para a instalação e operação de um centro de fermentação — abrangendo desde laboratórios de microbiologia e biologia molecular até biorreatores, sistemas de *downstream* e plataformas multi-usuárias. Por fim, o guia também traz as regulamentações necessárias para a adequação dos centros para a produção de pesquisa e protótipos de alimentos de proteínas alternativas.

Cada módulo é descrito em linguagem acessível e acompanhado de tabelas e quadros-resumo, que indicam a função estratégica, a infraestrutura essencial, exemplos de aplicação e recomendações práticas para uso em editais de fomento, projetos de centros multiusuários e planos institucionais de P & D.

Mais do que um documento técnico, este guia é um instrumento de sensibilização e apoio estratégico. Ele pode ser utilizado para embasar propostas em editais de infraestrutura e laboratórios multiusuários, apoiar o planejamento de investimentos públicos e privados e servir como referência prática na implantação de plataformas integradas de fermentação — desde a microbiologia básica até o escalonamento e a formulação final de produtos.

Ao sistematizar os principais módulos tecnológicos e suas aplicações, o guia busca fortalecer a capacidade científica nacional e promover a cooperação entre instituições, acelerando a consolidação de uma rede de centros de referência em fermentação aplicada a proteínas alternativas no Brasil.

3. Panorama e contexto

3.1. A fermentação no cenário global de proteínas alternativas

A fermentação vem se consolidando como uma das tecnologias mais promissoras para a transformação dos sistemas alimentares globais. Seu uso permite a produção de proteínas, gorduras, aromas e ingredientes funcionais de forma sustentável, com menor demanda de água, terra e energia quando comparada à produção convencional de proteína animal.

Nos últimos dez anos (2013-2024), o setor de proteínas alternativas produzidas por fermentação recebeu 4,8 bilhões de dólares em investimentos globais, segundo dados do The Good Food Institute (2024). Atualmente, 165 startups em todo o mundo desenvolvem soluções baseadas nessa tecnologia — incluindo fermentação tradicional, de biomassa e de precisão — em diferentes estágios de maturidade tecnológica e comercial. Grandes corporações, como Nestlé, Danone, AB InBev e Cargill, têm estabelecido investimentos e parcerias estratégicas com empresas de biotecnologia, acelerando a integração dessas inovações nas cadeias alimentares convencionais.

O avanço das tecnologias de fermentação, aliado ao amadurecimento das regulamentações internacionais, está ampliando o acesso a ingredientes de nova geração e criando oportunidades para países com forte base agrícola e científica, como o Brasil, que podem se posicionar como protagonistas na bioeconomia e produção de alimentos utilizando a tecnologia de fermentação.

3.2. Achados do mapeamento no Brasil: principais lacunas e oportunidades

O estudo “[Fermentação no Brasil: o potencial para a produção de proteínas alternativas](#)” revelou um ecossistema nacional em formação, caracterizado por alta fragmentação institucional e grande potencial de crescimento. Entre as 63 instituições mapeadas — incluindo universidades, centros de pesquisa, empresas e startups — 59 desenvolvem pesquisas em fermentação, sendo que mais da metade já atua diretamente com proteínas alternativas.

Apesar da sólida base científica, o levantamento identificou lacunas significativas de infraestrutura em estágios de escalonamento e *downstream*, fundamentais para converter descobertas laboratoriais em processos industriais. Apenas seis instituições possuem biorreatores acima de 100 litros, e somente três dispõem de certificação *food grade*, necessária para ensaios voltados a produtos alimentícios. Essa limitação restringe a capacidade nacional de validar processos em escala piloto e de atender startups em fase de transição tecnológica.

Por outro lado, o mapeamento evidenciou oportunidades estratégicas para o Brasil:

- Ampla capacidade instalada para pesquisa em escala de bancada e instituições de pesquisa com infraestrutura com potencial para se tornarem centros de referência na área de fermentação e proteínas alternativas;
- ampla disponibilidade de substratos provenientes da agroindústria (cana-de-açúcar, milho, resíduos e subprodutos agroindustriais), favorecendo modelos de economia circular;
- biodiversidade microbiana única, ainda pouco explorada cientificamente, que pode gerar cepas nativas de alto desempenho;
- capacidade técnica consolidada em bioprocessos, sendo referência na produção de biocombustíveis e de alimentos e outros insumos por fermentação.

Esses fatores colocam o Brasil em posição privilegiada para liderar o desenvolvimento de plataformas tecnológicas de fermentação voltadas à bioeconomia para produção de proteínas alternativas e ao fortalecimento da soberania científica e produtiva do país.

O investimento e a consolidação de centros de referência em fermentação representam um passo decisivo para fortalecer o ecossistema de inovação nacional e garantir o desenvolvimento dessa nova cadeia de produção de proteínas alternativas no país a longo prazo. Ao integrar infraestrutura científica, capacidade produtiva e parcerias público-privadas, esses centros podem impulsionar a geração de conhecimento aplicado e a transferência de tecnologia entre universidades e empresas.

Para a pesquisa, os módulos de referência em fermentação permitem avançar em áreas críticas — como desenvolvimento de cepas, engenharia metabólica, otimização de processos e purificação de proteínas — promovendo autonomia científica e tecnológica.

Para a indústria, a expansão de infraestrutura de escalonamento e de análise reduz custos de desenvolvimento e acelera o acesso de produtos ao mercado, estimulando a competitividade do setor nacional frente às economias líderes no tema.

E, para a cadeia de produção de alimentos, e de proteínas alternativas, a diversificação de fontes proteicas por meio da fermentação contribui para sistemas mais resilientes, sustentáveis e acessíveis. Dessa forma, a fermentação aplicada a proteínas alternativas emerge não apenas como uma oportunidade tecnológica, mas como um vetor estratégico de desenvolvimento econômico e sustentável, capaz de posicionar o Brasil como protagonista na nova fronteira global da bioeconomia aplicada à produção de alimentos.

4. Infraestrutura para pesquisa em fermentação: Módulos de referência tecnológica

A implantação de um Centro de Referência em Fermentação requer uma estrutura integrada composta por diferentes módulos tecnológicos, que se complementam para cobrir toda a cadeia de pesquisa e desenvolvimento, desde a concepção científica até o escalonamento de processos e a oferta de serviços compartilhados.

A seguir, são descritos os quatro módulos que compõem esse modelo de centro de referência em pesquisa e desenvolvimento para produção de proteínas alternativas por fermentação.

Módulo 1

Pesquisa Básica

Função estratégica: gerar conhecimento científico base, prospectar e desenvolver microrganismos para as próximas etapas do processo fermentativo.

Principais resultados: bibliotecas de microrganismos, bancos de cepas, dados genômicos e metabólicos, e protótipos iniciais de culturas de interesse.

O módulo de Pesquisa Básica constitui o núcleo científico do centro de referência, responsável pela geração de conhecimento fundamental sobre os microrganismos e suas aplicações. Envolve o estudo da biodiversidade microbiana, a caracterização genética e metabólica de espécies, e o desenvolvimento de cepas com potencial biotecnológico para a produção de proteínas e ingredientes de interesse alimentar.

Nesse módulo, as atividades são realizadas em laboratórios de microbiologia e biologia molecular, incluindo análises ômicas, permitindo desde o isolamento e identificação de microrganismos até a modificação genética controlada para expressão e produção de ingredientes específicos de interesse.

Módulo 2

Desenvolvimento e Otimização de Processos

Função estratégica: traduzir descobertas científicas em processos otimizados e economicamente viáveis.

Principais resultados: formulações de meios de cultura, parâmetros operacionais validados e dados para modelagem e simulação de processos.

O módulo de Desenvolvimento e Otimização de Processos é responsável por transformar o conhecimento científico em processos fermentativos reproduzíveis e escaláveis. Nessa etapa, os pesquisadores definem os melhores meios de cultivo, condições operacionais (pH, temperatura, aeração, agitação) e parâmetros de rendimento do processo.

As atividades incluem o preparo e caracterização de substratos, com destaque para o uso de resíduos agroindustriais, testes de crescimento microbiano em pequena escala e experimentos para maximizar produtividade e eficiência metabólica.

Módulo 3

Escalonamento e Prototipagem

Função estratégica: validar processos em escala piloto e gerar protótipos para testes técnicos, sensoriais e comerciais.

Principais resultados: dados de viabilidade técnica e econômica, protótipos de produtos e parâmetros para transferência tecnológica.

O módulo de Escalonamento e Prototipagem representa a transição entre a pesquisa de bancada e a aplicação industrial. É nesse módulo que os processos validados são testados em biorreatores de médio e grande porte (piloto) para avaliar rendimento, estabilidade e reproduzibilidade em condições próximas às industriais.

Também integra atividades de *downstream*, como separação, purificação e secagem de biomassa microbiana ou de moléculas-alvo, além de etapas de formulação e prototipagem de produtos. Essa estrutura é essencial para gerar amostras em escala suficiente para análises sensoriais, testes de qualidade e validação regulatória.

Módulo 4

Laboratórios Multiusuários e Serviços Analíticos

Função estratégica: democratizar o acesso à infraestrutura científica e fortalecer a colaboração entre academia e indústria.

Principais resultados: serviços analíticos certificados, dados de caracterização e qualidade, e suporte técnico para desenvolvimento e registro de produtos.

O módulo de Laboratórios Multiusuários e Serviços Analíticos é voltado ao uso compartilhado de infraestrutura de alto custo e à oferta de serviços especializados a pesquisadores e empresas. Ele permite o acesso a equipamentos avançados de caracterização físico-química, microbiológica e ômica, bem como análises de segurança e qualidade dos alimentos.

Esses laboratórios atuam como plataformas tecnológicas abertas, viabilizando a cooperação entre universidades, startups e indústrias. Também podem fornecer serviços de testes, análises e validações sob demanda, gerando sustentabilidade financeira para o centro.

5. Descrição de infraestrutura necessária para P&D em cada etapa da cadeia de valor de fermentação

O desenvolvimento de produtos e ingredientes por meio da fermentação envolve etapas interdependentes, que vão desde a pesquisa básica até a validação de processos em escala piloto e a obtenção de protótipos aplicáveis à indústria. Cada uma dessas fases requer infraestrutura específica, com diferentes níveis de complexidade técnica, biossegurança e capacidade operacional.

Esta seção apresenta a descrição da infraestrutura necessária para Pesquisa & Desenvolvimento (P & D) em fermentação aplicada a proteínas alternativas, organizada conforme as [principais etapas da cadeia de valor](#). O objetivo é oferecer um panorama claro e prático sobre quais laboratórios, equipamentos e recursos são indispensáveis em cada fase, apoiando tanto o planejamento institucional quanto a elaboração de propostas em editais de fomento à infraestrutura científica.

 Caso deseje acessar a lista completa e detalhada de equipamentos, acesse o [Anexo 1](#) deste documento.

Os quadros-resumo que acompanham esta seção sintetizam as funções estratégicas, os principais equipamentos, os exemplos de aplicação, módulos onde são importantes e as observações práticas relacionadas a cada etapa da cadeia. Esses quadros podem ser utilizados como ferramentas de referência rápida para gestores, pesquisadores e formuladores de políticas públicas, facilitando a priorização de investimentos e o desenho de projetos integrados.

A estrutura proposta contempla desde os laboratórios de microbiologia e biologia molecular, responsáveis pela prospecção e desenvolvimento de cepas, até as plataformas de escalonamento e prototipagem, essenciais para validação e testes em condições reais de operação. Também são abordados os módulos de *downstream*, as instalações analíticas e os espaços de formulação e testes sensoriais, compondo uma visão abrangente da infraestrutura necessária para consolidar centros de referência em fermentação aplicados ao desenvolvimento de proteínas alternativas no país.

Dessa forma, esta seção busca não apenas descrever a infraestrutura física e tecnológica necessária, mas também reforçar a importância de sua integração em plataformas compartilhadas, capazes de conectar a pesquisa básica à inovação aplicada e de transformar o potencial científico brasileiro em soluções concretas.

 As descrições e recomendações apresentadas referem-se exclusivamente à infraestrutura técnico-científica e aos equipamentos necessários para a realização de atividades de pesquisa e desenvolvimento em processos de fermentação. Não estão incluídas infraestrutura predial e de suporte operacional, como sistemas elétricos, hidráulicos, de ventilação e exaustão, geradores ou quaisquer outros elementos de engenharia civil e predial que, embora essenciais ao funcionamento de instalações laboratoriais e piloto, não fazem parte do escopo técnico deste guia.
Recomenda-se que esses aspectos sejam avaliados caso a caso durante o planejamento de implantação ou ampliação de infraestrutura, em conformidade com as normas pertinentes (ver o item 5 do guia).

5.1. Desenvolvimento de Cepas e Processos (Upstream)

A etapa inicial de pesquisa em fermentação, compreende o conjunto de atividades voltadas ao estudo e definição do microrganismo e do meio de cultivo, além do desenho inicial do processo fermentativo e à otimização das condições de crescimento. Trata-se de uma fase crítica da cadeia de valor, pois define as bases biológicas e tecnológicas que determinam o desempenho, a produtividade e a viabilidade econômica do bioprocesso.

As pesquisas envolvem desde o isolamento e caracterização de microrganismos de interesse até o aprimoramento genético, a seleção de substratos e a definição das condições ideais de cultivo — como temperatura, pH, aeração e composição do meio. Nessa etapa são realizados testes em pequena escala que definem o que chamamos de *upstream*, a etapa do bioprocesso que inclui o preparo de meio, inóculo e fermentação. Normalmente são utilizados *shakers*, biorreatores de bancada e sistemas de monitoramento automatizado, permitindo ajustes finos antes da transição para o escalonamento piloto.

As particularidades desta etapa variam conforme o tipo de fermentação empregada:

- Na fermentação tradicional, o foco está no uso de microrganismos já amplamente utilizados na produção de alimentos — como leveduras, bactérias ácido-láticas e fungos filamentosos — aplicados à transformação de ingredientes vegetais. O desenvolvimento de processos nesta categoria busca bioprospectar microrganismos, otimizar as condições naturais de crescimento e as interações entre microrganismo e substrato, priorizando perfis sensoriais e nutricionais específicos do produto final. Exemplos incluem o aprimoramento de fermentações em estado sólido para produção de alimentos como tempês e melhoramento de ingredientes vegetais.
- Na fermentação de biomassa, essa etapa de inicial da pesquisa concentra-se prospectar novos microrganismos e também maximizar o crescimento celular de microrganismos já conhecidos como *Fusarium venenatum*, *Saccharomyces cerevisiae* e microalgas, cuja biomassa constitui o produto de interesse. Os desafios principais estão na seleção de substratos de baixo custo — frequentemente resíduos agroindustriais — e na otimização de parâmetros para elevar o teor proteico e o rendimento.
- Na fermentação de precisão, o desenvolvimento de cepas é a etapa central do processo. Microrganismos como *Komagataella phaffii* ou *Aspergillus oryzae* são geneticamente modificados para produzir moléculas-alvo específicas — como proteínas do leite, colágeno ou hemoproteínas. A etapa inclui buscas genômicas e definição de molécula alvo, envolvendo também engenharia genética, construção de vetores de expressão, estudos de chassis microbianos e definição de meios de cultura sintéticos otimizados para alta produtividade e estabilidade metabólica.

Além das diferenças técnicas, o desenvolvimento de processos de *upstream* requer atenção especial à biossegurança e à rastreabilidade, especialmente nos casos de uso de microrganismos geneticamente modificados. No contexto brasileiro, essas atividades devem atender às diretrizes da Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio).

Em centros de referência, essa etapa de desenvolvimento deve integrar laboratórios de microbiologia, biologia molecular e bioprocessos, equipados para seleção e manipulação de cepas, preparo de meios, cultivo em pequena escala e análise de desempenho microbiano. Essa estrutura é fundamental para converter conhecimento científico em inovação aplicada, estabelecendo as bases para o escalonamento e a futura validação industrial dos processos de fermentação.

Quadro 1. Etapa de desenvolvimento das cepas

Categoria	Descrição / Função	Especificações		
		Equipamentos Essenciais	Módulos onde essa estrutura é necessária	Observações Estratégicas
Microbiologia básica	Isolamento, cultivo e caracterização de microrganismos	Estufas de incubação, autoclaves, cabines de biossegurança, microscópios	1, 2, 3 e 4	Base de qualquer centro; equipamentos de menor custo relativo
Biologia molecular	Manipulação genética e caracterização de cepas	Termocicladores, eletroporadores, analisadores de DNA/RNA e proteína (espectrofotômetros ou fluorímetro), equipamentos de eletroforese, freezers, máquina de gelo	1 e 4	Exige capacitação e normas de biossegurança (CTNBio)
Ômicas (genômica, metabolômica, proteômica)	Caracterização molecular aprofundada. Identificação de metabólitos relevantes	Sequenciadores NGS, LC-MS/MS, NMR, supercomputadores para análises de bioinformática	4	Facilita inovação científica; indicado investimento em multiusuário
Banco de cepas	Preservação de microrganismos	Ultracongeladores (-80 °C), criotubos, sistemas de nitrogênio líquido	4	Necessário para multiusuários; fortalece parcerias regionais e internacionais
Otimização de cepas e cultivos em escala de bancada	Desenvolvimento inicial de processo e estabelecimento de protocolos de crescimento, obtenção de inóculo, além de testes iniciais com diferentes substratos, cepas em desenvolvimento e <i>screening</i> inicial de parâmetros para posterior escalonamento.	Estufas, shaker, biorreatores de bancada, biorreatores <i>high-throughput</i>	1, 2 e 4	A presença dessa infraestrutura, em especial <i>high-throughput</i>, agiliza o desenvolvimento do bioprocesso. Investimento indicado para multiusuário devido ao custo elevado.

5.2. Desenvolvimento de meios de cultivo

O desenvolvimento de meios de cultivo é uma das etapas mais determinantes para o sucesso de um processo fermentativo. Essa fase envolve a formulação, otimização e caracterização das combinações de nutrientes que sustentam o crescimento microbiano e a síntese do produto de interesse, seja ele a biomassa microbiana ou um ingrediente específico produzido pelos microrganismos.

Um meio de cultivo adequado deve oferecer equilíbrio nutricional, custo acessível, disponibilidade local e desempenho consistente, além de atender aos requisitos de segurança e regulamentações aplicáveis. Por isso, o desenvolvimento de meios é um ponto de convergência entre ciência básica, engenharia de processos e sustentabilidade.

As estratégias de formulação variam de acordo com o tipo de fermentação e o objetivo do produto final:

- Na fermentação tradicional, o meio de cultivo é normalmente composto por substratos alimentares sólidos ou semissólidos, como extratos vegetais, grãos, leguminosas e oleaginosas. O foco está na interação entre microrganismo e substrato, que influencia diretamente o sabor, a textura e o perfil nutricional do alimento resultante. Ajustes nas condições de umidade, temperatura e aeração são essenciais para garantir o equilíbrio entre crescimento microbiano e estabilidade sensorial do produto.
- Na fermentação de biomassa, os meios de cultivo devem sustentar altas taxas de crescimento celular e favorecer a acumulação de proteínas. O uso de matérias-primas renováveis e subprodutos agroindustriais — como melaço de cana, bagaço e farelos — é especialmente promissor, pois reduz custos e fortalece práticas de economia circular. Nessa abordagem, a caracterização físico-química do substrato, o pré-tratamento adequado e a hidrólise são etapas críticas para padronizar o desempenho dos processos.
- Na fermentação de precisão, o desenvolvimento de meios de cultivo é ainda mais específico, envolvendo meios sintéticos definidos quimicamente, que garantem reproduzibilidade e permitem controlar com precisão a expressão do gene de interesse. Aqui, busca-se maximizar a produção da molécula-alvo — como proteínas do leite, enzimas ou hemoproteínas — por meio da manipulação de variáveis como fontes de carbono, nitrogênio e micronutrientes. A qualidade do meio impacta diretamente o título e a pureza do produto final, influenciando o custo e a eficiência do *downstream*.

Além da formulação, a etapa de desenvolvimento de meios de cultivo inclui a análise de desempenho metabólico e avaliação de custo-benefício, fundamentais para a escalabilidade do processo. Estudos de otimização podem empregar metodologias estatísticas (como planejamento fatorial ou *Design of Experiments – DoE*) e ferramentas de modelagem metabólica para identificar combinações ideais de nutrientes.

No contexto brasileiro, o acesso a uma ampla diversidade de matérias-primas agroindustriais — como cana-de-açúcar, milho, soja e resíduos de processamento de grãos e frutas — representa uma vantagem competitiva. Aproveitar esses insumos locais pode reduzir significativamente o custo de produção e fortalecer o vínculo entre o setor agroindustrial e a bioindústria de proteínas alternativas.

Assim, o desenvolvimento de meios de cultivo atua como elo central entre o potencial biológico do microrganismo e a viabilidade tecnológica e econômica do processo, sendo uma competência essencial para qualquer centro de referência em fermentação que busque promover inovação, sustentabilidade e eficiência produtiva.

Quadro 2. Etapa de desenvolvimento de substratos e meios de cultivo

Categoria	Descrição / Função	Especificações		
		Equipamentos Essenciais	Módulos onde essa estrutura é necessária	Observações Estratégicas
Caracterização do substratos	Determinação da composição de substratos como biomassa lignocelulósica (bagaço e palha) e outros subprodutos ou resíduos agroindustriais que podem ser utilizados para fermentação.	Estufas/secadoras de convecção, moinho analítico, mufla, peneiras granulométricas, pHmetro, chapa de aquecimento e agitação, capela de exaustão, banho-maria, espectrofotômetro, cromatógrafos, extrator Soxhlet, analizador de Kjeldahl, microscópio eletrônico de varredura (MEV), espectrômetros	1 e 4	A ampla quantidade de pesquisas em substratos de segunda geração para biocombustíveis posiciona o Brasil com enorme potencial nessa área científica. São necessários avanços na aplicação na produção de alimentos.
Pré-tratamento e hidrólise de substratos	Para conversão de substratos complexos em açúcares fermentescíveis são necessários processos físicos, químicos e biológicos (enzimas).	Reatores químicos, autoclaves, sistemas de filtração, shaker, centrífuga, moinhos, evaporadores	2, 3 e 4	
Screening de substratos	Investigação das possíveis fontes de substratos, conversão microbiana dos insumos e rendimentos obtidos na utilização de cada substrato testado.	Shaker, incubadoras de placas com leitura em tempo real de absorbância, biorreatores high-throughput	1 e 4	Facilitam e agilizam o screening de vários substratos e formulações de meios simultaneamente

5.3. Desenvolvimento do bioprocesso: módulo de biorreatores

A etapa de fermentação e escalonamento constitui o núcleo operacional da cadeia de valor, sendo o momento em que os microrganismos cultivados e os meios de cultivo desenvolvidos nas fases anteriores são aplicados em biorreatores de diferentes capacidades, sob condições controladas de aeração, temperatura, pH e agitação. Essa fase transforma o potencial biológico do microrganismo em produtividade real, determinando o rendimento e a qualidade do produto final.

A fermentação pode ocorrer em estado sólido ou submerso, em batelada, batelada alimentada ou modo contínuo, dependendo do tipo de microrganismo e do produto de interesse. O processo também exige monitoramento constante de parâmetros críticos e a coleta de dados analíticos, que subsidiam a modelagem e a otimização do processo.

Embora compartilhem fundamentos comuns, às três principais abordagens tecnológicas de fermentação — tradicional, de biomassa e de precisão — também apresentam particularidades importantes nessa etapa:

- Na fermentação tradicional, como os microrganismos atuam diretamente sobre substratos, como grãos ou leguminosas, em processos geralmente em estado sólido e menor escala tecnológica, essa modalidade é caracterizada por baixo custo de operação e simplicidade de equipamentos, mas exige controle rigoroso das condições ambientais para garantir estabilidade microbiológica e qualidade sensorial do produto.
- Na fermentação de biomassa, o foco está no crescimento celular rápido e controlado de microrganismos como leveduras, fungos filamentosos e microalgas, cuja biomassa é o próprio produto final. Assim, os biorreatores utilizados precisam garantir elevada transferência de oxigênio e homogeneidade do meio, com instrumentação adequada para monitorar variáveis críticas. O escalonamento dessa modalidade requer atenção especial ao regime de aeração, à viscosidade do meio e à formação de espuma, que impactam diretamente o rendimento e o custo de produção.
- Na fermentação de precisão, os microrganismos são geneticamente modificados para expressar moléculas-alvo específicas, como proteínas do leite, hemoproteínas, enzimas ou lipídios. Portanto, essa abordagem demanda biorreatores com alto grau de controle e repetibilidade, bem como sistemas automatizados de coleta de dados, para garantir a estabilidade da cepa e maximizar a expressão do produto de interesse. O escalonamento é mais complexo e inclui protocolos rígidos de biossegurança, rastreabilidade e purificação posterior.

No contexto da pesquisa e desenvolvimento (P&D), a infraestrutura de fermentação deve ser modular e escalonável, incluindo desde biorreatores de bancada (1–10 L) até biorreatores piloto (25–500 L) e semi-industriais (até 2.000 L), além de sistemas auxiliares como chillers, compressores de ar, caldeiras e linhas de gases. Essa estrutura permite estudar o comportamento do processo em diferentes níveis de complexidade e aproximar as condições laboratoriais das realidades industriais.

O escalonamento de processos é uma das fases mais desafiadoras, pois visa reproduzir em larga escala o desempenho obtido em pequena escala sem perda de rendimento. Isso requer conhecimento detalhado de parâmetros de transferência de massa e calor, cinética microbiana e comportamento reológico do meio. Ensaios em escala piloto são fundamentais para avaliar a robustez do processo, calcular custos e definir as estratégias de *downstream* e purificação subsequentes.

Além de sua relevância técnica, o investimento em infraestrutura de fermentação e escalonamento tem papel estratégico no fortalecimento da capacidade de inovação nacional. Conforme citado previamente no documento, no mapeamento conduzido pelo GFI Brasil, observou-se que apenas seis instituições no país possuem biorreatores acima de 100 litros, e apenas três contam com certificação *food grade*, o que evidencia a necessidade de ampliar a infraestrutura e integrá-la em plataformas multi usuárias capazes de atender universidades, startups e indústrias de alimentos.

Quadro 3. Etapa de desenvolvimento do bioprocesso.

Categoria	Descrição / Função	Especificações		
		Equipamentos Essenciais	Módulos onde essa estrutura é necessária	Observações Estratégicas
Biorreatores de bancada (1–10 L)	Pesquisa básica, otimização de cepas e parâmetros. Testes iniciais de novas linhagens microbianas; estudos de metabolismo	Fermentadores de pequeno porte com controle de pH, O ₂ , agitação e temperatura	1, 2, 3 e 4	Essenciais para grupos acadêmicos; baixo custo relativo. 70% das instituições mapeadas no Brasil já possuem essa infraestrutura ¹
Biorreatores piloto (25–500 L)	Escalonamento intermediário e validação de processos. Produção de lotes para validação de processos e pré-protótipos	Sistemas automatizados, monitoramento online, CIP/SIP	3 e 4	Ponte entre pesquisa e indústria; infraestrutura pouco disponível no Brasil
Biorreatores semi-industriais (500–2000 L)	Preparação para transferência industrial. Produção de ingredientes para testes sensoriais e regulatórios.	Unidades com instrumentação avançada e segurança para operação contínua	3 e 4	Alto custo; recomendados em centros multiusuários regionais
Sistemas auxiliares	Suporte ao processo de fermentação. Garantem reprodutibilidade e escalabilidade	Bombas, tanques de preparo de meio, sistemas de esterilização, sensores, chiller, caldeira	1, 2, 3 e 4	Muitas vezes negligenciados em propostas, mas críticos para a operação. O controle de entrada e saída de gases das dornas permite balanços de massa e de processo mais eficientes.
Linhas de gases	Necessárias principalmente em processos aerados, mas essenciais também para processos micro aerados ou anaeróbicos, e para calibração de sondas.	Cilindros, manômetros, filtros de ar e analisador de gases	1, 2, 3 e 4	

¹ Fermentação no Brasil: o potencial para produção de proteínas alternativas. The Good Food Institute (2025).

5.4. Desenvolvimento de processo: *Downstream*

A etapa de *downstream* comprehende o conjunto de operações necessárias para a recuperação, separação e purificação dos produtos obtidos na fermentação. Trata-se de uma fase crítica tanto do ponto de vista técnico quanto econômico, pois impacta diretamente o rendimento global do processo, a qualidade final do produto e o custo de produção.

De modo geral, o *downstream* inicia-se logo após o término da fermentação, envolvendo etapas de separação sólido-líquido, lise celular, extração, purificação e concentração do produto de interesse. As operações são selecionadas conforme o tipo de microrganismo, o modo de fermentação e as características do composto produzido – se intracelular ou extracelular.

Embora compartilhem princípios semelhantes, as necessidades e desafios do downstream variam entre as três principais abordagens tecnológicas de fermentação:

- Na fermentação tradicional, o produto final geralmente é o próprio alimento ou ingrediente fermentado, que contém tanto o substrato vegetal quanto o microrganismo ativo ou inativado. Assim, as etapas de *downstream* são simplificadas e se concentram em padronizar textura, umidade e estabilidade microbiológica, por meio de operações como prensagem, secagem e embalagem. A preocupação principal é garantir a segurança e a manutenção de características sensoriais e nutricionais do produto.
- Na fermentação de biomassa, o microrganismo é o produto de interesse. O *downstream* envolve operações de separação da biomassa do meio de cultivo, geralmente por centrifugação, filtração tangencial ou decantação, seguidas por lavagem e inativação térmica. Em alguns casos, são aplicados tratamentos adicionais para reduzir o teor de RNA. A biomassa resultante pode ser usada como ingrediente protéico na forma seca ou úmida e refrigerada ou congelada, para posterior aplicação em formulações alimentícias.
- Na fermentação de precisão, o *downstream* é o mais complexo e representa uma das etapas de maior custo operacional. Como as moléculas-alvo — proteínas recombinantes, enzimas ou lipídios — são produzidas em pequena quantidade e requerem alto grau de pureza, o processo inclui ruptura celular (mecânica ou química), seguida por múltiplas etapas de purificação como cromatografia, ultrafiltração e diálise. Processos de precipitação também podem ser utilizados. Cada operação deve ser cuidadosamente otimizada para preservar a integridade da molécula e maximizar o rendimento. Essa fase também exige conformidade com normas de biossegurança e rastreabilidade, especialmente quando há uso de microrganismos geneticamente modificados.

Em todos os casos, o *downstream* é essencial para garantir a qualidade, segurança e funcionalidade do produto, além de influenciar diretamente a viabilidade comercial do processo. Estudos mostram que, em fermentações de precisão, os custos dessa etapa podem representar até 60% do custo total de produção, reforçando a importância de infraestrutura adequada e do desenvolvimento de técnicas eficientes de purificação.

Para os centros de referência em fermentação, o módulo de *downstream* deve incluir centrífugas de alta capacidade, sistemas de filtração e homogeneização, cromatografia, liofilizadores e secadores, além de infraestrutura de apoio para análises físico-químicas e microbiológicas. A integração desse módulo com as plataformas de escalonamento e de análises multi-usuárias é essencial para reduzir custos, garantir qualidade e acelerar a validação de produtos em escala piloto.

De acordo com o mapeamento conduzido pelo GFI Brasil, poucas instituições nacionais dispõem de infraestrutura piloto adequada: das 47 que realizam fermentação, 15 possuem centrífugas de chão, apenas 5 contam com centrífugas contínuas e 3 com filtros prensa. A limitação se repete em equipamentos de secagem: liofilizadores piloto estão presentes em apenas duas instituições e *spray-driers* em 18; e em sistemas de lise celular, nos quais predominam os sonicadores (presentes em 27 instituições), enquanto *french press* e micro fluidificadores são raros. Esses dados demonstram que, embora a infraestrutura laboratorial esteja razoavelmente difundida, o escasseamento de equipamentos em escala piloto impede a validação de processos e a produção de lotes experimentais em condições próximas às industriais.

Quadro 4. Etapa de recuperação de produtos (Downstream)

Categoria	Descrição / Função	Especificações		
		Equipamentos Essenciais	Módulos onde essa estrutura é necessária	Observações Estratégicas
Separação da biomassa e do meio de cultivo	Processo necessário para recuperação das células para obtenção de ingredientes de biomassa celular ou recuperar produtos intracelulares.	Centrífugas, filtros prensa, filtração tangencial, bombas	1, 2, 3 e 4	A disponibilidade de equipamentos em escala piloto é a mais crítica no Brasil.
Lise celular	Liberação de compostos intracelulares, por exemplo, para recuperação de proteínas não secretadas no meio de cultivo.	Homogeneizadores, sonicadores, microfluidizadores	1, 2, 3 e 4	Importante para fermentação de precisão
Inativação térmica	Tratamento térmico para inativação dos microrganismos quando necessário.	Trocadores de calor, estufa/secadoras, autoclave	2, 3 e 4	A disponibilidade de equipamentos em escala piloto é mais crítica no Brasil.
Secagem de biomassa	Acondicionamento dos ingredientes na forma de pó quando pertinente para maior estabilidade de armazenamento e posterior aplicação.	Estufas/secadoras de convecção, spray-drier, liofilizador, ou outros sistemas de secagem	2, 3 e 4	
Purificação de proteína	Obtenção de ingredientes de maior concentração e pureza, principalmente para produtos de fermentação de precisão.	Cromatografia (HPLC, troca iônica, afinidade), sistemas de diálise, sistemas de filtração com membranas (nano/micro/ultra)	2, 3 e 4	Alto custo; é um gargalo em laboratórios no Brasil

5.5. Formulação, protótipos e análise de controle de qualidade

O objetivo dessa fase é integrar os ingredientes obtidos por fermentação em formulações de alimentos, explorando suas propriedades tecnológicas (como emulsificação, textura, sabor, capacidade de retenção de água e óleo) e avaliando seu comportamento em formulações de produtos finais, como análogos cárneos, lácteos, bebidas vegetais fermentadas e ingredientes funcionais. Essa integração requer conhecimentos de ciência, tecnologia e engenharia de alimentos, consolidando a interdisciplinaridade que caracteriza o setor de proteínas alternativas.

Os produtos oriundos das diferentes abordagens de fermentação possuem particularidades que influenciam o desenvolvimento de formulações e protótipos:

- Na fermentação tradicional, os produtos fermentados — como queijos vegetais, bebidas e tempês — já apresentam características sensoriais próprias derivadas da ação dos microrganismos. O desafio está em

padronizar os atributos sensoriais e a estabilidade microbiológica, garantindo reprodutibilidade e segurança alimentar sem comprometer o perfil artesanal e natural característico desses alimentos. Para os ingredientes vegetais fermentados os desafios estão na aplicação em formulações de produtos agregando funcionalidades e perfis nutricionais e sensoriais únicos.

- Na fermentação de biomassa, a biomassa microbiana é o principal ingrediente funcional, utilizada como matéria-prima proteica em formulações de análogos cárneos e lácteos. O trabalho de formulação nessa etapa busca otimizar textura, sabor e cor, combinando a biomassa a outros ingredientes vegetais para atingir características semelhantes às da carne ou de produtos lácteos.
- Na fermentação de precisão, os ingredientes obtidos — como proteínas do leite, de ovo, colágeno ou hemoproteínas — são incorporados a produtos alimentícios convencionais ou a novas formulações *animal-free*. Nesses casos, a ênfase está na funcionalidade das proteínas recombinantes, que precisam reproduzir as propriedades físico-químicas das proteínas animais, como elasticidade, emulsificação ou formação de espuma, por exemplo. Essa etapa é também essencial para validar a pureza e a segurança dos ingredientes antes de seu registro junto à ANVISA e demais órgãos regulatórios.

Após a formulação e produção de protótipos, os produtos passam por testes sensoriais e análises de controle de qualidade. Os testes sensoriais envolvem painéis treinados ou consumidores, que avaliam atributos como sabor, aroma, textura, aparência e aceitação geral, gerando dados valiosos para ajustes de formulação e estudos de posicionamento de mercado. Já o controle de qualidade compreende análises físico-químicas, microbiológicas e nutricionais, essenciais para garantir conformidade com padrões regulatórios e de segurança.

Para essa fase, a infraestrutura necessária inclui salas de formulação, processamento e preparo de alimentos, equipamentos de mistura e extrusão, laboratórios de análise físico-química e microbiológica, e salas de teste sensorial com cabines individuais e sistemas de coleta digital de dados. É importante que essas instalações atendam a normas de boas práticas de fabricação (BPF) e, quando aplicável, possuam certificação *food grade* para manipulação de ingredientes e produtos destinados ao consumo humano.

Além do caráter técnico, essa etapa possui uma função estratégica: é nela que os resultados de pesquisa e desenvolvimento ganham forma tangível e comunicável, transformando ciência em inovação perceptível ao consumidor. Os protótipos desenvolvidos servem não apenas para validação tecnológica, mas também para atrair parceiros industriais e investidores, demonstrando o potencial de aplicação e escalabilidade das tecnologias de fermentação.

Assim, a etapa de formulação, prototipagem e controle de qualidade consolida o ciclo completo de pesquisa e desenvolvimento em fermentação aplicado a proteínas alternativas. Ao garantir que os produtos resultantes atendam aos critérios de funcionalidade, segurança e aceitação sensorial, ela conecta o ambiente científico ao mercado.

Quadro 5. Formulação de produtos finais e ingredientes para aplicação na produção de produtos análogos.

Categoria	Descrição / Função	Especificações		
		Equipamentos Essenciais	Módulos onde essa estrutura é necessária	Observações Estratégicas
Formulação de produtos análogos	Testes de aplicação dos ingredientes produzidos por fermentação na formulação de produtos análogos.	Misturadores, homogeneizadores, extrusoras	3 e 4	
Análise de <i>shelf-life</i>	Determinação da vida de prateleira dos produtos e ingredientes desenvolvidos.	Seladoras, câmaras climáticas, refrigeradores	3 e 4	As instalações precisam ser aptas ao preparo de alimentos para consumo (food grade)
Análise sensorial	Testes de validação sensorial das formulações testadas, identificando melhorias e potencial de paridade sensorial com produtos tradicionais e formulações de produtos análogos no mercado.	Salas de análise sensorial, cabines individuais, salas de preparo de alimentos equipadas com equipamentos de cozinha industrial	3 e 4	
Análises de qualidade microbiológica	Testes de segurança de alimentos.	Incubadoras, cabines de fluxo laminar, kits de diagnóstico	3 e 4	
Análises de composição	Determinação das concentrações de carboidratos, proteínas, fibras, lipídios e micronutrientes nos produtos, além do perfil de aminoácidos.	Espectrofotômetros, analisador Kjeldahl, Soxhlet, NIR, cromatógrafos	3 e 4	Essencial para registro junto à ANVISA
Análises de funcionalidade de ingredientes e produtos	Determinar características funcionais como perfil de textura, cor e alterações durante o processamento, capacidade de retenção de água e óleo, formação de espuma e capacidade de emulsificação.	Reômetros, texturômetros, colorímetros, centrífugas	3 e 4	Essenciais para definir aplicações e superar desafios específicos do setor de proteínas alternativas, como textura e sabor de produtos análogos cárneos.

6. Regulamentações

No Brasil, laboratórios ou instituições de pesquisa com foco na produção de proteínas alternativas obtidas por fermentação devem seguir diversas diretrizes e regulamentações. Abaixo estão compiladas as principais, incluindo instalações e operações de laboratórios de maneira geral, mas também normas específicas que se aplicam a utilização de microrganismos e também a produção de alimentos seguros para consumo:

- Boas Práticas de Laboratório (BPL): estabelecem diretrizes rigorosas para garantir a integridade, qualidade e confiabilidade dos dados gerados em experimentos laboratoriais. Incluem padrões de qualidade para procedimentos, equipamentos e materiais, asseguram a higiene e a segurança no laboratório, exigem documentação detalhada e rastreabilidade dos experimentos, validação de métodos analíticos e treinamento adequado para os funcionários. As BPL são regidas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) na Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 58/2016.
- CTNBio: A Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio) é responsável pela regulamentação e fiscalização das atividades envolvendo Organismos Geneticamente Modificados (OGMs) no Brasil. Especialmente no caso das fermentações de precisão, os projetos de pesquisa com OGMs precisam ser aprovados pela CTNBio, a qual monitora e fiscaliza as atividades laboratoriais para garantir conformidade com as regulamentações de biossegurança. Também é necessário seguir as normas e diretrizes estabelecidas pela CTNBio quanto a manipulação, transporte, armazenamento e descarte de materiais biológicos geneticamente modificados. Há também a necessidade de uma comissão interna de biossegurança (CIBio) na instituição de pesquisa, que tem a responsabilidade de implementar e monitorar as medidas de biossegurança no âmbito da instituição. A CIBio monitora as atividades laboratoriais, desenvolve os procedimentos operacionais padronizados (POP), realiza treinamentos e capacitações e investigação de incidentes de biossegurança.
- Licenças e registros necessários para uso de químicos controlados: a regulamentação para substâncias químicas controladas é definida principalmente pela Polícia Federal, através da Lei nº 10.357/2001 e do Decreto nº 3.665/2000. Alguns reagentes comuns em laboratórios de bioprocessos que se encaixam na categoria de controlados são solventes e ácidos/bases muito concentrados.
- Licenças e registros necessários para gestão de resíduos: no Brasil, a Lei de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010) estabelece a política nacional de resíduos sólidos e define diretrizes para o gerenciamento integrado de resíduos, incluindo a prevenção, a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final adequada. Além disso, as normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) estabelecem orientações relacionadas à gestão de resíduos, incluindo normas de classificação, manejo, transporte, tratamento e disposição final. Também, é necessário tratar os efluentes líquidos gerados (por exemplo, o meio de cultivo pós-fermentação), de acordo com as orientações estabelecidas pelo CONAMA (Resolução CONAMA nº 430/2011).
- Normas Regulamentadoras (NR): a operação de alguns equipamentos utilizados em bioprocessos deve ser realizada de acordo com normas regulamentadoras. Por exemplo, a NR-13 estabelece os requisitos mínimos para garantir a segurança na operação de caldeiras, vasos de pressão, tubulações e autoclaves, incluindo aspectos como: projeto, construção, instalação e operação, manutenção preventiva e inspeção periódica, capacitação e treinamento dos operadores, registro e documentação das atividades, entre outros.

Além dessas normas, um centro de referência que inclua módulos de prototipagem precisa seguir outras diretrizes que garantam a segurança dos produtos para consumo. Abaixo também são compiladas as legislações que se aplicam às empresas que desejam comercializar os produtos de proteínas alternativas obtidos via fermentação. São elas:

- Boas Práticas de Fabricação (BPF): no caso da produção escalonada (escala piloto/demonstrativa em instituições de pesquisa) e da comercialização dos produtos, é essencial adotar e seguir as Boas Práticas de Fabricação estabelecidas pela ANVISA (RDC nº 17/2010), que definem os padrões de higiene, controle de qualidade, documentação e outras práticas para garantir a segurança e a qualidade dos alimentos produzidos. É importante notar também que alguns estados podem possuir legislações próprias (por exemplo, a Portaria CVS-6/99, uma regulamentação emitida pela Coordenadoria de Vigilância Sanitária (CVS) do Estado de São Paulo).
- Estabelecimento do controle de qualidade: a instituição deve implementar sistemas robustos de controle de qualidade para monitorar e garantir a qualidade e a segurança dos produtos durante todas as etapas de produção, assegurando a conformidade com as especificações e padrões estabelecidos.
- Registro e Licenciamento: uma empresa que visa comercializar as proteínas alternativas produzidas via fermentação (como produto final ou ingrediente) precisa registrar suas operações junto aos órgãos reguladores competentes, como a ANVISA e o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), para obter as licenças necessárias para a produção de alimentos e/ou comercialização de alimentos ou ingredientes alimentícios. A ANVISA possui a Resolução RDC Nº 839, regulamentando o registro de alimentos e ingredientes sem histórico de consumo, incluindo os oriundos de cultivo celular e de fermentação. Essa resolução orienta todos os testes que devem ser realizados para registrar um alimento de fermentação no país. Esses testes devem ser realizados por laboratórios certificados. No item 8 desse documento, é possível conferir a lista de laboratórios brasileiros que estão capacitados a atuar nestas análises ([Anexo 2](#)).
- Regulamentações de Rotulagem: deve-se cumprir as regulamentações brasileiras de rotulagem de alimentos, que incluem a identificação precisa dos ingredientes, origem, informações nutricionais, data de validade, presença de OGM, e outras informações obrigatórias (RDC nº 259/2002).
- Segurança de Alimentos: é necessário seguir as normas de segurança de alimentos estabelecidas pela legislação brasileira (especialmente a Portaria nº 326/1997 e a RDC nº 275/2002), incluindo a prevenção da contaminação microbiológica, química e física dos alimentos. Além das normas de segurança de alimentos estabelecidas pela legislação brasileira, a ISO/TS 22002-1:2009 estabelece normas para construção de equipamentos e instalações para produção de alimentos, controle de pragas, higiene pessoal e outros. Esta ISO fornece diretrizes detalhadas para o estabelecimento e manutenção de programas pré-requisitos eficazes em operações de fabricação de alimentos, contribuindo para o cumprimento dos requisitos mais amplos estabelecidos pela ISO 22000:2005, que define de maneira mais geral os princípios e os requisitos para um sistema de gestão de segurança de alimentos.

7. Considerações finais e recomendações

O fortalecimento da fermentação aplicada à produção de proteínas alternativas representa uma oportunidade estratégica para o Brasil avançar em direção a uma bioeconomia inovadora, sustentável e competitiva. O país reúne condições únicas — biodiversidade microbiana, base agroindustrial robusta, capacidade técnica consolidada e fontes renováveis de energia — que o posicionam como um potencial protagonista no desenvolvimento global dessa tecnologia.

Os resultados do mapeamento conduzido pelo *The Good Food Institute Brasil* evidenciaram um ecossistema nacional em consolidação, com significativa produção científica, mas ainda marcado por lacunas estruturais em etapas críticas como o escalonamento, o *downstream* e a certificação *food grade*. A superação desses desafios depende de uma articulação entre instituições de pesquisa, agências de fomento e o setor produtivo, promovendo um ambiente favorável à inovação e à transferência de tecnologia.

A criação de centros de referência e plataformas multi-usuárias é essencial para integrar competências dispersas, otimizar o uso de recursos e ampliar o acesso à infraestrutura de alto custo. Esses espaços devem funcionar como ambientes colaborativos e abertos, que favoreçam tanto a pesquisa acadêmica quanto o desenvolvimento de soluções aplicadas por empresas e *startups*. O modelo multiusuário amplia o impacto de investimentos públicos e estimula o compartilhamento de conhecimento, consolidando uma base técnica nacional sólida em bioprocessos e fermentação.

Paralelamente, o estímulo a parcerias público-privadas é determinante para viabilizar a sustentabilidade financeira dessas iniciativas e acelerar a maturação tecnológica das pesquisas. A aproximação entre universidades, centros tecnológicos e empresas permite direcionar os esforços de pesquisa para demandas reais do mercado, gerando inovação com aplicabilidade direta e aumentando a competitividade do setor nacional de biotecnologia e alimentos.

A agenda da fermentação e proteínas alternativas está intrinsecamente alinhada às políticas brasileiras de bioeconomia e inovação, contribuindo para a transição a sistemas alimentares mais sustentáveis, resilientes e eficientes. Essa convergência reforça a importância de integrar o tema a programas estratégicos de fomento à infraestrutura científica e tecnológica, como os conduzidos por Fundações de Amparo à Pesquisa (FAPs) e FINEP, por exemplo.

Por fim, a adaptação desse modelo ao contexto brasileiro requer atenção às particularidades regionais e institucionais. O aproveitamento da biodiversidade microbiana dos biomas nacionais, o uso de resíduos agroindustriais como substratos e a descentralização da infraestrutura, formando polos interconectados de pesquisa e desenvolvimento, são boas práticas que podem aumentar o impacto e a abrangência dessas iniciativas.

Ao integrar ciência, política pública e investimento estratégico, o Brasil tem a oportunidade de consolidar uma rede de centros de referência em fermentação que promova inovação de ponta, gera valor agregado à produção nacional e contribua para a segurança alimentar e o desenvolvimento sustentável.

8. Anexos

Anexo I - [Lista detalhada e completa de equipamentos](#)

Anexo II - [Lista de laboratórios certificados capazes de realizar as análises requeridas para o registro de alimentos no Brasil](#)

9. Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). *Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 58, de 17 de novembro de 2016.* Dispõe sobre as Boas Práticas de Laboratório (BPL) aplicadas a estudos não clínicos de segurança à saúde e ao meio ambiente. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 nov. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). *Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 17, de 16 de abril de 2010.* Dispõe sobre as Boas Práticas de Fabricação (BPF) de medicamentos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 19 abr. 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). *Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 259, de 20 de setembro de 2002.* Aprova o Regulamento Técnico sobre Rotulagem de Alimentos Embalados. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 set. 2002.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). *Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 275, de 21 de outubro de 2002.* Dispõe sobre o Regulamento Técnico de Procedimentos Operacionais Padronizados aplicados aos Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos e a Lista de Verificação das Boas Práticas de Fabricação. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 out. 2002.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). *Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 839, de 14 de dezembro de 2023.* Dispõe sobre o registro de novos alimentos e novos ingredientes sem histórico de consumo seguro no país. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 15 dez. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR ISO/IEC 17025:2017 – Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração.* Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR ISO 22000:2005 – Sistemas de gestão da segurança de alimentos – Requisitos para qualquer organização na cadeia produtiva de alimentos.* Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *ISO/TS 22002-1:2009 – Programas de pré-requisitos na segurança de alimentos – Parte 1: Fabricação de alimentos.* Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

BRASIL. *Lei nº 10.357, de 27 de dezembro de 2001.* Define normas de controle e fiscalização sobre produtos químicos que direta ou indiretamente possam ser destinados à elaboração de entorpecentes, psicotrópicos ou substâncias que determinem dependência física ou psíquica. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 dez. 2001.

BRASIL. *Decreto nº 3.665, de 20 de novembro de 2000.* Aprova o Regulamento para a Fiscalização de Produtos Controlados (R-105). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 21 nov. 2000.

BRASIL. *Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.* Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 ago. 2010.

BRASIL. *Lei nº 11.105, de 24 de março de 2005.* Regulamenta os incisos II, IV e V do § 1º do art. 225 da Constituição Federal, estabelece normas de segurança e mecanismos de fiscalização de atividades que envolvam organismos geneticamente modificados (OGM). Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 mar. 2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). *Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011.* Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357/2005. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 maio 2011.

GLOBAL METHANE HUB; CLIMATEWORKS FOUNDATION. *Global Innovation Needs Assessments: Food System Methane – Technical Report*. April 2023. San Francisco: ClimateWorks Foundation; Global Methane Hub, 2023. Disponível em: <https://www.climateworks.org/ginas-methane/>. Acesso em: 4 nov. 2025.

GOOD FOOD INSTITUTE. *2024 State of the Industry Report – Fermentation: Meat, seafood, eggs and dairy*. Washington, DC: GFI, 2024. Disponível em: <https://gfi.org/resource/fermentation-state-of-the-industry-report/>

HEIDEMANN, M. S., PEREIRA, I. DE O., MASKE, B. L., MASSAKI, S., MANZOKI, M. C., & REIS, G. G. (2024). *Fermentação de biomassa: aproveitando o potencial proteico dos microrganismos: fact sheet*. São Paulo: Tiibooks; The Good Food Institute Brasil. Disponível em:
<https://gfi.org.br/wp-content/uploads/2024/12/Fact-Sheet-Fermentacao-de-Biomassa-GFI-Brasil.pdf>

HEIDEMANN, M. S., PEREIRA, I. DE O., MASKE, B. L., MASSAKI, S., MANZOKI, M. C., & REIS, G. G. (2024). *Fermentação de precisão: a tecnologia que está revolucionando o setor de proteínas alternativas: fact sheet*. São Paulo: Tiibooks; The Good Food Institute Brasil. Disponível em:
<https://gfi.org.br/wp-content/uploads/2024/12/Fact-Sheet-Fermentacao-de-Precisao-GFI-Brasil.pdf>

HEIDEMANN, M. S., PEREIRA, I. DE O., MASKE, B. L., MASSAKI, S., MANZOKI, M. C., & REIS, G. G. (2024). *Fermentação tradicional: uma tecnologia ancestral gerando novas soluções para proteínas alternativas: fact sheet*. São Paulo: Tiibooks; The Good Food Institute Brasil. Disponível em:
<https://gfi.org.br/wp-content/uploads/2024/12/Fact-Sheet-Fermentacao-Tradicional-GFI-Brasil.pdf>

HEIDEMANN, M. S.; PEREIRA, I. O.; MASKE, B. L.; MASSAKI, S.; MANZOKI, M. C.; VALENTINI, N.; PRADO JÚNIOR, S. T.; REIS, G. G.; LEITOLIS, A.; AMBIEL, C.; SOCCOL, C. R.; KARP, S. G.. *Fermentação no Brasil: o potencial para a produção de proteínas alternativas*. São Paulo: Tikibooks; The Good Food Institute Brasil, 2025. DOI: doi.org/10.22491/978-65-87080-66-6

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO (MTE). *Norma Regulamentadora – NR 13: Caldeiras, Vasos de Pressão e Tubulações*. Aprovada pela Portaria MTb nº 3.214, de 8 de junho de 1978, com redação atualizada. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 6 jul. 2018.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Portaria nº 326, de 30 de julho de 1997*. Aprova o Regulamento Técnico sobre Condições Higiênico-Sanitárias e de Boas Práticas de Fabricação para Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1 ago. 1997.

SÃO PAULO (Estado). *Portaria CVS-6, de 10 de março de 1999*. Dispõe sobre o Regulamento Técnico sobre os Parâmetros e Critérios para o Controle Higiênico-Sanitário em Estabelecimentos de Alimentos. Coordenadoria de Vigilância Sanitária do Estado de São Paulo, São Paulo, SP, 10 mar. 1999.

SUTTON, WILLIAM R.; LOTSCH, ALEXANDER; PRASANN, ASHESH. 2024. *Recipe for a Livable Planet: Achieving Net Zero Emissions in the Agrifood System*. Agriculture and Food Series. © World Bank.
<http://hdl.handle.net/10986/41468>

Equipe do GFI Brasil

Alexandre Cabral

Vice-presidente de Políticas Públicas

Alysson Soares

Especialista de Políticas Públicas

Amanda Leitolis, Ph.D.

Especialista de Ciência e Tecnologia

Ana Carolina Rossettini

Gerente de Desenvolvimento

Ana Paula Rossettini

Analista de Recursos Humanos

Bruno Filgueira

Analista de Engajamento Corporativo

Camila Nascimento

Analista de Finanças e Operações

Camila Lupetti

Especialista de Engajamento Corporativo

Cristiana Ambiel, MS.

Gerente de Ciência e Tecnologia

Fabio Cardoso

Analista de Comunicação

Gabriela Garcia, MS.

Analista de Políticas Públicas

Gabriel Mesquita

Analista de ESG

Grazielle Karatay, Ph.D.

Especialista de Ciência e Tecnologia

Guilherme de Oliveira

Especialista de Engajamento Corporativo

Gustavo Guadagnini

Presidente

Isabela Pereira, Ph.D.

Analista de Ciência e Tecnologia

Julia Cadete

Analista de Operações

Karine Seibel

Gerente de Operações e Recursos Humanos

Lorena Pinho, Ph.D.

Analista de Ciência e Tecnologia

Luciana Fontinelle, Ph.D.

Especialista de Ciência e Tecnologia

Lívia Brito, MS.

Analista de Comunicação

Manuel Netto

Analista de Políticas Públicas

Mariana Bernal, MS.

Analista de Políticas Públicas

Mariana Demarco, Ph.D.

Analista de Ciência e Tecnologia

Natalia Figueiredo

Analista de Comunicação

Patrícia Santos

Assistente Executiva

Raquel Casselli

Diretora de Engajamento Corporativo

Vinícius Gallon

Gerente de Comunicação



Todo o trabalho desenvolvido pelo GFI é oferecido gratuitamente à sociedade e só conseguimos realizá-lo pois contamos com o suporte de nossa família de doadores. Atuamos de maneira a maximizar as doações de nossa comunidade de apoiadores, buscando sempre a maior eficiência na utilização dos recursos.

- GFI.ORG.BR
- [INSTAGRAM](#)
- [TIKTOK](#)
- [YOUTUBE](#)
- [LINKEDIN](#)

Ajude a construir uma cadeia de alimentos mais justa, segura e sustentável.

Doe para o GFI Brasil