



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS
ENGENHARIA DE ALIMENTOS

Matheus de Andrade Boeira

USO DE MICÉLIO DE FUNGOS COMO PROTEÍNA ALTERNATIVA - ESTADO DA ARTE, PATENTES E PRODUTOS DISPONÍVEIS (2017-2023)

Florianópolis

2024

Matheus de Andrade Boeira

USO DE MICÉLIO DE FUNGOS COMO PROTEÍNA ALTERNATIVA - ESTADO DA ARTE, PATENTES E PRODUTOS DISPONÍVEIS (2017-2023)

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia de Alimentos do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientadora: Profa. Dra. Patrícia Poletto
Coorientadora: Me. Marcel Bueno Santana Junior

Florianópolis

2024

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC.
Dados inseridos pelo próprio autor.

Boeira, Matheus de Andrade

Uso de micélio de fungos como proteína alternativa - estado da arte, patentes e produtos disponíveis (2017-2023) / Matheus de Andrade Boeira ; orientadora, Patrícia Poletto, coorientador, Marcel Bueno Santana Jr, 2024.

54 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia de Alimentos, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Engenharia de Alimentos. 2. Micélio de fungos. 3. Proteínas. 4. Fermentação. I. Poletto, Patrícia. II. Santana Jr, Marcel Bueno. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Alimentos. IV. Título.

Matheus de Andrade Boeira

USO DE MICÉLIO DE FUNGOS COMO PROTEÍNA ALTERNATIVA - ESTADO DA ARTE, PATENTES E PRODUTOS DISPONÍVEIS (2017-2023)

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro de alimentos e aprovado em sua forma final pelo Curso Engenharia de Alimentos.

Local Florianópolis, 8 de julho de 2024.



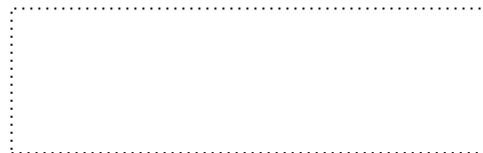
Coordenação do Curso

Banca examinadora



Profª. Patrícia Poletto

Orientador(a)



Profª. Jaciane Lutz Ienczak

Instituição Universidade Federal de Santa Catarina



Dra. Débora Trichez

Instituição Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 2024.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que foram essenciais, fornecendo todo o suporte necessário para a elaboração deste trabalho, especialmente aos meus orientadores, que contribuíram imensamente para a finalização e aperfeiçoamento de meu TCC. Agradeço também à minha família, principalmente meus pais, Jaqueline e Jair, além de Dislaine e Ketryn, pessoas muito especiais que auxiliaram de todas as formas a me manter firme e motivado durante todo o curso de Engenharia de Alimentos.

RESUMO

A busca por fontes alternativas de proteínas traz à tona o micélio de fungos filamentosos, estrutura capaz de conferir propriedades de textura e alto teor proteico a diversos tipos de alimentos, sendo produzido de maneira fácil e rápida, quando comparada às fontes proteicas convencionais. O número de trabalhos e patentes que o abordam passa por uma crescente nos últimos anos, revelando diversas inovações e melhorias possíveis de serem aplicadas, o que demonstra a importância e o potencial deste tema. A demanda por inovações e melhorias é constante e pertinente, com o foco sendo o desenvolvimento de novos alimentos à base de micélio e a aprimoração dos já existentes, com o objetivo de reduzir custos e melhorar os aspectos sensoriais dos alimentos produzidos. É possível encontrar no mercado internacional diversos produtos simulantes de alimentos já comercializados (salsichas, hambúrgueres, frango em cubos, bacon, almôndega, salmão, cream cheese, iogurtes de frutas), bem como ingredientes à base de micélio a serem adicionados para melhorar características sensoriais e substituir os convencionais (como farinhas e gorduras). Ainda são encontrados diversos desafios neste âmbito, como os custos de produção e estratégias de divulgação eficientes, que facilitem a inserção destes alimentos alternativos na dieta da população. Neste estudo, se buscou realizar uma revisão de artigos, patentes e sites de fornecedores de alimentos os quais tratavam o micélio de fungos filamentosos como uma possível alternativa alimentícia para a obtenção de proteínas.

Palavras-chave: micélio, proteína, fermentação.

ABSTRACT

The search for alternative protein sources brings to light the mycelium of filamentous fungi, a structure capable of providing texture properties and high protein content to distinct types of foods, being produced easily and quickly, when compared to conventional protein sources. The number of works and patents that address it has increased in recent years, revealing several innovations and improvements that can be applied, which demonstrates the importance and potential of this topic. The demand for innovations and improvements is constant and pertinent, with the focus being the development of new mycelium-based foods and the improvement of existing ones, with the aim of reducing costs and improving the sensorial aspects of the foods produced. It is possible to find on the international market several food simulating products already sold (sausages, hamburgers, diced chicken, bacon, meatballs, salmon, cream cheese, fruit yogurts), as well as mycelium-based ingredients to be added to improve sensory characteristics and replace conventional ones (such as flour and fats). Several challenges are still encountered in this area, such as production costs and efficient dissemination strategies, which facilitate the inclusion of these alternative foods in the population's diet. In this study, we sought to conduct a review of articles, patents and websites of food suppliers which treated filamentous fungal mycelium as a possible food alternative for obtaining proteins.

Keywords: mycelium; protein; fermentation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Dados de evolução do número de artigos publicados em busca realizada com a ferramenta de pesquisa Scopus entre os anos 2000 e 2023. a) Número de artigos usando as palavras-chave mycoprotein, food, mycelium, edible e feed e suas combinações. b) Número de artigos utilizando as palavras-chave *Ganoderma*, *Hericiium*, *Pleurotus*, *Neurospora crassa*, *Aspergillus* e *fusarium* combinados com meat. c) Solid-state fermentation e submerged fermentation combinadas com mycelium 18

Figura 2 – Biomassa micelial obtida de fermentação em estado sólido e submerso. a) micélio aéreo formado a partir de fermentação em estado sólido (VANDELOOK et al., 2021), b) Pellets de *Ganoderma lucidum* após fermentação submersa (PETRE; TEODORESCU, 2012, c) Pellets de *Lentinula edodes* formados após fermentação submersa (PETRE; TEODORESCU, 2012), d) Bebida vegana a base de pellets de *Ganoderma* (BIBI et al., 2023), e e) Biomassa de *Aspergillus oryzae* após remoção do excesso de líquidos (ROUSTA et al., 2021) 22

Figura 3 – Na figura a esquerda, o micélio em forma de compósito (modificado) produzido promovendo o crescimento fúngico em substrato fibroso lignocelulósico sólido e posteriormente submetido ao calor para inativar os micro-organismos e a direita em sua forma pura produzida por fermentação em estado sólido 23

Figura 4 – Produto à base de micélio que mimetiza bacon, comercializado pela Ecovative LLC..... 42

Figura 5 – Iogurtes à base de micélio comercializados pela © Nature’s Fynd. Onde a) iogurte de morango à base de micélio, b) iogurte de pêssigo a base de micélio e c) iogurte de baunilha à base de micélio 43

Figura 6 – Hambúrguer à base de micélio produzido pela © Nature’s Fynd 43

Figura 7 – Cream cheese original e com sabor cebolinha e cebola, comercializados pela © Nature’s Fynd..... 44

Figura 8 – Alguns exemplos de produtos veganos comercializados pela The Better Meat Co., dentre eles simulantes de carne bovina, de frango, de carangueijo, filé de peixe, foie gras e almôndegas 45

Figura 9 – Produtos comercializados pela © Mycorena. a) Promyc®, b) Mycolein™, c) filé de salmão vegano 46

Figura 10 – Produtos comercializados pela Meati Inc..... 47

Figura 11 – Alguns produtos sem carne comercializados pela Marlow Foods Inc, em ordem: nuggets, carne moída, frango em cubos, frango em cubos vegano, hambúrgueres de

frango apimentados veganos, filés de frango e hambúrgueres de frango, sendo alguns veganos e outros vegetarianos..... 48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Principais patentes relacionadas ao uso de micélio de fungos na alimentação, destacando os métodos de fermentação usados, qual o filo recomendado e possíveis aplicações do método criado. Busca realizada na plataforma Espacenet referente aos anos de 2017 até 2023. Na coluna “Filo recomendado”, A representa “Ascomycota”, B “Basidiomycota” e Z “Zygomycota” 34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Conteúdo de proteína presente nos corpos de frutificação de diferentes espécies de fungos filamentosos in natura	24
Tabela 2 – Conteúdo de proteína presente em micoproteínas (micélio de fungos filamentosos) provenientes de diferentes espécies de fungos filamentosos.....	25
Tabela 3 – Conteúdo de lipídios presente em diferentes espécies de fungos filamentosos	26
Tabela 4 – Conteúdo de carboidratos presente em diferentes espécies de fungos filamentosos	27
Tabela 5 – Conteúdo de fibras dietéticas totais em diferentes espécies de fungos filamentosos	28
Tabela 6 – Perfil de aminoácidos essenciais de diferentes espécies de fungos filamentosos (g/100g base seca)	29
Tabela 7 – Perfil de aminoácidos essenciais de diferentes fontes animais e outras fontes vegetais	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SmF	Fermentação submersa
SSF	Fermentação em estado sólido
n°	Número

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	OBJETIVOS.....	16
3	REVISÃO DE LITERATURA CIENTÍFICA	17
3.1	METODOLOGIA DE PESQUISA.....	17
3.2	AVALIAÇÃO DO NÚMERO DE ARTIGOS PUBLICADOS NA ÁREA.....	17
3.3	MICOPROTEÍNAS	19
3.4	FERMENTAÇÃO SUBMERSA E EM ESTADO SÓLIDO	21
3.5	COMPOSIÇÃO DE FUNGOS FILAMENTOSOS.....	23
3.5.1	Conteúdo proteico de fungos filamentosos.....	24
3.5.2	Outros compostos interessantes presentes em fungos filamentosos.....	25
3.5.3	Perfil de aminoácidos essenciais encontrados em diferentes espécies de fungos	28
3.5.4	Outros benefícios fisiológicos do consumo de fungos.....	30
3.6	SEGURANÇA ALIMENTAR.....	31
3.7	DESAFIOS ENCONTRADOS NA TRANSIÇÃO ALIMENTAR.....	32
4	PATENTES ENCONTRADAS NO MERCADO ALIMENTÍCIO.....	33
4.1	METODOLOGIA DE BUSCA POR PATENTES.....	33
4.2	PRINCIPAIS PATENTES.....	33
5	PANORAMA INDUSTRIAL DOS ALIMENTOS A BASE DE MICÉLIO DE FUNGOS.....	41
5.1	PRINCIPAIS PRODUTOS ENCONTRADOS NO MERCADO	41
5.1.1	Ecovative LLC.....	41
5.1.2	© Nature’s Fynd	42
5.1.3	The Better Meat Co.....	44
5.1.4	© Mycorena	45
5.1.5	Meati Inc	46
5.1.6	Marlow Foods Ltd.....	47
6	DESAFIOS E PERSPECTIVAS FUTURAS.....	48
7	CONCLUSÕES	49

1 INTRODUÇÃO

A busca por fontes alternativas de proteína é cada vez mais necessária nos tempos contemporâneos, seja pelo fato do crescimento exacerbado do número de seres humanos (gerando uma superpopulação), a crescente preocupação com o bem-estar animal, que diversas vezes são tratados de forma precária nos abatedouros, com foco na obtenção de sua carne, bem como a constante liberação de gás metano que potencializa o efeito estufa (EPA, 2020).

Entre as alternativas para obter proteínas e outros nutrientes relevantes para o desenvolvimento humano, surge o micélio de fungos filamentosos, estrutura capaz de fornecer altos teores proteicos ao serem incluídos na alimentação, com um perfil de aminoácidos completo, bem como diversos nutrientes, como lipídios, carboidratos, fibras dietéticas, minerais e outros benefícios (GOGAVEKAR et al., 2014; KIRSCH, 2013).

A rapidez com que alimentos à base de biomassa micelial podem ser produzidos, bem como a demanda por produtos inovadores em um mercado extremamente volátil e mutável, torna essa fonte de proteínas e diversos outros benefícios um potencial alimento, que pode ser moldado e modificado para se assemelhar a carnes convencionais (como bovina, de porco e/ou de frango). Apesar de diversos produtos que são à base de biomassa micelial no mercado internacional já existirem, diversas patentes e novos alimentos contendo micélio são criados constantemente, tornando os estudos científicos nesta área extremamente pertinentes. Isto, de fato, se concretiza ao analisar o número de artigos científicos referentes ao tema, que passam por um aumento crescente ano após ano, nos quais são buscadas linhagens alternativas de fungos filamentosos e melhorias na produtividade e rendimento das proteínas fúngicas produzidas. Diversos autores buscam aprimorar técnicas já existentes de processamento, alterando variáveis na fermentação, como o tempo de processamento, temperatura, umidade, dentre outros aspectos, que influenciam diretamente na qualidade e nas características organolépticas no produto gerado, que, deve acima de tudo, ser agradável para o consumidor, ter um bom custo-benefício e ser seguro para consumo, garantindo um alto teor proteico e se destacando como um alimento nutritivo e menos agressivo aos animais (ALHOMODI et al., 2021; ATILA, 2020; BIBI et al., 2023; GO et al., 1984; JIN et al., 2002; KIM et al., 2011; KIRSCH, 2013; ROUSTA et al., 2021; SEYED REIHANI; KHOSRAVI-DARANI, 2018; STEPHAN et al., 2018).

Outro ponto que comprova o aumento crescente de estudos nesta área é o número de patentes, com mais de 100 registradas de 2017 até 2023, as quais estão relacionadas com o micélio de fungos e a alta presença de proteínas obtidas por meio da fermentação. Nas patentes, são destacadas diversas formas de fermentação e de filos diferentes, demonstrando a versatilidade e potencial tecnológico deste alimento inovador, principalmente pela alta capacidade de simular alimentos feitos à base animal já existentes.

Visto o aumento no número de artigos com foco em aprimorar e criar alimentos contendo micélio de fungos filamentosos em sua composição, o surgimento de diversas patentes nos últimos anos, dentre as quais muitas pertencem a grandes empresas do ramo de alimentação alternativa e a crescente produção de novos alimentos proteicos por estas, surge a necessidade de pesquisar, analisar, comparar e destacar os principais artigos, patentes e produtos, evidenciando o que já está presente no mercado a disposição dos consumidores, bem como o potencial de aprimoração deste produto em meio a um mercado em ascensão. Por meio de estudos como o do presente trabalho, é possível destacar inovações importantes, que podem vir a resolver a problemática gerada pelas maneiras mais convencionais de obtenção de proteínas atualmente. Tais alimentos podem estar presentes no mercado brasileiro, mas, para isso, deve-se realizar pesquisas e trabalhos que possibilitem a criação de produtos interessantes aos consumidores nacionais.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi investigar, através de uma revisão abrangente em bases de dados científicas, de patentes e sites de produtos, o uso de micélio de fungos como uma fonte de proteína alternativa, demonstrando sua grande potencialidade de aplicação no mercado alimentício com exemplos de produtos já existentes neste ramo.

Os objetivos específicos deste trabalho foram divididos em:

- a. Realizar uma revisão bibliográfica da literatura dos principais componentes e macromoléculas presentes nos fungos filamentosos na busca de destacar vantagens com relação às fontes proteicas convencionais.
- b. Analisar patentes, destacando a técnica de fermentação utilizada, bem como o filo do micro-organismo, aplicações, requerentes e datas de publicação.

- c. Analisar e descrever produtos de diferentes empresas que atuam no mercado de alimentação com micélio de fungos filamentosos, citando suas principais características e composições.

3 REVISÃO DE LITERATURA CIENTÍFICA

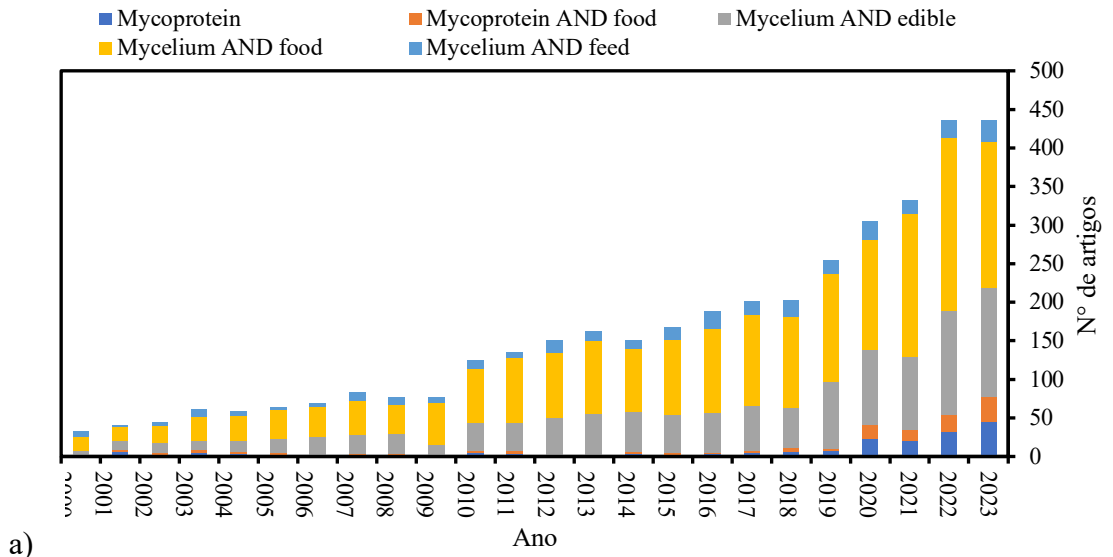
3.1 METODOLOGIA DE PESQUISA

O levantamento de dados e pesquisa foi realizado por meio de diversos artigos relacionados ao uso de micélios de fungos na alimentação. A busca foi feita com o auxílio da ferramenta de pesquisa Scopus[®], utilizando palavras-chave e suas combinações relacionadas ao tema supracitado (item 3.2), sendo possível obter gráficos relevantes e outras informações essenciais para justificar a importância da realização do presente trabalho.

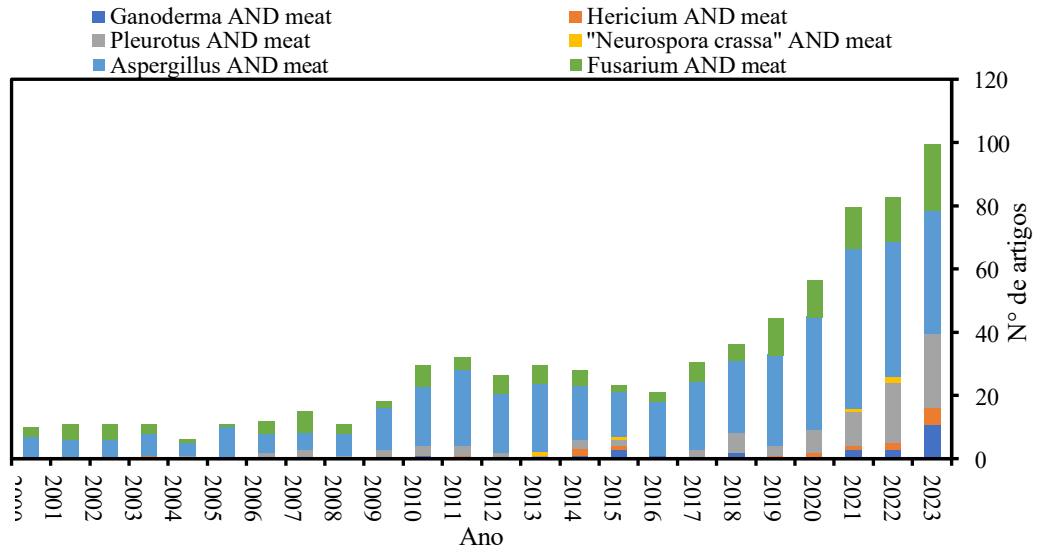
3.2 AVALIAÇÃO DO NÚMERO DE ARTIGOS PUBLICADOS NA ÁREA

O levantamento de dados relativos ao número de artigos publicados possibilitou a construção da Figura 1, a qual contém 3 gráficos distintos, que representam o número de artigos publicados por ano (desde 2000 até 2023) que contêm as palavras-chave citadas em Title-abs-key, sendo possível analisar a ocorrência destas com o passar do tempo. Na Figura 1a, as palavras-chave e as combinações utilizadas foram Mycoprotein, Mycoprotein AND food, mycelium AND edible, Mycelium AND food e Mycelium AND feed, com o intuito de avaliar a busca por termos genéricos relacionados ao tema. Já na Figura 1b, os termos utilizados para a pesquisa foram *Ganoderma* AND meat, *Hericium* AND meat, *Pleurotus* AND meat, “*Neurospora crassa*” AND meat, *Aspergillus* AND meat e *Fusarium* AND meat, as quais são as linhagens mais utilizadas nesse contexto. Por fim, na Figura 1c, os termos utilizados foram “Solid-state fermentation” AND Mycelium e “Submerged fermentation” AND Mycelium, com o objetivo de descrever a forma de produção mais aplicada.

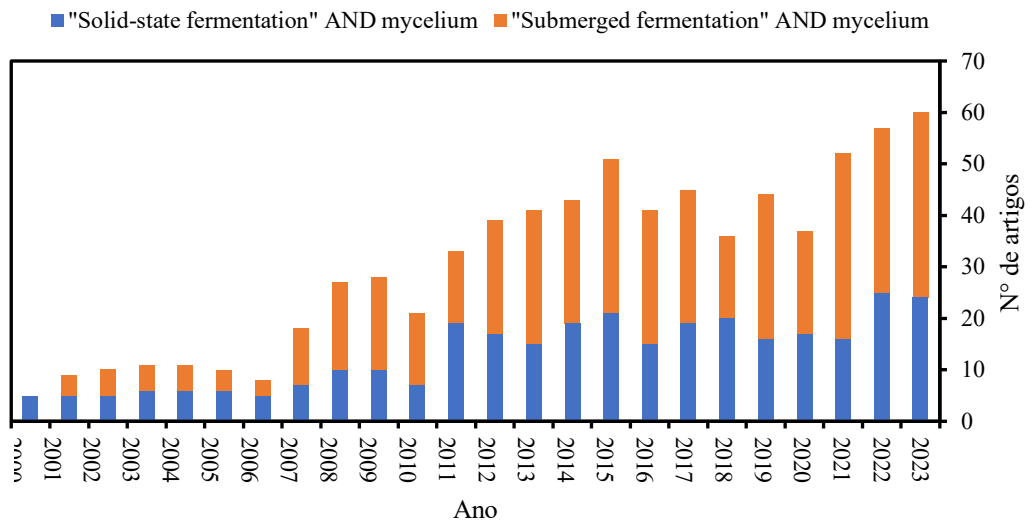
Figura 1 – Dados de evolução do número de artigos publicados em busca realizada com a ferramenta de pesquisa Scopus entre os anos 2000 e 2023. a) Número de artigos usando as palavras-chave mycoprotein, food, mycelium, edible e feed e suas combinações. b) Número de artigos utilizando as palavras-chave *Ganoderma*, *Hericium*, *Pleurotus*, *Neurospora crassa*, *Aspergillus* e *fusarium* combinados com meat. c) Solid-state fermentation e submerged fermentation combinadas com mycelium



a)



b)



c)

Fonte: elaborado pelo autor

Nota-se um aumento considerável no número de artigos que relacionam o uso de micélios na alimentação e de micoproteínas (aqui definidas como micélio de fungos filamentosos), de acordo com o retratado na Figura 1a, onde o número de artigos mais do que dobrou de 2017 até 2023, havendo salto significativo de 2021 até 2022, provavelmente devido ao fato da busca por proteínas alternativas ter se tornado um grande alvo no mercado de alimentos. O mesmo pode ser observado na Figura 1b, onde 3 dos fungos citados são do filo Ascomycota e 3 do filo Basidiomycota amplamente pesquisados, se destacando o uso de *Aspergillus* (pertencente ao filo Ascomycota) no período de 2017 até 2023, sendo que o número de artigos mais do que triplicou neste período, demonstrando a crescente ocorrência de fungos filamentosos pesquisados e sua relação com o termo carne. Na Figura 1c, pode-se perceber um aumento nos últimos anos em se tratando de fermentações submersas e em estado sólido, bem como suas relações com a palavra-chave micélio, com um aumento quase de 50% de 2017 até 2023, sendo que a fermentação submersa se destacou como a mais utilizada ao longo do tempo. As pesquisas realizadas demonstram a relevância da aplicação de fermentações no micélio de fungos, que podem ser destacados para aplicações alimentícias, farmacêuticas, microbiológicas, na agricultura e em estudos genéticos, que buscam melhorar características intrínsecas destes.

3.3 MICOPROTEÍNAS

O aumento populacional acentuado atrelado ao aumento anual do consumo de carne pela população cria a necessidade da obtenção de diferentes fontes proteicas, visto que as projeções indicam uma limitação da capacidade produtiva de proteínas a partir de carne animal. Além do aumento populacional, o aumento da renda está atrelado ao aumento no consumo de carne, que quadruplicou de 1961 até 2019 (WHITTON et al., 2021). Este fato é constatado na Lei de Bennett, que mostra que quanto mais as pessoas enriquecem, tendem a se alimentar menos com alimentos ricos em amido e mais de grãos refinados, frutas, vegetais, carne e laticínios (GODFRAY et al., 2018). Apesar de que em alguns países, muitas pessoas não possuem condições de comprar grandes quantidades de carne para se alimentar, em diversos outros o preço proporcional da carne em comparação com a renda média das pessoas é o menor da história e, grandes investimentos em anúncios e marketing atraem os consumidores para o consumo de carne (GODFRAY et al., 2018). Como a segurança do consumo de carne cultivada em laboratório ainda é incerta (KEE et al., 2022), o uso de fungos para obter proteína é visto como uma alternativa viável, visto a sua similaridade com as proteínas animais, do ponto de

vista nutricional e sensorial e a alta proporção de proteínas presentes nos fungos (KEE et al., 2022). Neste sentido, é possível definir as micoproteínas como uma proteína fúngica que foi submetida ao processo de fermentação, resultando em uma alta massa proteica, assumindo assim, texturas semelhantes a carne convencional (LEE et al., 2023).

Fungos filamentosos são micro-organismos de morfologia complexa, que pode variar de acordo com seu estado de crescimento. Apresentam um filamento tubular definido como hifa, que se desenvolve por meio de ramificações, que ao todo representam uma massa de filamentos de hifas, conhecidos como micélios, estruturas que podem ser cultivadas de diferentes maneiras. A sua forma final depende de algumas características de cultivo/processamento, como a espécie utilizada, composição do meio de cultivo, temperatura utilizada e pH (PAPAGIANNI, 2004).

As hifas criam uma textura com potencial de imitar a textura da carne, sendo possível produzir dentre alguns exemplos, salsicha cozida vegana utilizando micélio de *Pleurotus sabidus*, a qual demonstrou características similares a salsicha convencional. Hambúrgueres à base de micélio de *Agaricus bisporus* produzidos em fermentação submersa, apresentaram dureza, força e aceitabilidade melhores que de hambúrgueres produzidos com proteína de soja, obtendo um conteúdo de proteínas de 32,46% (KIM et al., 2011; STEPHAN et al., 2018).

A indústria global de cogumelos está em crescente expansão, possuindo estes fungos características que agradam os consumidores, como sabores e aromas únicos e característicos, com alta concentração de proteínas digeríveis - variando entre 10 até 40% em base seca – além de outros compostos interessantes, como fibras dietéticas, minerais essenciais (ferro, cobre, zinco e manganês), sendo que todos esses compostos variam dependendo da espécie do cogumelo utilizado e das condições nas quais ele foi cultivado (GOGAVEKAR et al., 2014). Em referência às características intrínsecas a biomassa de micélios (raízes vegetativas), existe uma semelhança entre diversos compostos quando comparados com os corpos de frutificação, sendo o conteúdo de cinzas 6,1% e 5,8%, de glicogênio 13,4% e 13,3%, de ácidos graxos 1,6% e 1,5% (apesar da biomassa micelial apresentar maior quantidade de ácidos graxos saturados que o corpo de frutificação), de proteínas 24,3% e 23,3% e de nitrogênio total 4% e 3,8%, respectivamente, para os corpos de frutificação e de biomassa a partir dos micélios, em termos de proporção (KIRSCH, 2013). Assim, a semelhança de diversas características nutricionais do micélio com os corpos de frutificação, bem como o fato das micoproteínas possuírem propriedades sensoriais atrativas, são vantagens importantes, visto o consumo de cogumelos já ser amplamente validado e normalizado, o que facilitaria a inserção de mais uma estrutura fúngica na alimentação.

Comparando a produção de micoproteínas com as proteínas convencionais, seja de origem animal ou vegetal, destaca-se a necessidade de espaços de cultivo significativamente menores (WANG et al., 2023b). Além disso, o tempo de cultivo é consideravelmente menor, sendo de no máximo 15 dias quando comparado com o de frangos (aproximadamente 45 dias) e de bois (aproximadamente 2 anos).

Com relação a forma de produzir o micélio, alguns tipos de fermentação são indicados, sendo os principais a submersa e em estado sólido, as quais se diferem com relação às vantagens e desvantagens, que acarretam diretamente nas propriedades da biomassa micelial gerada no fim do processamento.

3.4 FERMENTAÇÃO SUBMERSA E EM ESTADO SÓLIDO

Definida como uma fermentação microbiana realizada em materiais insolúveis na quase ausência de corrente de líquido, a fermentação em estado sólido é um processo emergente e aplicado com menor frequência em bioprocessos quando comparada com a fermentação submersa. Entretanto, devido a maior produtividade, menor contaminação de águas residuais e do substrato utilizado e menores gastos energéticos, a fermentação em estado sólido surge como uma opção viável, devido também ao fato de a faixa ideal de atividade de água para o crescimento de fungos ser de 0,5 a 0,6, sendo inferior à das bactérias (0,8 a 0,9), se tornando mais recomendado utilizar a primeira devido à maior facilidade de esta simular o ambiente natural no qual fungos crescem (WANG et al., 2023b).

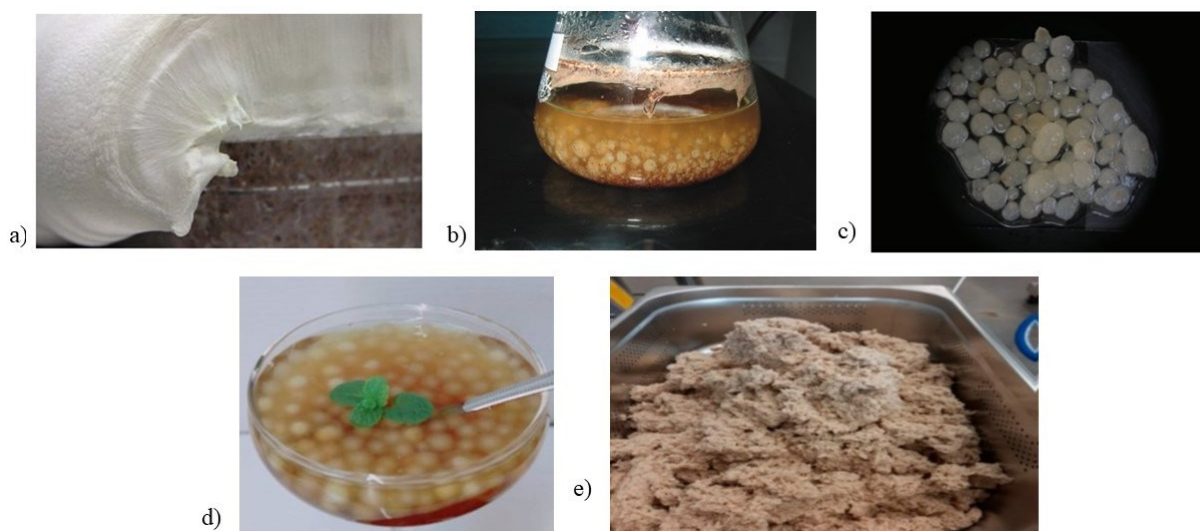
A fermentação submersa é um processo no qual ocorre o crescimento da biomassa de fungos em um meio com abundante água livre e nutrientes dissolvidos, podendo ser realizada de forma contínua, em batelada ou semi-batelada (BARZEE et al., 2021). Existem algumas vantagens e desvantagens ao comparar o uso da fermentação submersa com a feita em estado sólido. Na primeira, a medida, bem como o controle dos parâmetros e a purificação do micélio são mais simples, o tempo de fermentação necessário é reduzido, e há a possibilidade de formação de pellets (BIOSCIENCENOTES, 2019). Quanto às desvantagens da fermentação submersa, os custos relacionados ao meio de cultivo são maiores, bem como os equipamentos e o consumo de energia elétrica, sendo um processo mais sensível e com maior chance de contaminação (BIOSCIENCENOTES, 2019).

Um possível processo para alcançar uma proteína inteiramente composta por micélios foi realizado por (BARTHOLOMAI et al., 2022), inoculando um conídio de *N. crassa* em um meio estéril, sendo realizada a fermentação submersa controlada em biorreator, onde ocorre

uma expansão aplicando agitação e aeração do ambiente formando uma suspensão líquida densa e altamente dispersa. Para a formação do produto, o micélio formado foi colhido, enxaguado e teve uma parcela da água retirada, sendo posteriormente triturado, desidratado e desvitalizado, sendo possível obter a micoproteína de *N. crassa* seca, a qual pode ser usada para substituir ou agregar diferentes produtos cárneos, como o peito de frango, carnes e hambúrgueres.

Assim, as diferenças na biomassa micelial obtidas em diferentes tipos de fermentação podem variar de acordo com o método de fermentação utilizado, condições de operação, micro-organismo utilizado entre outros fatores. A diferença entre as biomassas obtidas entre os métodos é apresentada na Figura 2.

Figura 2 – Biomassa micelial obtida de fermentação em estado sólido e submerso. a) micélio aéreo formado a partir de fermentação em estado sólido (VANDELOOK et al., 2021), b) Pellets de *Ganoderma lucidum* após fermentação submersa (PETRE; TEODORESCU, 2012, c) Pellets de *Lentinula edodes* formados após fermentação submersa (PETRE; TEODORESCU, 2012), d) Bebida vegana a base de pellets de *Ganoderma* (BIBI et al., 2023), e e) Biomassa de *Aspergillus oryzae* após remoção do excesso de líquidos (ROUSTA et al., 2021)



Fonte: elaborado pelo autor

Além de aplicações alimentícias, outros materiais a base de micélios podem ser produzidos de duas formas diferentes, sendo possível dividir o produto em: compósitos – os quais são produzidos por meio do crescimento do micro-organismo em um substrato lignocelulósico sólido fibroso, que terá suas fibras entrelaçadas pelo micélio produzido

formando uma matriz – ou micélio em sua forma pura, produzido utilizando diferentes técnicas de fermentação (em estado sólido, porém em condições que induzem o crescimento do micélio aéreo, submerso ou cultivo líquido e superficial em estado líquido), sendo a primeira a técnica mais utilizada para a produção de espumas e materiais semelhantes ao couro. Em condições adequadas, é possível promover o crescimento aéreo destes micélios, formando uma camada espessa e espumosa acima do substrato sólido ou a formação de um tapete de micélios sobre uma superfície líquida, podendo ambos os produtos supracitados passarem por diferentes tratamentos físicos e químicos com o objetivo de obter produtos com diferentes características interessantes. Exemplos de materiais citados se encontram na Figura 3 (PEETERS; SALUEÑA MARTIN; VANDELOOK, 2023).

Figura 3 – Na figura a esquerda, o micélio em forma de compósito (modificado) produzido promovendo o crescimento fúngico em substrato fibroso lignocelulósico sólido e posteriormente submetido ao calor para inativar os micro-organismos e a direita em sua forma pura produzida por fermentação em estado sólido



Fonte: PEETERS; SALUEÑA MARTIN; VANDELOOK, 2023

3.5 COMPOSIÇÃO DE FUNGOS FILAMENTOSOS

O conteúdo de diferentes compostos presentes nos fungos filamentosos é bastante semelhante quando comparamos seus corpos de frutificação e as suas raízes (micélios), o que facilita a inserção do micélio na alimentação (BERGER et al., 2022; KIRSCH, 2013).

3.5.1 Conteúdo proteico de fungos filamentosos

Existem diversos estudos analisando a quantidade de proteína presente em diferentes espécies de fungos filamentosos, mais especificamente em seus corpos de frutificação. Conforme a Tabela 1, existem diferentes níveis de conteúdo proteico em micro-organismos *in natura*, com este variando na faixa de 16,4% no fungo *Pleurotus eryngii* até 33,4% em *Agaricus brasiliensis*.

Tabela 1 – Conteúdo de proteína presente nos corpos de frutificação de diferentes espécies de fungos filamentosos *in natura*

Micro-organismo	%PTN (B.S)	Referência
<i>Agaricus brasiliensis</i>	33,4	(WANG et al., 2023b)
<i>Pleurotus ferulae</i>	30,3	
<i>Pleurotus sajor-caju</i>	29,3	(GOGAVEKAR et al., 2014)
<i>Pleurotus nebrodensis</i>	27,7	
<i>Agaricus bisporus</i>	26,9	
<i>Pleurotus ostreatus</i>	22,5	(WANG et al., 2023b)
<i>Pleurotus djamor</i>	15,6 - 22,5	
<i>Pleurotus sapidus</i>	20,4	
<i>Flammulina velutipes</i>	19,0	
<i>Pleurotus eryngii</i>	16,4	(NIE et al., 2019)

Fonte: elaborado pelo autor

Na Tabela 2 está presente o conteúdo de proteína contido em algumas micoproteínas, bem como o método de fermentação utilizado na produção. Foi possível obter 49,9% de proteína por meio da fermentação do micélio de *Neurospora crassa* e 49,6% utilizando o co-cultivo de *N. crassa* + *Aureobasidium pullulans*, ambas na mesma condição de fermentação em estado sólido. Utilizando a fermentação submersa obteve-se diferentes porcentagens de proteína, variando de 25,2% utilizando *Ganoderma lucidum* até 48,0% com o micélio do fungo *Fusarium sp.*. Alguns fatores podem ser causadores desta diferença, conforme destacado em tópicos anteriores, como a espécie utilizada e o seu metabolismo próprio, as condições de cultivo e fermentação (temperatura, pH, umidade, método utilizado) e o substrato utilizado (GOGAVEKAR et al., 2014; PAPAGIANNI, 2004).

Tabela 2 – Conteúdo de proteína presente em micoproteínas (micélio de fungos filamentosos) provenientes de diferentes espécies de fungos filamentosos

Micélio do micro-organismo	%PTN (B.S)	Fermentação	Referência
<i>Neurospora crassa</i>	49,9	SSF	(ALHOMODI et al., 2021)
<i>Aureobasidium pullulans</i> + <i>N. crassa</i>	49,6	SSF	
<i>Fusarium sp.</i>	48,0	SmF	(KIM et al., 2011)
<i>Hericium erinaceus</i>	42,5	SmF	(COHEN et al., 2014)
<i>Agaricus bisporus</i>	32,5	SmF	(KIM et al., 2011)
<i>Ganoderma lucidum</i>	25,2	SmF	(COHEN et al., 2014)

Fonte: elaborado pelo autor

SmF: Fermentação submersa e SSF: Fermentação em estado sólido

Desta forma, é possível notar a elevada quantidade de proteínas obtidas a partir do consumo de fungos filamentosos, destacando mais um ponto positivo no que tange o consumo dessa categoria de alimentos quando incluído em uma dieta humana e animal. O uso da fermentação destes micro-organismos possibilitou a obtenção de grandes quantidades de proteína no produto, conforme demonstrado por diversos autores.

3.5.2 Outros compostos interessantes presentes em fungos filamentosos

Além da expressiva quantidade de proteína encontrada em fungos filamentosos, existem diversos outros compostos interessantes que podem ser obtidos. Na Tabela 3 é possível constatar, por meio da análise do conteúdo de lipídios presente em alguns fungos, que o menor valor foi de 0,91% (m/m) em *Pleurotus sajor-caju* e de 7% (m/m) em *Aspergillus oryzae* utilizando fermentação submersa. O teor de gorduras presente em carnes de fontes animais pode variar, sendo em média de 3,2% em peito de frango sem pele cozido, 6,4% para lombo de porco assado e 10,9% para acém bovino moído e cozido (BRASIL, 2011), havendo assim, espécies de fungos com quantidade maiores e menores de lipídios que algumas proteínas de fontes animais.

Tabela 3 – Conteúdo de lipídios presente em diferentes espécies de fungos filamentosos

Espécie	Quantidade	Referência
<i>Aspergillus oryzae</i>	7,0%	(KARIMI et al., 2019)
<i>Rizhopus oryzae</i>	5,5%	
<i>Neurospora intermedia</i>	3,5%	
<i>Ganoderma lucidum</i>	3,0% - 5,0%	(WANG et al., 2017)
<i>Agaricus bisporus</i>	4,3%	(KALAIČ, 2016)
<i>Neurospora crassa</i>	3,6%	(BARTHOLOMAI et al., 2022)
<i>Fusarium venenatum</i>	2,0% - 3,5%	(SEYED REIHANI; KHOSRAVI-DARANI, 2018)
<i>Pleurotus sajor-caju</i>	0,91%	(GOGAVEKAR et al., 2014)

Fonte: elaborado pelo autor

Com relação aos carboidratos presentes em fungos filamentosos, na Tabela 4 estão listados dados referentes ao conteúdo de carboidratos em diferentes espécies de fungos filamentosos, sendo encontradas proporções maiores deste componente quando comparados com a quantidade de lipídios, variando de 5,8% em *Agaricus bisporus* até a faixa de 38%, encontrada em micélio de *Neurospora crassa* produzido por fermentação submersa, sendo estes principalmente fibras dietéticas e outros açúcares. Com relação às fontes animais, há pouca quantidade de carboidratos, sendo constituídas principalmente de glicogênio, sendo que o conteúdo deste varia de acordo com a espécie e o corte do animal, podendo chegar até 0,1% após a finalização das modificações que ocorrem no período *post-mortem* (ROÇA. 2008). Como pode ser observado, são encontradas proporções maiores de carboidratos nos fungos citados, quando comparados com as fontes animais.

Tabela 4 – Conteúdo de carboidratos presente em diferentes espécies de fungos filamentosos

Espécie	Quantidade	Referência
<i>Neurospora crassa</i>	38,0%	(BARTHOLOMAI et al., 2022)
<i>Ganoderma lucidum</i>	26,0% - 28,0%	(WANG et al., 2017)
<i>Aspergillus oryzae</i>	24,3%	(BARZEE et al., 2021)
<i>Pleurotus eryngii</i>	15,6%	(KALAČ, 2016)
<i>Fusarium venenatum</i>	12%	(BARZEE et al., 2021)
<i>Pleurotus sajor-caju</i>	8,92%	(KALAČ, 2016)
<i>Flammulina velutipes</i>	8,2%	(KALAČ, 2016)
<i>Agaricus bisporus</i>	5,8%	(KALAČ, 2016)

Fonte: elaborado pelo autor

Além disso, com relação ao conteúdo de fibras dietéticas totais, conforme apresentado na Tabela 5, é possível notar uma variação entre 16,2% e 59%, representado por *Aspergillus oryzae* e *Ganoderma lucidum*, respectivamente. Já em relação aos produtos cárneos animais, não há um conteúdo significativo de fibras dietéticas em sua composição (USDA, 2019), o que configura mais um ponto positivo quanto ao consumo de fungos frente aos produtos cárneos, visto a possibilidade de obter uma outra macromolécula interessante para o bom funcionamento do organismo humano.

Tabela 5 – Conteúdo de fibras dietéticas totais em diferentes espécies de fungos

Espécie	Quantidade	Referência
<i>Ganoderma lucidum</i>	59,0%	(WANG et al., 2017)
<i>Hericium erinaceus</i>	47,0%	(YU et al., 2020)
<i>Agaricus bisporus</i>	31,0%	(KALACĚ, 2016)
<i>Neurospora crassa</i>	30,0%	(BARTHOLOMAI et al., 2022)
<i>Pleurotus eryngii</i>	27,5%	(YU et al., 2020)
<i>Pleurotus sajor-caju</i>	27,0%	(KALACĚ, 2016)
<i>Fusarium venenatum</i>	25,0%	(BARZEE et al., 2021)
<i>Aspergillus oryzae</i>	16,2%	(BARZEE et al., 2021)

Fonte: elaborado pelo autor

3.5.3 Perfil de aminoácidos essenciais encontrados em diferentes espécies de fungos

O perfil de aminoácidos encontrado em diferentes fungos pode variar tanto em composição total quanto em relação aos aminoácidos específicos. Conforme a Tabela 6, os fungos *A. bisporus* e *P. ostreatus* apresentam todos os aminoácidos essenciais, além de serem o 4º e 5º, respectivamente, com o maior valor total de conteúdo destes aminoácidos. Os fungos que mais contêm aminoácidos são, respectivamente, *N. intermedia* e *A. oryzae*, com 13,6 e 11,7 g/100g em base seca. A maioria dos fungos citados na Tabela 6 não apresentam o valor do conteúdo referente ao triptofano, provavelmente devido a fácil degradação do mesmo, o que dificulta sua quantificação.

Tabela 6 – Perfil de aminoácidos essenciais de diferentes espécies de fungos filamentosos (g/100g base seca)

	<i>Agaricus bisporus</i>	<i>Pleurotus ostreatus</i>	<i>Aspergillus oryzae</i>	<i>Fusarium venenatum</i>	<i>Lentinula edodes</i>	<i>Neurospora intermedia</i>	<i>Pleurotus eryngii</i>	<i>Ganoderma lucidum</i>	<i>Hericium erinaceus</i>
Histidina	0,69	0,69	0,68	0,50	0,31	0,9	0,50	0,3	0,6
Isoleucina	1,26	0,85	1,13	0,60	0,10	1,6	0,83	0,7	1,6
Leucina	1,87	1,41	2,50	1,00	0,30	2,7	1,19	1,1	2,7
Lisina	1,52	1,23	2,29	1,20	0,30	2,4	1,11	0,5	0,9
Metionina	0,59	0,37	0,46	0,30	N.E	0,6	0,23	0,5	0,8
Fenilalanina	1,21	1,05	1,60	0,60	0,32	1,6	0,72	0,7	1,6
Treonina	1,50	1,29	1,28	0,80	0,07	1,8	0,82	1	2
Triptofano	0,50	0,24	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E	N.E
Valina	1,58	1,36	1,76	0,80	0,91	2	1,57	1	1,6
Total	10,72	8,49	11,70	5,80	2,31	13,6	6,97	5,80	11,8
Referências	(WANG et al., 2023b)	(WANG et al., 2023b)	(BARZEE et al., 2021)		(FARHAN; CHE, 2023)	(KARIMI et al., 2019)	(NIE et al., 2019)	(COHEN et al., 2014)	

Fonte: elaborado pelo autor

N.E: Não especificado

Quando comparamos o conteúdo destes aminoácidos presentes em diferentes espécies de fungos com os de outras fontes vegetais e animais, é possível constatar valores totais de aminoácidos semelhantes entre as fontes, com valores maiores e menores aos encontrados em fontes convencionais. Os micro-organismos com valores totais de aminoácidos essenciais maiores que os de lombo de porco cozido (o qual possui o maior valor total apresentado) encontrados foram *Neurospora intermedia* e *Hericium erinaceus*, com 13,6 e 11,7 g/100g de peso total do micro-organismo em base seca. Além disso, ao comparar as tabelas 6 e 7, nota-se que grande parte dos fungos contêm proporções maiores de histidina que 4 das 5 fontes animais citadas (excluindo o lombo de porco cozido), o mesmo acontece com os aminoácidos isoleucina, leucina, lisina e treonina.

Tabela 7 – Perfil de aminoácidos essenciais de diferentes fontes animais e outras fontes vegetais

	<i>Prime rib cozido</i>	Tiras de frango	Lombo de porco cozido	Tofu firme cru	Grão-de-bico cozido
Histidina	0,77	0,66	1,07	0,41	0,24
Isoleucina	1,01	0,84	1,26	0,85	0,38
Leucina	1,78	1,55	2,18	1,4	0,63
Lisina	1,88	1,61	2,45	0,88	0,59
Metionina	0,58	0,52	0,71	0,21	0,12
Fenilalanina	0,88	1,44	1,09	0,84	0,48
Treonina	0,98	0,80	1,23	0,78	0,33
Triptofano	0,25	0,22	0,34	2,40	0,08
Valina	1,10	0,91	1,47	0,87	0,37
Total	9,23	8,55	11,8	8,64	3,22
Referência	(USDA, 2019)				

Fonte: elaborado pelo autor

3.5.4 Outros benefícios fisiológicos do consumo de fungos

Fungos comestíveis apresentam diversas propriedades interessantes, como a redução de colesterol LDL e inibidores de apetite – auxiliando em dietas com restrição calórica – além de que produtos análogos a carne contendo micélio de fungos apresentam melhores características quanto a textura, dureza, elasticidade, mastigabilidade e de gosto umami quando comparados com os análogos a carne utilizando proteína de soja (KIM et al., 2011). Ademais, as micoproteínas podem ser usadas como aditivos alimentares, conferindo melhorias nos alimentos que as possuem em sua composição, podendo ser adicionadas em diversos produtos devido à alta solubilidade e capacidade de retenção de óleo, propriedades emulsificantes e de formação de espuma. Além disso, diversos fungos apresentam proteínas ativas que possuem

atividades fisiológicas, dentre elas algumas espécies com atividade antitumoral (*Aspergillus niger*, *Agaricus bisporus*, *Fusarium solani* e *Ganoderma lucidum*), anti-inflamatória (*Ganoderma microsporum*, *Flammulina velutipes* e *Pleurotus eryngii*), antioxidante (*Penicillium sp. nov.*), antiviral (*Pellagra ostreatus* e *Agrocybe aegerita*) e antidiabética (*Agaricus bisporus*) (WANG et al., 2023a).

3.6 SEGURANÇA ALIMENTAR

De acordo com (BARTHOLOMAI et al., 2022), a micoproteína do micro-organismo *Neurospora crassa* não apresenta produção de toxinas nem relatos de casos de patogenicidade em humanos, animais ou plantas, não possuindo assim as micotoxinas mais comuns, dentre elas: a aflotoxina, fumonisina, ocratoxina, tricoteceno, vomitoxina e zearalenona. Além disso, não foi possível detectar potencial alergênico em ingredientes dietéticos de *N. crassa*, não associando o consumo do micélio deste fungo a riscos à saúde.

Conforme descrito por (FINNIGAN et al., 2019), micoproteínas são seguras e adequadas para serem usadas como ingrediente como fonte de proteína na dieta. Diversos estudos foram realizados para analisar a segurança do consumo da micoproteína de *Fusarium venenatum* da marca Quorn® - a qual possui seus produtos comercializados em 17 países por meio da distribuição de produtos congelados e refrigerados – e, apesar de alguns raros casos de alergenicidade detectada em alguns estudos, os episódios foram exceção, portanto não são suficientes para tornar o seu consumo perigoso.

Nesse sentido, conforme destacado por (BERGER et al., 2022) em sua pesquisa, “há poucas razões cientificamente fundamentadas para duvidar da segurança e do valor nutricional dos micélios de fungos comestíveis se forem produzidos sob condições controladas num ambiente definido”, sendo pertinente destacar que o correto uso das técnicas de fermentação e de manipulação do micélio podem ajudar a garantir a segurança alimentar do produto a ser comercializado.

Assim, a segurança alimentar deve ser levada em consideração na busca de alimentos inovadores e desconhecidos para a população. Apesar de diversas vantagens em relação ao consumo de micoproteínas, aliado ao fato de que geralmente o micélio de fungos é considerado seguro para consumo e fonte de diversos nutrientes, bem como a existência de inúmeros estudos comprovando a segurança do uso deste insumo na fabricação de alimentos análogos a carne, é essencial a execução de testes de segurança e de aceitabilidade com a biomassa fermentada

utilizada na produção de micoproteínas antes de a disponibilizar para o consumo do público geral (WANG et al., 2023a).

3.7 DESAFIOS ENCONTRADOS NA TRANSIÇÃO ALIMENTAR

Apesar de a produção atual responsável por prover fontes proteicas seja principalmente de fontes animais e necessitar de alternativas para garantir um suprimento sustentável no longo prazo, diversos desafios podem ser encontrados ao realizar essa transição alimentar. Inicialmente, algumas barreiras políticas e de aspectos legais, bem como a aplicação de tributações podem dificultar o estabelecimento de opções proteicas, tomando como exemplo os impostos incidentes em bebidas à base de plantas, os quais inicialmente eram consideravelmente maiores que as bebidas lácteas comercializadas, fato que recentemente foi alterado. Entretanto, demonstra que inicialmente os produtos proteicos à base de micélio de fungos filamentosos podem sofrer taxações as quais dificultem a sua escalabilidade. Além disso, a criação de valor por parte dos produtores das fontes alternativas de proteína pode ser um gargalo no crescimento das vendas (DE MORAES; CLARO; RODRIGUES, 2023).

Ademais, as características sensoriais possuem um elevado peso na tomada de decisão por parte dos consumidores, que serão o foco principal das empresas para a realização da escolha entre um produto cárneo animal ou a partir de vegetais.

Assim, a definição do fungo a ser utilizado e as características da produção do análogo de carne, terão impacto imediato no sabor (que pode ser acompanhado de temperos para diferenciar o sabor do produto e torná-lo mais semelhante a carne animal), na textura (a qual pode ser alterada adicionando algumas substâncias, como a albumina, utilizada pela empresa QuornTM, ou utilizando alguns equipamentos, como prensas e extrusoras. Além disso, a cor do produto é característica determinante que pode ser alterada por meio do uso de corantes, que dependem diretamente do fungo a ser usado, que pode possuir pigmentos próprios e enzimas.

Por fim, cabe destacar as dificuldades culturais desta transição alimentar, principalmente em localidades em que o consumo de carne animal é habitual e enraizado, se concretizando como mais uma barreira a esta mudança significativa, mas necessária, sendo a estratégia de divulgação adotada é crucial para a inserção do micélio de fungos na alimentação. Desta forma, a estratégia de divulgação adotada e a sensibilização dos consumidores são cruciais para a inserção do micélio de fungos na alimentação.

4 PATENTES ENCONTRADAS NO MERCADO ALIMENTÍCIO

4.1 METODOLOGIA DE BUSCA POR PATENTES

Para a obtenção das patentes acerca do tema, foi realizada a busca em ferramenta de pesquisa de patentes “Espacenet”, utilizando as classificações e termos “(A23 OR A01 OR C12) AND mycelium AND food AND fungi AND protein AND submerged AND fermentation”, sendo possível obter diversos resultados que estão listados a seguir.

4.2 PRINCIPAIS PATENTES

Após a realização da busca pelas patentes, foi possível encontrar 411 resultados utilizando os termos citados. Por meio de seleção manual, 102 foram escolhidos como os que melhores se encaixavam na pesquisa atual e, destes, 31 foram inseridos no Quadro 1. Estes são os resultados indispensáveis a serem demonstrados, devido ao fato de tratarem de maneira mais objetiva o uso do micélio de fungos na alimentação, citando a produção de alimentos mais similares aos já consumidos utilizando desta tecnologia. Cabe destacar também que muitas das patentes já foram validadas e estão sendo comercializadas por grandes empresas do ramo, dentre as quais terão seus produtos descritos posteriormente.

Quadro 1 – Principais patentes relacionadas ao uso de micélio de fungos na alimentação, destacando os métodos de fermentação usados, qual o filo recomendado e possíveis aplicações do método criado. Busca realizada na plataforma Espacenet referente aos anos de 2017 até 2023.

Na coluna “Filo recomendado”, A representa “Ascomycota”, B “Basidiomycota” e Z “Zygomycota”

No	Código da patente	Título traduzido	Fermentação indicada	Filo recomendado	Possíveis aplicações	Requerentes	Data de publicação
1	CN117305131A	Cepa <i>Neurospora intermedia</i> produtora de carne com proteína microbiana e método para produzir carne com proteína microbiana	SmF	A	Produtos que simulam carne de peixe, de frango e bife	UNIV ZHEJIANG	29/12/2023
2	WO2023227743A1	Substituto alimentar micelial e um método de sua produção	SmF, SSF e Co-fermentação	A e B	Produtos que simulam camarão, queijo, carne e peixe	BUMBLE BE GMBH [DE]	30/11/2023
3	WO2023215502A1	Pó de proteína de micélio de matérias-primas recicladas	SmF	A, B e Z	Pó de micélio de fungo, a ser usado para produzir macarrão, pão, tortilha, biscoitos, barra de proteína, entre outros	HYFE FOODS INC [US]	09/11/2023
4	SE2250117A1	Produto alimentar de biomassa fúngica	SmF	A e Z	Produção de um material imprimível a base de micélio de fungos, para simular a carne de frango, bovina, de cordeiro e frutos do mar	MYCORENA AB [SE]	08/08/2023
5	WO2023137192A1	Produto alimentar fúngico réplica de carne	SmF, SSF, MF e LSF	A e B	Produtos que simulam cachorro-quente, hambúrguer, carne moída, salsicha, bife, filé, assado, almôndega, rolo-de-carne e bacon	THE FYNDER GROUP INC [US] KLOPF BRIAN [US] WALTS ERICK [US] ECKSTROM ELEANORE BROPHY [US]	20/07/2023

6	CN116195732A	Salsicha fermentada de micélio de fungo comestível e método de preparação da mesma	SmF	B	Produto semelhante a salsicha	SHANDONG ACAD OF AGRICULTURAL SCIENCES	02/06/2023
7	WO2023049393A1	Métodos de formação de produtos de micélio texturizados com compressão e/ou calor	SSF	A	Produtos semelhantes ao peito de frango, bife, costeletas de porco, entre outros	EMERGY INC [US]	30/03/2023
8	WO2023049392A2 WO2023049392A3	Sistemas e métodos para formação de produtos compactados de micélio	SmF e SSF	A	Produtos que simulam peito de frango, bife e costeleta de porco	EMERGY INC [US]	30/03/2023 04/05/2023
9	WO2023001580A1	Pó proteico compreendendo biomassa fúngica e um método para preparar o pó proteico	SmF e SSF	A e Z	Pó proteico, a ser usado para produzir bebidas, produtos semelhantes às carnes de frango, de porco, bovina, de cordeiro ou de frutos do mar	MYCORENA AB [SE]	26/01/2023
10	WO2022236165A1	Métodos de fermentação aeróbica aperfeiçoados para a produção de carnes misturadas de micélio fúngico comestível e composições análogas de carne	SmF	A	Produtos semelhantes ao hambúrguer, nuggets, salsicha, entre outros	THE BETTER MEAT CO [US]	10/11/2022

11	EP4082355A1	Um método e um sistema para fabricar uma biomassa rica em proteínas compreendendo fungo filamentoso comestível	SSF	A e Z	Formação de pellets e flocos, produtos semelhantes ao hambúrguer, almôndega, salsicha, bolinho de chuva, biscoito, pão, entre outros semelhantes	SVAMPSSON HOLDING AB [SE]	02/11/2022
12	SE2150532A1 SE545255C2	Produto alimentício seco compreendendo biomassa de fungos e métodos para fabricar um produto alimentar de biomassa de fungos secos	SmF	A e Z	Biomassa seca a ser reidratada para consumo, semelhante a carne picada	MYCORENA AB [SE]	28/10/2022 07/06/2023
13	WO2022219170A1	Substituto lácteo comestível não animal compreendendo micélio fibroso como proteína e componente de fibra insolúvel e métodos de produção de tais	SmF	A e B	Produtos semelhantes ao leite, iogurte, queijo fresco, soro de queijo, cream cheese e alguns outros tipos de queijo	MUSHLABS GMBH [DE]	20/10/2022
14	US2023380447A1	Produtos alimentícios compreendendo material fúngico filamentosos	SSF, SmF e interface ar-líquido	A e B	Produtos que simulam camarão, queijo, carne e peixe	THE FYNDER GROUP INC [US]	30/11/2023
15	SE2150071A1	Produto alimentar compreendendo biomassa de fungos e um aditivo alimentar	SmF	N.E.	Produtos semelhantes a almôndega, hambúrguer, filetes de carne, peixe, cortes de carne, presunto, bacon e produtos e espalháveis	MYCORENA AB [SE]	23/07/2022

16	CN114774292A CN114774292B	Método de preparação de almôndegas vegetarianas derivadas de <i>Morchella</i>	SmF	A	Almôndega vegetariana	BANNERBIO NUTRACEUTICALS INC	22/07/2022 07/11/2023
17	CN116685674A	Produção de biomassa fúngica	SmF	A e B	Produtos semelhantes a almôndega, hambúrguer, nuggets, entre outros	MARSHLAB LTD	01/09/2023
18	EP3942937A1	Um produto alimentício compreendendo uma biomassa pura de fungos	SmF	Z	Produtos semelhantes ao hambúrguer, nuggets, salsicha, pastas, filés, análogos de frutos do mar, carne seca, entre outros	MYCORENA AB [SE]	26/01/2022
19	WO2021092051A1	Micélios comestíveis e métodos de fazer os mesmos	SSF	A e B	Principalmente produtos semelhantes ao bacon	ECOVATIVE DESIGN LLC [US]	14/05/2021
20	WO2020232347A1	Composições de proteína miceliada com textura e métodos de preparação melhorados	SSF	A e B	Produtos análogos de carne	MYCOTECHNOLOGY INC [US]	19/11/2020
21	US2022225653A1	Métodos para a produção de composições de volume miceliado	SmF	A e B	Produtos espalháveis, semelhantes a pastas, coberturas pré-batidas, cremes, manteigas de frutos secos, recheios, produtos lácteos alternativos, bebidas e bases para bebidas, análogos à carnes, entre outros	MYCOTECHNOLOGY INC [US]	21/07/2022

22	WO2020154634A1	Métodos para produção e uso de composições alimentares suplementadas com aminoácidos miceliados	SmF	B	Produtos lácteos alternativos, bebidas e suas bases, extrusados e enchidos, análogos à carne, assados, à base de plantas, granola, sucos, sopas, entre outros	MYCOTECHNOLOGY INC [US]	30/07/2020
23	WO2020092306A1	Proteína vegetal miceliada e composições alimentares compreendendo a mesma	SmF	B	Produtos semelhantes ao hambúrguer, salsicha de porco, de carne, almôndega, entre outros	MYCOTECHNOLOGY INC [US]	07/05/2020
24	WO2020074782A1	Produto alimentício compreendendo material de micélio fúngico	SmF	Z	Produtos semelhantes ao hambúrguer; além disso, uso do micélio para melhorar características de hambúrgueres a base de plantas	TEKNOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS VTT OY [FI]	16/04/2020
25	US11950607B2 US2022030911A1	Proteína vegetal miceliada e composições alimentares compreendendo a mesma	SmF	A e B	Produtos semelhantes a almôndega, salsicha de porco, sorvete, iogurte, entre outros.	MYCOTECHNOLOGY INC [US]	03/02/2022 09/04/2024
26	CA3100909A1	Métodos para cultivar micélio fúngico e formar produtos comestíveis a partir do mesmo	SmF	A, B e Z	Produtos semelhantes ao frango, bife, carne de porco, vitela ou peixe ou na forma de pó	EMERGY INC [US]	12/12/2019
27	WO2019226759A1	Método para a produção e utilização de produto nutriente misto miceliado para suplementos nutricionais melhorados	SmF	A e B	Produtos formados pela mistura do micélio e algum vegetal, dentre eles: cenoura, espinafre, aipo, couve ou raiz de beterraba	MYCOTECHNOLOGY INC [US]	28/11/2019

28	US11343978B2 US2021045298A1	Métodos para a produção e utilização de composições alimentícias com alto teor de proteína miceliados	SmF	A e B	Biomassa a ser aprimorada, com sabores e aromas umami, de carne, de pipoca e de cogumelo	MYCOTECHNOLOGY INC [US]	18/02/2021 31/05/2022
29	CN108175064A	Geleia de micélio de <i>Ganoderma lucidum</i> e método de preparação da mesma	SmF	B	Geleia à base de micélio de fungo	UNIV GUANGZHOU	19/06/2018
30	CN107594381A	Salsichas de <i>Flammulina velutiper</i> no estilo cantonesas isentas de adição de nitritos, bem como método de preparo e aplicação de salsichas de <i>Flammulina velutiper</i> cantonesas isentas de adição de nitritos	SmF	A	Incorporação da biomassa fúngica em alimentação animal	SERICULTURE & AGRI FOOD RES INST GAAS	19/01/2018
31	US2019127673A1	Refeição animal que inclui biomassa fúngica	SmF	A	Inclusão do micélio na alimentação animal	MENON RENEWABLE PRODUCTS INC [US]	02/05/2019

Fonte: elaborado pelo autor (adaptado de Espacenet)

Diversas patentes foram submetidas nos últimos anos, o que demonstra um interesse na criação de produtos a partir da fermentação do micélio de fungos filamentosos. No Quadro 1, é possível notar o uso de alguns tipos de fermentação distintos, entre eles, a fermentação em estado sólido, submersa, interface ar-líquido (AMC), em estado líquido (LSF) e co-fermentação com mais de uma cultura. Bem como o uso de fungos de diferentes filos, como ascomicetos, basidiomicetos e zigomicetos, por vezes combinados com outros micro-organismos e diferentes alimentos, tendo o micélio como função aperfeiçoar algum alimento já existente, ou ser temperado e melhorado, resultando em um produto com uma maior aceitabilidade pelo consumidor.

Em relação ao método de fermentação utilizado, os mais aplicados nas patentes presentes no Quadro 1 são o SSF e SmF, sendo que o primeiro foi utilizado em 13 patentes e o segundo em 27. As fermentações acima são utilizadas, dentre diversos fatores, devido à alta produção de conteúdo proteico e de formação de biomassa micelial. Na patente n° 1, o conteúdo de biomassa micelial a ser formado no produto fabricado que atua como referência ao simulante de carne é 30-40% (m/m) e 30% (m/m) no peso total do alimento gerado na n° 4,

Com relação a quantidade de proteína disponível nos produtos utilizando SmF para a produção da biomassa, aproximadamente 42,58% (m/m) pôde ser obtida na patente de n° 3 utilizando *Fusarium venenatum*, até 60% na n° 12, na patente n° 16, o micélio cru obtido pode conter até 50% de proteína usando *Morchella esculenta*, na n° 18 até 70% utilizando algum fungo do gênero *Rhizopus* e até 50% na n° 28 com *Lentinula edodes*. Utilizando SSF, na patente n° 11, 10-60% de proteína pôde ser obtida usando *Aspergillus oryzae* e *Rhizopus oligosporus*, na n° 19 o produto similar ao bacon produzido pode conter até 15% (m/m) de proteínas, entretanto, a cepa utilizada não foi destacada.

Além disso, no que diz respeito aos filos de fungos utilizados nas diferentes patentes, ascomicetos foram indicados para uso em 24 das 31, basidiomicetos em 17 e zigomicetos em 8 das selecionadas.

As aplicações citadas nas patentes variam bastante, sendo que muitas destacam a produção de um alimento simulante aos já existentes, como por exemplo as patentes de n°s 1, 2, 5, 6, 7, 8, dentre outras, que sugerem alimentos como carne de peixe, frango, bovina, camarão, cordeiro, salsicha ou outros exemplos, como nas patentes de n°s 13, 21, 22 e 29, que fornecem aplicações como leite, iogurte, queijo, cremes, manteigas, sucos e geleias à base de micélio de fungos. Ademais, as patentes n° 3 e n° 9 sugerem o uso de produtos em pó para gerar

panificados e bebidas e as de nº 30 e nº 31, que incluem a alimentação animal como uma das alternativas de uso, bem como outros usos citados no Quadro 1.

5 PANORAMA INDUSTRIAL DOS ALIMENTOS A BASE DE MICÉLIO DE FUNGOS

5.1 PRINCIPAIS PRODUTOS ENCONTRADOS NO MERCADO

Utilizando os sites de diferentes empresas que atuam no ramo alimentício alternativo que comercializam a biomassa de micélio de fungos filamentosos, diversos produtos interessantes inovadores e simulantes de alimentos à base animal foram destacados e demonstrados abaixo, com suas principais características informadas.

Assim, é possível notar a existência de múltiplos produtos contendo biomassa micelial no mercado internacional, pertencentes às mais diversas marcas. Algumas empresas do ramo a serem destacadas são por exemplo: Ecovative LLC, © Nature's Fynd, The Better Meat Co., © Mycorena, Meati Inc. e Marlow Foods Ltd.. É possível destacar que grande parte das patentes contidas no Quadro 1 são pertencentes a empresas que atuam fortemente no ramo, e seus principais produtos comercializados estão dispostos nos tópicos seguintes.

5.1.1 Ecovative LLC

A empresa Ecovative produz o "MyBacon", um alimento muito similar ao bacon convencional, feito à base de ingredientes orgânicos e naturais, como o micélio de cogumelo, óleo de coco, açúcar, aromas e sal, resultando em um alimento "saboroso, salgado e doce e crocante", contendo 3 g de proteína a cada 18 g de MyBacon (16,7%) (MYFOREST FOODS, 2024). A embalagem comercializada deste produto está na Figura 4.

Figura 4 – Produto à base de micélio que mimetiza bacon, comercializado pela Ecovative LLC



Fonte: My Forest Foods, 2024

5.1.2 © Nature's Fynd

Outra empresa com diversos produtos à base de micoproteínas é a Nature's Fynd®, a qual utiliza fermentação de interface líquido-ar de cepas *Fusarium flavolapis*, para produzir alimentos como: iogurtes de morango (Strawberry Fy Yogurt), pêssego (Peach Fy Yogurt) e baunilha (Vanilla Fy Yogurt), os quais contêm principalmente leite à base de proteína fúngica, água, grão-de-bico, frutas, açúcar de cana, óleo de coco, amido de arroz, saborizantes, aromatizantes naturais, gomas, extratos de cogumelo e culturas vivas e ativas. Tais iogurtes contêm 8 g de proteínas a cada 150 g (5,3%) (NATURE'S FYND, 2024). Suas embalagens são apresentadas na Figura 5.

Figura 5 – Iogurtes à base de micélio comercializados pela © Nature's Fynd. Onde a) iogurte de morango à base de micélio, b) iogurte de pêsego a base de micélio e c) iogurte de baunilha à base de micélio



Fonte: Nature's Fynd, 2024

Além destes produtos, a empresa também produz hambúrguer (Original breakfast patties) a base de micoproteína, água, concentrado de proteína de soja, óleo de girassol com alto teor oleico, saborizantes e aromatizantes naturais, metil celulose, extrato de levedura, vinagre, amido modificado, entre outros ingredientes, resultando em um teor de proteínas de 9 g a cada 70 g (12,8%) (NATURE'S FYND, 2024). Sua embalagem é apresentada na Figura 6.

Figura 6 – Hambúrguer à base de micélio produzido pela © Nature's Fynd

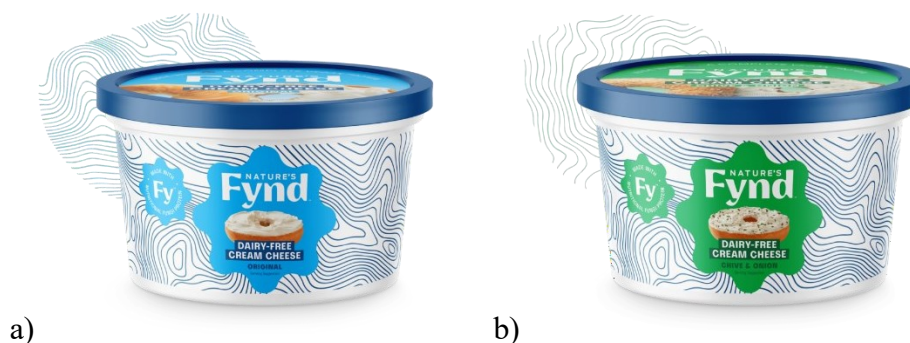


Fonte: Nature's Fynd, 2024

Por fim, dois outros produtos são feitos pela Nature's Fynd: Original Cream cheese e feito com cebolinha e cebola (Chives and onion cream cheese), os quais são compostos por

água, proteína nutricional de fungos, óleo de coco, açúcar de cana, extrato de cogumelo, sal, ácido láctico, gama guar e culturas, além de cebolinha e cebola secas. A quantidade de proteína presente em ambos é de 1 g a cada 28 g de produto (3,57%) (NATURE'S FYND, 2024). Suas embalagens estão apresentadas na Figura 7.

Figura 7 – Cream cheese original e com sabor cebolinha e cebola, comercializados pela © Nature's Fynd



Fonte: Nature's Fynd, 2024

5.1.3 The Better Meat Co.

A The Better Meat Co. utiliza ingredientes como batata, arroz e milho como substrato e micélio de *Neurospora crassa* em fermentação submersa (conforme patente nº 10 do Quadro 1) para produzir a micoproteína chamada Rhiza. Utilizando essa micoproteína, diversos produtos já existentes podem ser melhorados, como os alimentos contendo animais, carne de caranguejo, de porco, peixe e bovina. Além disso, alguns alimentos comercializados pela The Better Meat Co. são totalmente veganos, usando unicamente a micoproteína Rhiza e outros ingredientes não-animais, simulando alimentos como o bife, frango, caranguejo, filé de peixe, foie gras, almôndegas, entre outros (THE BETTER MEAT CO, 2023). Abaixo, na Figura 8 estão algumas fotos disponibilizadas pela empresa de pratos preparados utilizando os produtos sem carne animal.

Figura 8 – Alguns exemplos de produtos veganos comercializados pela The Better Meat Co., dentre eles simulantes de carne bovina, de frango, de carangueijo, filé de peixe, foie gras e almôndegas



Fonte: The Better Meat Co., 2023

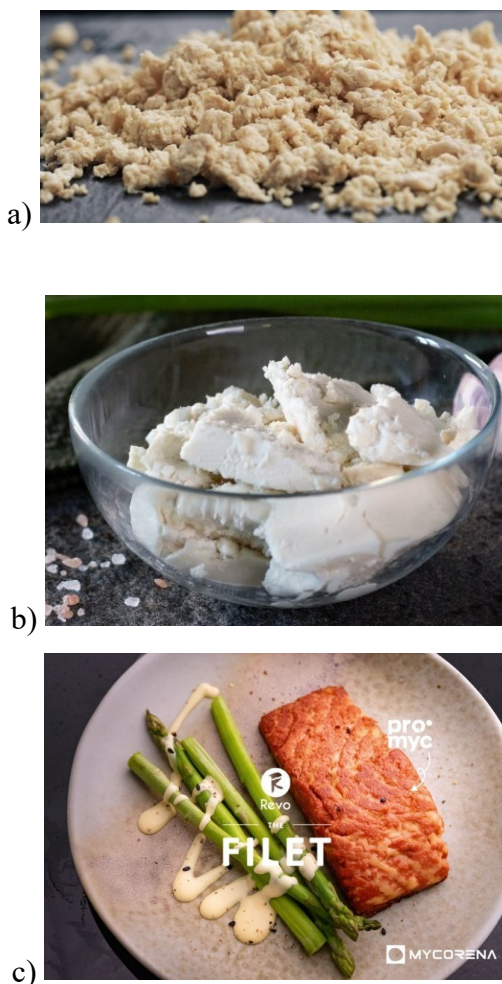
O teor de proteínas presente nos alimentos feitos a partir da micoproteína Rhiza não é especificado pela fabricante, entretanto, é destacado que contêm valores maiores que os contidos em ovos (THE BETTER MEAT CO, 2023).

5.1.4 © Mycorena

A © Mycorena produz biomassa micelial utilizando fermentação submersa, produzindo Promyc®, ingrediente vegano a ser usado como substituto/aditivo de outras fontes proteicas, fornecendo textura e paladar característicos, bem como versatilidade e nutrição. Devido ao fato de ser neutro em questão de sabor, coloração e odor, pode ser inserido em diferentes alimentos, atuando como uma fonte nutritiva e proteica. Outro produto denominado Mycolein™ foi criado com o intuito de atuar como fonte de lipídios (estabilizados por micoproteínas) para melhorar produtos com sabor e suculência característicos. Tal criação se assemelha muito às gorduras animais, mas necessitando de menos gordura para atingir resultados semelhantes no cozimento, ocorrendo o derretimento de maneira muito semelhante às de fontes animais. Além destes produtos, a empresa também produz filé de salmão vegano impresso em impressora 3D, feito

utilizando principalmente Promyc® (MYCORENA, 2024). Todos os produtos citados estão contidos na Figura 9.

Figura 9 – Produtos comercializados pela © Mycorena. a) Promyc®, b) Mycolein™, c) filé de salmão vegano



Fonte: Mycorena, 2024

5.1.5 Meati Inc.

A Meati Inc., utiliza o fungo *Neurospora crassa* e a fermentação submersa, para produzir alguns cortes, como: costeleta clássica (Classic cutlet), costeleta crocante (Crispy cutlet), bife clássico (Classic steak) e bife apimentado (Carne asada). O ingrediente principal é o micélio (MushroomRoot™), constituindo até 95% de cada produto citado, além de sal, aromas naturais, goma acácia, fibra de aveia, farinha de grão-de-bico e outros temperos. Os produtos contêm teores variáveis de proteína (13,3% – 16,2%) (MEATI INC, 2024), a Figura 10 os demonstra.

Figura 10 – Produtos comercializados pela Meati Inc.



Fonte: Meati Inc., 2024

5.1.6 Marlow Foods Ltd.

Uma das principais marcas que produzem alimentos à base de micélio de fungos filamentosos é a Marlow Foods Ltd., que denominou seus produtos como Quorn[®], micoproteína feita a partir da fermentação submersa de *Fusarium venenatum*. A Marlow Foods Ltd. comercializa seus produtos em diversos países e regiões do mundo, mais especificamente nos EUA, 19 produtos congelados, sendo que 5 são veganos e os demais vegetarianos, podendo estes serem empanados, moídos, em forma de almôndegas, hambúrgueres sem carne, frango sem carne, alimentos veganos, vegetarianos e sem glúten, com teores de proteína variando de 10% até 15,4% (m/m). Dentre os 19 produtos, 8 foram selecionados por serem os que contém o maior número de avaliações no site da empresa, em ordem: assado de peru sem carne (Quorn meatless turkey-style roast), nuggets de “frango à base de micélio” sem carne (Quorn meatless chiQin nuggets), carne moída à base de micélio sem carne (Quorn meatless grounds), cubos de “frango à base de micélio” sem carne (Quorn meatless diced chiQin pieces), hambúrguer apimentado de “frango à base de micélio” sem carne vegano (Quorn vegan meatless spicy chiQin patties), filés de “frango à base de micélio” sem carne (Quorn meatless chiQin fillets), cubos de “frango à base de micélio” sem carne vegano (Quorn vegan meatless diced chiQin pieces) e hambúrgueres de “frango à base de micélio” (Quorn meatless chiQin patties) (QUORN, 2024). A imagem destes produtos se encontra na Figura 11.

Figura 11 – Alguns produtos sem carne comercializados pela Marlow Foods Inc, em ordem: nuggets, carne moída, frango em cubos, frango em cubos vegano, hambúrgueres de frango

apimentados veganos, filés de frango e hambúrgueres de frango, sendo alguns veganos e outros vegetarianos



Fonte: Marlow Foods Ltd., 2024

Quanto aos ingredientes, os produtos ditos veganos apresentam em sua composição a micoproteína, farinha de trigo com aditivos, óleo de canola, água, amido e glúten de trigo, proteína de ervilha e de batata, temperos, cloreto e acetato de cálcio, levedura e extrato de levedura, gomas, alginato de sódio, entre outros. Já os ditos sem carne/vegetarianos, contém alguns dos ingredientes acima, podendo incluir também clara de ovo, proteína texturizada e outros insumos (QUORN, 2024).

6 DESAFIOS E PERSPECTIVAS FUTURAS

A produção em larga escala de proteínas a partir de fungos, mais especificamente do micélio de fungos filamentosos, pode passar por alguns desafios e barreiras que dificultem a rápida expansão com relação a produção deste alimento. O crescimento dessa indústria depende da produtividade, eficiência e competitividade em toda a cadeia produtiva, podendo ser uma boa alternativa para países em desenvolvimento, que podem optar por esta opção visto uma possível redução de custos laboratoriais, operacionais e de capital quando comparados com a produção de carne convencional. Outro fato importante é a preparação do substrato a ser usado, que em pequena escala pode ser mais facilmente tratado quando comparado com a produção em larga escala. Além disso, as combinações de algumas técnicas moleculares de modificação genética podem melhorar algumas características intrínsecas dos fungos e de seus micélios, auxiliando na produção mais eficiente da micoproteína (STRONG et al., 2022).

A aceitação sensorial dos alimentos produzidos com o micélio de fungos é outro ponto importante e subjetivo. Os alimentos criados e que serão testados deverão passar por diversas melhorias para que atinjam as expectativas dos consumidores. Conforme analisado em artigos que visam a produção de um alimento neste sentido, as maneiras mais adequadas de temperar e texturizar o micélio, bem como os ingredientes a serem incorporados devem ser analisados pela empresa que os comercializará, o que pode demandar uma etapa a mais, que gerará mais custos na cadeia de produção (ROUSTA et al., 2021).

Apesar de alguns pontos negativos/construtivos destacados ao longo deste trabalho, o potencial de alimentos contendo o micélio de fungos filamentosos é relevante, visto a grande quantidade de proteínas presentes nos mesmos, bem como diversas outras macromoléculas e outros benefícios intrínsecos obtidos ao ingerir este tipo de alimento. Assim, é demonstrado ser uma alternativa viável, com alguns pontos de atenção a serem observados para garantir uma ampla inserção destes alimentos no mercado consumidor, suprimindo cada vez mais a demanda proteica associada ao crescimento populacional.

7 CONCLUSÕES

O número de artigos com foco no estudo de novas linhagens capazes de produzir uma boa quantidade de proteínas aumentaram muito nos últimos anos. Novas cepas de diferentes fungos são estudadas o tempo todo, bem como seus parâmetros fermentativos e maneiras de aprimorá-los para garantir melhores resultados. Além disso, os produtos obtidos por meio da fermentação do micélio de fungos filamentosos constantemente são estudados quanto às propriedades organolépticas, realizando análises sensoriais para garantir uma boa aceitação, que agrade o consumidor e facilite a transição alimentar.

Além disso, diversas patentes são criadas todos os anos com foco em produtos à base de micélio de fungos e em diferentes técnicas inovadoras, que podem facilitar e melhorar os alimentos produzidos, auxiliando na aceleração da implementação destes na dieta humana e animal, visto que por ser um mercado com grande potencial, devido às tantas características positivas citadas, atrai a todo tempo o interesse de investidores.

No mercado internacional, já existem múltiplos produtos contendo micoproteínas, com diversas características distintas entre eles, podendo ser veganos, vegetarianos, semelhantes a produtos cárneos ou não-cárneos disponíveis para serem comprados. Entretanto, em sua grande maioria são alimentos em pedaços ou em formatos comuns como hambúrgueres, salsichas e almôndegas, o que abre um espaço muito grande para inovações, como por exemplo os

alimentos impressos em impressora 3D ou fabricados de outras maneiras ainda a serem descobertas, demonstrando o potencial de crescimento em um mercado já amplamente validado ao redor do mundo, tanto devido ao fato de esse tipo de alimento conter um alto teor de proteínas, quanto presença de diversos nutrientes importantes, minerais e outras diversas propriedades benéficas ao organismo de quem os consome.

REFERÊNCIAS

ALHOMODI, A. F. et al. Application of Cocultures of Fungal Mycelium during Solid-State Fermentation of Canola Meal for Potential Feed Application. **JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 98, n. 5, p. 509–517, 2021.

ATILA, F. Comparative study on the mycelial growth and yield of *Ganoderma lucidum* (Curt.: Fr.) Karst. On different lignocellulosic wastes. **Acta Ecologica Sinica**, v. 40, n. 2, p. 153–157, 2020.

BARTHOLOMAI, B. M. et al. Safety evaluation of *Neurospora crassa* mycoprotein for use as a novel meat alternative and enhancer. **Food and Chemical Toxicology**, v. 168, 2022.

BARZEE, T. J. et al. Fungi for future foods. **Journal of Future Foods**, v. 1, n. 1, p. 25–37, 2021.

BERGER, R. G. et al. Mycelium vs. Fruiting Bodies of Edible Fungi—A Comparison of Metabolites. **Microorganisms**, v. 10, n. 7, 2022.

BIBI, S. et al. Two-stage cultivation strategies for optimal production of *Ganoderma pellets* with potential application in the vegan food industry. **Journal of Food Science and Technology**, 2023.

BIOSCIENCENOTES. **Submerged Liquid Fermentations**. Disponível em: <<https://www.biosciencenotes.com/submerged-liquid-fermentations/>>. Acesso em: 3 dez. 2023.

BRASIL. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/legislacao-de-produtos-origem-vegetal/biblioteca-de-normas-vinhos-e-bebidas/tabela-brasileira-de-composicao-de-alimentos_taco_2011.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2024.

COHEN, N. et al. Chemical Composition and Nutritional and Medicinal Value of Fruit Bodies and Submerged Cultured Mycelia of Culinary-Medicinal Higher Basidiomycetes Mushrooms. **International Journal of Medicinal Mushrooms**, v. 16, n. 3, p. 273–291, 2014.

DE MORAES, C. C.; CLARO, P. B.; RODRIGUES, V. P. Why can't the alternative become mainstream? Unpacking the barriers and enablers of sustainable protein innovation in Brazil. **Sustainable Production and Consumption**, v. 35, p. 313–324, 2023.

EPA. **Agriculture and Aquaculture: Food for Thought**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-03/documents/agriculture-aquaculture-food-thought.pdf>>. Acesso em: 29 jun. 2024.

FARHAN, E. M.; CHECHAN, R. A. Analysis of Amino Acids and Fatty Acids in the Local Strain of Wild and Cultivated Food Mushrooms. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 1158, n. 11, 2023.

FINNIGAN, T. J. et al. Mycoprotein: The Future of Nutritious Nonmeat Protein, a Symposium Review. 2019.

GO, S. J. et al. Selection of *Pleurotus sajor-caju* as Suitable Species for Cultivation under Summer Climatic Conditions in Korea. **Institute of Agricultural Sciences**, v. 12, p. 53–58, 1984.

GODFRAY, H. C. J. et al. Meat consumption, health, and the environment. **Science (New York, N.Y.)**, v. 361, n. 6399, 2018.

GOGAVEKAR, S. S. et al. Important nutritional constituents, flavour components, antioxidant and antibacterial properties of *Pleurotus sajor-caju*. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 8, p. 1483–1491, 2014.

JIN, B. et al. A comprehensive pilot plant system for fungal biomass protein production and wastewater reclamation. **Advances in Environmental Research**, v. 6, p. 179189, 2002.

KALACĚ, P. **Edible mushrooms: chemical composition and nutritional value**. České Budějovice: Nikki Levy, 2016.

KARIMI, S. et al. Evaluation of filamentous fungal biomass cultivated on vinasse as an alternative nutrient source of fish feed: Protein, lipid, and mineral composition. **Fermentation**, v. 5, n. 4, 2019.

KEE, W. K. et al. Application of Fungi as Meat Alternatives in Industry: Mini Review. **Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences**, v. 10, n. 4, p. 728–736, 2022.

KIM, K. et al. Bioproduction of mushroom mycelium of *Agaricus bisporus* by commercial submerged fermentation for the production of meat analogue. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 91, n. 9, p. 1561–1568, 2011.

KIRSCH, L. DE S. **Produção da biomassa de *Pleurotus albidus* por fermentação submersa para elaboração de barra de cereais**. Manaus: Universidade Federal do Amazonas, 2013.

LEE, S. Y. et al. Current technologies, regulation, and future perspective of animal product analogs - A review. **Animal Bioscience**, v. 36, n. 10, p. 1465–1487, 2023.

MEATI INC. **Our cuts**. Disponível em: <<https://meati.com/cuts/?nfp=classic-steak>>. Acesso em: 30 jun. 2024.

MYCORENA. **Products**. Disponível em: <<https://mycorena.com/products>>. Acesso em: 30 jun. 2024.

MYFOREST FOODS. **MyBACON**. Disponível em: <<https://myforestfoods.com/mybacon>>. Acesso em: 30 jun. 2024.

NATURE'S FYND. **Products**. Disponível em: <<https://www.naturesfynd.com/products>>. Acesso em: 30 jun. 2024.

NIE, Y. et al. Effects of *Pleurotus eryngii* (mushroom) powder and soluble polysaccharide addition on the rheological and microstructural properties of dough. **Food Science and Nutrition**, v. 7, n. 6, p. 2113–2122, 2019.

PAPAGIANNI, M. Fungal morphology and metabolite production in submerged mycelial processes. **Biotechnology Advances**, v. 22, n. 3, p. 189–259, 2004.

PEETERS, E.; SALUEÑA MARTIN, J.; VANDELOOK, S. Growing sustainable materials from filamentous fungi. 2023.

PETRE, M.; TEODORESCU, A. Biotechnology of Agricultural Wastes Recycling Through Controlled Cultivation of Mushrooms. Em: **Advances in Applied Biotechnology**. [s.l.] IntechOpen, 2012.

QUORN. **Products**. Disponível em: <<https://www.quorn.us/products/all>>. Acesso em: 30 jun. 2024.

ROÇA, R. DE O. **Composição química da carne**. Disponível em: <<https://www.fca.unesp.br/Home/Instituicao/Departamentos/Gestaoetecnologia/Teses/Roca102.pdf>>. Acesso em: 17 jun. 2024.

ROUSTA, N. et al. Filamentous fungus *Aspergillus oryzae* for food: From submerged cultivation to fungal burgers and their sensory evaluation—a pilot study. **Foods**, v. 10, n. 11, 2021.

SEYED REIHANI, S. F.; KHOSRAVI-DARANI, K. Mycoprotein Production from Date Waste Using *Fusarium venenatum* in a Submerged Culture. **Applied Food Biotechnology**, v. 5, p. 243–252, 2018.

STEPHAN, A. et al. Edible mushroom mycelia of *Pleurotus sapidus* as novel protein sources in a vegan boiled sausage analog system: functionality and sensory tests in comparison to commercial proteins and meat sausages. **European Food Research and Technology**, v. 244, n. 5, p. 913–924, 2018.

STRONG, P. J. et al. Filamentous fungi for future functional food and feed. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 76, 2022.

THE BETTER MEAT CO. **Applications**. Disponível em: <<https://www.bettermeat.co/#Rhiza-Enhancers>>. Acesso em: 30 jun. 2024.

USDA. . Disponível em: <<https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/169511/nutrients>>. Acesso em: 3 dez. 2023.

WANG, B. et al. A critical review of fungal proteins: Emerging preparation technology, active efficacy and food application. **Trends in Food Science & Technology** , v. 141, 2023a.

WANG, J. et al. Emerging roles of *Ganoderma Lucidum* in anti-aging. **Aging and Disease**, v. 8, n. 6, p. 691–707, 2017.

WANG, J. et al. Fungal solid-state fermentation of crops and their by-products to obtain protein resources: The next frontier of food industry. **Trends in Food Science & Technology**, v. 138, p. 628–644, 2023b.

WHITTON, C. et al. Are we approaching peak meat consumption? Analysis of meat consumption from 2000 to 2019 in 35 countries and its relationship to gross domestic product. **Animals**, v. 11, n. 12, 2021.

YU, Q. et al. Analysis of Nutritional Composition in 23 Kinds of Edible Fungi. **Journal of Food Quality**, v. 2020, 2020.