



Relatório técnico

Aspectos de segurança na produção de alimentos vegetais análogos à carne

Alto vegetal análogo - Inovação



Créditos

Autores

Neusely da Silva
Claire Isabel G. de L. Sarantópoulos
Marcus Vinicius Pereira de Oliveira
Telma Galle
Ana Lúcia da Silva Corrêa Lemos
Danielle Ito
Elizabeth Harumi Nabeshima
Flávio Martins Montenegro
José Antonio de Fátima Esteves
Manuel Pinto Neto
Marcelo Antonio Morgano
Maria Isabel Berto
Marta Hiromi Taniwaki
Mitie Sonia Sadahira
Renata Bromberg
Roseli Aparecida Ferrari
Vera Sônia Nunes da Silva

Revisão

Cristiana Ambiel
Graziele Grossi Bovi Karatay

Projeto Gráfico

Fabio Cardoso

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação - CIP

S586 Silva, Neusely da e Outros
Aspectos de segurança na produção de alimentos vegetais análogos à carne: relatório técnico / Neusely da Silva, Claire Isabel G. de L. Sarantópoulos, Marcus Vinicius Pereira de Oliveira, Telma Galle, Ana Lúcia da Silva Corrêa Lemos, Danielle Ito, Elizabeth Harumi Nabeshima, Flávio Martins Montenegro, José Antonio de Fátima Esteves, Manuel Pinto Neto, Marcelo Antonio Morgano, Maria Isabel Berto, Marta Hiromi Taniwaki, Mitie Sonia Sadahira, Renata Bromberg, Roseli Aparecida Ferrari e Vera Sônia Nunes da Silva. – São Paulo: Tikibooks; The Good Food Institute Brasil, 2025.
E-Book: PDF, 53 p.; IL; Color

ISBN 978-85-66241-23-5

1. Alimentos. 2. Cadeia Produtiva Alimentar. 3. Tecnologia de Alimentos. 4. Processamento de Alimentos. 5. Qualidade Nutricional. 6. Segurança dos Alimentos. 7. Proteína Vegetal. 8. Alimentos Vegetais Análogos aos Cárneos. 9. Análise de Perigo. 10. APPCC. I. Título. II. Resumo técnico. III. Silva, Neusely da. IV. Sarantópoulos, Claire Isabel G. de L. V. Oliveira, Marcus Vinicius Pereira de. VI. Galle, Telma. VII. Lemos, Ana Lúcia da Silva Corrêa. VIII. Ito, Danielle. IX. Nabeshima, Elizabeth Harumi, X. Montenegro, Flávio Martins. XI. Esteves, José Antonio de Fátima. XII. Pinto Neto, Manuel. XIII. Morgano, Marcelo Antonio. XIV. Berto, Maria Isabel. XV. Taniwaki, Marta Hiromi. XVI. Sadahira, Mitie Sonia. XVII. Bromberg, Renata. XVIII. Ferrari, Roseli Aparecida. XIX. Silva, Vera Sônia Nunes da. XX. 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, conectamos *startups* com investidores, mentores e parceiros, fornecemos inteligência de mercado para ajudar as empresas a tomarem decisões informadas, realizamos pesquisas para identificar e superar os desafios do setor.

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.

Resumo Executivo

O presente documento é uma síntese das informações mais relevantes encontradas na publicação [“Desenvolvimento e aplicação do plano APPCC em alimentos vegetais análogos aos produtos cárneos”](#), desenvolvido pelo Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL), em colaboração com a Liner Consultoria e apoio do The Good Food Institute Brasil (GFI). A presente síntese apresenta o fluxograma e descrição das etapas de processamento de quatro tipos de alimentos análogos aos produtos cárneos (peixe, peito de frango, hambúrguer e linguiça vegetal), os perigos de segurança identificados nos planos de Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC) desenvolvidos, as medidas definidas nos planos APPCC para o controle dos perigos, bem como as lacunas de informações científicas identificadas durante o estudo.

Vale destacar que o estudo abrangeu desde a seleção das matérias-primas até o produto final com o intuito de fazer uma análise exaustiva dos potenciais perigos inerentes à produção de alimentos vegetais análogos às carnes. Nesse sentido, é importante ressaltar que a identificação desses perigos não implica em sua presença nos produtos, mas sim na necessidade de implementar medidas de controle rigorosas para garantir a segurança dos alimentos. É importante destacar também que a indústria alimentícia dispõe de ferramentas e conhecimento para minimizar esses riscos, não sendo a presença desses perigos nos produtos finais uma regra, mas sim uma possibilidade que exige atenção. Outro ponto importante é que nenhum dos perigos encontrados é exclusivo da categoria de alimentos vegetais análogos; todos são conhecidos e passíveis de serem encontrados em outros alimentos similares ou não.

Como perigos alergênicos possíveis para os quatro produtos foram identificados o glúten e a proteína de soja. Como perigos biológicos possíveis foram identificados *Salmonella* spp, *Escherichia coli* (indicador de qualidade higiênico sanitária), *Listeria monocytogenes* e *Bacillus cereus*, comuns aos quatro produtos, e esporos de *Clostridium botulinum*, relevante no peixe vegetal. Como perigos físicos possíveis foram identificados areia, fragmentos metálicos ferrosos e não ferrosos e plástico flexível ou polímero não rígido nos quatro produtos e fragmentos de insetos, relevantes no frango e na linguiça vegetal. Como perigos químicos possíveis, foram identificados acrilamida (propenamida), aflatoxinas B1, B2, G1 e G2, arsênio, cádmio, chumbo, cobre, contaminantes químicos da água, DON (Desoxinivalenol ou vomitoxina), ésteres de 3-MCPD (3-monocloropropano-1,2-diol ou 3-cloropropano-1,2-diol), ésteres de glicidol, fumonisinas (B1+B2), migração de componentes do material de embalagem, ocratoxina A, residual de defensivos agrícolas (geral) e ZEA (zearalenona) para os quatro produtos, dioxinas, furano e metilfuranos, relevantes no frango, no hambúrguer e na linguiça vegetal, e óxido de etileno exclusivo para a linguiça.

O estudo também evidenciou lacunas de informações científicas necessárias para o melhor entendimento das questões de segurança desses alimentos, que poderão orientar pesquisas futuras. Dentre estas lacunas destaca-se a falta de dados sobre a incidência e prevalência de microrganismos, micotoxinas, metais pesados, resíduos de pesticidas e toxinas naturais de plantas nos ingredientes e nos produtos finais, bem como dados sobre a formação de compostos tóxicos induzidos pelo processamento. Diante das lacunas identificadas e da crescente importância dos alimentos vegetais análogos à carne para um futuro mais sustentável, é fundamental que agências reguladoras, indústria, pesquisadores e universidades unam esforços para avançar na avaliação, proposição e implantação de ações que busquem garantir a segurança desses produtos, incluindo a atualização da legislação, o investimento em pesquisa e desenvolvimento, a implementação de sistemas de gestão de segurança de alimentos e a formação de profissionais qualificados.

Palavras Chave: alimentos vegetais análogos aos cárneos; análise de perigos; proteínas vegetais.

Highlights

- O estudo evidenciou a necessidade de mais pesquisas para entender a incidência e prevalência de contaminantes nos ingredientes e produtos finais, bem como a formação de compostos tóxicos durante o processamento.
- O estudo ressaltou a importância de implementar medidas de controle rigorosas em todas as etapas-chave da produção e assegurar a devida implementação dos programas de pré-requisitos, para garantir a segurança destes alimentos.

Lista de figuras

Figura 1: Fluxograma de processo do alimento vegetal análogo ao frango (peito de frango vegetal).....	12
Figura 2: Fluxograma de processo do alimento vegetal análogo ao peixe (peixe vegetal).....	15
Figura 3: Fluxograma de processo do alimento vegetal análogo ao hambúrguer de carne bovina (hambúrguer vegetal).....	19
Figura 4: Fluxograma de processo do alimento vegetal análogo à linguiça frescal (linguiça vegetal).....	22

Lista de quadros

Quadro 1: Descrição das etapas de processamento e considerações sobre validade, distribuição e instruções de preparo do alimento vegetal análogo ao frango (peito de frango vegetal).....	13
Quadro 2: Descrição das etapas de processamento e considerações sobre validade, distribuição e instruções de preparo do alimento vegetal análogo ao peixe (peixe vegetal).....	16
Quadro 3: Descrição das etapas de processamento e considerações sobre validade, distribuição e instruções de preparo do alimento vegetal análogo ao hambúrguer de carne bovina (hambúrguer vegetal).....	20
Quadro 4: Descrição das etapas de processamento e considerações sobre validade, distribuição e instruções de preparo do alimento vegetal análogo à linguiça frescal (linguiça vegetal).....	23
Quadro 5: Perigos associados à fabricação dos análogos vegetais aos produtos cárneos.....	24
Quadro 6: Tipos de medidas de controle estabelecidas nos planos APPCC para os alimentos vegetais análogos aos produtos cárneos.....	27
Quadro 7: Estudos científicos encontrados na literatura sobre contaminantes biológicos nos produtos vegetais análogos aos de carne e nas proteínas vegetais usadas na sua formulação.....	29
Quadro 8: Abrangência das informações encontradas na literatura sobre contaminantes biológicos em produtos vegetais análogos aos cárneos e nas proteínas vegetais usadas na sua formulação em função do tipo de material analisado e microrganismos pesquisados.....	35

Lista de siglas

α-ZEL	alfa-Zearalenol	IgE	Imunoglobulina E
β-ZEL	beta-Zearalenol	ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
3-MCPD	3-monocloropropano-1,2-diol ou 3-cloropropano-1,2-diol	ITAL	Instituto de Tecnologia de Alimentos
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas	JECFA	<i>Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives</i>
AME	Alternariol Metil Éter	MAS	Monoacetoxiscirpenol
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária	NMP	Número Mais Provável
AOH	Alternariol	NSW	<i>New South Wales</i>
APPCC	Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (<i>Hazard Analysis and Critical Control Points</i>)	OTA	Ocratoxina A
CDC	<i>Centers for Disease Control and Prevention</i>	PC	Ponto de Controle
CFA	<i>Chilled Food Association</i>	PCC	Ponto Crítico de Controle
DON	Desoxinivalenol	PE	Polietileno
EFSA	<i>European Food Safety Authority</i>	PET	Politereftalato de etileno = Polietileno tereftalato (sigla também usada para poliéster, que é o termo genérico)
ENA	Eniatina	PPR	Programa de Pré-Requisitos
EU-FORA	<i>European Food Risk Assessment Fellowship Programme</i>	PPRO	Programa de Pré-Requisitos Operacionais
FANs	Fatores Antinutricionais	RASFF	<i>Rapid Alert System for Food and Feed</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>	RBA	<i>Risk Benefit Assessment</i>
FDA	<i>Food and Drug Administration</i>	RDC	Resolução da Diretoria Colegiada (da ANVISA)
GFI	<i>The Good Food Institute</i>	SCIRP	Escirpentriol
HAA	Amina Aromática Heterocíclica (<i>Heterocyclic Aromatic Amine</i>)	STEC	<i>E. coli</i> shiga toxigênica
IAFP	<i>International Association for Food Protection</i>	UFC	Unidades Formadoras de Colônias
IARC	<i>International Agency for Research on Cancer</i>	WHO	<i>World Health Organization</i>
		ZEA	Zearalenona

Índice

1. Introdução.....	9
2. Metodologia para identificação dos perigos de segurança.....	10
3. Fluxograma, descrição das etapas de processamento dos produtos e considerações sobre validade, distribuição e instruções de preparo do produto.....	10
4. Perigos de segurança identificados nos planos APPCC.....	24
5. Medidas de controle.....	26
6. Lacunas de pesquisas identificadas para complementar e/ou validar o estudo dos aspectos de segurança dos análogos vegetais aos produtos cárneos.....	28
6.1. Dados sobre contaminantes biológicos nos produtos vegetais análogos aos de carne e nas proteínas vegetais usadas na sua formulação.....	28
6.2. Dados sobre contaminantes químicos nos produtos vegetais análogos aos de carne e nas proteínas vegetais usadas na sua formulação.....	36
6.2.1. Micotoxinas.....	36
6.2.2. Toxinas naturais das plantas.....	38
6.2.3. Resíduos de defensivos agrícolas.....	38
6.2.4. Metais pesados.....	39
6.2.5. Compostos tóxicos formados durante o processamento.....	39
6.3. Fatores antinutricionais nas proteínas vegetais.....	40
6.4. Alergênicos nas proteínas alternativas.....	42
7. Conclusão do estudo perante os aspectos de segurança de produção de produtos cárneos feitos de plantas.....	43
8. Caminho a seguir.....	44
9. Referências.....	45
10. Glossário.....	49
11. Especialidades dos autores.....	51

1. Introdução

A produção de alimentos vegetais análogos aos produtos cárneos (produtos feitos de plantas que mimetizam as características de cor, sabor, textura e aparência daqueles feitos de carne) cresceu expressivamente em todo o mundo nos últimos anos, com o rápido desenvolvimento de novos produtos, novos ingredientes e novos processos de produção, e envolvem fabricantes que variam desde *startups* até grandes e bem estabelecidas empresas multinacionais de produtos cárneos.

Esse crescimento exige um acompanhamento cuidadoso na questão de segurança para a saúde do consumidor, uma vez que a formulação desses alimentos tende a apresentar uma maior diversidade de ingredientes comparativamente aos produtos cárneos convencionais, o que pressupõe grande variedade de fontes de onde podem surgir perigos. As fontes de proteínas mais utilizadas para produção de alimentos vegetais análogos aos produtos cárneos incluem leguminosas, sementes, cereais e tubérculos; as fontes de óleos e gorduras incluem canola, soja, girassol, coco, palma e manteiga de cacau; e as fontes de amidos incluem milho, trigo, batata e mandioca.

Os perigos advindos de ingredientes vegetais dependem da matéria-prima de origem (do solo, dos insumos agrícolas no cultivo das plantas e da forma como são colhidas, armazenadas e transportadas) e da forma como são processadas para obter os ingredientes finais. As matérias-primas vegetais de maneira geral carregam microrganismos, dentre eles espécies patogênicas, podendo ainda ser contaminadas com micotoxinas, metais pesados, resíduos de pesticidas e outros contaminantes, que podem atingir o produto final, além de compostos tóxicos que podem ser induzidos pelo processamento.

Um fato a se destacar neste contexto de rápida evolução e constante inovação é a ausência de uma avaliação sistematizada dos aspectos de segurança na fabricação de alimentos vegetais análogos aos produtos cárneos, a exemplo do que se dispõe para os equivalentes de origem animal. Destaca-se também o fato de muitos produtos disponíveis no mercado serem fabricados pela indústria de derivados de carne, cujos perigos e controles já são bem estabelecidos, havendo, portanto, a necessidade de uma avaliação e uma maior compreensão sobre a adequação desses controles para garantir a segurança dos análogos vegetais.

Assim, o objetivo deste estudo foi conduzir um levantamento sobre os aspectos de segurança na produção de alimentos vegetais análogos aos produtos cárneos. A escolha dos produtos de referência para a elaboração do estudo foi feita de forma a incluir no projeto os principais ingredientes vegetais comumente usados na formulação dos alimentos vegetais análogos aos produtos cárneos (seis tipos de proteínas, quatro tipos de lipídeos e três fontes botânicas de amido), dois processos tecnológicos de produção (extrusão seca e extrusão úmida), dois tipos de apresentação (pronto para consumo e cru) e três métodos de conservação (esterilização, produto estável à temperatura ambiente, congelamento e refrigeração).

É importante salientar que a descrição dos produtos incluídos neste documento não teve o objetivo de apresentar uma formulação a ser seguida pelos fabricantes, mesmo porque há uma enorme gama de ingredientes que podem ser usados, em diferentes combinações, para atender às necessidades tecnológicas, nutricionais, funcionais e de preferências do consumidor. Tampouco foi objetivo deste estudo esgotar o mapeamento dos perigos associados a tais produtos, em função da diversidade de fontes de onde tais perigos podem ser originados. O objetivo do estudo foi identificar e estabelecer os principais pontos que devem ser controlados na cadeia de produção de alimentos

vegetais análogos aos produtos cárneos, bem como entender os pontos que requerem aprofundamento científico para identificação e controle dos perigos.

O presente estudo é o primeiro desenvolvido sob todo este arcabouço teórico e regulatório nacional e internacional, e fornece subsídios técnicos e científicos de grande valia para legisladores, pesquisadores, professores, produtores rurais e empresários desse segmento, bem como profissionais que atuam na área de Gestão da Garantia da Qualidade. Seus resultados poderão servir de orientação para a implementação de controles eficazes pelas indústrias de processamento de alimentos vegetais análogos a produtos cárneos, bem como para a discussão de ações regulatórias pelos órgãos responsáveis pela sua regulamentação.

2. Metodologia para identificação dos perigos de segurança

Para identificar os perigos biológicos, químicos e físicos relevantes à segurança dos produtos abarcados pelo estudo quanto à saúde pública foi observada a legislação da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), subordinada ao Ministério da Saúde do Brasil, que estabelece padrão para contaminantes em alimentos. A legislação do Brasil é uma das mais completas e abrangentes do mundo, definindo padrão para uma multiplicidade de contaminantes em uma extensa gama de produtos, de forma organizada e sistemática. No entanto, tais padrões aplicam-se ao final do prazo de validade de produtos alimentícios destinados ao consumidor final, colocados à venda no varejo. Ainda que, não aplicada a ingredientes destinados à fabricação de alimentos, cujo padrão deve ser o do produto recém-produzido e não no final da vida de prateleira, tal legislação pode ser utilizada como guia no caso dos ingredientes desidratados usados na formulação dos análogos vegetais aos produtos cárneos, que em função da secagem não sofrem alteração na carga contaminante ao longo do tempo de armazenamento.

Foram também consideradas as recomendações do *Codex Alimentarius* quanto a normas, guias e códigos que objetivam assegurar a segurança dos alimentos e publicações de diversas organizações e comitês internacionais como o CDC (*Centers for Disease Control and Prevention*) norte-americano, a EFSA (*European Food Safety Authority*) na Europa, a FDA (*Food and Drug Administration*) norte-americana, a IARC (*International Agency for Research on Cancer*), o JECFA (*Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives*), a WHO (*World Health Organization*) e regulamentos da União Europeia.

3. Fluxograma, descrição das etapas de processamento dos produtos e considerações sobre validade, distribuição e instruções de preparo do produto

O fluxograma de processo do alimento vegetal análogo ao frango (peito de frango vegetal) encontra-se na Figura 1 e a descrição das etapas e as considerações sobre validade, distribuição e instruções de preparo do produto no Quadro 1.

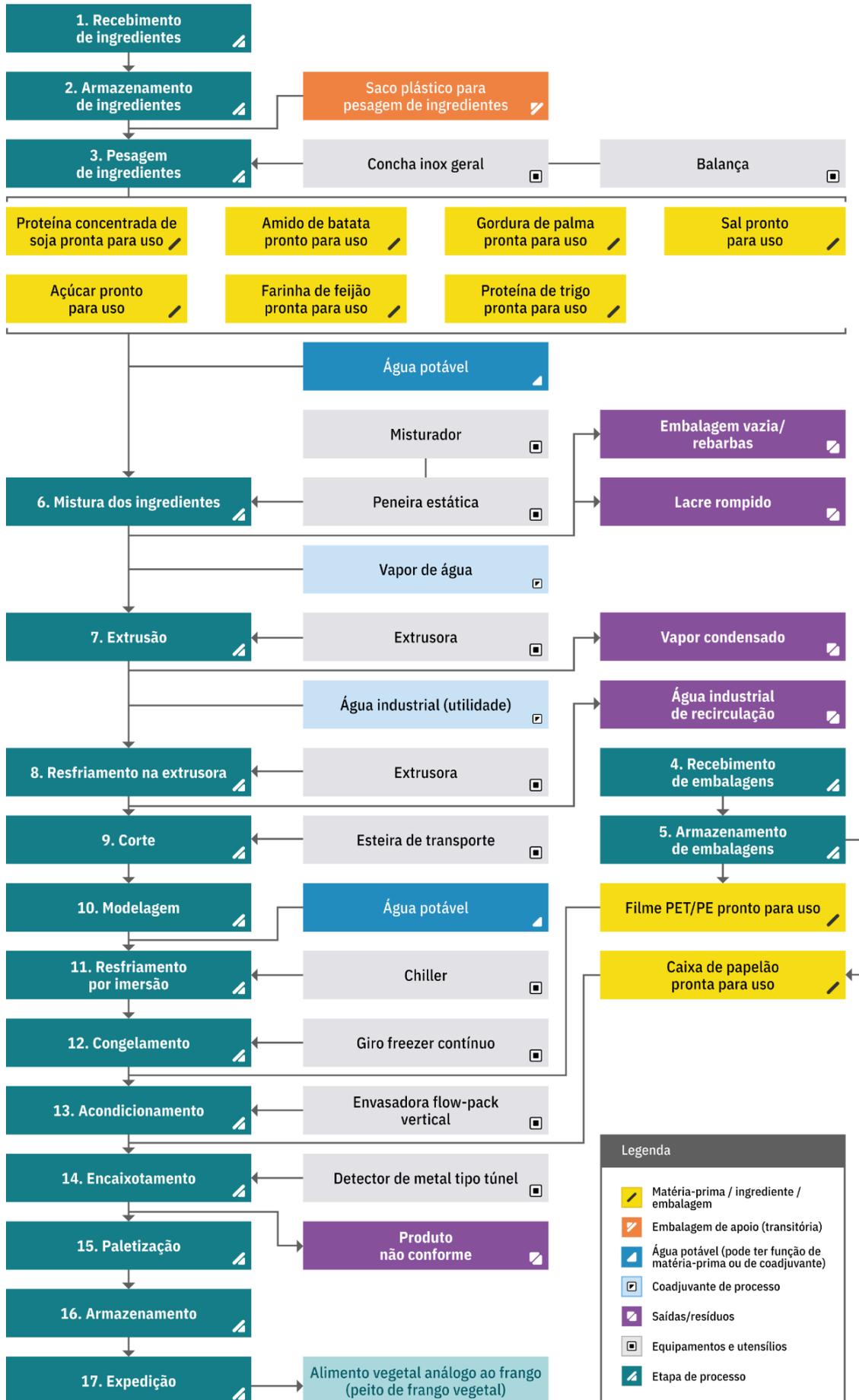
O fluxograma de processo do alimento vegetal análogo ao peixe (peixe vegetal) encontra-se na Figura 2 e a descrição das etapas e as considerações sobre validade, distribuição e instruções de preparo do produto no Quadro 2.

O fluxograma de processo do alimento vegetal análogo ao hambúrguer de carne bovina (hambúrguer vegetal) encontra-se na Figura 3 e a descrição das etapas e as considerações sobre validade, distribuição e instruções de preparo do produto no Quadro 3.

O fluxograma de processo do alimento vegetal análogo à linguiça frescal (linguiça vegetal) encontra-se na Figura 4 e a descrição das etapas e as considerações sobre validade, distribuição e instruções de preparo do produto no Quadro 4.

Vale destacar que nos planos APPCC elaborados no [estudo completo](#), é apresentada a descrição detalhada de cada material utilizado durante o processamento dos produtos, incluindo origem, procedência geográfica, composição, método de produção, acondicionamento, transporte, armazenamento, prazo de validade, método de uso, critério de aceitação, perigos e legislação associada.

FIGURA 1: FLUXOGRAMA DE PROCESSO DO ALIMENTO VEGETAL ANÁLOGO AO FRANGO (PEITO DE FRANGO VEGETAL).

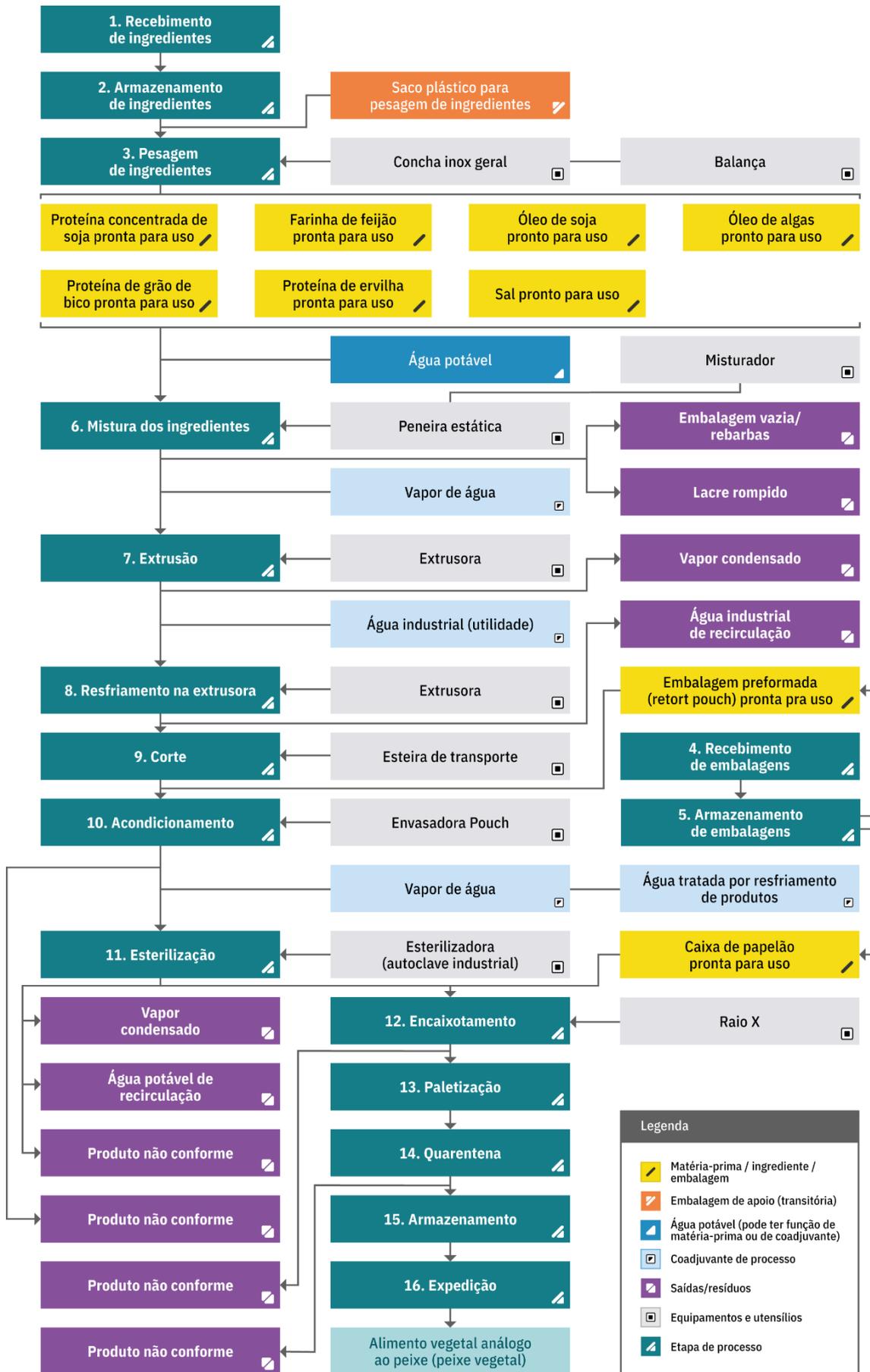


QUADRO 1: DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DE PROCESSAMENTO E CONSIDERAÇÕES SOBRE VALIDADE, DISTRIBUIÇÃO E INSTRUÇÕES DE PREPARO DO ALIMENTO VEGETAL ANÁLOGO AO FRANGO (PEITO DE FRANGO VEGETAL).

Etapa	Descrição
1. Recebimento de ingredientes	No momento do recebimento verifica-se a documentação dos fornecedores e é feita uma inspeção, para verificar a integridade do material recebido e as condições de higiene/presença de pragas no transporte.
2. Armazenamento de ingredientes	Os ingredientes são transportados até o almoxarifado para armazenamento no local e nas condições designadas.
3. Pesagem de ingredientes	Os ingredientes são transportados em suas embalagens fechadas até a sala de pesagem, onde é feita a pesagem manual com o auxílio de conchas, de acordo com a formulação do produto. O material pesado é acondicionado em caixas plásticas.
4. Recebimento de embalagens	No momento do recebimento das embalagens é feita uma inspeção, para verificar a integridade do material recebido, as condições de higiene/presença de pragas no transporte e as características próprias para acondicionamento de congelados.
5. Armazenamento de embalagens	As embalagens são transportadas até o almoxarifado para armazenamento no local designado.
6. Mistura dos ingredientes	Os ingredientes pesados são transportados nas caixas plásticas fechadas até o misturador, cuja alimentação é feita manualmente.
7. Extrusão	<p>Os ingredientes em pó já pesados e misturados são transportados para a extrusora co-rotacional dupla rosca com matriz de alta umidade, manualmente ou através de rosca transportadora helicoidal, sendo adicionados ao funil de alimentação da extrusora por um alimentador controlado gravimetricamente, para mistura antes da hidratação. O sistema de alimentação é horizontal e gravimétrico, regulado a uma velocidade de alimentação constante de 6 kg/h (base seca).</p> <p>Os ingredientes misturados percorrem o equipamento até o compartimento em que é feita a hidratação com água potável, alimentada através de bomba peristáltica controlada automaticamente.</p> <p>O teor de umidade durante o processo de extrusão é de 40% a 70% e para atingir estes valores a velocidade indicada de adição de água é de 4,8 a 8,4 kg/h, calculada considerando-se a umidade inicial dos ingredientes em pó (proteínas, farinhas e amidos). Nesta etapa, também é adicionado o óleo, utilizando sistema de bomba pneumática individual para cada um dos líquidos.</p> <p>No canhão da extrusora co-rotativa dupla rosca, em processo contínuo, a mistura hidratada entra na rosca sem fim, onde é submetida à ação de cisalhamento, alta pressão e aquecimento. Estas operações resultam no cozimento, na desnaturação e perda da solubilidade das proteínas e na gelatinização do amido.</p> <p>Os parâmetros de extrusão são: rotação 110-220 rpm, com temperatura do canhão 25-60 °C (1ª zona), 35-90 °C (2ª zona), 105-155 °C (3ª zona), 136-155 °C (4ª zona) e 110-165 °C (5ª zona).</p>
8. Resfriamento na extrusora	A temperatura da matriz de resfriamento varia de 30 a 80 °C, sendo controlada pela circulação de água resfriada. São o gradiente de temperatura no lento resfriamento e a tensão de cisalhamento ao atravessar a longa matriz de resfriamento (cerca de 1,2 metros com orifício de saída reduzido) que promovem o direcionamento e a formação das fibras do produto vegetal.

9. Corte	Ao sair da matriz da extrusora o extrudado texturizado é depositado em esteiras e cortado por lâminas de corte de acordo com o tamanho especificado.
10. Modelagem	Nas esteiras o extrudado texturizado e cortado é submetido à modelagem, adquirindo o formato final na passagem por uma prensa estampadora aquecida tipo grelha.
11. Resfriamento	Nas esteiras o material é resfriado utilizando <i>chillers</i> ou sistema mecânico de refrigeração, até que a temperatura interna do produto atinja cerca de 4 °C.
12. Congelamento	O extrudado cortado e moldado segue nas esteiras passando pelo túnel de congelamento com temperatura variando de 25 °C negativos a 35 °C negativos, por um tempo de exposição suficiente para que o interior do produto atinja a temperatura de 18 °C negativos.
13. Acondicionamento	Saindo do túnel de congelamento, o produto congelado é direcionado ao sistema de envase abastecido com bobinas de filme plástico de politereftalato de etileno (PET). Os sacos plásticos formados são abastecidos com as unidades do produto congelado de acordo com o peso especificado para a embalagem. Em seguida, cada saco é automaticamente acondicionado em cartucho ou luva de papel cartão pré-formado.
14. Encaixotamento	As embalagens cartonadas são acondicionadas em caixas de papelão ondulado, de forma automatizada. As caixas são identificadas com etiquetas codificadas. Nesta etapa as embalagens também passam por um detector de metais, sendo segregadas aquelas que contenham quaisquer partículas metálicas iguais ou superiores a 2 mm.
15. Paletização	Nesta etapa as caixas são acomodadas em paletes manualmente. Uma vez formado, o palete é envolto por um filme estirável (filme <i>stretch</i>) e identificado com etiquetas codificadas, formando uma unidade de carga.
16. Armazenamento	As unidades de carga são armazenadas em câmara fria em temperatura não superior a 25 °C negativos.
17. Expedição	Nesta etapa é feito o carregamento e a expedição do produto acabado, que deve ser transportado em caminhões frigoríficos em condições que não atinjam temperaturas superiores a 12 °C negativos.
Considerações sobre validade, distribuição e instruções de preparo do produto	Para o estudo piloto esse produto foi considerado um alimento congelado com prazo de validade de 12 meses. Recomenda-se o transporte em condições tais que o produto não atinja temperatura superior a 12 °C negativos, paletizado e organizado em veículos em bom estado de conservação, providos permanentemente de termômetro calibrado de fácil leitura, limpos, fechados com proteção contra intempéries e contra contaminantes, sem evidência de pragas e/ou outros animais, sem compartilhamento com produtos não alimentícios, livres de produtos tóxicos, substâncias e objetos estranhos à atividade, garantindo-se a integridade e a qualidade dos produtos. Recomenda-se o descongelamento em geladeira (a temperatura da superfície do produto não deve ultrapassar 10 °C) ou, opcionalmente, descongelamento rápido como em forno de micro-ondas, por exemplo. Em caso de sobras após consumo, orienta-se pelo descarte.

FIGURA 2: FLUXOGRAMA DE PROCESSO DO ALIMENTO VEGETAL ANÁLOGO AO PEIXE (PEIXE VEGETAL).



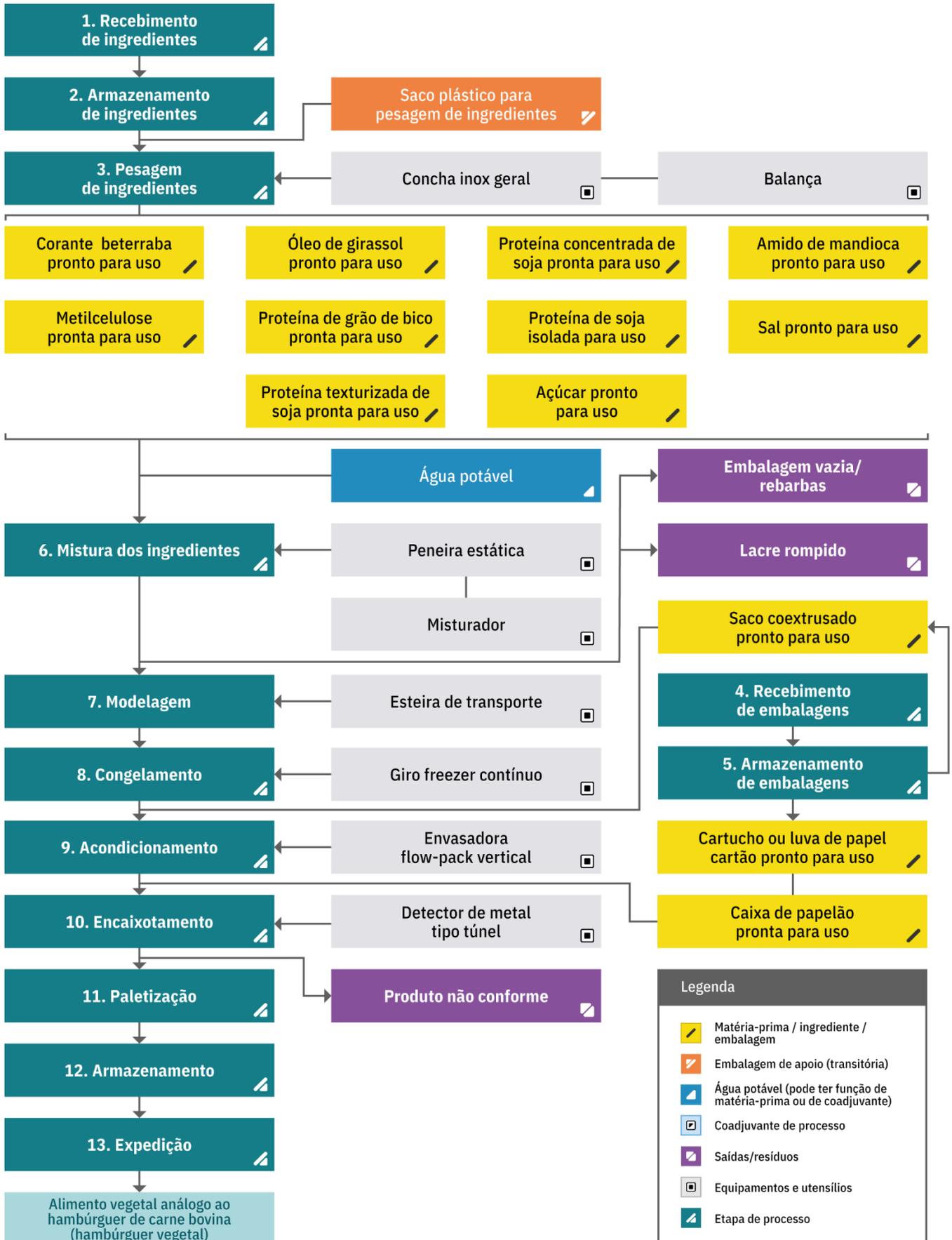
QUADRO 2: DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DE PROCESSAMENTO E CONSIDERAÇÕES SOBRE VALIDADE, DISTRIBUIÇÃO E INSTRUÇÕES DE PREPARO DO ALIMENTO VEGETAL ANÁLOGO AO PEIXE (PEIXE VEGETAL).

Etapa	Descrição
1. Recebimento de ingredientes	No momento do recebimento verifica-se a documentação dos fornecedores e é feita uma inspeção, para verificar a integridade do material recebido e as condições de higiene/presença de pragas no transporte.
2. Armazenamento de ingredientes	Os ingredientes são transportados até o almoxarifado para armazenamento no local e nas condições designadas.
3. Pesagem de ingredientes	Os ingredientes são transportados em suas embalagens fechadas até a sala de pesagem, onde é feita a pesagem manual com o auxílio de conchas, de acordo com a formulação do produto. O material pesado é acondicionado em caixas plásticas.
4. Recebimento de embalagens	No momento do recebimento das embalagens é feita uma inspeção para verificar a integridade do material recebido e as condições de higiene/presença de pragas no transporte.
5. Armazenamento de embalagens	As embalagens são transportadas até o almoxarifado para armazenamento no local designado.
6. Mistura dos ingredientes	Os ingredientes pesados são transportados nas caixas plásticas fechadas até o misturador, cuja alimentação é feita manualmente.
7. Extrusão	<p>Os ingredientes em pó já pesados e misturados são transportados para a extrusora co-rotacional dupla rosca com matriz de alta umidade, manualmente ou através de rosca transportadora helicoidal, sendo adicionados ao funil de alimentação da extrusora por um alimentador controlado gravimetricamente, para mistura antes da hidratação. O sistema de alimentação é horizontal e gravimétrico, regulado a uma velocidade de alimentação constante de 6 kg/h (base seca).</p> <p>Os ingredientes misturados percorrem o equipamento até o compartimento em que é feita a hidratação com água potável, alimentada através de bomba peristáltica controlada automaticamente.</p> <p>O teor de umidade durante o processo de extrusão é de 40% a 70% e para atingir estes valores a velocidade indicada de adição de água é de 4,8 a 8,4 kg/h, calculada considerando-se a umidade inicial dos ingredientes em pó (proteínas, farinhas e amidos). Nesta etapa, também é adicionado o óleo, utilizando sistema de bomba pneumática individual para cada um dos líquidos.</p> <p>No canhão da extrusora co-rotativa dupla rosca, em processo contínuo, a mistura hidratada entra na rosca sem fim, onde é submetida à ação de cisalhamento, alta pressão e aquecimento. Estas operações resultam no cozimento, desnaturação e perda da solubilidade das proteínas e na gelatinização do amido.</p> <p>Os parâmetros de extrusão são: rotação 110-220 rpm, com temperatura do canhão 25-60 °C (1ª zona), 35-90 °C (2ª zona), 105-155 °C (3ª zona), 136-155 °C (4ª zona) e 110-165 °C (5ª zona).</p>
8. Resfriamento na extrusora	A temperatura da matriz de resfriamento varia de 30 a 80 °C, sendo controlada pela circulação de água resfriada. São o gradiente de temperatura no lento resfriamento e a tensão de cisalhamento ao atravessar a longa matriz de resfriamento (cerca de 1,2 metros com orifício de saída reduzido) que promovem o direcionamento e a formação das fibras do produto vegetal.

<p>9. Corte e resfriamento em túnel de resfriamento</p>	<p>Ao sair da matriz da extrusora o extrudado texturizado é depositado em esteiras, cortado por lâminas de corte de acordo com o tamanho especificado e submetido a mais uma etapa de resfriamento em túnel de resfriamento antes do envase.</p>
<p>10. Acondicionamento</p>	<p>Saindo do túnel de resfriamento, o extrudado cortado e resfriado é direcionado ao sistema automatizado de envase. O equipamento de envase é abastecido com as embalagens <i>retort pouch</i>, que são abertas e abastecidas de acordo com o peso especificado. À medida que vão sendo soldadas as embalagens são coletadas em uma mesa de apoio, de onde seguem para a esterilização em autoclave.</p>
<p>11. Esterilização</p>	<p>A esterilização do produto acondicionado hermeticamente nas embalagens deve ser conduzida em autoclaves apropriadas, de acordo com as temperaturas de processo e tipos de embalagem. No caso de embalagens flexíveis, como é o caso dos <i>pouches</i>, são requeridas autoclaves que operam com sobrepressão, isto é, a pressão da autoclave é a pressão de vapor correspondente à temperatura de operação. As autoclaves mais comuns são as que operam usando como meio de aquecimento a cascata de água, o <i>spray</i> de água ou o ar com vapor, bem como as autoclaves inundadas.</p> <p>A condição de processamento (tempos, temperaturas e pressões) das fases de aquecimento, patamar/processamento e resfriamento devem ser configuradas de forma que o produto atinja a letalidade mínima requerida.</p> <p>Para produtos de baixa acidez e alta atividade de água, como o análogo à peixe, o alvo do processo de esterilização são os esporos de <i>Clostridium botulinum</i>. O tratamento deve ser dimensionado para garantir no mínimo 12 reduções decimais no número de esporos eventualmente presentes, o que corresponde a $F_0=2,52$ min. Para maior segurança do ponto de vista da saúde pública, o valor mínimo aplicado é de três minutos (Lewis, 2006; Lewis & Deeth, 2009).</p> <p>É importante considerar que para atingir a esterilidade comercial deve-se também garantir a redução de bactérias esporogênicas mesófilas e termófilas deteriorantes, que são mais resistentes ao calor do que <i>Clostridium botulinum</i>. Stumbo (1973) indica F_0 de no mínimo cinco minutos e, nos casos em que seja requerida a redução de termófilos, F_0 entre 14 e 16 minutos. No caso do análogo à peixe, por se tratar de um produto que envolve a combinação de ingredientes de diferentes fontes, microbiota variada, e escassez de estudos sobre as espécies presentes e sobre a interação entre elas, sugere-se, a priori, um tratamento térmico mais intenso. Tomando-se por base a resistência térmica dos esporos de <i>Geobacillus stearothermophilus</i>, um dos termófilos mais resistentes ao calor (valor D a $121,1^\circ\text{C} = 4$ a 5 minutos) (Stumbo, 1973) e o objetivo de se alcançar uma redução de cinco ciclos logarítmicos, recomenda-se valores de letalidade de 20 minutos, ou seja, $F_0=20$ minutos.</p> <p>O resfriamento se dá dentro da própria autoclave, com a água que passou pela esterilização durante o processamento e foi posteriormente resfriada indiretamente, sem contato com o ambiente externo, o que previne quaisquer problemas de recontaminação do produto.</p> <p>Cada fabricante deve conduzir testes de penetração de calor na unidade fabril em que o produto será processado, uma vez que os tempos e temperaturas de processo para atingir uma mesma letalidade podem variar em função do tipo de autoclave, embalagem, composição do produto, condições de enchimento meio de aquecimento e outros fatores de processamento.</p> <p>Aberta a autoclave as embalagens são retiradas e encaminhadas diretamente à rotulagem e encaixotamento em carrinhos de apoio.</p>
<p>12. Encaixotamento</p>	<p>As embalagens são acondicionadas em caixas de papelão ondulado, de forma automatizada. As caixas são identificadas com etiquetas codificadas.</p>

	Nesta etapa as embalagens também passam por um equipamento de raio X, para detecção e segregação daquelas que contenham quaisquer partículas metálicas iguais ou superiores a 2 mm.
13. Paletização	Nesta etapa as caixas são acomodadas em paletes manualmente. Uma vez formado, o palete é envolto por um filme estirável (filme <i>stretch</i>) e identificado com etiquetas codificadas, formando uma unidade de carga.
14. Quarentena	Uma amostra de cada lote é tomada e incubada a 35-37 °C por 10 dias, para observação de eventual estufamento das embalagens e alteração no pH do produto, indicativos de falha no processamento. Outros parâmetros sensoriais também podem ser observados a critério do fabricante.
15. Armazenamento	As unidades de carga são armazenadas à temperatura ambiente (máximo 30 °C) até a expedição.
16. Expedição	Nesta etapa é feito o carregamento e a expedição do produto acabado, transportado em caminhões à temperatura ambiente (máximo 30 °C).
Considerações sobre validade, distribuição e instruções de preparo do produto	Para o estudo piloto esse produto foi considerado com prazo de validade de 12 meses. Recomenda-se transportar à temperatura ambiente (máximo 30 °C), paletizado e organizado em veículos em bom estado de conservação, limpos, fechados com proteção contra intempéries e contra contaminantes, sem evidência de pragas e/ou outros animais, sem compartilhamento com produtos não alimentícios, livres de produtos tóxicos, substâncias e objetos estranhos à atividade, garantindo-se a integridade e a qualidade do produto. O produto é pronto para o consumo, podendo ser consumido diretamente ou na combinação com outros alimentos. Após aberto, manter sob refrigeração de até 10 °C e consumir em no máximo dois dias. Em caso de sobras após o consumo, orienta-se pelo descarte.
Referências citadas	LEWIS, M. J. Thermal Processing. In: BRENNAN, J. G. (ed.). <i>Food Processing Handbook</i> . Weinheim: Wiley-VCH, 2006. p. 33-69. LEWIS, M. J.; DEETH, H. C. Heat Treatment of Milk. In: TAMIME, A. Y. (ed.). <i>Milk Processing and Quality Management</i> . Hoboken: Wiley-Blackwell, 2008. p. 168-200. STUMBO, C. F. <i>Thermobacteriology in Food Processing</i> . 2. ed. New York: Academic Press, 1973.

FIGURA 3: FLUXOGRAMA DE PROCESSO DO ALIMENTO VEGETAL ANÁLOGO AO HAMBÚRGUER DE CARNE BOVINA (HAMBÚRGUER VEGETAL).

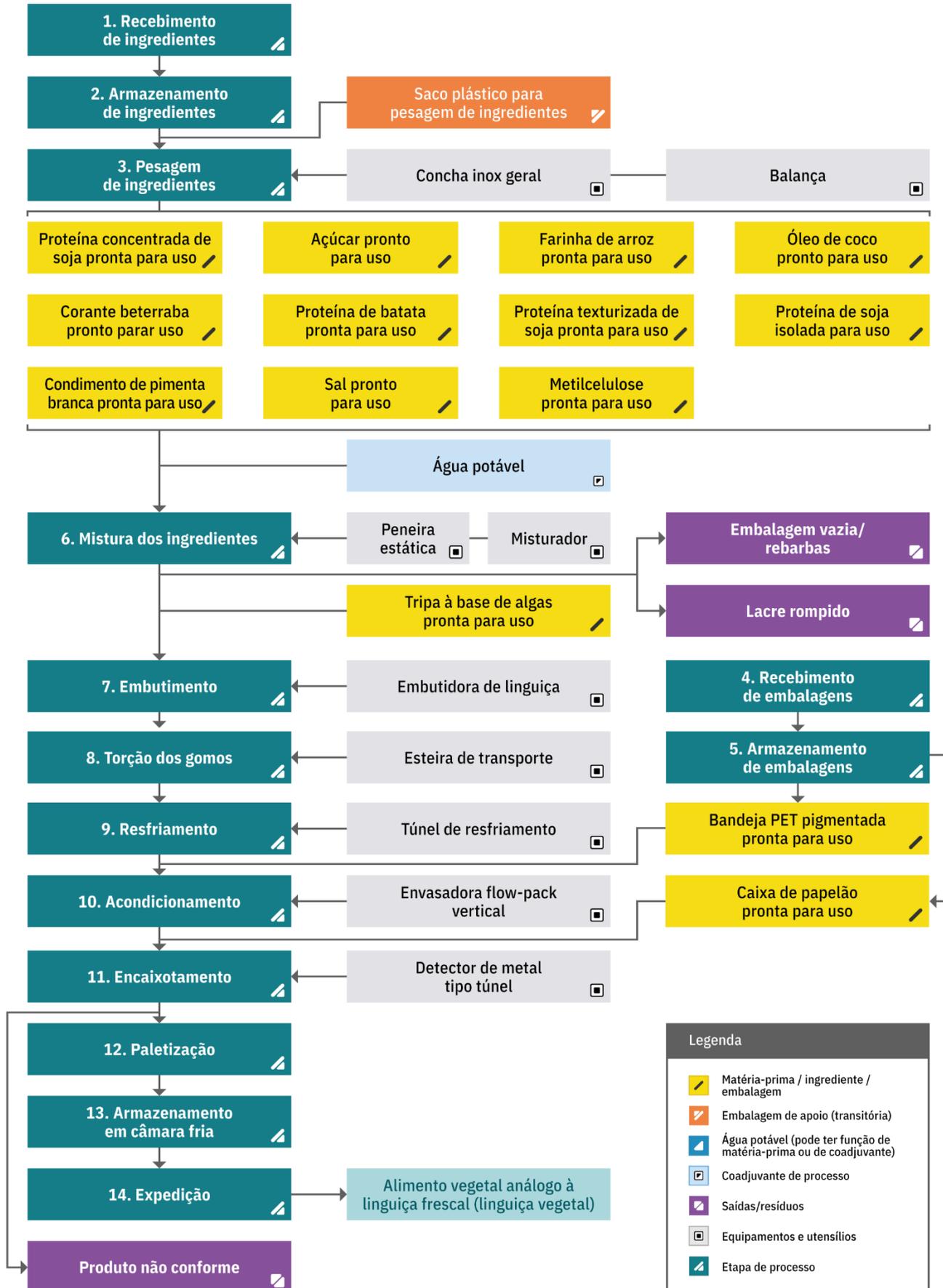


QUADRO 3: DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DE PROCESSAMENTO E CONSIDERAÇÕES SOBRE VALIDADE, DISTRIBUIÇÃO E INSTRUÇÕES DE PREPARO DO ALIMENTO VEGETAL ANÁLOGO AO HAMBÚRGUER DE CARNE BOVINA (HAMBÚRGUER VEGETAL).

Etapa	Descrição
1. Recebimento de ingredientes	No momento do recebimento verifica-se a documentação dos fornecedores e é feita uma inspeção, para verificar a integridade do material recebido e as condições de higiene/presença de pragas no transporte.
2. Armazenamento de ingredientes	Os ingredientes são transportados até o almoxarifado para armazenamento no local e nas condições designadas.
3. Pesagem de ingredientes	Os ingredientes são transportados em suas embalagens fechadas até a sala de pesagem, onde é feita a pesagem manual com o auxílio de conchas, de acordo com a formulação do produto. O material pesado é acondicionado em caixas plásticas.
4. Recebimento de embalagens	No momento do recebimento é feita uma inspeção, para verificar a integridade do material recebido, as condições de higiene/presença de pragas no transporte e as características próprias para acondicionamento de congelados.
5. Armazenamento de embalagens	As embalagens são transportadas até o almoxarifado para armazenamento no local designado.
6. Mistura dos ingredientes	Os ingredientes pesados são transportados nas caixas plásticas fechadas até o misturador, cuja alimentação é feita manualmente. Primeiramente são adicionadas as proteínas de soja e a água, introduzida por sistema fechado. Uma vez hidratadas as proteínas de soja, são então adicionados os demais ingredientes, exceto a metilcelulose, que será adicionada após sua pré-hidratação. Recomenda-se que a partir da hidratação dos ingredientes a operação de mistura seja conduzida em ambiente climatizado à temperatura entre 12 e 15 °C.
7. Moldagem	A mistura é colocada na alimentação da formadora/moldadeira onde é cortada e moldada no formato de discos (hambúrgueres).
8. Congelamento	O produto moldado é transportado em esteiras até o túnel de congelamento, onde atinge 18 °C negativos.
9. Acondicionamento	Saindo do túnel de congelamento, o produto congelado é direcionado ao sistema de envase abastecido com bobinas de filme plástico poliolefinico. Cada unidade é embalada de maneira automatizada <i>form-fill-seal</i> horizontal. Em seguida as unidades são automaticamente acondicionadas em embalagens de papel cartonado pré-formadas, em número de unidades de acordo com o peso especificado para a embalagem secundária.
10. Encaixotamento	As embalagens cartonadas são acondicionadas em caixas de papelão ondulado, de forma automatizada. As caixas são identificadas com etiquetas codificadas. Nesta etapa as embalagens também passam por um detector de metais, sendo segregadas aquelas que contenham quaisquer partículas metálicas iguais ou superiores a 2 mm.
11. Paletização	Nesta etapa as caixas são acomodadas em paletes manualmente. Uma vez formado, o palete é envolto por um filme estirável (filme <i>stretch</i>) e identificado com etiquetas codificadas, formando uma unidade de carga.
12. Armazenamento	As unidades de carga são armazenadas em câmara fria em temperatura não superior a 25 °C negativos.
Considerações sobre validade, distribuição e	Para o estudo piloto esse produto foi considerado um alimento congelado com prazo de validade de 12 meses. Recomenda-se transportar em condições tais que não atinja temperatura superior a 12 °C negativos, paletizado e organizado em veículos

instruções de preparo do produto	em bom estado de conservação, providos permanentemente de termômetro calibrado de fácil leitura, limpos, fechados com proteção contra intempéries e contra contaminantes, sem evidência de pragas e/ou outros animais, sem compartilhamento com produtos não alimentícios, livres de produtos tóxicos, substâncias e objetos estranhos à atividade, garantindo-se a integridade e a qualidade do produto. O produto não deve ser consumido cru, requerendo aplicação de calor (cozinhar, fritar, grelhar, assar) antes do consumo, para desenvolvimento das características de textura desejadas. O tratamento térmico deve garantir que todas as partes dos alimentos atinjam a temperatura mínima de 74 °C. Temperaturas inferiores podem ser utilizadas, desde que as combinações de temperatura e tempo sejam suficientes para assegurar a qualidade higiênico-sanitária dos alimentos, como 70 °C por dois minutos ou 65 °C por 15 minutos. O preparo deve ser preferencialmente sem descongelar, mas pode ser parcialmente descongelado no momento do preparo. Em caso de descongelamento prévio, deve ser feito em refrigerador e a temperatura da superfície do produto não deve ultrapassar 10 °C. Em caso de sobras após consumo, orienta-se pelo descarte.
---	---

FIGURA 4: FLUXOGRAMA DE PROCESSO DO ALIMENTO VEGETAL ANÁLOGO À LINGUIÇA FRESCAL (LINGUIÇA VEGETAL).



QUADRO 4: DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DE PROCESSAMENTO E CONSIDERAÇÕES SOBRE VALIDADE, DISTRIBUIÇÃO E INSTRUÇÕES DE PREPARO DO ALIMENTO VEGETAL ANÁLOGO À LINGUIÇA FRESCAL (LINGUIÇA VEGETAL).

Etapa	Descrição
1. Recebimento de ingredientes	No momento do recebimento verifica-se a documentação dos fornecedores e é feita uma inspeção, para verificar a integridade do material recebido e as condições de higiene/presença de pragas no transporte.
2. Armazenamento de ingredientes	Os ingredientes são transportados até o almoxarifado para armazenamento no local e nas condições designadas.
3. Pesagem de ingredientes	Os ingredientes são transportados em suas embalagens fechadas até a sala de pesagem, onde é feita a pesagem manual com o auxílio de conchas, de acordo com a formulação do produto. O material pesado é acondicionado em caixas plásticas.
4. Recebimento de embalagens	No momento do recebimento é feita uma inspeção, para verificar a integridade do material recebido e as condições de higiene/presença de pragas no transporte.
5. Armazenamento de embalagens	As embalagens são transportadas até o almoxarifado para armazenamento no local designado.
6. Mistura dos ingredientes	Os ingredientes pesados são transportados nas caixas plásticas fechadas até o misturador, cuja alimentação é feita manualmente. Primeiramente são adicionadas as proteínas de soja e a água, introduzida por sistema fechado. Uma vez hidratadas as proteínas de soja, são então adicionados os demais ingredientes, exceto a metilcelulose, que será adicionada após sua pré-hidratação. Recomenda-se que a partir da hidratação dos ingredientes a operação de mistura seja conduzida em ambiente climatizado à temperatura entre 12 e 15 °C.
7. Embutimento	A massa é embutida em tripa vegetal comestível, preferencialmente utilizando-se uma embutideira a vácuo.
8. Torção dos gomos	A massa embutida é torcida formando gomos, usando-se um sistema de formação de gomos integrado à embutidora.
9. Resfriamento	O produto embutido é transportado em esteiras até o túnel de resfriamento onde é resfriado a temperatura inferior a 5 °C.
10. Acondicionamento	Saindo do túnel de resfriamento, o produto resfriado é direcionado ao sistema de envase automatizado, onde os gomos são acomodados em bandejas de polietileno tereftalato (PET), na quantidade especificada para a embalagem. As embalagens PET são fechadas através do selamento do filme tampa sobre a bandeja e acondicionadas num cartucho ou luva de papel cartão.
11. Encaixotamento	As embalagens cartonadas são acondicionadas em caixas de papelão ondulado, de forma automatizada. As caixas são identificadas com etiquetas codificadas. Nesta etapa as embalagens também passam por um detector de metais, sendo segregadas aquelas que contenham quaisquer partículas metálicas iguais ou superiores a 2 mm.
12. Paletização	Nesta etapa as caixas são acomodadas em paletes manualmente. Uma vez formado, o palete é envolto por um filme estirável (filme <i>stretch</i>) e identificado com etiquetas codificadas, formando uma unidade de carga.

13. Armazenamento	As unidades de carga são armazenadas em câmara fria em temperatura não superior a 4 °C.
14. Expedição	Nesta etapa é feito o carregamento e a expedição do produto acabado, que deve ser transportado em caminhões frigoríficos em condições tais que não atinja temperatura superior a 8 °C.
Considerações sobre validade, distribuição e instruções de preparo do produto	Para o estudo piloto esse produto foi considerado com prazo de validade de 10 dias à temperatura de 3 a 8 °C. Recomenda-se o transporte refrigerado, em condições tais que a temperatura do produto seja mantida entre 3 e 8 °C, paletizado e organizado em veículos em bom estado de conservação, providos permanentemente de termômetro calibrado de fácil leitura, limpos, fechados com proteção contra intempéries e contra contaminantes, sem evidência de pragas e/ou outros animais, sem compartilhamento com produtos não alimentícios, mantidos organizados e livres de produtos tóxicos, substâncias e objetos estranhos à atividade, garantindo-se a integridade e a qualidade dos produtos. O produto não deve ser consumido cru, requerendo aplicação de calor (cozinhar, fritar, grelhar, assar) antes do consumo, para desenvolvimento das características de textura desejadas e redução da carga microbiana. O tratamento térmico deve garantir que todas as partes dos alimentos atinjam a temperatura mínima de 74 °C. Temperaturas inferiores podem ser utilizadas, desde que as combinações de temperatura e tempo sejam suficientes para assegurar a qualidade higiênico sanitária dos alimentos, como 70 °C por dois minutos ou 65 °C por 15 minutos. Em caso de sobras após consumo, orienta-se o descarte.

4. Perigos de segurança identificados nos planos APPCC

Foram identificadas cinco categorias de perigos originados dos ingredientes, materiais e etapas de processo: perigos alergênicos, físicos, biológicos, químicos e radiológicos. No Quadro 5 são discriminados cada um deles, sua classificação e associação com a fabricação dos produtos vegetais abordados neste estudo.

QUADRO 5: PERIGOS ASSOCIADOS À FABRICAÇÃO DOS ANÁLOGOS VEGETAIS AOS PRODUTOS CÂRNEOS.

Perigo	Classificação	Produto Vegetal			
		Peixe	Frango	Hambúrguer	Linguiça
Glúten*	Alergênico	X	X	X	X
Proteínas de soja*	Alergênico	X	X	X	X
<i>Bacillus cereus</i>	Biológico	X	X	X	X
Esporos de <i>Clostridium botulinum</i>	Biológico	X	-	-	-
<i>Escherichia coli</i> (indicador de qualidade higiênico sanitária)	Biológico	X	X	X	X
<i>Listeria monocytogenes</i>	Biológico	X	X	X	X

Salmonella spp	Biológico	X	X	X	X
Areia	Físico	X	X	X	X
Fragmentos de insetos	Físico	-	X	-	X
Fragmentos metálicos ferrosos e não ferrosos	Físico	X	X	X	X
Plástico flexível ou polímero não rígido	Físico	X	X	X	X
Acrilamida (propenamida)	Químico	X	X	X	X
Aflatoxinas B1, B2, G1 e G2	Químico	X	X	X	X
Arsênio	Químico	X	X	X	X
Cádmio	Químico	X	X	X	X
Chumbo	Químico	X	X	X	X
Cobre	Químico	X	X	X	X
Contaminantes químicos da água	Químico	X	X	X	X
Dioxinas	Químico	-	X	X	X
DON – Desoxinivalenol ou vomitoxina	Químico	X	X	X	X
Ésteres de 3-MCPD (3-monocloropropano-1,2-diol ou 3-cloropropano-1,2-diol)	Químico	X	X	X	X
Ésteres de glicidol	Químico	X	X	X	X
Fumonisinias (B1+B2)	Químico	X	X	X	X
Furano e Metilfuranos	Químico	-	X	X	X
Migração de componentes do material de embalagem	Químico	X	X	X	X
Ocratoxina A	Químico	X	X	X	X
Óxido de etileno	Químico	-	-	-	X
Residual de defensivos agrícolas (geral)	Químico	X	X	X	X
ZEA – zearalenona	Químico	X	X	X	X
Radioatividade Alfa total (água potável)	Radiológico	X	X	X	X
Radioatividade Beta total (água potável)	Radiológico	X	X	X	X

*Os perigos alergênicos foram considerados em todos os produtos, mesmo os que não contém a proteína em questão, em função da possibilidade de compartilhamento de equipamentos de uma mesma unidade fabril para diferentes análogos vegetais.

SAIBA MAIS

No [Estudo completo](#) foi apresentada a descrição detalhada de cada um destes perigos, bem como, quando aplicável, a severidade, a ação sobre o organismo, os alimentos envolvidos na sua transmissão, os sintomas, a dose infectiva, o período de incubação, a toxicidade, a dose diária aceitável e outras informações relevantes. Também foram discriminadas a origem de cada perigo, a justificativa do perigo, o grau de risco representado pelo perigo (desprezível, menor, médio, alto) em função da sua severidade, a probabilidade de ocorrência do perigo, o nível aceitável do perigos no produto final e as medidas de controle adotada para prevenção, eliminação ou redução do perigo a níveis aceitáveis.

O estudo completo contém ainda a identificação dos pontos críticos de controle (PCCs), dos programas de pré-requisitos (PPRs), dos Pontos de Controle (PCs) e das Medidas de Controle Sinérgicas (MCS) associados a cada produto, com o estabelecimento dos limites críticos para as medidas de controle classificadas como PCC, o estabelecimento dos procedimentos de monitoramento e de verificação e as orientações para implementação do plano APPCC para produção de alimentos vegetais análogos aos produtos carnes.

5. Medidas de controle

As medidas de controle definidas e estabelecidas nos planos APPCC do [estudo completo](#) foram classificadas como PCC (ponto crítico de controle), PC (ponto de controle) ou PPR (programa de pré-requisito), além de medidas de controle sinérgicas (MCS), para as quais aplicam-se as seguintes definições:

Programa de Pré-Requisito (PPR). É designação usada quando uma medida para o controle de um perigo significativo já está claramente estabelecida nos requisitos de boas práticas de fabricação instituídos pela legislação brasileira.

Ponto de Controle (PC). Também chamado de programa de pré-requisito operacional (PPRO), é a designação usada quando uma medida para o controle de um perigo faz parte das boas práticas de fabricação, mas exige ações específicas além das que estão propostas pela legislação brasileira e são consideradas essenciais para o controle do perigo identificado.

Ponto Crítico de Controle (PCC). É a designação usada para etapa do processo na qual uma ou mais medidas de controle essenciais para controlar e manter um perigo significativo em níveis aceitáveis são aplicadas em um plano APPCC, tendo-se por definição de perigo significativo aqueles identificados por uma análise de perigo como razoavelmente prováveis de ocorrer em um nível inaceitável na ausência de controle e para o qual o controle é essencial nas condições pretendidas de uso do alimento.

Medida de Controle Sinérgica (MCS). Além do controle direto de um perigo, os programas de pré-requisitos também podem cumprir uma função complementar ou de potencialização de um ponto crítico de controle (PCC). É a ação combinada de duas ou mais medidas de controle cujo resultado pode ser a soma dos efeitos de cada medida individual ou mesmo um efeito total superior a essa soma.

No Quadro 6 são apresentados os tipos de medidas de controle estabelecidas pelos planos APPCC para cada tipo de perigo identificado no estudo.

QUADRO 6: TIPOS DE MEDIDAS DE CONTROLE ESTABELECIDAS NOS PLANOS APPCC PARA OS ALIMENTOS VEGETAIS ANÁLOGOS AOS PRODUTOS CÁRNEOS

Tipos de medidas de controle associadas a perigos biológicos*
<p>Perigos: <i>Bacillus cereus</i>, <i>E.coli</i> (indicador de qualidade higiênico sanitária), <i>Listeria monocytogenes</i>, <i>Salmonella</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ● MCS-Homologação de fornecedores de matérias-primas e ingredientes ● MCS-Avaliação periódica de qualificação de fornecedores de matérias-primas e ingredientes ● PC-Análise laboratorial de matéria-prima ou ingrediente no recebimento para uso mediante liberação ● PPR-Garantia do controle de potabilidade de água ● PC-Garantia de liberação pré-operacional de equipamento/utensílios após verificação da limpeza por bioluminescência (ATP) (todos os produtos) ● PPR-Plano de monitoramento ambiental (todos os produtos) ● PPR-Programa de higiene pessoal para manipuladores de alimentos ● PCC-Control de variáveis de tempo, temperatura e pressão da extrusão (frango e peixe vegetal) ● PCC-Control de variáveis de tempo, temperatura e pressão da esterilização (peixe vegetal) ● MCS-Control de temperatura nos processos de manipulação e cadeia de frio para estocagem, transporte e comercialização do produto ● MCS-Instruções e alerta de rotulagem do consumidor sobre forma de preparação e uso do produto
Tipos de medidas de controle associadas a perigos físicos*
<p>Perigo: Fragmentos metálicos ferrosos e não ferrosos</p> <ul style="list-style-type: none"> ● MCS-Homologação e qualificação de fornecedores de matérias-primas e ingredientes ● MCS-Peneiramento de matérias-primas e ingredientes antes do processo de mistura ● MCS-Manutenção preventiva de equipamentos ● MCS-Programa de controle de contaminações cruzadas ● PCC-Garantia do perfeito funcionamento do detector de metais ● PCC-Garantia do perfeito funcionamento do raio X (peixe vegetal) <p>Perigo: Plástico flexível ou polímero não rígido</p> <ul style="list-style-type: none"> ● PPR-Garantir procedimento de abertura de embalagens na adição de ingredientes ● MCS-Uso de peneira no processo de mistura de ingredientes ● MCS-Programa de capacitação e qualificação de manipuladores de alimentos <p>Perigo: Areia</p> <ul style="list-style-type: none"> ● PPR-Garantia do controle de potabilidade de água ● PPR-Recebimento exclusivo de fornecedor homologado ● MCS-Avaliação periódica de qualificação de fornecedores de matérias-primas e ingredientes <p>Perigo: Fragmento de insetos</p> <ul style="list-style-type: none"> ● PPR-Recebimento exclusivo de fornecedor homologado ● MCS-Avaliação periódica de qualificação de fornecedores de matérias-primas e ingredientes
Tipos de medidas de controle associadas a perigos químicos*
<p>Perigos: Acrilamida, arsênio, cádmio, chumbo, cobre, dioxinas, furano e metilfuranos, micotoxinas, migração de componentes do material de embalagem, residual de defensivos agrícolas (geral)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● PPR-Recebimento exclusivo de fornecedor homologado ● MCS-Avaliação periódica de qualificação de fornecedores de matérias-primas e ingredientes <p>Perigos: Ésteres de 3-MCPD, Aflatoxinas B1, B2, G1 e G2, desoxinivalenol, fumonisinas (B1, B2), ésteres de glicidol, ocratoxina A, óxido de etileno, zearalenona</p> <ul style="list-style-type: none"> ● PC-Recebimento de matéria-prima/ingrediente com o laudo de análise do lote. ● MCS-Avaliação periódica de qualificação de fornecedores de matérias-primas e ingredientes

Perigo: Contaminantes químicos da água

- PPR-Garantia do controle de potabilidade de água
- MCS-Outorgas das fontes de captação de água.
- MCS-Control de uso de produtos químicos para tratamento de água registrados e aprovados por órgãos oficiais

Tipos de medidas de controle associadas a perigos alergênicos e radiológicos***Perigos alergênicos: Soja, glúten**

- PC-Garantia da liberação pré-operacional de equipamentos por swab teste de alergênico específico
- PPR-Uso de utensílio específico para cada tipo de alergênico contido em matérias-primas e ingredientes
- MCS-Programa de capacitação e qualificação de manipuladores de alimentos
- MS-Programa de controle de alergênicos
- MS-Programa de controle de início de produção com checagem de rotulagem
- PPR-Garantia dos dizeres e alertas de rotulagem para alergênicos e aspectos legais
- MS-Plano de checagem e liberação de rótulos no recebimento

Perigos radiológicos: Radioatividade alfa total e radioatividade beta total (água potável)

- PPR-Garantia do controle de potabilidade de água.
- MCS-Outorgas das fontes de captação de água

**PCC (Ponto Crítico de Controle) = uma etapa de processo na qual uma ou mais medidas de controle essenciais para controlar e manter um perigo significativo em níveis aceitáveis são aplicadas em um plano APPCC; PPR (Programa de Pré-Requisito) = designação usada quando a medida para o controle de um perigo significativo já está claramente estabelecida nos requisitos de boas práticas de fabricação instituídos pela legislação brasileira.; PC (Ponto de Controle) = é a designação usada quando uma medida para o controle de um perigo faz parte das boas práticas de fabricação, mas exige ações específicas além das que estão propostas pela legislação brasileira e são consideradas essenciais para o controle do perigo identificado; MCS (Medida de Controle Sinérgica) = é uma interação que multiplica os resultados. É uma ação combinada de duas ou mais medidas de controle cujo resultado pode ser a soma dos efeitos de cada medida ou um efeito total superior a essa soma.*

6. Lacunas de pesquisas identificadas para complementar e/ou validar o estudo dos aspectos de segurança dos análogos vegetais aos produtos cárneos

No desenvolvimento deste estudo foram detectadas lacunas de informações relevantes na avaliação de segurança na produção de análogos vegetais aos produtos cárneos, destacando-se a quase indisponibilidade de dados sobre a qualidade das proteínas vegetais usadas e quanto à presença de contaminantes biológicos e químicos, bem como nos produtos finais disponíveis no mercado.

6.1. Dados sobre contaminantes biológicos nos produtos vegetais análogos aos de carne e nas proteínas vegetais usadas na sua formulação

Num levantamento dos estudos relatados na literatura científica sobre contaminantes biológicos em alimentos vegetais análogos aos produtos cárneos e nas proteínas utilizadas na sua formulação, foram encontradas poucas publicações, que estão resumidas no Quadro 7.

Um desses estudos é um projeto de pesquisa encomendada pela União Europeia (*LikeMeat Project*) (European Commission, 2021), que avaliou a presença de microrganismos em seis tipos de proteínas: tremço, ervilha, soja, trigo, arroz e batata. A maior carga microbiana foi encontrada nas proteínas de tremço (contagem média de aeróbios mesófilos de $2,4 \times 10^4$ UFC/g) e de ervilha (média

de $3,4 \times 10^3$ UFC/g). Nas demais proteínas a contagem de aeróbios mesófilos ficou abaixo de 10^3 UFC/g em média. A contaminação com enterobactérias e coliformes foi observada especialmente na proteína isolada de ervilha ($1,1 \times 10^3$ UFC/g e $4,6 \times 10^2$ UFC/g, respectivamente). Na contaminação com espécies de *Bacillus* destacaram-se a proteína isolada de ervilha ($2,6 \times 10^2$ UFC/g) e a proteína isolada de tremoço (9×10^2 UFC/g). O glúten de trigo também apresentou contaminação com espécies de *Bacillus*, mas com contagens mais baixas. *Salmonella*, *Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus* e espécies de *Clostridium* não foram encontrados em nenhuma das amostras testadas neste projeto.

QUADRO 7: ESTUDOS CIENTÍFICOS ENCONTRADOS NA LITERATURA SOBRE CONTAMINANTES BIOLÓGICOS NOS PRODUTOS VEGETAIS ANÁLOGOS AOS DE CARNE E NAS PROTEÍNAS VEGETAIS USADAS NA SUA FORMULAÇÃO.

Referência	Resumo do estudo	Resultados obtidos
Martins <i>et al.</i> (2014)	Analisaram amostras de diversos produtos à base de soja no Brasil, incluindo proteína texturizada de soja.	Contagem de <i>Bacillus cereus</i> : acima de 10^5 UFC/g em amostras de proteína texturizada de soja.
Canadian Food Inspection Agency (2019)	Realizou um levantamento da contaminação microbiana de 245 amostras de proteínas vegetais coletadas no varejo de 11 cidades do Canadá.	Em 95% das amostras a qualidade foi satisfatória: <i>Salmonella</i> , ausente em 25 g, <i>E.coli</i> $\leq 1,8$ NMP/g, <i>Bacillus cereus</i> (presuntivo) $\leq 10^2$ UFC/g, <i>Staphylococcus aureus</i> ≤ 25 UFC/g e <i>Clostridium perfringens</i> $\leq 10^2$ UFC/g. Nas demais amostras a contagem de <i>E. coli</i> não ultrapassou 10^2 NMP/g. Em 4,1% <i>Bacillus cereus</i> apresentou contagens entre 10^2 e 10^4 UFC/g. Em 0,8% <i>Clostridium perfringens</i> apresentou contagens entre 10^2 e 10^3 UFC/g.
Pernu <i>et al.</i> (2020)	Analisaram 74 amostras de linguiça vegetal embaladas a vácuo e comercializadas sob refrigeração na Finlândia e na Alemanha para verificar a presença de esporos de <i>Clostridium botulinum</i> .	Contagens de até $1,2 \times 10^3$ esporos/kg de cepas psicrotróficas do tipo II (também chamado de <i>Clostridium botulinum</i> não proteolítico), que são capazes de crescer e produzir toxinas sob refrigeração, com prevalência geral de 32%.
Luchansky <i>et al.</i> (2020)	Acompanhou o comportamento de <i>Escherichia coli</i> shiga toxigênica (STEC), <i>Salmonella</i> e <i>Listeria monocytogenes</i> artificialmente inoculadas em hambúrgueres vegetais e bovinos durante o armazenamento a 4°C e a 10°C por 21 dias.	Estocagem do hambúrguer vegetal a 4°C 21 dias: <i>L. monocytogenes</i> aumentou em 1,3 log UFC/g, <i>Salmonella</i> e <i>E. coli</i> diminuíram em 0,4 log UFC/g. Estocagem do hambúrguer bovino a 4°C 21 dias: <i>L. monocytogenes</i> , <i>E. coli</i> e <i>Salmonella</i> diminuíram em 0,7, 0,3 e 0,6 log UFC/g, respectivamente. Estocagem do hambúrguer vegetal a 10°C 21 dias: <i>L. monocytogenes</i> , <i>E. coli</i> e <i>Salmonella</i> aumentaram em 2,6, 2,4 e 0,8 log UFC/g, respectivamente. Estocagem do hambúrguer bovino a 10°C 21 dias: <i>L. monocytogenes</i> , <i>E. coli</i> e <i>Salmonella</i> diminuíram em 0,9, 0,2 e 1,2 log UFC/g, respectivamente. Estes dados mostraram maior susceptibilidade do hambúrguer vegetal à multiplicação destes patógenos em comparação com o hambúrguer bovino.
European Commission (2021)	Foram analisadas proteínas de tremoço, ervilha, soja, trigo, arroz e batata da União Europeia. Avaliou o efeito da extrusão na redução da carga microbiana das proteínas.	Maior contagem total de aeróbios mesófilos: média de $2,4 \times 10^4$ UFC/g na proteína isolada de tremoço. Maior contagem de enterobactérias: média de $1,1 \times 10^3$ UFC/g na proteína isolada de ervilha. Maior contagem de coliformes: média de $4,6 \times 10^2$ UFC/g na proteína isolada de ervilha.

		<p>Maior contagem de <i>Bacillus spp</i>: média de $9,0 \times 10^2$ UFC/g na proteína isolada de tremoço.</p> <p><i>Salmonella</i>, <i>Listeria monocytogenes</i>, <i>Bacillus cereus</i> e espécies de <i>Clostridium</i> não detectadas em nenhuma amostra.</p> <p>Após a extrusão a contagem total de aeróbios mesófilos nas amostras baixou para <100 UFC/g e não foi detectada a presença de enterobactérias e coliformes.</p>
NSW Food Authority (2021)	Fez um levantamento de relatos locais ou internacionais de surtos de doenças transmitidas por alimentos vegetais análogos aos de carne.	Não foram encontrados relatos de doenças.
NSW Food Authority (2021)	Analizou 85 amostras de alimentos vegetais análogos aos de carne comercializados na Austrália e em outros países.	<p>Não detectada a presença de <i>Salmonella</i> (ausência em 25g), <i>Staphylococcus coagulase positiva</i> (<100 UFC/g) e <i>Clostridium perfringens</i> (<10 UFC/g) em nenhuma amostra.</p> <p><i>E.coli</i> detectada em uma amostra (10 UFC/g).</p> <p><i>Listeria monocytogenes</i> detectada em duas amostras (<100 UFC/g).</p> <p><i>Bacillus cereus</i> detectado em nove amostras (seis com 100 UFC/g, duas com $2,0 \times 10^2$ UFC/g e uma com $1,3 \times 10^3$ UFC/g).</p> <p>Contagem total de aeróbios mesófilos nos produtos cozidos: 74% das amostras consideradas boas ($<10^6$ UFC/g) ou aceitáveis ($<10^7$ UFC/g).</p> <p>Contagem total de aeróbios mesófilos nos produtos crus: variou de <10 a $2,2 \times 10^6$ UFC/g (média de $9,3 \times 10^4$ UFC/g).</p> <p>A conclusão da inspeção foi de que os produtos analisados não apresentavam contaminação que pudesse oferecer risco à saúde.</p>
Tóth <i>et al.</i> (2021)	Analisaram 15 amostras de cinco tipos de proteínas vegetais: glúten de trigo, proteína de soja, proteína texturizada de soja, proteína texturizada de ervilha produzidas por dois fabricantes, a norueguesa Vestkorn e a norte americana DuPont.	Nas amostras de glúten de trigo foi encontrada uma contagem total de aeróbios mesófilos média de 3,32 log UFC/g. Nas demais amostras a contagem total de aeróbios mesófilos ficou abaixo de 10 UFC/g. A presença de enterobactérias, bolores e leveduras não foi detectada (<10 UFC/g) em nenhuma das amostras analisadas.
Wells-Bennik (2022)	Apresentou resultados de levantamentos da contaminação microbiana em isolados ou concentrados proteicos de ervilha, fava, feijão mungo e grão-de-bico com identificação dos isolados.	Uma fração significativa da contagem total de bactérias nesses produtos consistia de esporos (até aproximadamente 10^3 /g), sendo predominantes <i>Bacillus cereus</i> , <i>Bacillus licheniformis</i> , <i>Bacillus subtilis</i> e <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> , mas também presentes clostrídios sulfito redutores e <i>Geobacillus stearothermophilus</i> .
Kyrylenko <i>et al.</i> (2023)	Analisaram 88 amostras de ingredientes vegetais obtidos de 12 diferentes fornecedores na Europa, América e Ásia, incluindo proteínas (de ervilha, fava, feijão mungo e grão-de-bico) e farinhas (de ervilha, feijão mungo, arroz, quinoa, amaranto, aveia, coco e amêndoa), com identificação dos isolados.	<p>Contagem total de aeróbios mesófilos: variou entre $<1,0$ e 5,3 log UFC/g.</p> <p>Contagem de esporos de aeróbios mesófilos: variou entre $<1,0$ e 4,1 log UFC/g.</p> <p>Contagem de esporos de bactérias termófilas, esporos de <i>Bacillus cereus</i> e esporos de clostrídios sulfito redutores: ficou próxima ou abaixo de 1,0 log UFC/g.</p> <p>Espécies mais encontradas de <i>Bacillus</i>: <i>Bacillus licheniformis</i> e <i>Bacillus cereus</i>, principalmente nas amostras de ervilha e aveia.</p> <p>Espécie de termófilo mais encontrada: <i>Geobacillus stearothermophilus</i>.</p> <p>Espécies de clostrídios mais encontradas: <i>Clostridium sporogenes</i> e <i>Clostridium tepidum</i> principalmente nas amostras de ervilha e amêndoa.</p>

Liu <i>et al.</i> (2023)	Investigaram as alterações na população microbiana de análogos de carne à base de soja e à base ervilha estocados a 4° C, acompanhando tanto a microbiota naturalmente presente (aeróbios mesófilos totais, bactérias lácticas, coliformes, bolores e leveduras) como também bactérias artificialmente inoculadas (<i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Brochothrix thermosphacta</i> , <i>Escherichia coli</i> O157:H7, <i>Salmonella</i> spp. e <i>Listeria monocytogenes</i>).	Contaminação inicial no análogo à base de soja: 3,10 log UFC/g de aeróbios mesófilos totais, 2,04 log UFC/g de bactérias lácticas, 2,00 log UFC/g de coliformes e 1,95 log UFC/g de bolores e leveduras. Contaminação inicial no análogo à base de ervilha: 3,82 log UFC/g de aeróbios mesófilos totais, 3,61 log UFC/g de bactérias lácticas, 2,51 log UFC/g de coliformes e 1,44 log UFC/g de bolores e leveduras. Contagem após 10 dias de estocagem a 4 °C: Contagem total de aeróbios mesófilos e de bactérias lácticas chegaram próximo de 7,00 log UFC/g nos dois produtos. <i>Pseudomonas fluorescens</i> aumentou 0,40 log UFC/g (soja) e 3,00 log UFC/g (ervilha). <i>Brochothrix thermosphacta</i> aumentou 0,96 log UFC/g (soja) e 1,58 log UFC/g (ervilha). Contagem após sete dias de estocagem a 4 °C: <i>Escherichia coli</i> O157:H7, <i>Salmonella</i> spp. e <i>Listeria monocytogenes</i> não sofreram alteração no análogo à base de soja. <i>Listeria monocytogenes</i> aumentou 0,74 log UFC/g no análogo de ervilha.
--------------------------	--	--

O *LikeMeat Project* (European Commission, 2021) também avaliou o efeito da extrusão sobre a carga microbiana das proteínas analisadas, observando que depois de extrusadas todas apresentaram contagens de aeróbios mesófilos abaixo de 100 UFC/g e não foi detectada a presença de enterobactérias e coliformes. Isso leva a supor que o processo de extrusão de fontes proteicas é eficaz para destruir a maioria dos microrganismos presentes nos ingredientes. Por outro lado, destacaram a necessidade de manter cuidados para garantir que não ocorra recontaminação.

De fato, há relatos, ainda que raros, de contagens relativamente altas de bactérias em proteínas já texturizadas. Martins *et al.* (2014), por exemplo, analisaram amostras de diversas farinhas de cereais mistos e de produtos à base de soja no Brasil, incluindo proteína texturizada de soja, na qual encontraram contagem de *Bacillus cereus* acima de 10⁵ UFC/g.

A recontaminação a partir do ambiente de fabricação é um problema nas indústrias que processam produtos vegetais desidratados, particularmente derivados da soja. Rocha *et al.* (2022), em um estudo objetivando determinar a ocorrência de *Salmonella enterica* ao longo da cadeia produtiva do farelo de soja (matéria-prima, amostras em processo, produtos finais e ambiente de cinco plantas processadoras do Brasil), encontraram 12,9% das 713 amostras analisadas (n = 92) positivas para *Salmonella* spp. O fato a destacar é que a maior porcentagem de contaminação foi observada em amostras do ambiente, representando 76,1% de todas as amostras positivas.

No Canadá, a *Canadian Food Inspection Agency* (2019) realizou um levantamento da contaminação microbiana de 245 amostras de proteínas vegetais coletadas no varejo de 11 cidades do país. Os resultados mostraram que 95% das amostras apresentavam qualidade satisfatória: *Salmonella*, ausente em 25 g, *E.coli* ≤1,8 NMP/g, *Bacillus cereus* (presuntivo) ≤10² UFC/g, *Staphylococcus aureus* ≤25 UFC/g e *Clostridium perfringens* ≤10² UFC/g. *Salmonella* e *Staphylococcus aureus* não foram encontrados em qualquer amostra e tampouco contagem de *E. coli* acima de 10² NMP/g. *Bacillus cereus* em contagens entre 10² e 10⁴ UFC/g foi encontrado em 4,1% (10/245) das amostras. *Clostridium perfringens* em contagens entre 10² e 10³ UFC/g foi encontrado em 0.8% (2/245) das amostras.

No congresso anual de 2022 da *International Association for Food Protection* (IAFP 2022) a Empresa Nizo, uma companhia holandesa que presta serviços de pesquisa e desenvolvimento para a indústria, apresentou dados de seus trabalhos de levantamento da contaminação microbiana em isolados ou concentrados proteicos de ervilha, fava, feijão mungo e grão-de-bico. Os resultados

demonstraram que uma fração significativa da contagem total de bactérias nesses produtos consistia de esporos (até aproximadamente 10^3 /g), sendo predominantes *Bacillus cereus*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus subtilis* e *Bacillus amyloliquefaciens*, mas também presentes clostrídios sulfito redutores e *Geobacillus stearothermophilus* (Wells-Bennik, 2022).

Kyrylenko *et al.* (2023) conduziram um estudo em 88 amostras de ingredientes vegetais usados na produção de análogos vegetais, obtidas de 12 diferentes fornecedores na Europa, América e Ásia, incluindo 34 amostras de ervilha (26 de proteína isolada, seis de proteína concentrada e duas de farinha), 13 amostras de fava (sete de proteína isolada, três de proteína concentrada e três de farinha), duas de feijão mungo (uma de proteína isolada e uma de farinha), uma de proteína isolada de grão-de-bico, 20 de aveia (duas de grãos, três de flocos, sete de farinha e oito de xaropes, pastas e hidrolisados), uma de farinha de arroz, uma de farinha de quinoa, uma de farinha de amaranto, cinco de coco (farinha, leite ou nata), nove de amêndoa (farinha, pasta ou xarope) e uma de caju. A contagem total de aeróbios mesófilos nas amostras variou entre $<1,0$ e $5,3$ log UFC/g e a de esporos de aeróbios mesófilos entre $<1,0$ e $4,1$ log UFC/g. Muitos dos ingredientes investigados mostraram uma alta proporção de esporos de mesófilos como parte da contagem total de aeróbios mesófilos; em 63% das amostras a contagem de esporos se mostrou apenas uma ou menos de uma unidade logarítmica inferior à contagem total. Este foi particularmente o caso da maioria das proteínas isoladas e concentradas de ervilha, das proteínas isoladas de fava e grão-de-bico e das farinhas de arroz, quinoa, amaranto, amêndoa e coco. A contagem de esporos de bactérias termófilas, esporos de *Bacillus cereus* e esporos de clostrídios sulfito redutores ficou próxima ou abaixo de $1,0$ log UFC/g.

No total, o trabalho de Kyrylenko *et al.* (2023) isolou 845 colônias de bactérias das amostras analisadas, pertencentes a 33 gêneros diferentes. *Bacillus licheniformis* e *Bacillus cereus* foram as espécies mais encontradas entre os *Bacillus* isolados, originados principalmente das amostras de ervilha e aveia. Dentre os esporos de termófilos, *Geobacillus stearothermophilus* foi o mais frequente. Dentre os clostrídios, os mais encontrados foram *Clostridium sporogenes* e *Clostridium tepidum*, isolados principalmente de amostras de ervilha e amêndoa.

A predominância de esporos de bactérias nas proteínas, que são os ingredientes básicos dos produtos vegetais análogos aos de carne, é muito relevante em função da sua resistência aos tratamentos térmicos aplicados na extrusão e na esterilização.

Os clostrídios sulfito redutores são de particular relevância do ponto de vista de saúde pública, porque nesse grupo está incluído *Clostridium botulinum*, a bactéria patogênica de origem alimentar de maior perigo para a saúde.

De fato, um levantamento feito na Finlândia e na Alemanha para verificar a presença de esporos de *Clostridium botulinum* em 74 amostras de linguiça vegetal embaladas a vácuo e comercializadas sob refrigeração, detectou uma prevalência geral de 32%, incluindo contagens de até $1,2 \times 10^3$ esporos/kg de cepas psicrótróficas do tipo II (também chamado de *Clostridium botulinum* não proteolítico), que são capazes de crescer e produzir toxinas sob refrigeração (Pernu *et al.*, 2020). Os autores concluíram que os embutidos vegetais análogos aos cárneos embalados a vácuo frequentemente contêm esporos de *C. botulinum* e podem apresentar um alto risco para o consumidor, sendo recomendado o armazenamento abaixo de 3° C e, mesmo no caso dos produtos cozidos, que sejam aquecidos antes do consumo. A *Chilled Food Association* (2018) estabeleceu diretrizes para definir o prazo de validade de alimentos refrigerados embalados a vácuo ou sob atmosfera modificada em relação às cepas psicrótróficas de *Clostridium botulinum* não proteolítico, definindo temperatura de armazenamento entre 3 e 8° C e vida de prateleira não superior a 10 dias, a

menos que sejam obedecidos um dos seguintes critérios para aumentar o prazo de validade: a) tratamento térmico a 90 °C por 10 minutos (ou equivalente) ou b) redução do pH a $\leq 5,0$ ou c) adição de 3,5% de NaCl ou d) redução da atividade de água a $\leq 0,97$ ou e) combinação de calor e adição de conservantes em condições que previnam a multiplicação e formação de toxinas.

Por outro lado, um levantamento de dados feito pela NSW *Food Authority*, agência governamental do estado de New South Wales, na Austrália, indicou não haver relatos locais ou internacionais de surtos de doenças transmitidas por alimentos vegetais análogos aos de carne (NSW *Food Authority*, 2021). Na mesma publicação foram apresentados os dados de uma inspeção realizada em 85 produtos comercializados em supermercados, mercearias “verdes” e lojas on-line da Austrália e de outros países, nos quais foram feitas as análises microbiológicas de contagem total de aeróbios mesófilos, bolores e leveduras, *E.coli*, *Salmonella*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus coagulase positiva*, *Bacillus cereus* e *Clostridium perfringens*. Não foi detectada a presença de *Salmonella* (ausência em 25g), *Staphylococcus coagulase positiva* (<100 UFC/g) e *Clostridium perfringens* (<10 UFC/g) em nenhuma amostra. *E.coli* foi detectada em uma amostra (10 UFC/g), *Listeria monocytogenes* em duas amostras (<100 UFC/g) e *Bacillus cereus* em nove (seis amostras com 100 UFC/g, duas com $2,0 \times 10^2$ UFC/g e uma com $1,3 \times 10^3$ UFC/g). A conclusão da inspeção foi de que os produtos analisados não apresentavam contaminação que pudesse oferecer risco à saúde.

Com relação à contagem total de aeróbios mesófilos observada no levantamento da NSW *Food Authority* (2021), dentre os produtos cozidos requerendo aquecimento antes do consumo (27 amostras das 85 analisadas), 20 amostras (74%) foram consideradas boas (contagem total $<10^6$ UFC/g) ou aceitáveis (contagem total $<10^7$ UFC/g) e as demais não foram categorizadas. Dentre os produtos crus requerendo cozimento antes do consumo (54 das 85 amostras), 10 apresentaram contagem total <10 UFC/g, 38 contagem entre 10 e $2,2 \times 10^6$ UFC/g (média de $9,3 \times 10^4$) e 10 contagem acima de 3×10^5 UFC/g. Dentre os quatro produtos sem instrução de preparo antes do consumo, duas amostras apresentaram contagem total <10 UFC/g, uma contagem de $1,3 \times 10^4$ e uma acima 3×10^5 UFC/g.

Tóth *et al.* (2021) também avaliaram a contagem total de aeróbios mesófilos, bem como a de enterobactérias, bolores e leveduras em 15 amostras de cinco tipos de proteínas vegetais: glúten de trigo, proteína de soja, proteína texturizada de soja, proteína texturizada de ervilha (com 70% de proteína) e proteína texturizada de ervilha (com 55% de proteína), sendo três amostras de cada tipo, produzidas por dois fabricantes, a norueguesa Vestkorn (<https://vestkorn.com/>) e a norte americana DuPont (<https://www.dupont.com/>). Nas amostras de glúten de trigo foi encontrada uma contagem total de aeróbios mesófilos média de 3,32 log UFC/g. Nas demais amostras, a contagem total de aeróbios mesófilos ficou abaixo de 10 UFC/g. A presença de enterobactérias, bolores e leveduras não foi detectada (<10 UFC/g) em nenhuma das amostras analisadas.

Com respeito a estudos do potencial de multiplicação de bactérias deteriorantes e patogênicas em alimentos vegetais análogos aos de carne durante a estocagem refrigerada, Liu *et al.* (2023) investigaram as alterações na população microbiana de análogos de carne à base de soja e à base ervilha estocados a 4 °C, acompanhando tanto a microbiota naturalmente presente (aeróbios mesófilos totais, bactérias lácticas, coliformes, bolores e leveduras) como também bactérias artificialmente inoculadas, incluindo deteriorantes (*Pseudomonas fluorescens* e *Brochothrix thermosphacta*) e patogênicas (*Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* spp. e *Listeria monocytogenes*).

No alimento análogo à base de soja os resultados mostraram contaminação inicial de 3,1 log UFC/g de aeróbios mesófilos totais, 2,04 log UFC/g de bactérias lácticas, 2,00 log UFC/g de coliformes

e 1,95 log UFC/g de bolores e leveduras. No análogo à base de ervilha, 3,82 log UFC/g de aeróbios mesófilos totais, 3,61 log UFC/g de bactérias lácticas, 2,51 log UFC/g de coliformes e 1,44 log UFC/g de bolores e leveduras. Ao final de 10 dias de estocagem a 4 °C, tanto a contagem de aeróbios mesófilos totais quanto a de bactérias lácticas chegaram próximo de 7,00 log UFC/g nos dois produtos. A contagem de *Pseudomonas fluorescens* nos análogos a base de soja e ervilha aumentou 0,4 e 3 log UFC/g respectivamente. A contagem de *Brochothrix thermosphacta* aumentou 0,96 e 1,58 log UFC/g nos análogos a base de soja e ervilha, respectivamente. No análogo a base de soja a contagem de *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* spp. e *Listeria monocytogenes* não sofreu alteração após sete dias de estocagem a 4 °C, enquanto no análogo a base de ervilha *Listeria monocytogenes* aumentou 0,74 log UFC/g.

Em um outro estudo conduzido por Luchansky *et al.* (2020), foi acompanhado o comportamento de *Escherichia coli* shiga toxigênica (STEC), *Salmonella* e *Listeria monocytogenes* artificialmente inoculadas em hambúrgueres vegetais e bovinos durante o armazenamento a 4 °C e a 10 °C por 21 dias. Na estocagem a 4 °C a contagem de *L. monocytogenes* no hambúrguer vegetal aumentou em 1,3 log UFC/g, enquanto a de *Salmonella* e *E. coli* diminuíram em 0,4 log UFC/g. No hambúrguer bovino a contagem de *L. monocytogenes*, *E. coli* e *Salmonella* diminuiu em 0,7, 0,3 e 0,6 log UFC/g, respectivamente. A 10 °C a contagem de *L. monocytogenes*, *E. coli* e *Salmonella* no hambúrguer vegetal aumentou em 2,6, 2,4 e 0,8 log UFC/g, respectivamente, enquanto no hambúrguer bovino diminuiu em 0,9, 0,2 e 1,2 log UFC/g, respectivamente. Estes dados parecem mostrar uma maior susceptibilidade do hambúrguer vegetal à multiplicação destes patógenos em comparação com o hambúrguer bovino.

Como conclusão e para uma melhor avaliação das lacunas de pesquisa quanto aos perigos biológicos, é apresentada, no Quadro 8, uma visão geral da abrangência das informações relatadas anteriormente em função do tipo de material analisado e microrganismos pesquisados.

O que se observa é que o número de estudos disponíveis até a finalização deste relatório (dezembro de 2023) era muito pequeno em face da quantidade de novos produtos e novos ingredientes colocados no mercado. Quando se avalia a disponibilidade de dados em função do tipo de produto, há mais estudos sobre a qualidade das proteínas do que estudos sobre os produtos finais. No entanto, para cada tipo de proteína em particular foram encontrados apenas um ou dois estudos. Quando se analisa os dados em função dos tipos de contaminantes pesquisados, também se observa que os estudos são esparsos por tipo de microrganismo (um ou dois estudos), sendo mais encontrados dados sobre a contagem total de aeróbios mesófilos e *Bacillus cereus*.

Nesses poucos estudos encontrados os resultados foram considerados satisfatórios do ponto de vista de segurança, porém há exceções, como o estudo de Martins *et al.* (2014), que encontrou *Bacillus cereus* acima de 10^5 UFC/g em proteína texturizada de soja, e o de Pernu *et al.* (2020), que encontrou contagens de até $1,2 \times 10^3$ esporos/kg de cepas psicrótróficas de *Clostridium botulinum* não proteolítico em linguiça vegetal embalada a vácuo e comercializada sob refrigeração.

Assim, considerando-se que a amostragem é muito pequena, a conclusão sobre a qualidade e segurança desses alimentos ainda exige que outros pesquisadores e outros grupos de pesquisa sejam envolvidos na avaliação microbiológica de diferentes produtos, em diferentes países, em diferentes pontos de amostragem e em diferentes estágios da fabricação e comercialização. Isto é particularmente crítico para os produtos finais, em função da rapidez com que novas alternativas estão sendo colocadas no mercado.

QUADRO 8: ABRANGÊNCIA DAS INFORMAÇÕES ENCONTRADAS NA LITERATURA SOBRE CONTAMINANTES BIOLÓGICOS EM PRODUTOS VEGETAIS ANÁLOGOS AOS CÁRNEOS E NAS PROTEÍNAS VEGETAIS USADAS NA SUA FORMULAÇÃO EM FUNÇÃO DO TIPO DE MATERIAL ANALISADO E MICRORGANISMOS PESQUISADOS.

Material analisado	Microrganismos pesquisados							
	<i>Bacillus cereus</i>	<i>E. coli</i>	<i>Listeria mono</i>	<i>Salmonella</i>	Contagem Total	<i>Bacillus sp</i>	<i>Clostridium sp</i>	Esporos
Proteína de arroz	*2, 3	-	2	2	2, 3	2	2, 3	3
Proteína de batata	2	-	2	2	2	2	2	-
Proteína de ervilha	2	-	2	2	2, 3, 8, 9	2	2, 3	3, 9
Proteína de fava	3	-	-	-	3, 9	-	3	3, 9
Proteína de feijão	3	-	-	-	3, 9	-	3	3, 9
Proteína de girassol	1	1	-	1		-	-	-
Proteína de grão-de-bico	3	-	-	-	3, 9	-	3	3, 9
Proteína de lentilha		-	-	-		-	-	-
Proteína de soja	2, 5	-	2	2	2, 8	2	2	-
Proteína de trigo	2	-	2	2	2, 8	2	2	-
Proteína de tremoço	2	-	2	2	2	2	2	-
Identificação dos contaminantes	-	-	-	-	3, 9	-	3	3, 9
Efeito da texturização sobre os contaminantes	-	-	-	-	2	-	-	-
Produto acabado no varejo	<i>Bacillus cereus</i>	<i>E. coli</i>	<i>Listeria mono</i>	<i>Salmonella</i>	Contagem Total	<i>Bacillus sp</i>	<i>Clostridium botulinum</i> (esporos)	Esporos
Diversos	6	6	6	6	6	-	-	-
Linguiça vegetal	-	-	-	-	-	-	7	7
Análogos à carne moída à base de ervilha	-	-	-	-	4	-	-	-

Análogos à carne moída à base de soja	-	-	-	-	4	-	-	-
---------------------------------------	---	---	---	---	---	---	---	---

*Referências: 1) *Canadian Food Inspection Agency* (2019), 2) *European Commission* (2021), 3) *Kyrylenko et al.* (2023), 4) *Liu et al.* (2023), 5) *Martins et al.* (2014), 6) *NSW Food Authority* (2021), 7) *Pernu et al.* (2020), 8) *Tóth et al.* (2021), 9) *Wells-Bennik* (2022).

Também são necessário estudos de identificação dos contaminantes encontrados nas análises microbiológicas não específicas (contagem total, esporos de mesófilos e termófilos, bacilos e clostrídios, por exemplo), para que se obtenha ao longo do tempo um conhecimento abrangente da microbiota comumente presente nesta classe de produtos.

Outra lacuna que requer atenção é o efeito da extrusão sobre os esporos bacterianos, uma vez que este processo é considerado um ponto crítico de controle na redução da contaminação das proteínas vegetais e dos análogos cárneos.

Um exemplo desse tipo de iniciativa de pesquisa é um projeto em andamento na Holanda, coordenada pela empresa holandesa Nizo (<https://www.nizo.com/>) com a participação das universidades holandesas HAS Green Academy (<https://www.has.nl/en>) e Wageningen University & Research (<https://www.wur.nl/en.htm>) e de diversas empresas privadas, com o objetivo de levantar informações sobre os níveis e tipos de contaminantes microbianos em mais de 80 ingredientes vegetais, seu potencial para sobreviver ao processamento e o risco de multiplicação e/ou produção de toxinas nos alimentos em que forem utilizados (Consortium Investigates, 2023).

6.2. Dados sobre contaminantes químicos nos produtos vegetais análogos aos de carne e nas proteínas vegetais usadas na sua formulação

Do ponto de vista dos contaminantes químicos, um projeto inserido no programa EU-FORA (European Food Risk Assessment Fellowship Programme), realizou uma avaliação de risco-benefício (*risk-benefit assessment* – RBA) da substituição da carne por análogos vegetais, com respeito à exposição a micotoxinas e toxinas naturais das plantas. Na primeira etapa do projeto foi conduzida uma revisão sobre a ocorrência desses contaminantes nos produtos disponíveis no mercado e nas fontes vegetais mais usadas na sua produção (soja, grão-de-bico, ervilha e glúten), abrangendo o período de 2001 a 2021. O resultado dessa revisão foi publicado por *Mihalache et al.* (2022).

6.2.1. Micotoxinas

Com relação às micotoxinas, os resultados relatados por *Mihalache et al.* (2022) mostraram que a contaminação é pouco estudada ou, em alguns casos, não estudada. A grande maioria dos relatos é focada em alimentos à base de soja, enquanto apenas alguns deles consideraram alimentos contendo outras proteínas como ervilha ou grão-de-bico. Considerando todos os estudos levantados, um total de 25 micotoxinas foram encontradas, sendo mais frequentes a aflatoxina B1, a ocratoxina A e a zearalenona. No geral, os dados disponíveis não foram considerados suficientes para fornecer uma imagem confiável da ocorrência de micotoxinas em produtos à base de leguminosas, especialmente para ervilha e grão-de-bico.

Segundo os autores, há mais de 400 micotoxinas identificadas até agora, mas, em função da indisponibilidade de dados toxicológicos e de ocorrência, apenas algumas são regulamentadas nas fontes vegetais (aflatoxinas, ocratoxina A, fumonisinas, desoxinivalenol, zearalenona e patulina), mas outras micotoxinas, muitas vezes referidas como “emergentes”, também foram encontradas em leguminosas e grãos (eniáticas, beauvericina e moniliformina, por exemplo).

A maior concentração de aflatoxina B1 (AFB1) foi encontrada em hambúrgueres à base de soja na Itália (10,1 µg/kg).

O maior valor médio de contaminação por ocratoxina A (OTA) foi encontrado em ervilhas da Alemanha (49,4 µg/kg), com uma incidência de 9,1%. Na soja, o valor médio foi 2,26 µg/kg (resultados agrupados de 30 países europeus).

Entre as micotoxinas de *Fusarium*, foi relatada a incidência de 5% de T-2 em hambúrgueres à base de soja da Itália, bem como de desoxinivalenol (DON) e suas formas acetiladas (DON = 367,5 µg/kg, 3-AcDON = 154,7 µg/kg, 15-AcDON = 757,4 µg/kg). A incidência de DON e 3-AcDON foi de 5%. DON e 15-AcDON também foram relatados em milho de soja e grãos de soja torrados da Alemanha, com incidência de 25% e 20%, respectivamente.

Em relação à contaminação com zearalenona (ZEA), o nível médio mais alto foi encontrado em farinha de soja da Alemanha (214 µg/kg). A incidência em soja/produtos à base de soja foi de 10% em farinha de soja e de 100% em sementes de soja. Os metabólitos de ZEA alfa-zearalenol (α-ZEL) e beta-zearalenol (β-ZEL) foram relatados em sementes de soja, farinha de soja e proteína concentrada de soja, com valores variando de 2 µg/kg a 100 µg/kg. A incidência foi de 10% em amostras de farinha de soja e de 20% em proteína texturizada de soja da Alemanha.

As fumonisinas também foram encontradas em leguminosas. O valor médio mais alto relatado foi o de fumonisina B1 (FB1), em hambúrgueres à base de soja da Itália (260,5 µg/kg); e concentrações mais baixas foram encontradas em ervilhas da Polônia (0,02 a 0,9 µg/kg para FB1, FB2 e FB3).

Com relação às micotoxinas emergentes, num dos trabalhos relatados sobre a contaminação de hambúrgueres à base de soja de diferentes marcas comercializados na Itália, foram encontradas eniáticas (ENA, ENA1, ENB, ENB1) com incidência variando de 31% a 84% e micotoxinas de *Alternaria* como alternariol (AOH) e alternariol metil éter (AME), com teor médio de 184,4 µg/kg, e 207,5 µg/kg, respectivamente, numa faixa de frequência de 5% a 9%.

Um fato destacado por Mihalache *et al.* (2022) na revisão do projeto foi a ocorrência, em vários análogos de carne à base de soja, de misturas de micotoxinas que podem ter efeitos tóxicos aditivos ou sinérgicos comprovados. Exemplos: combinação de [alternariol metil éter (AME) + eniáticas (ENAs)] com incidência variando 5% a 16% em hambúrgueres à base de soja. Combinação de [aflatoxina B1 (AFB1) + fumonisina B1 (FB1) + T-2 tricoteceno] com incidência de 20% em sementes de soja. Combinação de [tricotecenos tipos A e B + toxinas do grupo estrogênico zearalenona (ZEA), alfa-zearalenol (α-ZEL) e beta-zearalenol (β-ZEL)] em alimentos à base de soja. Combinação de [escirpentriol (SCIRP) + monoacetoxiscirpenol (MAS) + tricoteceno HT-2 + Desoxinivalenol (DON) + Zearalenona (ZEA) + alfa-zearalenol (α-ZEL) + beta-zearalenol (β-ZEL)] com incidência de 10% em farinha de soja. Combinação de [SCIRP + MAS + T-2 Tetraol + DON + ZEA + α-ZEL] e de [MAS + HT-2 + DON + ZEA + α-ZEL], com incidência de 40% em produtos de soja parcialmente desengordurados. Combinação de [MAS + HT-2 + DON + ZEA + α-ZEL] com incidência de 20% em proteína texturizada de soja.

Rodríguez-Carrasco *et al.* (2019), que desenvolveram um procedimento rápido e simples para a determinação simultânea de isoflavonas e micotoxinas em hambúrgueres à base de soja, também encontraram produtos contaminados com combinações de até seis micotoxinas por amostra.

Em conclusão, os resultados relatados por Mihalache *et al.* (2022) mostraram que a contaminação dos produtos vegetais análogos aos produtos cárneos por micotoxinas ainda é pouco estudada, requerendo pesquisas mais aprofundadas para determinar a situação dos produtos análogos de carne no mercado.

6.2.2. Toxinas naturais das plantas

Com relação à contaminação dos análogos de carne ou dos ingredientes e suas matérias-primas com toxinas naturais das plantas, a revisão publicada por Mihalache *et al.* (2022) observou a quase indisponibilidade de dados de contaminação por alcalóides tóxicos como tropano e β -carbolina, por exemplo.

Foram encontrados relatos de casos de contaminação de produtos à base de soja com alcalóides tropânicos (TAs) como atropina e escopolamina. Os maiores valores de contaminação foram originados de uma notificação feita ao RASFF (*Rapid Alert System for Food and Feed*) pela Alemanha, relatando teores de 19 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de atropina e 6,4 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de escopolamina em flocos de soja orgânicos importados da Áustria. Resultados agrupados de 16 países europeus encontraram os mesmos alcalóides em farinha de soja, com um limite médio de 1,54 $\mu\text{g}/\text{kg}$, de atropina a 0,77 $\mu\text{g}/\text{kg}$ de escopolamina.

Outro tipo de alcalóide foi encontrado em molho de soja da Espanha em 2004, β -carbolina norharman (0,044 $\mu\text{g}/\text{kg}$) e β -carbolina harman (0,18 $\mu\text{g}/\text{kg}$). Um estudo mais recente encontrou teores mais elevados de β -carbolinas em molho de soja da Espanha com valores médios entre 0,22 e 1,050 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Na Alemanha também foi encontrado molho de soja contaminado com carboidratos derivados de β -carbolinas, com valores médios de 643,5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ a 1,819 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

6.2.3. Resíduos de defensivos agrícolas

Além dos contaminantes químicos destacados anteriormente, há outros perigos potenciais cuja presença nos alimentos vegetais análogos aos produtos cárneos e seus principais ingredientes é praticamente desconhecida. Resíduos de pesticidas, por exemplo, foram detectados em um estudo de Kolakowski *et al.* (2020) sobre a prevalência de glifosato em produtos à base de soja dos mercados de varejo canadenses (2015-2017). Em bebida à base de soja foi encontrado 0,0051 ppm, e em alternativas à carne, concentrações de 0,015-0,016 ppm. Em ambos os casos o autor relata que não foi ultrapassado o limite máximo de resíduo permitido, mas cabe destacar que, da mesma forma que as micotoxinas, resíduos de outros pesticidas podem estar presentes num mesmo produto. De fato, Gionfriddo *et al.* (2020) avaliaram os níveis de contaminação de alguns resíduos de pesticidas em leite de soja (duas marcas), encontrando dimetoato (118,9 e 6,5 $\mu\text{g}/\text{kg}$), malathion (27,4 e 28,2 $\mu\text{g}/\text{kg}$), clorpirifós (7,4 e 7,7 $\mu\text{g}/\text{kg}$), fosadona (40,1 e 33,6 $\mu\text{g}/\text{kg}$) e ciflutrina (20,5 $\mu\text{g}/\text{kg}$).

6.2.4. Metais pesados

Da mesma forma, há uma quase total carência de dados sobre a contaminação com metais pesados. Num dos raros trabalhos encontrados na literatura, Astolfi *et al.* (2020) analisaram 26 amostras de análogos vegetais ao leite (quatro de soja, quatro de arroz, dois de aveia, uma de trigo espelta, quatro de amêndoa, quatro de coco, duas de avelã, duas de noz, uma de caju, uma de cânhamo e uma de quinoa) do mercado italiano, com resultados demonstrando baixa contaminação de oligoelementos tóxicos, incluindo arsênio, cádmio, chumbo e mercúrio.

Milani *et al.* (2023) realizaram uma investigação sobre o conteúdo de oligoelementos em 18 amostras de bebidas à base de soja comercializadas no estado de São Paulo, observando que os elementos metálicos tóxicos como arsênio, cádmio, chumbo e estanho encontravam-se dentro dos limites estabelecidos pela legislação brasileira e do Mercosul.

6.2.5. Compostos tóxicos formados durante o processamento

Há ainda que se considerar os compostos tóxicos que podem ser formados durante o processamento dos alimentos, como, por exemplo, as aminas aromáticas heterocíclicas (HAAs), os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs) e os compostos N-nitrosos (nitrosaminas, N-nitrosodimetilamina e N-nitrosodietilamina) em produtos cárneos. Segundo uma publicação da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 2022), nos análogos de carne também há risco de formação de tais compostos, bem como de outros decorrentes do processamento em altas temperaturas, que ainda precisam ser investigados. Destacam, por exemplo, o potencial para a ocorrência de ésteres de ácidos graxos glicidil, 2-monocloropropanodiol (2-MCPD) e 3-monocloropropanodiol (3-MCPD), que são contaminantes induzidos pelo calor em alimentos, bem como a possível ocorrência de ácidos graxos trans formados durante a hidrogenação parcial dos óleos vegetais em certos análogos de carne à base de plantas.

As aminas aromáticas heterocíclicas (HAAs), consideradas carcinogênicas e mutagênicas, podem ser produzidas a partir de reações de *Maillard* em temperaturas de cozimento entre 150 e 300 (Lin *et al.*, 2023), sendo possível sua formação no processo de extrusão. A aplicação de calor pelo consumidor no preparo doméstico dos produtos também oferece oportunidades para a formação de HAAs (Chen & Xi, 2022).

Xi e Chen (2021) submeteram três produtos vegetais análogos aos de carne ao tratamento térmico em diferentes temperaturas (170, 190 e 210 °C), observando níveis de HAAs muito menores do que os encontrados em produtos à base de carne. Deng *et al.* (2022) estudaram a acumulação de HAAs em diferentes estágios de processamento de análogos de carne à base de plantas, encontrando níveis máximos de 160,3 ng/g em hambúrguer vegetal, inferiores aos do hambúrguer bovino tradicional (381,3 ng/g).

Os hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs), considerados carcinogênicos, podem ser produzidos na combustão inadequada de produtos orgânicos (Wang *et al.*, 2022). No preparo de churrasco com carvão ou na defumação os produtos cárneos e seus análogos aos à base de plantas podem ter contato com a chama, permitindo a formação de PAHs (Rose *et al.*, 2015; Urban & Lesueur, 2017).

Zastrow *et al.* (2021) investigaram a formação de PAHs em hambúrgueres análogos de carne grelhados no carvão, encontrando entre 1,4 e 6,4 µg/kg, valores inferiores aos encontrados nos hambúrgueres bovinos.

He *et al.* (2020) relataram uma triagem feita por seu grupo de pesquisa para a detecção de PAHs e compostos N-nitrosos em análogos de carne à base de plantas disponíveis comercialmente. Na maioria dos produtos, esses compostos não foram detectados nas amostras depois de cozidas nas condições recomendadas pelos fabricantes, exceto em uma, que apresentou N-nitrosodietilamina na concentração de $15,19 \pm 1,21$ µg/kg (dados não publicados).

Todos os dados apresentados nos itens anteriores, por vezes discrepantes entre os relatos encontrados, deixam clara a necessidade de pesquisas mais abrangentes sobre a situação dos produtos análogos de carne e seus principais ingredientes disponíveis no mercado quanto à presença de contaminantes químicos. Este conhecimento é relevante não só do ponto de vista da segurança do consumidor, como também da proteção aos fabricantes e suas marcas.

6.3. Fatores antinutricionais nas proteínas vegetais

Uma questão que pode ser levantada quanto aos análogos vegetais aos produtos cárneos é a presença de fatores antinutricionais (FANs) nas proteínas utilizadas na formulação, uma vez que são os ingredientes presentes em maior quantidade. Fatores antinutricionais são compostos naturais presentes em certos vegetais que apresentam a capacidade de prejudicar a digestibilidade e a utilização metabólica das proteínas e outros nutrientes. Os principais encontrados nos grãos e leguminosas são os oligossacarídeos, os inibidores de tripsina, o ácido fítico, o tanino e as hemaglutininas, também chamadas de lectinas.

Os oligossacarídeos (rafinose, estaquiose e verbascose, por exemplo) não são digeridos no intestino, podendo provocar flatulência e inchaço abdominal. A rafinose pode causar náuseas, diarreia, indigestão e gases (Elango *et al.*, 2022).

Os inibidores de tripsina inibem a atividade da tripsina reduzindo a digestão e absorção de proteína dietética. Podem causar hipertrofia/hiperplasia pancreática (inibição do crescimento) (Liener, 2009).

O ácido fítico apresenta a capacidade de ligar-se a minerais, proteínas e amido. Diminui a disponibilidade de vários minerais, tais como cálcio, ferro, zinco, cobre, cobalto e manganês (Kies *et al.*, 2006).

O tanino inibe as enzimas digestivas diminuindo a digestibilidade de proteínas e carboidratos (Joye, 2019).

As hemaglutininas (lectinas) absorvidas podem afetar a imunidade, o sistema endócrino e o metabolismo geral. Podem ligar-se a receptores de glicoproteínas nas células epiteliais que revestem a mucosa intestinal, inibindo o crescimento ao interferir na absorção de nutrientes (Bardocz *et al.*, 1995).

O processo usado na produção das proteínas vegetais (extração por via úmida ou fracionamento a seco) tem efeito diferente no teor de FANs no produto final. O fracionamento a seco usando a classificação por ar é um método aplicado às farinhas de culturas ricas em amido, como ervilha ou feijão, no qual a farinha é submetida a um fluxo espiral de ar que separa os grânulos de proteínas dos grânulos de amido por diferença de tamanho e densidade. A classificação do ar leva a um

enriquecimento em fatores antinutricionais como os taninos, o ácido fítico e os inibidores de tripsina (Banach *et al.*, 2022).

A extração por via úmida é o método padrão para produzir isolados proteicos, usado principalmente no processamento de oleaginosas e leguminosas. No caso de oleaginosas (por exemplo soja ou canola), é necessária uma etapa de desengorduramento (por prensagem ou extração com hexano). De forma simplificada, a extração por via úmida inclui uma etapa de hidratação, uma etapa de decantação para remover o amido e a fibra insolúvel, uma precipitação isoelétrica para extrair as frações globulinas das proteínas e uma etapa de secagem. A alta pureza da proteína obtida oferece maior flexibilidade na formulação de alimentos e na remoção dos fatores antinutricionais (principalmente durante a etapa de precipitação isoelétrica) (Banach *et al.*, 2022).

FANs podem ser reduzidos ou inativados através dos seguintes processos:

- Oligossacarídeos: maceração (demolho/remolho), fermentação e germinação.
- Inibidores de tripsina: tratamento térmico.
- Ácido fítico: maceração, germinação, fermentação.
- Tanino: descascamento, maceração, cozimento, fermentação, germinação.
- Hemaglutininas (lectinas): tratamento térmico.

Os tratamentos térmicos aplicáveis para eliminação ou redução incluem ebulição, secagem e torrefação, cocção sob pressão (doméstico 30 minutos em panela de pressão, autoclavagem) e extrusão termoplástica.

Segundo Nikmaram *et al.* (2017), a extrusão é considerada eficaz para reduzir a maioria dos FANs associados às proteínas vegetais. Rathod & Annapure (2016), avaliaram seu efeito na inativação dos fatores antinutricionais da proteína de lentilha, observando que, na operação com teor de umidade de 22%, temperatura de 180 °C, velocidade de rosca de 150 a 250 rpm e taxa de alimentação constante de 16 rpm (340 g/min), foi possível reduzir os inibidores de tripsina em 99,54%, o ácido fítico em 99,3% e o tanino em 98,83%, sem alterar o teor de proteína.

Um estudo conduzido por Kaur *et al.* (2015) avaliou o efeito das variáveis do processo de extrusão nos teores de ácido fítico e de inibidores de tripsina em frações de farelo de trigo, arroz, cevada e aveia. Para o ácido fítico, a extrusão realizada com umidade de 20% e temperatura de 115 °C apresentou maior redução no farelo de trigo (64,4%), farelo de cevada (63,55%) e farelo de aveia (26,47%). Para o farelo de arroz, a maior redução de ácido fítico (55,83%) foi alcançada a 140 °C e 20% de umidade. Da mesma forma, as maiores reduções no conteúdo de inibidores de tripsina foram obtidas na extrusão realizada a 140 °C e 20% de umidade, com redução de 71,2% no farelo de trigo, 72,2% no farelo de aveia e 73,1% nos farelos de arroz e de cevada. Esses resultados podem indicar que temperaturas de 115 a 140 °C, juntamente com maiores teores de umidade (20%), poderiam ajudar a reduzir os teores de ácido fítico e inibidor de tripsina em subprodutos ricos em fibras.

Por outro lado, Ainsworth *et al.* (2007), estudando o efeito da extrusão sobre um material composto do subproduto da indústria cervejeira (cascas de grãos de cevada em combinação com partes do pericarpo e camadas do revestimento da semente da cevada) e de farinhas ricas em amido, não observaram redução no teor de ácido fítico. Os autores concluíram que a energia mecânica aplicada na extrusão não foi suficiente para provocar a redução, provavelmente devido à presença de outros componentes que exercem um efeito protetor contra as forças de cisalhamento.

Kelkar *et al.* (2012) avaliaram o efeito da extrusão em baixa temperatura (85, 100 e 120 °C) na redução da rafinose e da estaquiose em duas variedades de feijão (*pinto bean* e *navy bean*), observando redução da estaquiose apenas na variedade pinto e da rafinose nas duas variedades, mas

em menor grau do que a obtida em cozimento a vapor. Berrios *et al.* (2010) também observaram redução da rafinose após extrusão de farinha de ervilha e de lentilha, enquanto na farinha de grão de bico não se observou diferença significativa. Pedrosa *et al.* (2021) revisaram os estudos do efeito da extrusão sobre oligossacarídeos de leguminosas, incluindo a rafinose e a estaquiose, observando resultados controversos; vários estudos relataram elevação, enquanto outros relataram redução. Em geral, os incrementos foram encontrados em associação com a liberação dos oligossacarídeos da matriz alimentar devido ao dano celular ou à hidrólise parcial dos oligossacarídeos de cadeia mais longa, causada pela pressão e temperatura de extrusão. A redução mostrou-se relacionada à formação de complexos entre açúcares e proteínas durante a extrusão. Os autores concluíram que os diferentes oligossacarídeos podem ser afetados de várias maneiras dependendo dos parâmetros de extrusão. Além disso, a extensão dessas modificações pode depender não apenas das condições de extrusão, mas também das características das matérias-primas que estão sendo processadas (Pedrosa *et al.*, 2021).

É importante considerar, entretanto, que nem todas as proteínas adicionadas aos produtos abordados neste estudo são necessariamente extrusadas, cabendo a cada fabricante avaliar a situação do seu produto quanto a esse fator.

6.4. Alergênicos nas proteínas alternativas

Outro ponto que exige mais estudos diante da tendência de substituir os produtos cárneos por análogos vegetais é a questão dos alergênicos.

Alergia alimentar é definida como um efeito adverso à saúde humana decorrente de uma resposta imunológica anormal à exposição a certas proteínas alimentares. A maioria das alergias alimentares relatadas e confirmadas são categorizadas como mediadas por IgE, pois acionam o sistema imunológico para produzir anticorpos de imunoglobulina E (IgE). Os sintomas de alergias mediadas por IgE podem variar de leves e transitórios a graves, incluindo morte sem o tratamento adequado e urgente. Normalmente se desenvolvem dentro de minutos a 1-2 horas após a ingestão de quantidades mínimas do alimento implicado. Nas reações não mediadas por IgE, incluindo doença celíaca, os sintomas geralmente ocorrem várias horas após a exposição e raramente são agudos ou potencialmente fatais (Kopko *et al.*, 2022).

O *Codex Alimentarius* lista oito produtos como responsáveis pela maioria das alergias alimentares em todo o mundo: crustáceos; ovos; peixe; leite; amendoim; soja; nozes e cereais contendo glúten (trigo, centeio, cevada, espelta ou suas cepas hibridizadas e aveia, esta última incluída porque, ainda que não contenha glúten, é comumente produzida no mesmo local que os cereais que o contêm, como o trigo, resultando em contato cruzado com alérgenos) (*Codex Alimentarius CXC 80-2020 – Code of Practice on Food Allergen Management for Food Business Operators*).

Há, entretanto, muitos outros produtos que podem causar reações alérgicas em indivíduos suscetíveis e o uso crescente de novas fontes vegetais de proteína implica também em maior exposição a novos alérgenos, havendo estudos que demonstram a influência dos hábitos de consumo no desenvolvimento de alergias alimentares (Kopko *et al.*, 2022). Os autores destacam, por exemplo, uma elevação no número de casos de alergia ao trigo sarraceno (*Fagopyrum esculentum* Moench) na Ásia, pois é um pseudocereal que vem sendo amplamente usado como substituto do trigo em alimentos por não conter glúten. Um outro exemplo é que em ambientes com exposição regular a um determinado alimento alergênico, a prevalência de alergia a tal alimento é menor entre imigrantes de

primeira geração oriundos de ambientes com menor exposição do que entre a população nativa, mas a prevalência entre os imigrantes de segunda geração, já então submetidos a uma maior exposição, aumenta em comparação com a primeira geração.

Um fato importante a considerar quando se observa elevação na prevalência de alergias alimentares é verificar se houve aumento real no número absoluto de ocorrências por influência dos fatores ambientais ou se a elevação não está também relacionada ao aprimoramento na identificação e diagnóstico e ao aprimoramento dos sistemas de notificação (Savage *et al.*, 2016).

Assim sendo, Kopko *et al.* (2022) destacam a necessidade de investigar os novos fatores e tendências que influenciam os padrões de consumo de proteínas, avaliando simultaneamente a capacidade dos sistemas de monitorização e regulamentação existentes para gerir o aumento da incidência de reações a novos alergênicos, bem como aos já existentes.

Com esta finalidade, a *Food and Agriculture Organization* (FAO) e conjunto com a *World Health Organization* (WHO) promoveram nos últimos anos uma série de encontros para discutir a questão das alergias alimentares, relatadas em três publicações. A primeira trata da revisão e validação da lista de alergênicos prioritários do Codex Alimentarius (Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization, 2022a). A segunda trata da revisão e estabelecimento de limites para os alergênicos prioritários em alimentos (Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization, 2022b) e a terceira trata da revisão e estabelecimento de rotulagem preventiva para alimentos alergênicos (Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization, 2023).

7. Conclusão do estudo perante os aspectos de segurança de produção de produtos cárneos feitos de plantas

Do ponto de vista de suas características intrínsecas, os quatro produtos abordados neste estudo são extremamente susceptíveis à deterioração microbiana e à multiplicação de patógenos, uma vez que não contêm conservantes e seu pH e atividade de água não são restritivos ao crescimento dos microrganismos. Com exceção do análogo à peixe, que passa por tratamento térmico de esterilização comercial já na embalagem hermeticamente fechada, a segurança dos demais durante o período de validade é totalmente dependente da cadeia do frio no transporte e comercialização. Sob este aspecto a linguiça vegetal é a mais vulnerável, uma vez que, não sendo congelada, pode permitir a multiplicação de patógenos psicrotróficos como *Listeria monocytogenes*, cepas de *Clostridium botulinum* não proteolíticos e cepas de *Bacillus cereus*, tendo por isto o seu prazo de validade restrito a 10 dias em temperaturas não superiores 8 °C.

A identificação dos perigos mostrou que há perigos comuns a quase todos os ingredientes vegetais usados na formulação dos análogos vegetais, como *Salmonella*, arsênio, cádmio, chumbo e resíduos de defensivos agrícolas, enquanto outros são característicos de certos ingredientes, como aflatoxinas B1, B2, G1 e G2 na farinha de arroz e proteínas de feijão, soja e trigo; ocratoxina A (OTA) nas proteínas de feijão, soja e trigo; desoxivalenol (DON) e zearalenona (ZEA) nas proteínas de soja e trigo; estéres de glicidol e ésteres de 3-MCPD (3-monocloropropano-1,2-diol ou 3-cloropropano-1,2-diol) em óleos e gorduras; dioxinas, furano e metil furanos no açúcar e óxido de etileno nas gomas konjac e guar que fazem parte da composição da tripa vegetal comestível.

O que se concluiu ao longo do estudo é que a maioria das medidas de controle necessárias à segurança destes produtos não são categorizadas como PCCs, mas como PPRs ou PCs. Dentre essas medidas há aquelas que visam garantir a qualidade dos ingredientes adquiridos quanto à ausência ou redução dos perigos ao mínimo factível, como o recebimento exclusivo de fornecedor homologado, o recebimento acompanhado de laudo de análise de lotes e a análise laboratorial do material recebido antes da liberação para uso, e aquelas que objetivam garantir condições adequadas durante o processamento (como o plano de monitoramento da higiene ambiental, o programa de higiene pessoal para manipuladores e o programa de controle de contaminação cruzada por alergênicos em fábricas que processam mais de um tipo de produto).

O estudo evidenciou grandes lacunas de informação sobre a incidência e prevalência de perigos biológicos e químicos nos produtos finais e nos ingredientes vegetais usadas na sua formulação, destacando-se dados de quantificação e identificação dos microrganismos presentes; dados sobre a contaminação com micotoxinas, metais pesados, resíduos de pesticidas e toxinas naturais de plantas como alcaloides tropânicos e β -carbolinas; dados sobre a formação de compostos tóxicos induzidos pelo processamento, como aminas aromáticas heterocíclicas (HAAs), hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (PAHs), nitrosaminas, ésteres de ácidos graxos glicidil, ésteres de 2-monocloropropanodiol (2-MCPD) e 3-monocloropropanodiol (3-MCPD); dados sobre a persistência de fatores antinutricionais (inibidores de tripsina, ácido fítico, tanino, hemaglutininas e oligossacarídeos) nas proteínas vegetais e nos produtos finais e estudos sobre qual efeito a tendência de maior consumo de novas fontes de proteínas vegetais terá no desenvolvimento de alergias alimentares.

8. Caminho a seguir

Considerando as lacunas identificadas neste estudo e o interesse crescente nos alimentos vegetais análogos sugere-se que agências regulatórias, indústrias, pesquisadores, universidades e instituições acreditadoras intensifiquem seus esforços nas seguintes direções:

Agências Regulatórias: Acompanhar os avanços nos estudos de segurança, principalmente quanto a maiores evidências científicas sobre os potenciais perigos químicos e biológicos identificados neste estudo para promover possíveis atualizações da legislação, implementando critérios e limites novos ou adaptando os já existentes para valores mais específicos para a produção e comercialização desses alimentos, garantindo sua qualidade e segurança. Além disso, promover programas de pesquisa e desenvolvimento para preencher as lacunas de conhecimento identificadas, incentivando a colaboração entre instituições de pesquisa e a indústria. Ampliar o desenvolvimento de mecanismos de avaliação dos estudos de APPCC das indústrias a partir do uso de plataformas online e de sistemas de informação, de maneira a antecipar e mitigar riscos associados aos alimentos vegetais análogos à carne.

Indústria: Implementar sistemas de gestão de segurança de alimentos robustos, como o APPCC, e investir em tecnologias de produção e análise que permitam um controle mais eficaz dos perigos identificados. Promover a capacitação de seus colaboradores sobre os aspectos de segurança de alimentos e a importância da rastreabilidade dos produtos e promover colaboração com pesquisadores para aprofundar nos conhecimentos das lacunas científicas.

Pesquisadores: Intensificar os estudos sobre a incidência e prevalência de contaminantes em ingredientes e produtos finais, bem como sobre a formação de compostos tóxicos durante o

processamento. Desenvolver novas metodologias de análise para a detecção de contaminantes emergentes e avaliar a eficácia de diferentes tratamentos para a redução de riscos.

Universidades: Incluir a temática de alimentos vegetais análogos à carne nos currículos dos cursos de nutrição, tecnologia e engenharia de alimentos e áreas afins, promovendo a formação de profissionais qualificados para atuar nesse segmento.

Instituições acreditadoras e/ou de iniciativas privadas para a segurança dos alimentos: Incluir a temática de alimentos vegetais análogos à carne como grupo específico de alimentos a ser considerado para as auditorias de normas e de esquemas de sistemas de gestão da segurança dos alimentos, estabelecendo, dentro das necessidades aplicáveis, requisitos adicionais e notas complementares que melhor possam elucidar as práticas de produção de alimentos seguros deste segmento da indústria alimentícia.

A colaboração entre esses atores é fundamental para garantir a segurança e a qualidade dos alimentos vegetais análogos à carne, contribuindo para a promoção da saúde pública.

9. Referências

AINSWORTH, P.; IBANOĞLU, S.; PLUNKETT, A. et al. Effect of brewers spent grain addition and screw speed on the selected physical and nutritional properties of an extruded snack. *Journal of Food Engineering*, Amsterdam, v. 81, n. 4, p. 702-709, 2007. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2007.01.004.

ASTOLFI, M. L.; MARCONI, E.; PROTANO, C.; CANEPARI, S. Comparative elemental analysis of dairy milk and plant-based milk alternatives. *Food Control*, Amsterdam, v. 116, Article 107327, 2020. DOI: 10.1016/j.foodcont.2020.107327.

BANACH, J. L.; VAN DER BERG, J. P.; KLETER, G. et al. Alternative proteins for meat and dairy replacers: Food safety and future trends. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, Boca Ratón, v. 63, n. 32, p. 11063-11080, 2022. DOI: 10.1080/10408398.2022.2089625.

BERRIOS, J. D. J.; MORALES, P.; CAMARA, M.; SANCHEZ-MATA, M. C. Carbohydrate composition of raw and extruded pulse flours. *Food Research International*, Amsterdam, v. 43, n. 2, p. 531-536, 2010. DOI: 10.1016/j.foodres.2009.09.035.

CANADIAN FOOD INSPECTION AGENCY. Bacterial Pathogens in Seed Powder and Plant-Based Protein Powder – April 1, 2016 to March 31, 2018. *Food microbiology – Targeted surveys – Final report*. Ottawa: CFIA, 2019. Disponível em:

<https://inspection.canada.ca/food-safety-for-industry/food-chemistry-and-microbiology/food-safety-testing-bulletin-and-reports/bacterial-pathogens-in-seed-powder-and-plant-based/eng/1549481963136/1552949005349>. Acesso em: 3 dez. 2023.

CHEN, Y.; XI, J. Effects of the non-covalent interactions between polyphenols and proteins on the formations of the heterocyclic amines in dry heated soybean protein isolate. *Food Chemistry*, [s. l.], v. 373, Article 131557, 2022. DOI: 10.1016/j. Foodchem.2021.131557.

CHILLED FOOD ASSOCIATION. Guidelines for setting shelf life of chilled foods in relation to non-proteolytic *Clostridium botulinum*. *Weekly: CFA*, 2018. Disponível em:

<https://www.chilledfood.org/new-publication-guidelines-for-setting-shelf-life-of-chilled-foods-in-relation-to-non-proteolytic-clostridium-botulinum/>. Acesso em: 3 dez. 2023.

CONSORTIUM INVESTIGATES risks of microbial contaminants in new plant-based ingredients, *Nizo*, [s. l.], 28 Feb. 2023. Disponível em:

<https://www.nizo.com/news/microbial-contaminants-in-new-plant-based-ingredients/>. Acesso em: 3 dez. 2023.

DENG, P.; CHEN, Y.; XIE, S. et al. Accumulation of heterocyclic amines and advanced glycation end products in various processing stages of plant-based burgers by UHPLC-MS/MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, [s. l.], v. 70, p. 14771-14783, 2022. DOI: 10.1021/acs.jafc.2c06393.

ELANGO, D.; RAJENDRAN, K.; VAN DER LAAN, L. et al. Raffinose Family Oligosaccharides: Friend or Foe for Human and Plant Health? *Frontiers in Plant Science*, v. 13, Article 829118, 2022. DOI: 10.3389/fpls.2022.829118.

EUROPEAN COMMISSION. High Quality Meat-Like Products – From Niche Markets to Widely Accepted Meat Alternatives. [S. l.], *European Commission*, 2021. Disponível em: <https://cordis.europa.eu/project/id/262560>. Acesso em: 3 dez. 2023.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. *Thinking about the future of food safety – A foresight report*. Rome: FAO, 2022. DOI: 10.4060/cb8667en.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Risk Assessment of Food Allergens – Part 1: Review and validation of Codex Alimentarius priority allergen list through risk assessment*. Rome: FAO/WHO, 2022a. (Meeting Report. Food Safety and Quality Series, n. 14). DOI: 10.4060/cb9070en.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Risk assessment of food allergens – Part 2: Review and establish threshold levels in foods for the priority allergens*. Rome: FAO/WHO, 2022b. (Meeting Report. Food Safety and Quality Series, n. 15). DOI: 10.4060/cc2946en.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Risk assessment of food allergens – Part 3: Review and establish precautionary labelling in foods of the priority allergens*. Rome: FAO/WHO, 2023. (Meeting report. Food Safety and Quality Series, n. 16). DOI: 10.4060/cc6081en.

GIONFRIDDO, E.; GRUSZECKA, D.; LI, X.; PAWLISZYN, J. Direct-immersion SPME in soy milk for pesticide analysis at trace levels by means of a matrix-compatible coating, *Talanta*, v. 211, Article 120746, 2020. DOI: 10.1016/j.talanta.2020.120746.

HE, J.; EVANS, N. M.; LIU, H.; SHAO, S. A review of research on plant-based meat alternatives: Driving forces, history, manufacturing, and consumer attitudes. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, Chicago, v. 19, n. 5, p. 2639-2656, 2020. DOI: 10.1111/1541-4337.12610.

JOYE, I. Protein digestibility of cereal products. *Foods*, Basel, v. 8, n. 6, Article 199, 2019. DOI: 10.3390/foods8060199.

KAUR, S.; SHARMA, S.; SINGH, B.; DAR, B. N. Effect of extrusion variables (temperature, moisture) on the antinutrient components of cereal brans. *Journal of Food Science and Technology*, New Delhi, v. 52, n. 3, p. 1670-1676, 2015. DOI: 10.1007/s13197-013-1118-4.

- KELKAR, S.; SIDDIQ, M.; HARTE, J. B. et al. Use of low-temperature extrusion for reducing phytohemagglutinin activity (PHA) and oligosaccharides in beans (*Phaseolus vulgaris L.*) cv. Navy and Pinto. *Food Chemistry*, v. 133, n. 4, p. 1636-1639, 2012. DOI: 10.1016/j.foodchem.2012.02.044
- KIES, A. K.; DE JONGE, L. H.; KEMME, P. A.; JONGBLOED, A. W. Interaction between protein, phytate, and microbial phytase. In vitro studies. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, [s. l.], v. 54, n. 5, p. 1753-1758, 2006. DOI: 10.1021/jf0518554.
- KOLAKOWSKI, B. M.; MILLER, L.; MURRAY, A.; LECLAIR, A.; BIETLOT, H.; VAN DE RIET, J. M. Analysis of glyphosate residues in foods from the Canadian retail markets between 2015 and 2017. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, [s. l.], v. 68, p. 5201-5211, 2020. DOI: 10.1021/acs.jafc.9b07819.
- KOPKO, C.; GARTHOFF, J. A.; ZHOU, K. et al. Are alternative proteins increasing food allergies? Trends, drivers and future perspectives. *Trends in Food Science & Technology*, [s. l.], v. 129, p. 126-133, 2022. DOI: 10.1016/j.tifs.2022.09.008.
- KYRYLENKO, A.; EIJLANDER, R. T.; ALLINEY, G.; LUCAS-VAN DE BOS, E.; WELLS-BENNIK, M. H. J. Levels and types of microbial contaminants in different plant-based ingredients used in dairy alternatives. *International Journal of Food Microbiology*, [s. l.], v. 407, Article 110392, 2023. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2023.110392.
- LIENER, I. E. Implications of antinutritional components in soybean foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, Oxford, v. 34, n. 1, p. 31-67, 2009. DOI: 10.1080/10408399409527649.
- LIN, X.; DUAN, N.; WU, J. et al. Potential food safety risk factors in plant-based foods: Source, occurrence, and detection methods. *Trends in Food Science & Technology*, [s. l.], v. 138, p. 511-522, 2023. DOI: 10.1016/j.tifs.2023.06.032.
- LIU, Z. ; SHAPOSHNIKOV, M.; ZHUANG, S. et al. Growth and survival of common spoilage and pathogenic bacteria in ground beef and plant-based meat analogues. *Food Research International*, [s. l.], v. 164, Article 112408, 2023. DOI: 10.1016/j.foodres.2022.112408.
- LUCHANSKY, J. B.; SHOYER, B. A.; JUNG, Y. et al. Viability of Shiga toxin-producing *Escherichia coli*, *Salmonella*, and *Listeria monocytogenes* within plant versus beef burgers during cold storage and following pan frying. *Journal of Food Protection*, [s. l.], v. 83, n. 3, p. 434-442, 2020. DOI: 10.4315/0362-028X.JFP-19-449.
- MARTINS, W. F.; NICOLETTI, G.; SILVEIRA, C.; et al. Pesquisa de *Bacillus cereus* em produtos farináceos e a base de soja. In: *CONGRESSO DE ENGENHARIA QUÍMICA*, 20., Florianópolis, 19-22 out. 2014. Anais [...]. São Paulo: ABEQ, 2014. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/cobeq2014/0053-27308-172388.pdf>. Acesso em: 3 dez. 2023.
- MIHALACHE, O. A.; DELLAFIORA, L.; DALL'ASTA, C. A systematic review of natural toxins occurrence in plant commodities used for plant-based meat alternatives production. *Food Research International*, [s. l.], v. 158, Article 111490, 2022. DOI: 10.1016/j.foodres.2022.111490.

- MILANI, R. F.; MAURI, A. A.; SANCHES, V. L. et al. Trace elements in soy-based beverages: A comprehensive study of total content and in vitro bioaccessibility. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Basel, v. 20, n. 6, Article 4986, 2023. DOI: 10.3390/ijerph20064986.
- NIKMARAM, N.; LEONG, S. Y.; KOUBAA, M.; et al. Effect of extrusion on the anti-nutritional factors of food products: An overview. *Food Control*, [s. l.], v. 79, p. 62-73, 2017. DOI: 10.1016/j.foodcont.2017.03.027.
- NSW Food Authority. Plant-Based Alternative Products Survey. Sydney: *New South Wales Government*, 2021. Disponível em: https://www.foodauthority.nsw.gov.au/sites/default/files/2021-03/FI371%202101_Plant%20based%20alternative%20survey%20final.pdf. Acesso em: 3 dez. 2023.
- PEDROSA, M. M.; GUILLAMON, E.; ARRIBAS, C. Autoclaved and extruded legumes as a source of bioactive phytochemicals: A review. *Foods*, [s. l.], v. 10, p. 379, 2021. DOI: 10.3390/foods10020379.
- PERNU, N.; KETO-TIMONEN, R.; LINDSTROM, M.; KORKEALA, H. High prevalence of *Clostridium botulinum* in vegetarian sausages. *Food Microbiology*, [s. l.], v. 91, Article 103512, 2020. DOI: 10.1016/j.fm.2020.103512.
- RATHOD, R. P.; ANNAPURE, U. S. Effect of extrusion process on antinutritional factors and protein and starch digestibility of lentil splits. *LWT – Food Science and Technology*, Amsterdam, v. 66, p. 114-123, 2016. DOI: 10.1016/j.lwt.2015.10.028.
- ROCHA, M. D.; CHAVES, R. D.; FREIRE, L. et al. *Salmonella enterica* in soybean production chain: Occurrence, characterization, and survival during soybean storage. *International Journal of Food Microbiology*, Amsterdam, v. 372, Article 109695, 2 July 2022. DOI: 10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109695.
- RODRÍGUEZ-CARRASCO, Y.; CASTALDO, L.; GASPARI, A.; GRAZIANI, G.; RITIENI, A. Development of an UHPLC-Q-Orbitrap HRMS method for simultaneous determination of mycotoxins and isoflavones in soy-based burgers. *LWT – Food Science and Technology*, Amsterdam, v. 99, p. 34-42, 2019. DOI: 10.1016/j.lwt.2018.09.046.
- ROSE, M.; HOLLAND, J.; DOWDING, A. et al. Investigation into the formation of PAHs in foods prepared in the home to determine the effects of frying, grilling, barbecuing, toasting and roasting. *Food and Chemical Toxicology*, Oxford, v. 78, p. 1-9, Apr. 2015. DOI: 10.1016/j.fct.2014.12.018.
- SAVAGE, J.; SICHERER, S.; WOOD, R. The natural history of food allergy. *Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice*, New York, v. 4, n. 2, p. 196-203, 2016. DOI: 10.1016/j.jaip.2015.11.024.
- TÓTH, A. J.; BATTAY, M.; ILLÉS, C. B.; SÜTH, M. Microbial Spoilage of Plant-Based Meat Analogues. *Applied Sciences*, Basel, v. 11, n. 18, Article 8309, 2021. DOI: 10.3390/app11188309.
- URBAN, M.; LESUEUR, C. Comparing d-SPE sorbents of the QuEChERS extraction method and EMR-lipid for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH4) in food of animal and plant origin. *Food Analytical Methods*, Berlin, v. 10, p. 2111-2124, 2017. DOI: 10.1007/s12161-016-0750-9.

WANG, Z.; NG, K.; WARNER, R. D. et al. Reduction strategies for polycyclic aromatic hydrocarbons in processed foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, Chicago, v. 21, n. 2, p. 1598-1626, 2022. DOI: 10.1111/1541-4337.12905.

WELLS-BENNIK, M. Microbial Contaminants Relevant to Safety and Quality of Plant Protein Based Dairy Alternatives. In: INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR FOOD PROTECTION, 2022, 31 July-3 Aug., Pittsburgh. *Proceedings [...]*. Ede: Nizo, 2022. Disponível em <https://www.foodprotection.org/upl/downloads/meeting/program-overview/62866c388887d621cdbaf.pdf>. Acesso em: 3 dez. 2023.

XI, J.; CHEN, Y. Analysis of the relationship between heterocyclic amines and the oxidation and thermal decomposition of protein using the dry heated soy protein isolate system. *LWT – Food Science and Technology*, Amsterdam, v. 148, Article 111738, 2021. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111738.

ZASTROW, L.; SPEER, K.; SCHWIND, K. H.; JIRA, W. A sensitive GC-HRMS method for the simultaneous determination of parent and oxygenated polycyclic aromatic hydrocarbons in barbecued meat and meat substitutes. *Food Chemistry*, [s. l.], v. 365, Article 130625, 2021. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.130625.

10. Glossário

Alimentos vegetais análogos aos produtos cárneos. Produtos feitos de plantas que mimetizam as características de cor, sabor, textura e aparência daqueles feitos de carne.

Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC). Sistema de controle sobre a segurança do alimento mediante a identificação e controle dos perigos biológicos, químicos, físicos, alergênicos e radiológicos em todas as etapas da cadeia produtiva, desde a produção da matéria-prima até a fabricação, distribuição e consumo.

Limites críticos. Valor mensurável que separa a aceitação da rejeição.

Medida de controle. Ação ou atividade que é essencial para prevenir um perigo significativo à segurança de alimentos ou reduzi-lo a um nível aceitável.

Medida sinérgica. Uma interação que multiplica os resultados. É a ação combinada de duas ou mais medidas de controle cujo resultado pode ser a soma dos efeitos de cada medida ou um efeito total superior a essa soma.

Monitorização de PCCs e PCs. É a determinação da situação de um sistema, de um processo ou de uma atividade por meio de medições das variáveis de controle estabelecidas para PCC ou PC.

Perigo. Contaminação, em nível inaceitável, com potencial de causar um efeito adverso à saúde.

Perigo alergênico. Agente alergênico no alimento, com potencial de causar um efeito adverso à saúde (alergias alimentares decorrentes de uma resposta imunológica anormal à exposição a certas proteínas alimentares). O Codex Alimentarius (CXC 80-2020 – Code of Practice on Food Allergen Management for Food Business Operators) lista oito produtos como responsáveis pela maioria das alergias alimentares em todo o mundo: crustáceos; ovos; peixe; leite; amendoim; soja; nozes e cereais contendo glúten (trigo, centeio, cevada, espelta ou suas cepas hibridizadas e aveia, esta última incluída porque, ainda que não contenha glúten, é comumente produzida no mesmo local que os cereais que o contêm, como o trigo, resultando em contato cruzado com alérgenos).

Perigo biológico. Agente biológico, no alimento, com potencial de causar um efeito adverso à saúde. Inclui bactérias patogênicas (como *Salmonella*, *Campylobacter*, *Escherichia coli* patogênica,

Staphylococcus aureus, *Listeria monocytogenes*, *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens* e *Clostridium botulinum*), vírus (como norovírus e vírus da hepatite A) e parasitas (como *Taenia solium*, *Toxoplasma gondii*, *Cryptosporidium spp.*, *Entamoeba histolytica* e *Trichinella spiralis*).

Perigo físico. Agente físico no alimento, com potencial de causar um efeito adverso à saúde. Inclui, por exemplo, areia, fragmentos de insetos, fragmentos metálicos ferrosos e não ferrosos, plástico flexível ou polímero não rígido.

Perigo químico. Agente químico no alimento, com potencial de causar um efeito adverso à saúde. Inclui, por exemplo, micotoxinas (como aflatoxinas, ocratoxina A, fumonisinas, zearalenona, desoxinivalenol), metais pesados (como arsênio, cádmio, chumbo e cobre) e resíduos de defensivos agrícolas.

Perigo radiológico. Agente radiológico no alimento, com potencial de causar um efeito adverso à saúde.

Perigo significativo. Perigo identificado por uma análise de perigo como razoavelmente provável de ocorrer em um nível inaceitável na ausência de controle e para o qual o controle é essencial nas condições pretendidas de uso do alimento.

Ponto de controle (PC). Também chamado de programa de pré-requisito operacional (PPRO), é a designação usada quando uma medida para o controle de um perigo faz parte das boas práticas de fabricação, mas exige ações específicas além das que estão propostas pela legislação brasileira e são consideradas essenciais para o controle do perigo identificado.

Ponto crítico de controle (PCC). Uma etapa de processo na qual uma ou mais medidas de controle essenciais para controlar e manter um perigo significativo em níveis aceitáveis são aplicadas em um plano APPCC.

Probabilidade do perigo. Está relacionada à frequência de ocorrência do perigo na sua fonte e à possibilidade de permanência do perigo no alimento com dano ao consumidor. Neste estudo foi classificada como alta (há conhecimento da existência do perigo no(s) produto(s)/insumos avaliados ou em produtos semelhantes com base em dados epidemiológicos do país e de fora do país, com ocorrência de recall, e está descrito em legislação específica nacional e internacional); média (há conhecimento da ocorrência do perigo no(s) produto(s)/insumos avaliados com base em dados epidemiológicos de fora do país e está descrito em legislação específica nacional); baixa (a ocorrência do perigo no(s) produto(s)/insumos é conhecida apenas por relatos na literatura técnicas e científica, sem identificação de dados epidemiológicos e não está descrito em legislação específica nacional, havendo indicações de controle apenas em alguns outros países); desprezível (a ocorrência do perigo é conhecida apenas por relatos na literatura técnica e científica, não é específica para o(s) produto(s)/insumos avaliados e não há recomendações legais dentro ou fora do país para sua avaliação).

Programa de pré-requisito (PPR). Designação usada quando uma medida para o controle de um perigo significativo já está claramente estabelecida nos requisitos de boas práticas de fabricação instituídos pela legislação brasileira.

Programa de pré-requisito operacional (PPRO). Designação usada quando uma medida para o controle de um perigo faz parte das boas práticas de fabricação, mas exige ações específicas além das que estão propostas pela legislação brasileira e são consideradas essenciais para o controle do perigo identificado.

Severidade do perigo. Gravidade do efeito de um perigo presente em um alimento sobre a saúde do consumidor. Pode ser classificada como alta (pode ser letal ou causar sequelas ou lesões graves,

com necessidade de imediata intervenção hospitalar, ou causar enfermidade incapacitante ou de longa duração ou apresentar efeito carcinogênico ou teratogênico); média (pode causar desconforto grave, porém sem sequelas, geralmente de curta duração e sintomas autolimitantes, podendo haver a necessidade de intervenção médica); baixa (gera apenas desconforto, mal-estar ou lesões leves, sem necessidade de intervenção hospitalar).

Significância do risco. É uma função da probabilidade de ocorrência de um efeito adverso para a saúde e da severidade desse efeito, como consequência de perigos presentes no alimento ou suas fontes.

Verificação de PCCs, PCs e PPRs. É a comprovação, pelo fornecimento de evidências objetivas, de que requisitos especificados foram atendidos.

11. Especialidades dos autores

Neusely da Silva, pesquisadora especialista em microbiologia, Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL).

Claire Isabel G. de L. Sarantópoulos, pesquisadora especialista em embalagens, Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL).

Marcus Vinicius Pereira de Oliveira, especialista no desenvolvimento de planos APPCC, Liner Consultoria.

Telma Galle, especialista no desenvolvimento de planos APPCC, Liner Consultoria.

Ana Lúcia da Silva Corrêa Lemos, pesquisadora especialista em processamento e controle de qualidade de produtos cárneos, Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL).

Danielle Ito, pesquisadora analítica, especialista em embalagens, Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL).

Elizabeth Harumi Nabeshima, pesquisadora especialista em tecnologias de extração e processamento de amidos associadas à tecnologia de extrusão, Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL).

Flávio Martins Montenegro, pesquisador especialista em controle de qualidade de produtos de origem vegetal e em tecnologias de extração e processamento de amidos, Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL).

José Antonio de Fátima Esteves, pesquisador especialista em produção de grãos e leguminosas, Instituto Agrônomo de Campinas (IAC).

Manuel Pinto Neto, pesquisador especialista em processo industrial de fabricação de produtos cárneos, Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL).

Marcelo Antonio Morgano, pesquisador especialista em contaminantes inorgânicos e micronutrientes minerais em alimentos, Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL).

Maria Isabel Berto, pesquisadora especialista em processos térmicos de alimentos, Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL).

Marta Hiromi Taniwaki, pesquisadora especialista em fungos e micotoxinas em alimentos, Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL).

Mitie Sonia Sadahira, pesquisadora especialista em extração e otimização de proteínas vegetais, Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL).

Renata Bromberg, pesquisadora especialista em microbiologia e controle de qualidade de produtos cárneos, Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL).

Roseli Aparecida Ferrari, pesquisadora especialista em tecnologias de extração e processamento de óleos e gorduras, Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL).

Vera Sônia Nunes da Silva, pesquisadora especialista em extração e otimização de proteínas vegetais, fatores antinutricionais e alergênicos de vegetais, Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL).



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](https://gfi.org.br)
-  [INSTAGRAM](#)
-  [TIKTOK](#)
-  [YOUTUBE](#)
-  [LINKEDIN](#)

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

Doe para o GFI Brasil