

Fibras alimentares como potenciais substitutos parciais de carne na qualidade tecnológica de hambúrguer de peixe

Dietary fibers as potential partial meat substitutes in the technological quality of a fish burger

Fibras dietéticas como potenciales sustitutos parciales de la carne en la calidad tecnológica de la hamburguesa de pescado

Recebido: 03/08/2022 | Revisado: 16/08/2022 | Aceito: 18/08/2022 | Publicado: 26/08/2022

Ana Vitória Silva Miranda

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3196-7962>
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil
E-mail: ana.miranda@ufvjm.edu.br

Larissa Rodrigues Gomes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6910-2070>
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil
E-mail: larissa.gomes@ufvjm.edu.br

Jhéimisson Luiz Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1503-8047>
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil
E-mail: jheimisson.l Luiz Santos@ufvjm.edu.br

Sander Moreira Rodrigues

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3506-0006>
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil
E-mail: sander.moreira@ufvjm.edu.br

Glauce Kelly Silva do Nascimento

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4183-7643>
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil
E-mail: glauce.kelly@ufvjm.edu.br

Monalisa Pereira Dutra Andrade

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5977-3716>
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil
E-mail: monalisa.dutra@ufvjm.edu.br

Marcio Schmiele

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8830-1710>
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil
E-mail: marcio.sc@ict.ufvjm.edu.br

Resumo

Os hambúrgueres de peixe apresentam significativa exsudação de água após o congelamento e descongelamento, o qual é acompanhado do grelhamento. A aplicação de fibras alimentares brancas, pela alta capacidade de hidratação e sem alterar drasticamente a cor do produto, podem contornar efeitos indesejados para a aplicação da carne de peixe em hambúrguer. Com isso, o objetivo deste estudo foi incorporar o amido resistente misto, a carboximetilcelulose e a fibra branca de trigo em hambúrguer de peixe, bem como avaliar o desempenho tecnológico do produto final. O estudo foi conduzido através do Planejamento de Misturas do tipo Simplex-Centroide e as variáveis dependentes foram avaliadas por meio da Metodologia de Superfície de Resposta ($p < 0,10$ e $R^2 > 0,75$). O ponto ótimo foi alcançado pela combinação entre as fibras alimentares na proporção de amido resistente misto (1,10 %), carboximetilcelulose (2,92 %) e fibra branca de trigo (0,64 %), com desejabilidade de 84,19 %. Ao comparar os resultados obtidos para o ponto otimizado e a amostra padrão, as principais vantagens observadas foram o aumento de 24,17 % na capacidade de retenção de água, um decréscimo em 52,05 % na perda de peso por cozimento e textura com valores melhores do ponto de vista tecnológico. Desta forma, os hambúrgueres apresentaram-se mais macios e suculentos, sem alteração significativa da atividade de água. O ponto otimizado apresentou-se com coloração mais clara, maiores tonalidades avermelhadas e amareladas. Logo, a adição de fibras alimentares, com equilíbrio entre as frações solúveis e insolúveis, resultou em desempenho tecnológico satisfatório nos hambúrgueres de peixe.

Palavras-chave: Exsudação; Fibras alimentares; Pescado; Produtos cárneos.

Abstract

Fish hamburgers have significant water exudation after freezing and thawing, accompanied by grilling. The application of white dietary fibers, due to high hydration capacity and without dramatically changing the product's

color, may overcome unwanted effects of the application of fish meat in hamburgers. So, this study aimed to incorporate mixed resistant starch, carboxymethylcellulose and white wheat fiber in fish hamburgers and evaluate the final product's technical performance. The study was conducted by a Simplex-Centroid Mixture Design, and the dependent variables were assessed through the Response Surface Methodology ($P < 0.10$ and $R^2 > 0.75$). The optimal point was achieved by the combination of dietary fibers in the proportion of mixed resistant starch (1.10 %), carboxymethylcellulose (2.92 %) and white wheat fiber (0.64 %), with desirability of 84.19 %. By comparing the results obtained for the optimized point and the standard sample, the main advantages observed were the 24.17 % increase in water retention capacity, a 52.05 % decrease in cooking weight loss and an instrumental texture with values better in technological performance. In this way, the hamburgers were softer and more succulent, without significant changes in water activity. In addition, the optimal point presented lighter colors and more oversized reddish and yellowish shades. Therefore, adding dietary fibers with an adequate balance between soluble and insoluble fractions resulted in satisfactory technological performance in fish hamburgers.

Keywords: Exudation; Food fibers; Fish; Meat products.

Resumen

Las hamburguesas de peces tienen una exudación significativa de agua después de congelar y descongelar, que se acompaña de la parrilla. La aplicación de fibras dietéticas blancas, debido a la alta capacidad de hidratación y sin cambiar drásticamente el color del producto puede superar los efectos no deseados para la aplicación de carne de pescado en hamburguesas. Como resultado, el objetivo de este estudio fue incorporar el almidón resistente mixto, carboximetilcelulosa y fibra blanca de trigo en hamburguesa de pescado, así como evaluar el rendimiento tecnológico del producto final. El estudio se realizó mediante un Diseño de Mezclas Simplex-Centroide y las variables dependientes se evaluó a través de la Metodología de la Superficie de Respuesta ($p < 0,10$ y $R^2 > 0,75$). El punto óptimo se logró mediante la combinación de fibras alimentarias en la proporción de almidón resistente mixto (1,10 %), carboximetilcelulosa (2,92 %) y fibra blanca de trigo (0,64 %), con una deseabilidad de 84,19 %. Al comparar los resultados obtenidos para el punto optimizado a la muestra controle, las principales ventajas observadas fueron el aumento del 24,17 % en la capacidad de retención de agua, una disminución del 52,05 % en la pérdida de peso en la cocción y una textura con valores mejores del punto de vista tecnológico. De esta manera, las hamburguesas eran más suaves y succulentas, sin cambios significativos en la actividad del agua. El punto optimizado se presentó con color más claro, tonos rojizos y amarillentos más grandes. Por lo tanto, la adición de fibras dietéticas, con un equilibrio entre fracciones solubles e insolubles, resultó en un rendimiento tecnológico satisfactorio en las hamburguesas de peces.

Palabras clave: Exudación; Fibras alimenticias; Pescado; Productos de carne.

1. Introdução

Os pescados são todos os animais aquáticos originários de água salgada ou doce utilizados na alimentação humana, nos quais estão inclusos os peixes, os mamíferos, os anfíbios, os crustáceos e os moluscos (Bernardes et al., 2020). No geral, o pescado possui boa qualidade nutricional, com proteínas de alto valor biológico e a presença de todos os aminoácidos e ácidos graxos essenciais, em que os teores de ácidos graxos poli-insaturados são elevados, além de conterem vitaminas e minerais.

Uma limitação nutricional observada em produtos cárneos é o baixo teor de fibras alimentares (Das et al., 2020). As fibras alimentares estão relacionadas à minimização do efeito carcinogênico da carne. Acredita-se que as fibras alimentares reduzam o tempo de permanência da matéria fecal no cólon quando em equilíbrio entre as frações solúveis e insolúveis e acompanhadas de ingestão adequada de líquidos (principalmente a água). Desse modo, ativa a motilidade intestinal e elimina a estagnação dos nutrientes, auxiliando na diminuição do nível de colesterol e na prevenção de doenças crônicas não degenerativas e na propagação de vírus respiratórios (Antunes et al., 2019; Suhareva et al., 2021). Vale citar que se ligam aos minerais, reduzindo assim a atividade do grupo heme no cólon (Younis et al., 2022).

Apesar da rica composição nutricional e dos benefícios associados ao consumo de pescado, a ingestão anual no Brasil corresponde a 10 kg/habitante, sendo considerado baixo quando comparado com a ingestão de carne bovina, a qual representa em média 40 kg/habitante/ano. Em relação aos peixes, a produção brasileira é majoritariamente da espécie tilápia do Nilo, em que, no cenário mundial, o Brasil ocupa a quarta posição de maior produtor. Os peixes em geral, incluindo a tilápia do Nilo, são comercializados principalmente na forma de filés congelados (Oliveira, Mergen, Signor, & Souza et al., 2021). Vale destacar que alguns fatores contribuem para a variação do consumo de pescado nas diferentes regiões do país, como a distância

de muitas cidades do litoral marítimo. Diante disso, o desenvolvimento de produtos que utilizam a carne de peixe como matéria-prima apresenta um grande potencial para a prospecção e inovação do setor (Miranda & Schmiele, 2020).

Para isso, é necessário compreender que a qualidade do pescado pode ser afetada por fatores biológicos, enzimáticos e físico-químicos. Dentre esses aspectos que interferem na vida útil da carne de peixe estão as condições microbiológicas, a manipulação, o armazenamento e a composição química do pescado, sendo que a presença de compostos nitrogenados proteicos e não proteicos (creatina) e pH quase neutro se destacam por facilitar a deterioração do pescado (Cossa, 2020; Sousa, 2018). Além disso, a carne de peixe exibe elevado teor de água (cerca de 70 a 80 %), o que provoca a rápida deterioração pela alta atividade de água (Miranda & Schmiele, 2020).

Para contornar as perdas ocasionadas pela deterioração de alimentos destaca-se o método de congelamento, o qual inibe a ação de enzimas e micro-organismos, possibilitando o aumento na vida útil e permitindo o armazenamento do produto em melhores condições (Gomes, 2018). Entretanto, ainda assim, podem ocorrer perdas de qualidade devido às modificações químicas e alterações na estrutura muscular, como a oxidação lipídica que não é interrompida (Sousa, 2018), a desnaturação de proteínas pelo frio, a danificação mecânica dos tecidos e o encolhimento osmótico celular (Miranda & Schmiele, 2020). O congelamento aplicado pode ser rápido ou lento, sendo que no processo rápido, as células possuem menor possibilidade de serem danificadas, uma vez que ocorre a formação de pequenos cristais de gelo no meio intracelular e extracelular. Por outro lado, no processo lento ocorre a formação dos cristais de gelo no meio extracelular e, devido ao deslocamento máximo de água para essa região, os cristais de gelo são maiores, resultando no encolhimento e no rompimento das células dos tecidos (Cossa, 2020).

Em relação ao descongelamento, a perda de qualidade pode ocorrer devido ao rompimento das células pela presença dos cristais formados ou pela ruptura da ligação de hidrogênio da água com as proteínas (Miranda & Schmiele, 2020). Logo, para obtenção de um produto de melhor qualidade o ideal é a realização de congelamento rápido, uma vez que contribui para formação de cristais de gelo menores, e descongelamento lento, pois possibilita o retorno gradual da água a sua posição inicial (antes do congelamento) por meio da difusão evitando danos aos tecidos (Colla & Prentice-Hernández, 2003).

Diante disso, é perceptível que o congelamento/descongelamento interfere na qualidade do produto final, sendo que na carne de peixe se observa, principalmente, a sinérese ou exsudação (perda de água) e a diminuição na capacidade de retenção de água (CRA). Como ocorre a danificação das fibras musculares por causa da desnaturação das proteínas e formação de cristais de gelo, a água tende a migrar para o meio extracelular, resultando na elevação da exsudação da água. Tais modificações interferem em atributos importantes como, por exemplo, na cor, no aroma, na textura, na suculência e na aparência, provocando perdas econômicas, sensoriais e de massa (Cossa, 2020).

A fim de aproveitar melhor a carne de peixe, o desenvolvimento de produto cárneo que utiliza esta matéria-prima pode ser benéfico. Um dos produtos com potencial de inovação é o hambúrguer, o qual, segundo o Decreto nº 9.013 do MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), de 29 de março de 2017, é definido como “o produto cárneo obtido de carne moída das diferentes espécies animais, com adição ou não de ingredientes, moldado na forma de disco ou na forma oval e submetido à processo tecnológico específico” (Brasil, 2017).

No entanto, é necessário contornar alguns dos efeitos deletérios que são intensificados em produtos cárneos obtidos de carne moída, como o hambúrguer. Pois, além dos danos mecânicos nos tecidos devido à cristalização intracelular e extracelular da água durante o congelamento, as danificações também ocorrem durante a moagem, devido ao rompimento das fibras musculares, resultando em elevação da área superficial de contato, aumento da possibilidade de contaminação (Ferreira & Caminotto, 2020) e intensificação das alterações decorrentes do processo de congelamento e descongelamento do pescado.

Logo, com a finalidade de melhorar as características tecnológicas e nutricionais do hambúrguer de carne de peixe podem ser adicionadas substâncias como as fibras alimentares. Estes polissacarídeos são definidos como polímeros de

carboidratos que resistem à ação hidrolítica de enzimas endógenas presentes no intestino delgado dos seres humanos, sendo esses polímeros compostos por dez ou mais unidades de monossacarídeos, segundo o Codex Alimentarius (2017). As fibras podem ser solúveis ou insolúveis e se diferenciam, por exemplo, pelos efeitos fisiológicos e propriedades tecnológicas, em que as solúveis apresentam a capacidade de formação de gel, influenciando no aumento da viscosidade e na propriedade de emulsificação, de maneira que aumenta a estabilidade do produto, aprimorando as propriedades sensoriais e tecnológicas. Por outro lado, as insolúveis exibem elevada capacidade de retenção de água e possibilitam a melhoria ou a manutenção da suculência. De forma geral, a presença de carboidratos não digeríveis em produtos cárneos pode melhorar as características do produto, e como cada fibra apresenta propriedades únicas, a combinação de mais de uma pode ser benéfica e resultar em um produto final com as características desejáveis (Miranda & Schmiele, 2020).

Como as fibras comuns podem interferir negativamente nos atributos sensoriais do produto final como a cor e o sabor, uma alternativa interessante é o uso de fibras brancas, como a carboximetilcelulose, a fibra branca de trigo e o amido resistente misto. A fibra branca de trigo é obtida por meio da moagem do material fibroso do trigo, apontado como excelente fonte de fibra insolúvel, sendo uma fibra fina (densidade de 220 g.L^{-1}) usada no enriquecimento dos produtos alimentícios, na redução de gordura, na redução de valor calórico, na melhoria da textura, no controle da migração de umidade e na perda de peso durante o tratamento térmico. Esta fibra pode ser usada em produtos cárneos, lácteos e de panificação. As arabinoxilanas (70 %) são predominantes na fibra branca de trigo, além da presença da celulose (24 %) e β -glucana (6 %) (Anderson & Simsek, 2018). As arabinoxilanas exibem pouco sabor, elevada capacidade de retenção de água e auxiliam no aumento da viscosidade dos produtos alimentícios (Pietiäinen, Moldin, Ström, Malmberg, & Langton, 2022).

A carboximetilcelulose é uma fibra lignocelulolítica muito importante, em que as propriedades dependem de alguns fatores como os diferentes grupos e graus de substituição, assim como a massa molecular. No geral, a carboximetilcelulose exibe boa capacidade de absorção e retenção de água, podendo ser aplicada em diversas áreas, como na indústria de alimentos (Hashmi et al., 2021).

Outro carboidrato não digerível é o amido resistente, o qual pode ser classificado do tipo 1 ao 5, conforme a resistência à atuação das enzimas no intestino. O amido resistente pode ser solúvel ou insolúvel, possui sabor suave e coloração branca, consistindo em partículas finas que conferem capacidade de retenção de água baixa, promovem melhor sensação na boca e possuem capacidade de formação de gel (Jaekel et al., 2020). Vale destacar que o amido resistente nativo em condições de processamento apresenta instabilidades, por isso é vantajoso o uso do processo de extrusão termoplástica para obtenção do amido resistente misto (Schmiele, Hori, Clerici, & Chang, 2017). O amido resistente é classificado de acordo com a resistência natural à ação das enzimas endógenas do trato gastrointestinal, sendo que esta resistência à hidrólise enzimática ocorre naturalmente ou induzida por meio de modificações enzimáticas, genéticas, químicas ou físicas. Em alguns casos, a combinação entre estas técnicas pode favorecer a formação do amido resistente (Clerici & Schmiele, 2019).

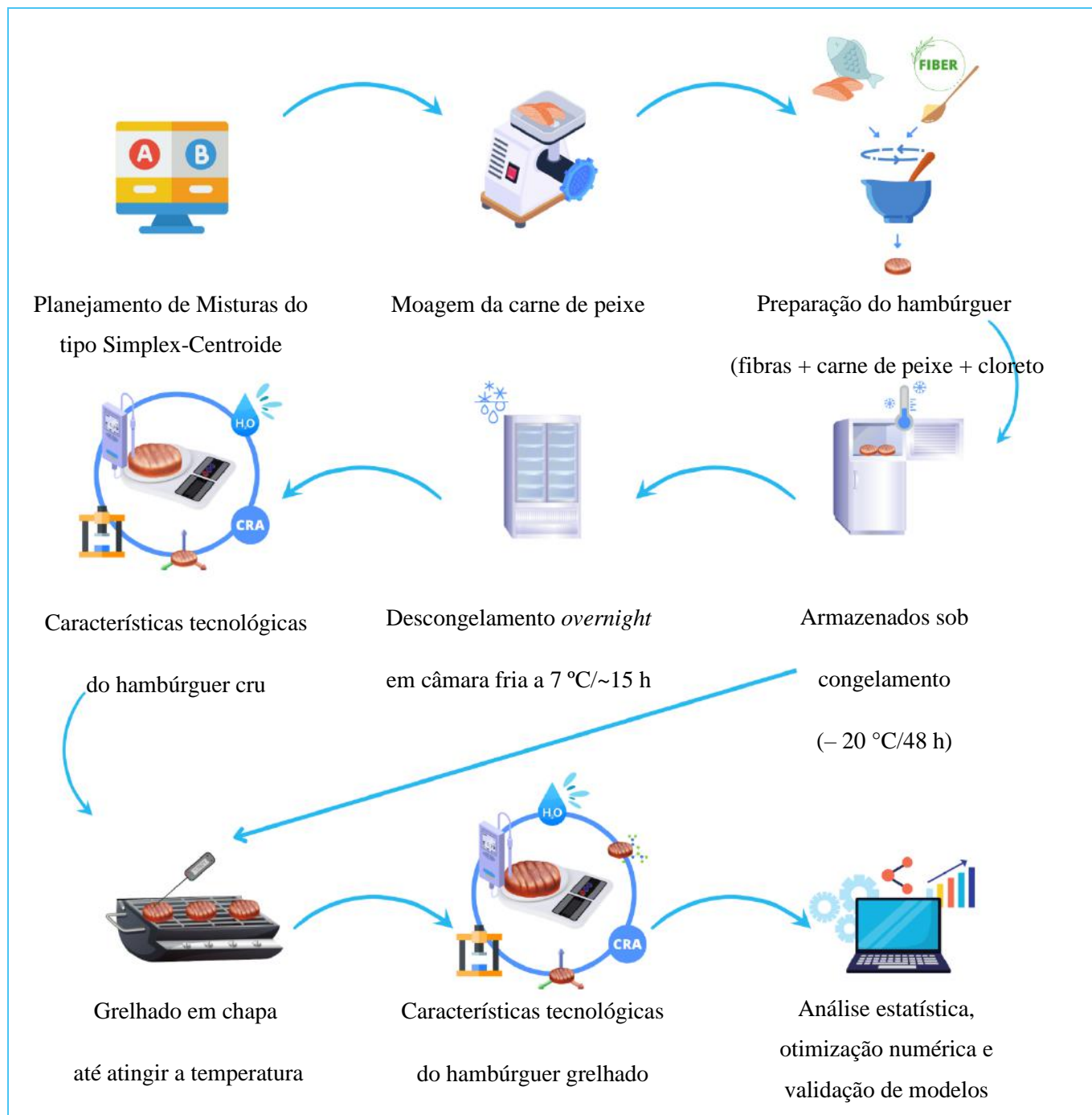
Em geral, o amido resistente tipo 1 é considerado àquele fisicamente inacessível. O amido resistente tipo 2 é o amido naturalmente encontrado nas fontes vegetais e que não é hidrolisado pelas enzimas amilolíticas em função do alto grau de cristalinidade. O amido resistente tipo 3 é obtido através de sucessivos ciclos de congelamento e descongelamento, sendo composto pela fração do amido retrogradado. O amido resistente tipo 4 é o amido quimicamente modificado e o amido resistente tipo 5 é àquela fração em que ocorre a formação de um complexo físico entre cadeias lineares de ácidos graxos saturados com a α -hélice da amilose ou de frações lineares de amido dextrinizado (dextrinização enzimática ou termomecânica) (Gomes, Morais, Rocha, & Schmiele, 2021).

Portanto, o objetivo deste trabalho foi incorporar carboidratos não digeríveis (carboximetilcelulose, fibra branca de trigo e amido resistente misto tipo 3, 4 e 5) em hambúrguer de peixe, a fim de contornar os efeitos negativos associados ao desenvolvimento desse produto cárneo, bem como avaliar o desempenho tecnológico do produto.

2. Metodologia

O presente trabalho foi realizado por meio do método experimental e pesquisa laboratorial através da análise quantitativa dos dados, como apresentado por Zambello et al. (2018). Os testes foram executados no Laboratório Integrado de Cereais e Lipídios (LICEL) e no Laboratório de Carnes da Universidade Federal dos Vales Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) em Diamantina, Minas Gerais. Na Figura 1, a metodologia está exibida de maneira esquemática.

Figura 1 - Desenho experimental.



¹ Disponível em: <https://www.flaticon.com/> ² Disponível em: <https://www.canva.com/> Símbolos adquiridos do Flaticon¹ e Canva². Fonte: Autores (2022.)

2.1 Formulações e delineamento experimental

Para a elaboração do hambúrguer de peixe foi utilizado filé de carne de peixe fresco a granel (Tilápia do Nilo) obtido no varejo. O cloreto de sódio (sal de cozinha iodado) foi adquirido no comércio local (Diamantina – MG). As fibras alimentares carboximetilcelulose e fibra branca de trigo foram doadas pelo Laboratório de Cereais, Raízes e Tubérculos da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas. A proporção de cada um dos ingredientes para a produção da formulação padrão foi de carne de peixe (100 %) e sal (2 %). No entanto, para as demais formulações houve combinação entre as fibras alimentares em diferentes concentrações, amido resistente misto (0 - 10 %), fibra branca de trigo (0 - 4 %) e carboximetilcelulose (0 - 4 %), a fim de melhorar as características físico-químicas e nutricionais do hambúrguer de peixe. O amido resistente utilizado neste experimento foi produzido através de extrusão termoplástica em extrusor dupla-roscas corrotacional encaixada ZKS 30 (Werner Pfleiderer Corp., Ramsey, EUA) com teor de amido resistente de 29,17 % (Gomes, 2020). A estratégia experimental utilizada foi a Metodologia de Superfície de Resposta através de um Planejamento de Misturas do tipo Simplex-Centroide, conforme indicado na Tabela 1.

Tabela 1 - Planejamento de Misturas do tipo Simplex-Centroide para a formulação dos hambúrgueres de peixe com substituição parcial da carne de peixe por amido resistente misto, carboximetilcelulose e fibra branca de trigo, em níveis reais e codificados.

Formulação	Valores codificados			Valores reais (%)			Valores reais para o complemento da formulação (%)	
	x ₁	x ₂	x ₃	X ₁	X ₂	X ₃	Carne de peixe	sal
1	1,000	0,000	0,000	10,00	0,00	0,00	90,00	2,00
2	0,000	1,000	0,000	0,00	4,00	0,00	96,00	2,00
3	0,000	0,000	1,000	0,00	0,00	4,00	96,00	2,00
4	0,500	0,500	0,000	5,00	2,00	0,00	93,00	2,00
5	0,500	0,000	0,500	5,00	0,00	2,00	93,00	2,00
6	0,000	0,500	0,500	0,00	2,00	2,00	96,00	2,00
7	0,667	0,167	0,167	6,67	0,67	0,67	91,99	2,00
8	0,167	0,667	0,167	1,67	2,67	0,67	94,99	2,00
9	0,167	0,167	0,667	1,67	0,67	2,67	94,99	2,00
10	0,333	0,333	0,333	3,30	1,32	1,32	94,99	2,00
11	0,333	0,333	0,333	3,30	1,32	1,32	94,99	2,00
12	0,333	0,333	0,333	3,30	1,32	1,32	94,99	2,00
13	0,333	0,333	0,333	3,30	1,32	1,32	94,99	2,00

Onde: x₁ e X₁ - amido resistente misto; x₂ e X₂ - carboximetilcelulose; x₃ e X₃ - fibra branca de trigo, respectivos aos níveis codificados e reais. Fonte: Autores (2022).

2.2 Elaboração dos hambúrgueres de peixe

Com a finalidade de preparar os hambúrgueres, primeiramente, o filé de peixe (7 °C) foi submetido ao processo de moagem (Bermar BM 20 NS, disco com diâmetro de 9 mm), seguida pela pesagem da carne de peixe moída e dos ingredientes, conforme a formulação padrão e o delineamento descrito na Tabela 1. A mistura foi separada em porções de 80 g (Brasil, 2003), sendo cada porção introduzida em embalagens plásticas de polietileno de baixa densidade e prensadas manualmente em

formas de hambúrgueres com diâmetro de 105 mm para adequação do formato. Os hambúrgueres foram armazenados sob congelamento em congelador (-20 °C/48 h). Para as análises realizadas no hambúrguer cru, o descongelamento foi realizado em câmara fria (Refrimate MCI1900), a 7 °C/~15 h, para as análises posteriores.

Para as amostras grelhadas, os hambúrgueres congelados foram envolvidos em folhas de papel alumínio e tratados termicamente em chapa elétrica (Venâncio CE65), até a temperatura do ponto geométrico atingir 40 °C. Após, virou-se a amostra e o tratamento foi finalizado somente quando se alcançou a temperatura de 70 °C. Depois de grelhados, as amostras foram secas com auxílio de papel toalha e conduzidas para as análises.

2.3 Caracterização dos hambúrgueres crus

2.3.1 Potencial hidrogeniônico – pH

Os valores de pH dos hambúrgueres crus foram determinados através do método 981.12 da AOAC (2019), através da inserção direta do eletrodo acoplado a um potenciômetro digital AC-100 (MS Technopon, Piracicaba, BRA). A análise foi determinada com três repetições.

2.3.2 Capacidade de retenção de água

A capacidade de retenção de água foi mensurada de acordo com metodologia descrita por Rodrigues et al. (2020), com modificações. Resumidamente, uma alíquota de ~1,3 g de hambúrguer cru foi colocada entre duas folhas de papel filtro Whatman nº 5 (papel filtro qualitativo com gramatura de 80 g/m² e diâmetro de 125 mm). Em seguida, a amostra foi colocada entre duas placas de vidro (320 mm comprimento x 200 mm largura x 4 mm espessura) e submetida à compressão de 5 kg por 5 minutos. Por fim, efetuou-se o registro da massa final e a capacidade de retenção de água foi calculada de acordo com a Equação 1. A análise foi realizada em triplicata e os resultados expressos em porcentagem.

$$\text{Capacidade de retenção de água (\%)} = \{[100 - (m_i - m_f)] / m_i\} * 100 \quad \text{Eq. 1}$$

Onde: m_i e m_f correspondem a massa inicial e final da alíquota, respectivamente.

2.3.3 Umidade

A umidade dos hambúrgueres crus foi determinada através do método 934.01 da AOAC (2019). A análise foi realizada em triplicata e os resultados expressos em porcentagem.

2.4 Caracterização dos hambúrgueres grelhados

2.4.1 Umidade e atividade de água

A umidade dos hambúrgueres grelhados foi determinada de acordo com o descrito no item 2.3.3. Para a avaliação da atividade de água (a_w) dos hambúrgueres, a medição ocorreu de acordo com o método 978.18 da AOAC (2019). A medida foi realizada em triplicata e de maneira direta em higrômetro Aqualab 4TE Duo (Decagon, Pullman, USA).

2.4.2 Perda de peso por cozimento

A perda de peso por cozimento foi determinada por meio da diferença entre a massa do hambúrguer antes e após o cozimento (Equação 2) de acordo com metodologia descrita por Schmiele, Mascarenhas, Barretto & Pollonio (2015). A análise foi realizada em triplicata e os resultados expressos em porcentagem.

$$\text{Perda de peso por cozimento (\%)} = (m_i - m_f) / m_i * 100 \quad \text{Eq. 2}$$

Onde: m_i corresponde a massa inicial do hambúrguer cru e m_f corresponde a massa final do hambúrguer grelhado.

2.4.3 Cor instrumental

A cor instrumental foi determinada em espectrofotômetro CM-5 Konica (Minolta, Chiyoda, JAP) baseado no sistema CIE- $L^*a^*b^*$ e a variação de cor (ΔE) obtida através da Equação 3. Para a configuração do equipamento, os parâmetros foram ajustados com iluminante D65, ângulo de observação de 10° e calibração no modo RSEX (*Reflectance Specular Excluded*), conforme descrito por Schmiele et al. (2015).

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{0,5} \quad \text{Eq. 3}$$

2.4.4 Textura instrumental

A textura instrumental foi realizada conforme metodologia descrita por Botella-Martínez et al. (2022), avaliando-se a análise de perfil de textura. As medidas foram realizadas em um texturômetro TA.XT Plus (MicroStable System, Halsemere, AUS) utilizando-se os seguintes parâmetros: modo força de compressão, plataforma HDP/90 (*Heavy Duty Platform*), probe P36R, velocidade de pré-teste de $1,0 \text{ mm.s}^{-1}$, velocidade de teste de $1,0 \text{ mm.s}^{-1}$, velocidade pós-teste de $5,0 \text{ mm.s}^{-1}$, distância de compressão de 50 %, tempo entre ciclos de 5 s e limiar de detecção de 0,049 N. A análise foi realizada com nove repetições e os parâmetros quantificados foram dureza (N), elasticidade (%), coesividade (%), gomosidade (N), mastigabilidade (N) e resiliência (%).

2.5 Análise estatística

Os dados adquiridos nos ensaios do Planejamento de Misturas Simplex-Centroide foram analisados através da Metodologia de Superfície de Resposta para cálculo do coeficiente de regressão e análise de variância (ANOVA) com nível de significância de 10 %. O coeficiente de regressão mínimo (R^2) da ANOVA adotado foi 0,75, de acordo com o modelo matemático genérico representado pela Equação 4. O ponto otimizado foi estabelecido por meio de ferramenta estatística segundo Derringer e Suich (1980).

$$Y = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3 + \beta_{123} x_1 x_2 x_3 + \varepsilon \quad \text{Eq. 4}$$

Onde: Y = variável dependente; x = valor codificado das variáveis independentes; β = coeficientes de regressão para cada pseudocomponente, componentes binários e ternário; ε = erro experimental.

3. Resultados e Discussão

3.1 Caracterização dos hambúrgueres crus

3.1.1 Potencial hidrogeniônico – pH

O pH variou entre $5,32 \pm 0,02$ e $6,00 \pm 0,01$ (Tabela 2), sendo que a combinação ternária ($\beta_{123} = -5,43$; $p = 0,004$) entre o amido resistente misto, fibra branca de trigo e carboximetilcelulose apontou para a redução do pH, enquanto o uso individual da fibra branca de trigo ($\beta_3 = 5,91$; $p < 0,001$) resultou em aumento do pH. Pela ANOVA, 90,75% das respostas foram explicadas pelo modelo matemático ($F_{\text{calc}}/F_{\text{tab } 4;8;0,10} = 6,98$; $p < 0,001$). Ao analisar a Figura 2, é notável que valores intermediários (1 – 3 %) de carboximetilcelulose e (3 – 6 %) de amido resistente misto resultaram em hambúrgueres de carne de peixe com pH mais baixo (5,6 a 5,7), sendo que a fibra branca de trigo não influenciou na diminuição do pH de forma isolada.

Vale destacar que a alta perecibilidade da carne de peixes e derivados acontece principalmente em pH entre 6,5 e 7,5, que beneficia o desenvolvimento de micro-organismos (Rosa et al., 2020). Para controle, o Decreto nº 9.013 estabelece que o pH da carne de peixe deve ser inferior a 7,00 (Brasil, 2017), logo, a carne de peixe ($6,12 \pm 0,04$) e todos os hambúrgueres atenderam a legislação considerando os resultados obtidos. Portanto, a diminuição nos valores de pH nos hambúrgueres de peixe é desejável, pois desfavorece a atuação de micro-organismos. A adição de carboidratos não digeríveis ajudou nessa redução, de modo que a combinação ternária proporcionou melhor efeito nessa variável.

Tabela 2 - Valores de pH e capacidade de retenção de água dos hambúrgueres de carne de peixe elaborados com amido resistente misto, fibra branca de trigo e carboximetilcelulose, conforme o Planejamento de Misturas do tipo Simplex-Centroide.

Ingredientes	pH	
Carne de peixe	$6,12 \pm 0,04^b$	
Amido resistente misto	$3,20 \pm < 0,01^d$	
Carboximetilcelulose	$6,71 \pm 0,03^a$	
Fibra branca de trigo	$4,69 \pm 0,02^c$	
Ensaio	pH	Capacidade de retenção de água (%)
1	$5,32 \pm 0,02$	$87,93 \pm 0,70$
2	$5,86 \pm 0,01$	$84,10 \pm 0,40$
3	$6,00 \pm 0,01$	$82,96 \pm 0,54$
4	$5,74 \pm 0,01$	$86,32 \pm 0,56$
5	$5,54 \pm 0,01$	$81,73 \pm 0,79$
6	$5,85 \pm 0,02$	$78,68 \pm 1,23$
7	$5,41 \pm 0,02$	$84,22 \pm 1,64$
8	$5,68 \pm 0,03$	$80,92 \pm 0,63$
9	$5,58 \pm 0,02$	$77,74 \pm 1,10$
10	$5,60 \pm 0,01$	$82,01 \pm 1,19$
11	$5,58 \pm 0,01$	$82,82 \pm 1,08$
12	$5,57 \pm 0,01$	$82,55 \pm 0,23$
13	$5,55 \pm 0,01$	$82,85 \pm 1,29$
Padrão	$5,81 \pm < 0,01$	$75,23 \pm 1,37$

Média de três repetições \pm desvio padrão. Fonte: Autores (2022).

Dentre as três fibras utilizadas, o amido resistente misto possui pH mais baixo ($3,20 \pm < 0,01$), ou seja, a concentração de íons H^+ tende a ser maior no meio, por isso a maior porcentagem dessa fibra influencia na redução do pH. Ao contrário do amido resistente misto, a carboximetilcelulose exibe pH próximo ao neutro ($6,71 \pm 0,03$) e conduz para o aumento do pH, por isso teores mais baixos dessa fibra é o ideal. Vale destacar que o decréscimo excessivo do pH também não é o objetivo, uma vez que o ponto isoelétrico das proteínas da carne de peixe é próximo do pH 5,5, sendo que nesse ponto ocorre a menor solubilidade proteica, ocasionando a precipitação das proteínas (Monterrey-Quintero & Sobral, 2000). Logo, os resultados obtidos foram satisfatórios, pois 46,15 % dos ensaios apresentaram pH maior do que 5,5 e menor do que a amostra padrão ($5,81 \pm < 0,01$).

3.1.2 Capacidade de retenção de água

A capacidade de retenção de água apresentou variação entre $77,74 \pm 1,10$ a $87,93 \pm 0,70$ % (Tabela 2). Em que, os pseudocomponentes contribuíram para o aumento da capacidade de retenção de água, com destaque para a utilização do amido resistente misto ($\beta_1 = 88,24$; $p < 0,001$). Por outro lado, a combinação binária ($\beta_{23} = -17,43$; $p = 0,013$) entre carboximetilcelulose e fibra branca de trigo proporcionou a diminuição da capacidade de retenção de água. O modelo matemático ($F_{\text{calc}}/F_{\text{tab } 4;8;0,10} = 4,07$; $p = 0,002$) explicou 85,11 % das respostas obtidas, segundo a ANOVA. Pela Figura 2, foi perceptível que quanto mais alto o teor de amido resistente misto (8 – 10 %), relacionado aos teores mais baixos de carboximetilcelulose (0 – 2 %) e o mínimo de fibra branca de trigo, melhores resultados foram encontrados para a capacidade de retenção de água dos hambúrgueres de carne de peixe. Segundo Damodaran & Parkin (2017), o aumento da capacidade de retenção de água melhora a qualidade do produto pois evita sinérese de géis e a, conseqüente, exsudação no descongelamento de alimentos, possibilitando a redução da perda de peso, melhorando o rendimento e a suculência do hambúrguer. Os carboidratos possuem uma grande quantidade de grupamentos hidroxilas como elementos funcionais, os quais possuem grande capacidade de estabelecer ligações de hidrogênio com água, favorecendo a capacidade de retenção de água nos hambúrgueres de peixe (Wang et al., 2016; Essa & Elsebaie, 2022). Além disso, o amido resistente misto obtido por extrusão termoplástica possui uma fração de amido digerível pré-gelatinizado. O rompimento da estrutura cristalina do amido favorece a absorção de água deste polissacarídeo, refletindo em melhor hidratação e capacidade de retenção de água (Schmiele et al., 2017).

3.1.3 Umidade

Os valores de umidade dos hambúrgueres crus demonstraram variação entre $67,17 \pm 0,15$ e $70,55 \pm 0,62$ % (Tabela 3). O uso da carboximetilcelulose ($\beta_2 = 69,73$; $p < 0,001$) contribuiu para o aumento da umidade, por outro lado a combinação binária ($\beta_{23} = 7,44$; $p = 0,014$) entre a carboximetilcelulose e a fibra branca de trigo apresentou tendência para reduzir essa variável. O modelo matemático ($F_{\text{calc}}/F_{\text{tab } 3;9;0,10} = 3,31$; $p = 0,004$) explicou as respostas obtidas, uma vez que o R^2 resultou em 75,64 % pela ANOVA, ou seja, o coeficiente de determinação obtido alcançou o mínimo (75 %) adotado.

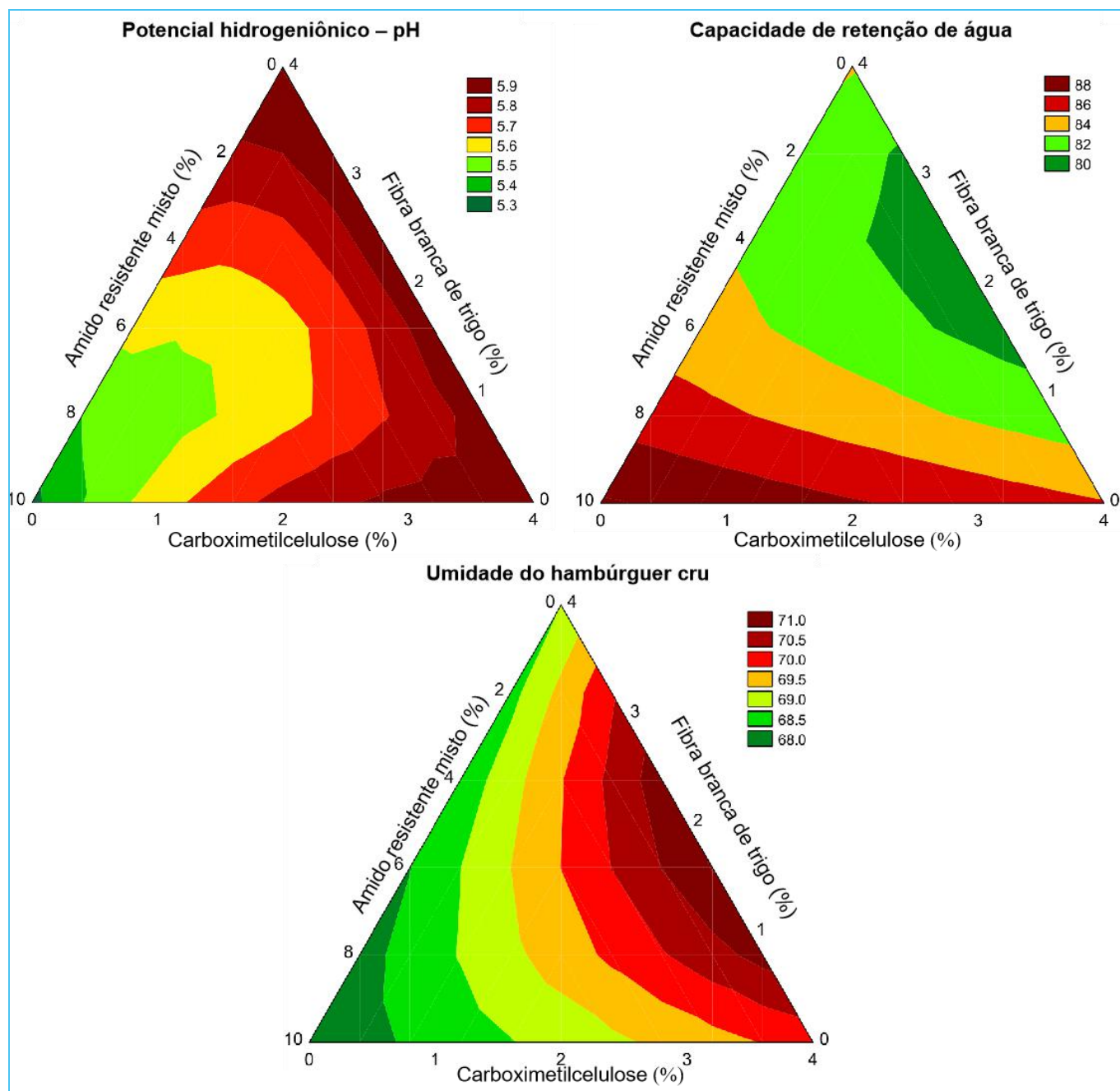
De acordo com a Figura 2, uma ampla faixa de porcentagem (0 – 3,5 %) de fibra branca de trigo, interligados a maior quantidade (3,5 – 4,0 %) de carboximetilcelulose resultou na elevação da umidade do hambúrguer cru, e o amido resistente misto de forma isolada não contribuiu para esse aumento. A elevação da umidade é desejável, pois tem relação com maior suculência do hambúrguer, a média dos testes resultou em umidade de 69,17 % e a amostra padrão $69,72 \pm 1,41$ %, de modo que houve redução de somente 0,79 %, demonstrando que a utilização de fibras nos hambúrgueres de carne de peixe praticamente não influenciou no teor de água total, provavelmente pelas fibras apresentarem baixo teor de umidade.

Tabela 3 - Umidade dos hambúrgueres crus elaborados com amido resistente misto, carboximetilcelulose e fibra branca de trigo conforme Planejamento de Misturas do tipo Simplex-Centroide.

Ensaio	Umidade dos hambúrgueres crus (%)
1	67,17 ± 0,15
2	69,40 ± 0,71
3	68,14 ± 1,68
4	68,91 ± 0,23
5	68,07 ± 0,89
6	70,33 ± 1,49
7	68,51 ± 0,35
8	70,55 ± 0,62
9	70,23 ± 2,02
10	70,13 ± 0,23
11	69,01 ± 1,44
12	69,81 ± 0,19
13	68,89 ± 1,11
Padrão	69,72 ± 1,41

Média de três repetições ± desvio padrão. Fonte: Autores (2022).

Figura 2 – Curvas de contorno para pH, capacidade de retenção de água e umidade dos hambúrgueres nos ensaios do Planejamento de Mistura Simplex-Centroide.



Fonte: Autores (2022).

3.2 Caracterização dos hambúrgueres grelhados

3.2.1 Atividade de água e umidade

A atividade de água consiste no teor de água livre e entremeadada presente nos alimentos, na qual a maior disponibilidade favorece as reações de deterioração química, bioquímica e microbiológica. Como aponta a Tabela 4, a atividade de água dos hambúrgueres variou entre $0,9803 \pm 0,0021$ e $0,9863 \pm 0,0031$. Mas, o modelo matemático (F_{calc}/F_{tab} $_{3;9;0,10} = 1,53$; $p = 0,038$) esclareceu somente 58,97 % das respostas experimentais, porcentagem inferior ao mínimo adotado

(75 %) para este estudo. Vale destacar que ocorreu o aumento de apenas 0,54 % na atividade de água quando se compara os valores obtidos para a amostra padrão e a média dos ensaios que correspondem a $0,9772 \pm 0,0007$ e $0,9825$, respectivamente, indicando mínima interferência das fibras alimentares no parâmetro avaliado.

Tabela 4 - Atividade de água e umidade dos hambúrgueres de carne de peixe elaborados com amido resistente misto, carboximetilcelulose e fibra branca de trigo, conforme o Planejamento de Misturas do tipo Simplex-Centroide.

Ensaio	Atividade de água	Umidade dos hambúrgueres grelhados (%)
1	$0,9834 \pm 0,0031$	$61,41 \pm 0,12$
2	$0,9833 \pm 0,0015$	$66,43 \pm 0,42$
3	$0,9825 \pm 0,0027$	$65,57 \pm 1,31$
4	$0,9848 \pm 0,0011$	$65,59 \pm 0,23$
5	$0,9833 \pm 0,0015$	$64,05 \pm 0,21$
6	$0,9833 \pm 0,0019$	$69,52 \pm 0,37$
7	$0,9863 \pm 0,0031$	$64,07 \pm 0,29$
8	$0,9818 \pm 0,0039$	$67,82 \pm 0,61$
9	$0,9803 \pm 0,0021$	$66,72 \pm 0,99$
10	$0,9814 \pm 0,0020$	$65,91 \pm 0,11$
11	$0,9810 \pm 0,0006$	$65,91 \pm 0,92$
12	$0,9807 \pm 0,0011$	$67,67 \pm 0,44$
13	$0,9805 \pm 0,0009$	$67,22 \pm 0,43$
Padrão	$0,9772 \pm 0,0007$	$59,72 \pm 0,22$

Média de três repetições \pm desvio padrão. Fonte: Autores (2022).

Em relação à umidade do hambúrguer grelhado, observou-se uma variação entre $61,41 \pm 0,12$ a $69,52 \pm 0,37$ % (Tabela 4). O uso da carboximetilcelulose ($\beta_2 = 66,49$; $p < 0,001$) contribuiu para a elevação da umidade, enquanto a combinação binária ($\beta_{12} = 5,99$; $p = 0,041$) entre o amido resistente misto e carboximetilcelulose exerceu influência na diminuição do teor de água. Dos dados experimentais encontrados, 94,53 % foram esclarecidos pelo modelo matemático ($F_{\text{calc}}/F_{\text{tab } 4;8;0,10} = 12,30$; $p < 0,001$). Pela curva de contorno observada na Figura 3, valores intermediários (1 – 3 %) de fibra branca de trigo, associados a maior quantidade de carboximetilcelulose (3 – 4 %) e baixos teores de amido resistente misto possibilitaram valores mais altos de umidade para os ensaios realizados. Vale destacar que o intuito é um maior teor de umidade, uma vez que remete à suculência do produto. Logo, foi notado um aumento (10,50 %) da umidade dos hambúrgueres grelhados ao comparar a média dos ensaios (65,99) e da amostra controle, provavelmente devido à menor interação as fibras alimentares possuem com a água, pois as ligações de hidrogênio são relativamente fracas (23-25 kJ.mol⁻¹) (Wong, 2018).

3.2.2 Perda de peso por cozimento

A perda de peso por cozimento variou entre $7,12 \pm 0,54$ e $13,92 \pm 0,76$ % (Tabela 5). A combinação binária ($\beta_{23} = -13,01$; $p = 0,004$) entre carboximetilcelulose e fibra branca de trigo, e o uso individual da carboximetilcelulose ($\beta_2 = 7,25$; $p < 0,001$) favoreceram a diminuição da perda de peso por cozimento. Por outro lado, a aplicação da fibra branca de trigo ($\beta_3 = 13,97$; $p < 0,001$) de forma individual contribuiu para o aumento dessa variável, ou seja, houve maior exsudação e evaporação

da água durante o tratamento térmico aplicado. Vale salientar que o modelo matemático ($F_{\text{calc}}/F_{\text{tab } 3;9;0,10} = 8,56$; $p < 0,001$) foi capaz de explicar 88,92 % dos resultados experimentais.

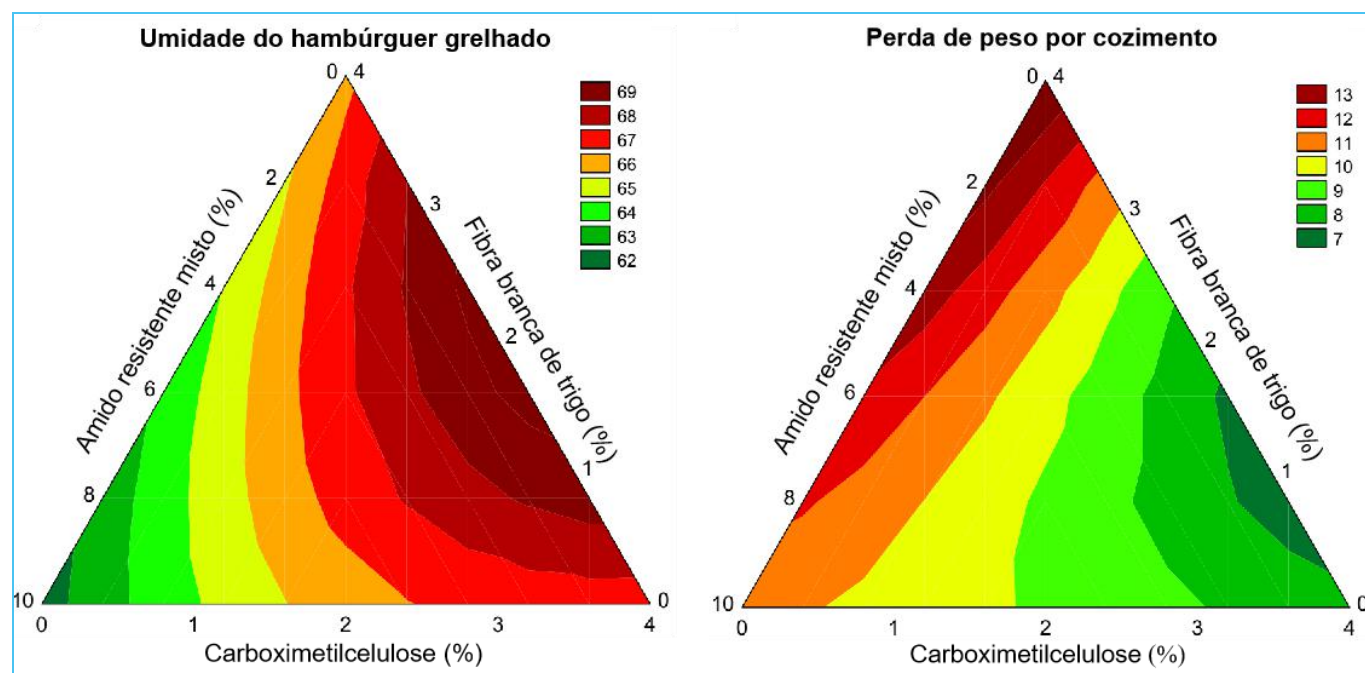
Tabela 5 - Perda de peso por cozimento dos hambúrgueres de carne de peixe elaborados com amido resistente misto, carboximetilcelulose e fibra branca de trigo, conforme o Planejamento de Misturas do tipo Simplex-Centroide.

Formulação	Perda de peso por cozimento (%)
1	10,33 ± 0,80
2	7,51 ± 0,69
3	13,92 ± 0,76
4	7,89 ± 0,92
5	11,63 ± 0,28
6	7,12 ± 0,54
7	11,60 ± 1,51
8	7,87 ± 0,57
9	11,48 ± 1,03
10	9,48 ± 0,25
11	8,39 ± 0,86
12	8,25 ± 0,61
13	9,38 ± 0,87
Padrão	16,35 ± 2,14

Média de três repetições ± desvio padrão. Fonte: Autores (2022).

Ao observar a Figura 3, pode-se notar que maiores níveis (3 – 4 %) de carboximetilcelulose, interligado às menores porcentagens (0 – 2 %) de fibra branca de trigo e valores maiores de amido resistente misto proporcionaram redução na perda de peso por cozimento. Vale destacar que houve redução de 41,24 % na perda de peso por cozimento quando comparados os valores obtidos por meio da média dos ensaios com o valor da amostra padrão, os quais correspondem, respectivamente, a 9,60 % e 16,35 ± 2,14 %. O desejado é que a perda de peso por cozimento seja a mínima possível, a fim de evitar perdas de qualidade, de nutrientes e de fatores econômicos, sendo que o alcance significativo da redução da perda de peso por cozimento pode ser relacionado ao aumento da capacidade de retenção de água que tende a elevar também o rendimento. Damodaran & Parkin (2017) também descrevem que as soluções de carboximetilcelulose tendem a ser altamente viscosas e estáveis, o que justifica o comportamento dessa fibra sobre o parâmetro analisado.

Figura 3 – Curvas de contorno para umidade dos hambúrgueres de carne de peixe grelhado e perda de peso por cozimento nos ensaios do Planejamento de Misturas do tipo Simplex-Centroide.



Fonte: Autores (2022).

3.2.3 Cor Instrumental

Na Tabela 6 encontram-se os dados experimentais referentes a cor instrumental para os parâmetros L^* , a^* , b^* e a variação de cor (ΔE). O menor valor da luminosidade (L^*) correspondeu a $56,86 \pm 0,72$ (ensaio 2) e o maior a $64,96 \pm 0,42$ (ensaio 1). De acordo com a ANOVA, o modelo matemático ($F_{\text{calc}}/F_{\text{tab } 3;9;0,10} = 20,26$; $p < 0,001$) elucidou 94,99 % dos resultados. Apesar do amido resistente misto apresentar o menor valor ($89,16 \pm 0,04$) do parâmetro L^* e a carboximetilcelulose o maior ($89,92 \pm 0,02$) a diferença é mínima, então, dos ensaios o uso de amido resistente misto ($\beta_1 = 65,34$; $p < 0,001$) refletiu no aumento da luminosidade, enquanto a carboximetilcelulose ($\beta_2 = 56,96$; $p < 0,001$) contribuiu para a diminuição desse parâmetro, além disso tais efeitos podem estar relacionados a estabilidade térmica e com a interação de cada fibra com os componentes da matriz alimentícia.

Em relação à luminosidade dos ensaios, a intenção é mantê-la o mais próximo do valor da amostra controle, ou seja, não se deseja o escurecimento ou clareamento do produto pois as fibras utilizadas são fibras caracterizadas de coloração branca. Diante disso, a utilização de 0 – 2 % de fibra branca de trigo, 3 – 4 % de carboximetilcelulose e o mínimo de amido resistente misto apontam a tendência de manter a luminosidade o mais próximo possível da faixa alva (Figura 4). De fato, os ensaios 2 e 8 exibem maior porcentagem de carboximetilcelulose e apresentam o efeito mais próximo ao controle.

Sobre o parâmetro a^* referente a cor instrumental, o qual aponta a variação das tonalidades entre o verde ($-a^*$) e vermelho ($+a^*$), os valores variaram entre $1,19 \pm 0,11$ e $5,78 \pm 0,67$ sendo que 98,81 % dos dados experimentais foram esclarecidos pelo modelo matemático ($F_{\text{calc}}/F_{\text{tab } 5;7;0,10} = 40,39$; $p < 0,001$), segundo a ANOVA. A interação binária ($\beta_{12} = -7,92$; $p < 0,001$) entre o amido resistente misto e a carboximetilcelulose apresentaram uma redução da tonalidade avermelhada, aproximando da tons neutros. Além disso, o uso isolado da fibra branca de trigo e da carboximetilcelulose apontou uma tendência para o aumento da tonalidade vermelha, com destaque para a utilização da carboximetilcelulose isolada ($\beta_2 = 5,76$; $p < 0,001$). Pela curva de contorno apresentada na Figura 4 foi possível destacar que teores maiores (3 – 4 %) de carboximetilcelulose, associados a menores porcentagens (0 – 2 %) de amido resistente misto e uma ampla faixa de teores (0 –

4 %) de fibra branca de trigo contribuem para o aumento da tonalidade avermelhada. De fato, o parâmetro a^* da carboximetilcelulose é maior dentre as três fibras e corresponde a $0,80 \pm 0,02$, logo tende a aumentar a tonalidade vermelha. Enquanto, o amido resistente misto e fibra branca de trigo contribui para a redução dessa variável, possivelmente por exibir menores valores - $0,04 \pm 0,01$ e $0,17 \pm 0,01$, respectivamente.

Tabela 6 - Cor instrumental dos hambúrgueres de carne de peixe elaborados com amido resistente misto, carboximetilcelulose e fibra branca de trigo, conforme o Planejamento de Misturas do tipo Simplex-Centroide.

Ingredientes	Parâmetro L^*	Parâmetro a^*	Parâmetro b^*	Cor estimada [#]	
Amido resistente	$89,16 \pm 0,04$	$-0,04 \pm 0,01$	$9,58 \pm 0,13$		
Carboximetilcelulose	$89,92 \pm 0,02$	$0,80 \pm 0,02$	$9,68 \pm 0,09$		
Fibra branca de trigo	$89,91 \pm 0,11$	$0,17 \pm 0,01$	$5,33 \pm 0,03$		

Formulação	Parâmetro L^*	Parâmetro a^*	Parâmetro b^*	Cor estimada [#]	Diferença de cor (ΔE)
1	$64,96 \pm 0,42$	$1,67 \pm 0,14$	$11,69 \pm 0,20$		$12,44 \pm 0,40$
2	$56,86 \pm 0,72$	$5,78 \pm 0,67$	$13,49 \pm 0,50$		$7,01 \pm 0,38$
3	$61,43 \pm 0,39$	$3,92 \pm 0,23$	$13,85 \pm 0,09$		$10,00 \pm 0,28$
4	$61,68 \pm 0,40$	$1,93 \pm 0,22$	$12,74 \pm 0,16$		$9,62 \pm 0,43$
5	$63,02 \pm 0,30$	$2,24 \pm 0,25$	$11,88 \pm 0,31$		$10,58 \pm 0,36$
6	$58,83 \pm 0,49$	$3,78 \pm 0,12$	$13,73 \pm 0,21$		$7,79 \pm 0,34$
7	$63,30 \pm 0,65$	$1,19 \pm 0,11$	$11,84 \pm 0,04$		$10,91 \pm 0,64$
8	$58,56 \pm 0,49$	$3,05 \pm 0,30$	$12,64 \pm 0,21$		$6,84 \pm 0,41$
9	$60,16 \pm 0,42$	$2,69 \pm 0,07$	$12,90 \pm 0,32$		$8,32 \pm 0,25$
10	$60,98 \pm 0,35$	$1,92 \pm 0,02$	$12,69 \pm 0,57$		$8,98 \pm 0,25$
11	$60,89 \pm 0,60$	$2,11 \pm 0,06$	$13,16 \pm 0,32$		$9,08 \pm 0,53$
12	$60,92 \pm 0,54$	$2,16 \pm 0,11$	$12,70 \pm 0,77$		$8,91 \pm 0,78$
13	$59,46 \pm 0,85$	$1,99 \pm 0,07$	$12,05 \pm 0,69$		$7,32 \pm 1,05$
Padrão	$53,56 \pm 0,74$	$2,40 \pm 0,21$	$8,73 \pm 0,47$		-

Média de quatro repetições \pm desvio padrão. [#]Representações visuais geradas pelo Nix™ Color Sensor disponível em <https://www.nixsensor.com/free-color-converter/>. Fonte: Autores (2022).

O aumento da coloração avermelhada nos hambúrgueres contendo fibra branca de trigo está relacionado com a presença dos compostos fenólicos da classe dos ácidos hidroxicinâmicos (ácido ferúlico), das antoxantinas (catequinas) e dos não-flavonoides (taninos), os quais apresentam tonalidade mais avermelhada, principalmente quando sujeito a processo de secagem (Raúl et al., 2018; Dhua, Kumar, Kumar, Singh, & Sharanagat, 2021; Paucar-Menacho et al., 2022).

O parâmetro b^* , que aponta a variação das tonalidades entre o azul ($-b^*$) e amarelo ($+b^*$), exibiu variação entre $11,69 \pm 0,20$ e $13,85 \pm 0,09$ (Tabela 6). A combinação binária ($\beta_{13} = -3,69$; $p = 0,023$) entre o amido resistente misto e fibra branca de trigo apontou diminuição desse parâmetro, enquanto os pseudocomponentes de forma isolada resultam em melhores efeitos, com destaque para o uso da fibra branca de trigo ($\beta_3 = 13,84$; $p < 0,001$) que resultou em aumento da tonalidade

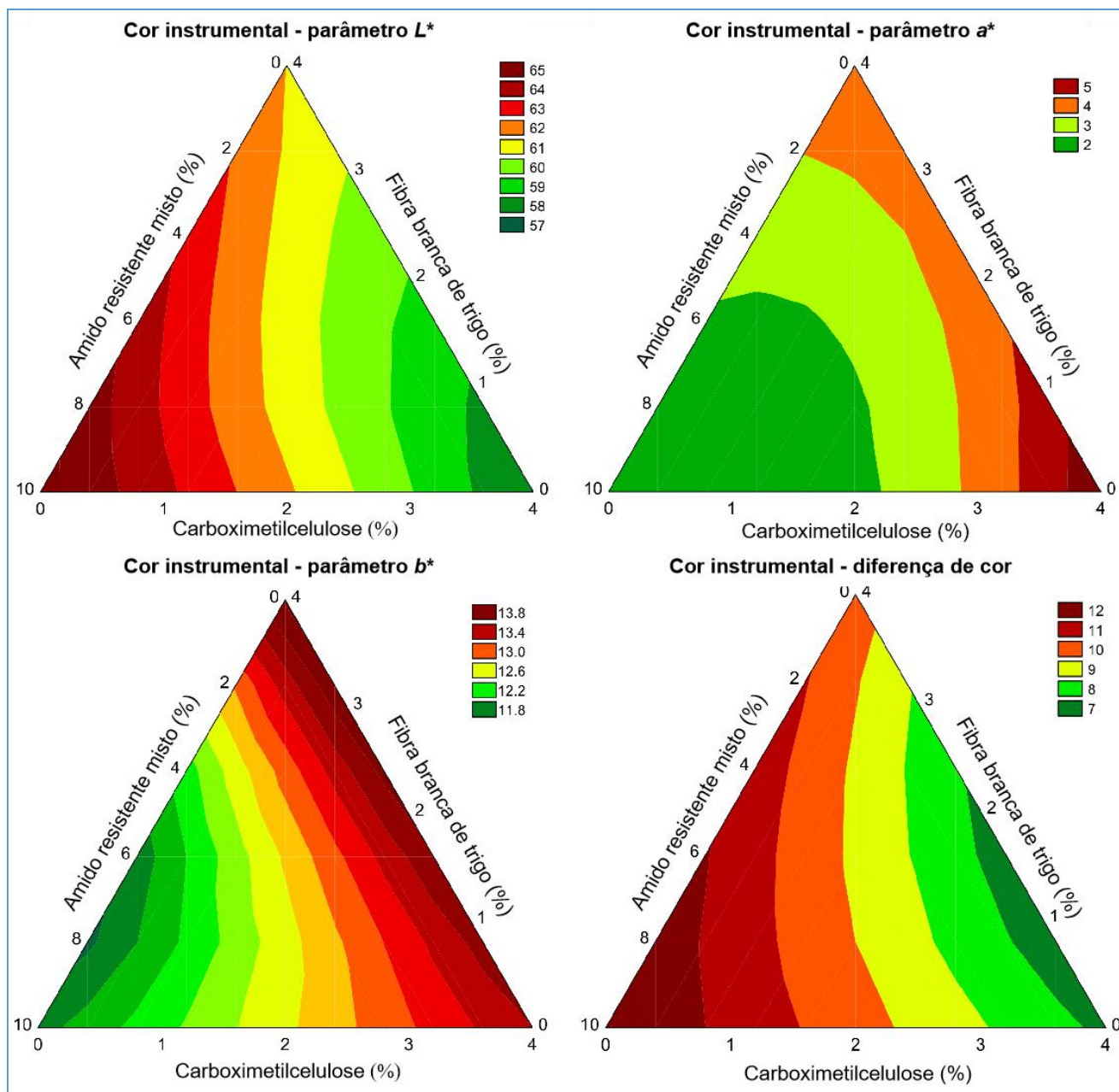
amarela. Pela ANOVA, 84,99 % das respostas experimentais foram elucidadas pelo modelo matemático ($F_{\text{calc}}/F_{\text{tab } 3;9;0,10} = 6,05$; $p < 0,001$). Ao avaliar a curva de contorno apresentada na Figura 4, foi notável observar que teores mais baixos (0 – 2 %) de amido resistente misto, correlacionados a valores maiores (3 – 4 %) de carboximetilcelulose e uma ampla faixa (0 – 4 %) de fibra branca de trigo resultaram em hambúrgueres de carne de peixe com valores maiores do parâmetro b^* , aproximando mais da coloração amarela. Esse efeito está interligado com a coloração amarelada do trigo, do qual se obtêm a fibra branca de trigo. As tonalidades amareladas são oriundas dos carotenoides (luteína, zeaxantina e β -caroteno) e de alguns compostos flavonoides (flavonas C-glicosiladas, flavonols, flavanonas e proantocianidinas) (Garg et al., 2016; Dhua et al., 2021).

Apesar da fibra branca de trigo exibir menor valor do parâmetro b^* ($5,33 \pm 0,03$), essa fibra apresenta a tendência de aumentar a tonalidade amarelada, esse resultado pode estar interligado a questões de interações na matriz alimentícia e à estabilidade térmica da fibra. O resultado obtido coincide com o relatado por Raúl et al. (2018), em que os estudos apontaram o aumento na tonalidade amarela através da adição de 3 % de farelo de trigo em hambúrgueres de carne de peixe elaborados com biquara. A fibra branca de trigo demonstrou aproximar a tonalidade dos hambúrgueres de cores mais quentes, como o vermelho e o amarelo. Mas, de maneira geral, apesar das significativas diferenças estatísticas, todos os hambúrgueres se enquadraram no primeiro quadrante considerando o sistema CIE- $L^*a^*b^*$.

A diferença de cor (ΔE) variou de $6,84 \pm 0,41$ a $12,44 \pm 0,40$, como indicado na Tabela 6. Em que a carboximetilcelulose ($\beta_2 = 6,76$; $p < 0,001$) possibilitou a redução da diferença de cor (ΔE), assim como o uso isolado de fibra branca de trigo ($\beta_3 = 9,57$; $p < 0,001$) beneficiou essa redução. Conforme a ANOVA, o modelo matemático ($F_{\text{calc}}/F_{\text{tab } 3;9;0,10} = 6,24$; $p < 0,001$) explicou 85,39 % dos dados experimentais. De acordo com a curva de contorno (Figura 4), teores mais altos (3 – 4 %) de carboximetilcelulose, juntamente à valores mais baixos (0 – 2 %) de fibra branca de trigo contribuíram para a redução da diferença de cor dos hambúrgueres de carne de peixe. Além disso, o amido resistente misto não favoreceu a redução dessa característica de forma isolada. De fato, a menor ($6,84 \pm 0,41$) diferença de cor entre o padrão e o ensaio foi observada no ensaio 8, em que foi aplicado fibra branca de trigo e carboximetilcelulose de maneira predominante, conforme mostrado na Tabela 6 e na Figura 5. Tal efeito também foi percebido pelo uso isolado de carboximetilcelulose que exibiu ΔE de $7,01 \pm 0,38$.

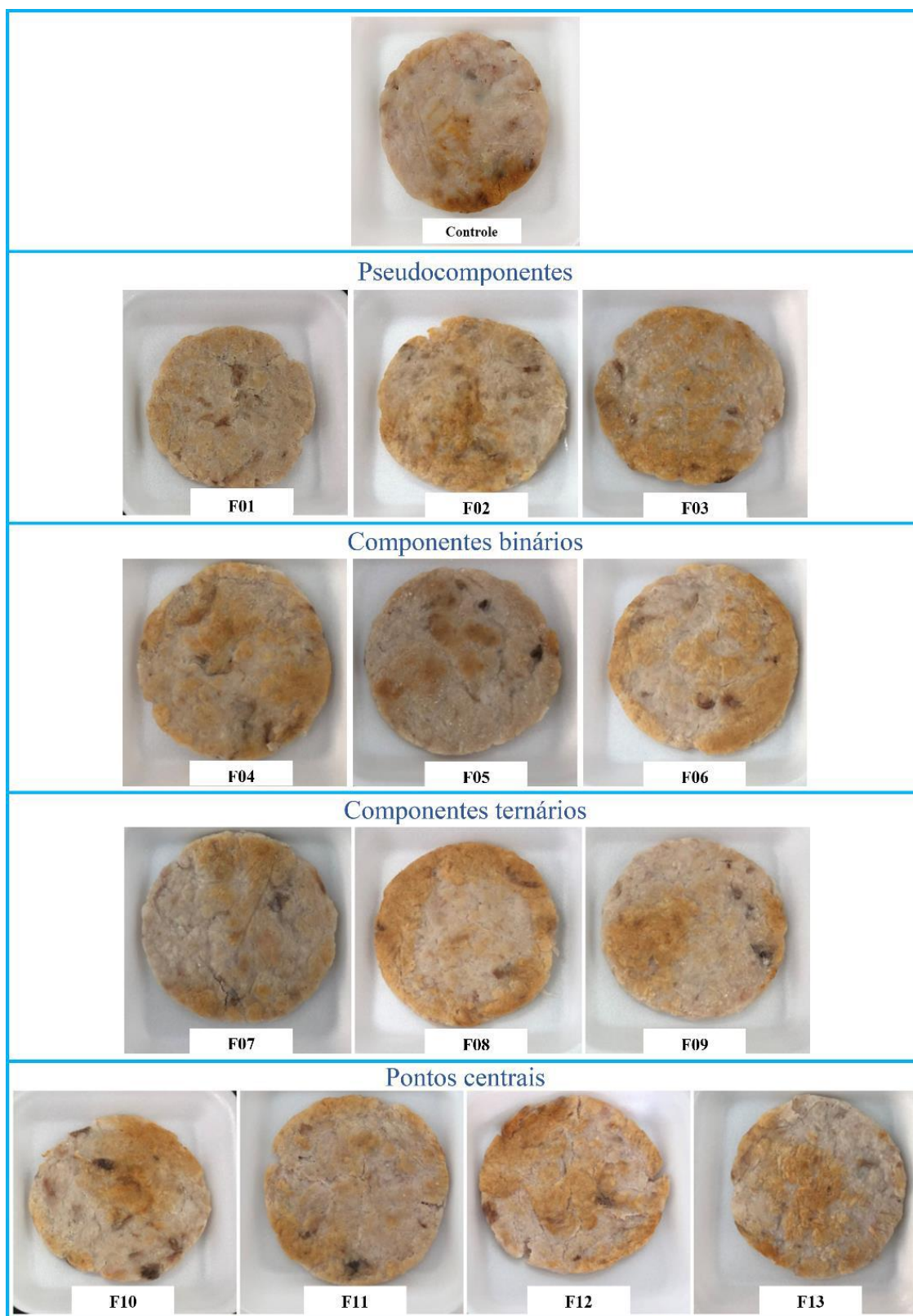
Com valores de $\Delta E > 5$, pode-se inferir que será perceptível a presença de duas cores diferentes (Mokrzycki & Tatol, 2011), com isso a mudança de cor nos hambúrgueres pode ser observada por qualquer indivíduo ao comparar a amostra padrão com os ensaios, porém, ainda assim o resultado não exerceu impacto negativo destacável.

Figura 4 – Curvas de contorno para as propriedades de cor dos hambúrgueres nos ensaios do Planejamento de Misturas do tipo Simplex-Centroide.



Fonte: Autores (2022).

Figura 5 – Aparência visual dos hambúrgueres de carne de peixe dos ensaios do Planejamento de Misturas do tipo Simplex-Centroide.



Fonte: Autores (2022).

3.2.4 Textura instrumental

Em relação à dureza, o valor mínimo foi de $5,72 \pm 3,65$ N e o máximo de $144,68 \pm 19,32$ N (Tabela 7), em que 97,87 % das respostas foram esclarecidas pelo modelo matemático ($F_{\text{calc}}/F_{\text{tab } 5;7;0,10} = 22,36$; $p < 0,001$), conforme aponta a ANOVA. O melhor efeito foi proporcionado pela combinação ternária ($\beta_{123} = -736,88$; $p = 0,003$) entre o amido resistente misto, fibra branca de trigo e carboximetilcelulose, sendo que esta mistura apresentou a tendência de diminuir a dureza. Este efeito pode ser atribuído à capacidade de absorção de água das fibras, resultando em hambúrgueres de menor dureza. Para este mesmo parâmetro, o tamanho da partícula e a rigidez formada pela fibra branca de trigo ($\beta_3 = 137,20$; $p < 0,001$) resultou em aumento da dureza.

Segundo a ANOVA, 92,56 % dos dados experimentais obtidos para a elasticidade foram elucidados pelo modelo matemático ($F_{\text{calc}}/F_{\text{tab } 4;8;0,10} = 8,86$; $p < 0,001$), sendo que os resultados reportados se encontram entre $58,55 \pm 7,68$ e $84,90 \pm 6,50$ %. A combinação ternária ($\beta_{123} = -332,96$; $p < 0,001$) entre o amido resistente misto, fibra branca de trigo e carboximetilcelulose apontou ser favorável para a redução da elasticidade, enquanto o uso do amido resistente misto ($\beta_1 = 84,52$; $p < 0,001$) contribuiu para o aumento.

Da coesividade mensurada para os ensaios, a mínima alcançada correspondeu a $36,37 \pm 5,20$ e a máxima $64,83 \pm 2,02$ % (Tabela 7), sendo que o modelo matemático ($F_{\text{calc}}/F_{\text{tab } 6;6;0,10} = 61,91$; $p < 0,001$) explicou 99,47 % dos dados, conforme aponta a ANOVA. A combinação ternária ($\beta_{123} = -281,51$; $p < 0,001$) entre o amido resistente misto, fibra branca de trigo e carboximetilcelulose se destaca por diminuir a coesividade, ao contrário da fibra branca de trigo ($\beta_3 = 63,74$; $p < 0,001$), a qual promove a elevação deste atributo. Conforme sugerem Raúl et al. (2018), a redução da coesividade pode estar interligada ao enfraquecimento das interações entre outros componentes químicos e as proteínas miofibrilares devido ao aspecto fibroso das fibras alimentares.

A mastigabilidade e a gomosidade são atributos mecânicos de textura interligados com a coesividade, no qual o primeiro corresponde ao número de mordidas ou tempo necessário até o alimento estar apto para a deglutição e o segundo está associado com a força requerida para realizar a desintegração do alimento até esse ponto de deglutição (Souza et al., 2022). Para os resultados dos ensaios, a gomosidade variou entre $12,95 \pm 2,04$ e $91,55 \pm 12,31$ N. Segundo a ANOVA, 97,21 % das respostas foram explicadas pelo modelo matemático ($F_{\text{calc}}/F_{\text{tab } 5;7;0,10} = 16,97$; $p < 0,001$). O resultado que mais beneficiou a redução da gomosidade foi a combinação ternária ($\beta_{123} = -544,92$; $p = 0,005$) entre as três variáveis independentes, sendo que o pseudocomponente formado pela fibra branca de trigo ($\beta_3 = 87,16$; $p < 0,001$) aumentou a gomosidade. Ao avaliar a mastigabilidade observou-se variação entre $7,27 \pm 1,05$ e $73,51 \pm 10,91$ N (Tabela 7), em que o modelo matemático ($F_{\text{calc}}/F_{\text{tab } 5;7;0,10} = 14,43$; $p < 0,001$) esclareceu 96,74 % dos dados experimentais, como apontou a ANOVA. A combinação ternária ($\beta_{123} = -461,26$; $p = 0,008$) entre as fibras alimentares testadas apresentou o melhor efeito, pois apontou a diminuição da mastigabilidade. Por outro lado, a elevação da mastigabilidade foi destacável com o uso da fibra branca de trigo ($\beta_3 = 69,30$; $p < 0,001$). Como cita Cilli (2018), uma menor dureza implica também redução da gomosidade e mastigabilidade, como notado no presente estudo.

A resiliência é um atributo no qual é mensurado a recuperação do material ao estado original após a deformação, no que diz respeito à força e velocidade (Oliveira, 2015). Os ensaios apresentaram valores de resiliência com variação entre $5,99 \pm 0,77$ e $19,83 \pm 1,14$ % (Tabela 7), sendo que 97,02 % destes foram explicados pela ANOVA e preditos pelo modelo matemático ($F_{\text{calc}}/F_{\text{tab } 5;7;0,10} = 15,80$; $p < 0,001$). O uso isolado do amido resistente misto resultou em maiores resiliências ($\beta_1 = 18,85$; $p < 0,001$), enquanto a interação ternária entre as variáveis independentes ($\beta_{123} = -94,61$; $p = 0,007$) resultou em menores valores para este parâmetro.

O amido resistente misto tende a aumentar a elasticidade e a resiliência, enquanto a fibra branca de trigo apresenta propensão em aumentar a dureza, coesividade, gomosidade e mastigabilidade, tais efeitos não são desejados e ocorrem,

provavelmente, devido a menor capacidade de formação de gel por parte dessas fibras em comparação com a carboximetilcelulose.

Tabela 7 – Textura instrumental dos hambúrgueres de peixe elaborados com amido resistente misto, fibra branca de trigo e carboximetilcelulose, conforme o Planejamento de Misturas do tipo Simplex-Centroide.

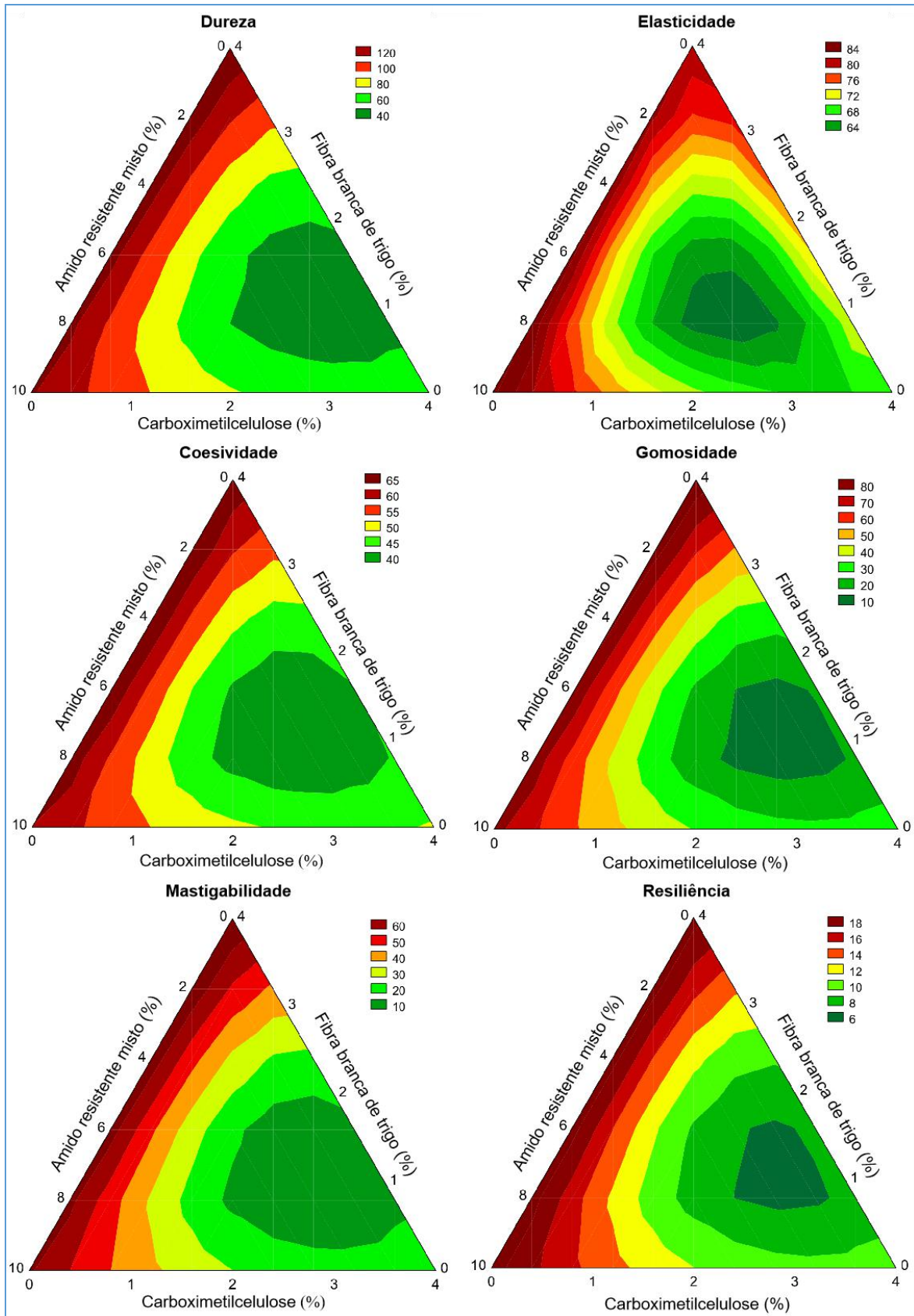
Ensaio	Dureza (N)	Elasticidade (%)	Coesividade (%)	Gomosidade (N)	Mastigabilidade (N)	Resiliência (%)
1	125,50 ± 10,41	84,90 ± 6,50	60,31 ± 6,17	75,11 ± 9,54	64,30 ± 9,15	19,66 ± 2,34
2	48,53 ± 5,04	68,95 ± 5,03	45,56 ± 3,36	22,15 ± 3,08	15,33 ± 2,69	8,79 ± 0,67
3	144,68 ± 19,32	80,29 ± 5,05	63,30 ± 1,14	91,55 ± 12,31	73,51 ± 10,91	19,83 ± 1,14
4	59,23 ± 9,85	69,18 ± 5,20	46,39 ± 2,80	27,59 ± 5,26	19,11 ± 4,05	10,03 ± 1,28
5	127,94 ± 17,95	80,83 ± 1,52	64,83 ± 2,02	83,09 ± 13,12	67,20 ± 10,93	18,49 ± 2,51
6	41,47 ± 4,57	68,80 ± 7,35	40,61 ± 3,42	16,24 ± 1,93	10,95 ± 1,93	7,26 ± 0,74
7	79,16 ± 11,39	71,19 ± 4,06	48,52 ± 2,72	39,52 ± 6,11	28,09 ± 4,37	11,64 ± 1,28
8	35,72 ± 3,65	61,76 ± 7,43	36,37 ± 5,20	12,95 ± 2,04	7,27 ± 1,05	5,99 ± 0,77
9	65,15 ± 7,24	75,63 ± 10,26	50,58 ± 4,92	31,74 ± 3,84	23,34 ± 2,71	9,81 ± 1,14
10	41,10 ± 9,52	58,55 ± 7,68	39,43 ± 1,72	16,11 ± 2,85	10,83 ± 0,98	8,00 ± 1,00
11	44,75 ± 1,99	64,58 ± 2,90	38,00 ± 2,00	16,80 ± 1,08	10,97 ± 0,50	7,38 ± 1,10
12	42,44 ± 4,75	60,93 ± 3,11	37,22 ± 2,00	16,30 ± 2,04	10,27 ± 0,97	7,41 ± 0,66
13	41,22 ± 7,09	60,09 ± 6,16	38,37 ± 3,63	15,28 ± 1,83	10,04 ± 2,18	7,73 ± 1,33
Padrão	102,55 ± 9,55	82,93 ± 2,83	65,19 ± 3,30	67,78 ± 8,37	53,37 ± 4,58	15,89 ± 1,25

Média de nove repetições ± desvio padrão. Fonte: Autores (2022).

Vale destacar que, conforme análise da Figura 6, os seis parâmetros apresentam curvas de contorno com comportamentos semelhantes, em que menores valores (0 – 2 %) de fibra branca de trigo, associados a uma maior quantidade de (2 – 4 %) carboximetilcelulose possibilitaram valores mais baixos de dureza, elasticidade, coesividade, gomosidade, mastigabilidade e resiliência. No entanto, vale ressaltar que o amido resistente misto não contribuiu para a diminuição dessas variáveis de maneira isolada. Os hambúrgueres que se enquadram nessa faixa descrita são menos elásticos e duros, bem como exibem menor coesividade e por isso precisam de menor força para se romper durante a mordida. Além disso, apresentam mastigabilidade menor, o que indica redução no número de mastigação até a deglutição.

De modo geral, a combinação ternária favoreceu os melhores efeitos sobre os seis parâmetros da textura instrumental, com destaque para maiores porcentagens de carboximetilcelulose. Isso pode estar relacionado com a maior capacidade de formação de gel que essa fibra exibe, sendo este gel mais estável e maleável, aumentando a viscosidade do meio e proporcionando uma maior suculência. Desta forma, ocorreu uma melhora em todos os parâmetros relacionados à textura, demonstrando o potencial do uso das fibras alimentares brancas testadas para o hambúrguer de peixe.

Figura 6 – Curvas de contorno para dureza, elasticidade, coesividade, gomosidade, mastigabilidade e resiliência dos hambúrgueres nos ensaios do Planejamento de Misturas do tipo Simplex-Centroide.



Fonte: Autores (2022).

A textura se destaca dentre os aspectos físicos importantes para a caracterização da qualidade de produtos cárneos, a qual compreende diversos atributos, sendo a dureza definida como a força máxima requerida para alcançar o primeiro pico da compressão, a elasticidade relacionada com o potencial de retorno à forma inicial depois da deformação e a coesividade é a capacidade de extensão antes da ruptura do produto (Raúl et al., 2018). Os modelos matemáticos que descrevem cada uma das variáveis dependentes estão indicados na Tabela 8.

Tabela 8 – Modelos matemáticos para as variáveis dependentes das propriedades dos hambúrgueres em níveis codificados com estatística significância ($p < 0,10$).

Variáveis dependentes	Modelo matemático	R ²
pH	$5,28x_1 + 5,83x_2 + 5,91x_3 + 0,72x_1x_2 - 5,43x_1x_2x_3$	0,9075
Capacidade de retenção de água (%)	$88,24x_1 + 84,13x_2 + 82,16x_3 - 12,34x_1x_2 - 17,43x_2x_3$	0,8511
Umidade – hambúrguer cru (%)	$67,64x_1 + 69,73x_2 + 68,51x_3 + 7,44x_2x_3$	0,7564
Umidade – hambúrguer grelhado (%)	$61,56x_1 + 66,49x_2 + 65,70x_3 + 5,99x_1x_2 + 13,36x_2x_3$	0,9453
Perda de peso no cozimento (%)	$10,43x_1 + 7,25x_2 + 13,97x_3 - 13,01x_2x_3$	0,8892
L*	$65,34x_1 + 56,96x_2 + 60,99x_3 - 15,75x_1x_2x_3$	0,9499
a*	$1,66x_1 + 5,76x_2 + 3,95x_3 - 7,92x_1x_2 - 2,88x_1x_3 - 4,95x_2x_3$	0,9881
b*	$11,72x_1 + 13,40x_2 + 13,84x_3 - 3,69x_1x_3$	0,8499
ΔE	$12,06x_1 + 6,76x_2 + 9,57x_3 - 5,54x_2x_3$	0,8539
Dureza (N)	$121,97x_1 + 51,46x_2 + 137,20x_3 - 99,68x_1x_2 - 216,97x_2x_3 - 736,88x_1x_2x_3$	0,9787
Elasticidade (%)	$84,52x_1 + 66,73x_2 + 79,63x_3 - 28,55x_1x_2 - 332,96x_1x_2x_3$	0,9256
Coesividade (%)	$59,93x_1 + 45,41x_2 + 63,74x_3 - 27,25x_1x_2 + 12,23x_1x_3 - 54,71x_2x_3 - 281,51x_1x_2x_3$	0,9947
Gomosidade (N)	$73,31x_1 + 24,91x_2 + 87,16x_3 - 78,93x_1x_2 - 162,37x_2x_3 - 544,92x_1x_2x_3$	0,9721
Mastigabilidade (N)	$61,47x_1 + 17,82x_2 + 69,30x_3 - 78,27x_1x_2 - 132,13x_2x_3 - 461,26x_1x_2x_3$	0,9674
Resilência (%)	$18,85x_1 + 9,05x_2 + 18,76x_3 - 15,67x_1x_2 - 27,65x_2x_3 - 94,61x_1x_2x_3$	0,9702

x_1 = amido resistente misto; x_2 = carboximetilcelulose; x_3 = fibra branca de trigo. Fonte: Autores (2022).

3.3 Otimização numérica e validação de modelos matemáticos

A otimização da formulação do hambúrguer de carne de peixe foi efetuada a fim de manter dentro do intervalo as três variáveis independentes (amido resistente misto, a fibra branca de trigo e a carboximetilcelulose), uma vez que cada fibra exibe características únicas e a quantidade utilizada na combinação exerce influência direta no desempenho tecnológico do produto final, em que o equilíbrio entre as fibras aplicadas é essencial para o alcance de resultados satisfatórios.

Considerando apenas as variáveis dependentes que resultou em dados estatísticos significativos ($F_{cal}/F_{tab} > 1$; $p < 0,10$ e $R^2 > 0,75$), para as quais foram associados níveis de importância que variaram entre 1 a 5, em que 5 aponta maior

importância e 1 menor importância. Os seguintes parâmetros foram estabelecidos como meta: maximizar, minimizar ou na faixa de acordo com as características tecnológicas desejadas nos hambúrgueres. Logo, para os parâmetros a^* e b^* da cor instrumental, a capacidade de retenção de água, a umidade do hambúrguer grelhado e cru o resultado deve ser maximizado. Por outro lado, é desejado minimizar a diferença de cor, o pH, a dureza, a elasticidade, a coesividade, a mastigabilidade, a gomosidade, a resiliência e a perda de peso por cozimento. O parâmetro L^* da cor instrumental foi mantido dentro da faixa de dados observados, bem como para as variáveis independentes compostas pelo amido resistente misto, pela fibra branca de trigo e pela carboximetilcelulose (Tabela 9).

Tabela 9 - Resultados para valores experimentais e preditivos e desvio relativo quanto à validação de modelos.

Parâmetro	Meta	Importância	Solução		
			Valor codificado	Valor real	
Variáveis independentes					
Amido resistente misto	Na Faixa	3	0,11	1,1 %	
Carboximetilcelulose	Na Faixa	3	0,73	2,92 %	
Fibra branca de trigo	Na Faixa	3	0,16	0,64 %	
Parâmetro	Meta	Importância	Solução	Valores experimentais	Desvio relativo
Variáveis dependentes					
pH	Minimizar	1	5,77	5,84 ± 0,01	1,20 %
Capacidade de retenção de água (%)	Maximizar	5	82,03	82,69 ± 1,76	0,94 %
Umidade - hambúrguer cru (%)	Maximizar	3	70,17	70,32 ± 17,78	0,21 %
Umidade – hambúrguer grelhado (%)	Maximizar	5	67,86	62,80 ± 6,22	-7,45 %
Perda de peso no cozimento (%)	Minimizar	5	7,16	7,84 ± 0,31	9,55 %
L^*	Na Faixa	3	58,32	61,79 ± 0,12	5,95 %
a^*	Maximizar	1	3,76	3,92 ± 0,16	4,21 %
b^*	Maximizar	1	13,22	14,26 ± 0,24	7,88 %
ΔE	Minimizar	5	10,15	10,51 ± 0,07	3,57 %
Dureza (N)	Minimizar	5	30,20	31,5 ± 0,09	4,31 %
Elasticidade (%)	Minimizar	5	64,18	63,55 ± 1,00	-0,98 %
Coesividade (%)	Minimizar	5	37,99	38,86 ± 0,04	2,29 %
Gomosidade (N)	Minimizar	5	7,95	8,65 ± 0,34	8,84 %
Mastigabilidade (N)	Minimizar	5	3,26	3,36 ± 0,03	3,12 %
Resiliência (%)	Minimizar	5	5,99	6,46 ± 0,05	7,89 %
Desejabilidade			0,8419		

Fonte: Autores (2022).

O ponto otimizado foi alcançado através da combinação entre as três fibras alimentares na proporção de 1,10 % de amido resistente misto, 2,92 % de carboximetilcelulose e 0,64 % de fibra branca de trigo, resultando em uma desejabilidade de 84,19 %. Vale destacar que a formulação do ponto otimizado foi elaborada em triplicata e todas as análises das variáveis dependentes estatisticamente significativas foram realizadas com a finalidade de averiguar a validade dos modelos

matemáticos, os quais predizem os valores experimentais e foram considerados válidos, pois todos os desvios relativos foram obtidos no intervalo de $\pm 10\%$.

4. Conclusão

No presente estudo, a adição do amido resistente misto, carboximetilcelulose e fibra branca de trigo em hambúrguer de carne de peixe resultou em desempenho satisfatório do ponto de vista tecnológico, em que ótimos efeitos sobre as variáveis dependentes foram observados com a aplicação das fibras na proporção de 1,10 % de amido resistente misto, 2,92 % de carboximetilcelulose e 0,64 % de fibra branca de trigo. Os resultados obtidos pelas análises foram excelentes e apontaram elevação da capacidade de retenção de água, da umidade do hambúrguer cru e da tonalidade avermelhada, sendo condizentes com as metas estabelecidas. Além disso, foi destacável a melhoria dos parâmetros de textura e redução significativa da perda de peso por cozimento. Vale destacar que houve mínima interferência no pH e, quando se comparou a amostra padrão ao ponto otimizado, notou-se um aumento da luminosidade, assim como, o equilíbrio entre as fibras insolúveis e solúveis contribuem para o alcance de resultados positivos. Portanto, a inovação através da incorporação de fibras alimentares em produto à base de carne de peixe foi favorável e potencializa a ingestão de um alimento que utiliza matérias-primas vantajosas à saúde. Vale destacar que a incorporação de carboidratos não digeríveis no produto cárneo tende a aumentar o teor de fibras e, associadas a carne de peixe, melhoram as características tecnológicas e nutricionais.

Considerando que foi realizado no presente estudo a otimização das combinações das fibras alimentares, a abordagem sobre as diferentes concentrações das mesmas, bem como a complementação com as características nutricionais e a análise sensorial são interessantes e seguem como sugestões para realização de trabalhos futuros.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) e ao Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT) pelo suporte institucional. Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo auxílio financeiro (código de financiamento 001) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais pela bolsa de estudos de S.R. Moreira (identificador 7624).

Referências

- Anderson, C., & Simsek, S. (2018). Mechanical profiles and topographical properties of films made from alkaline extracted arabinoxylans from wheat bran, maize bran, or dried distillers grain. *Food Hydrocolloids*, 86, 78-86. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.02.016>
- Antunes, K., Fachi, J., de Paula, R., Silva, E. F., Pral, L. P., Santos, A. Á., . . . Ajami, N. J. (2019). Microbiota-derived acetate protects against respiratory syncytial virus infection through a GPR43-type 1 interferon response. *Nature Communications*, 10, 3273. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-11152-6>
- AOAC. (2019). Official Methods of Analysis of AOAC International. 21^a ed. Association of Official Analysis Chemists International, Gaithersburg.
- Bernardes, L. C., Fernandes, R. B., Freitas, R. S. de, Gonçalves, I. de O., Honório, F. de C., Lombardi, M. C. M., Caffini, F. de C., & Noronha, C. R. S. (2020). A relevância dos processos de acondicionamento e armazenamento de pescados. *ANALECTA - Centro Universitário Academia*, 6(3).
- Botella-Martínez, C., Gea-Quesada, A., Sayas-Barberá, E., Pérez-Álvarez, J. A., Fernández-López, J., & Viuda-Martos, M. (2022). Improving the lipid profile of beef burgers added with chia oil (*Salvia hispanica* L.) or hemp oil (*Cannabis sativa* L.) gelled emulsions as partial animal fat replacers. *LWT – Food Science and Technology*, 161, 113416. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113416>
- Brasil (2003). Ministério da Saúde. Resolução nº 360, de 23 de dezembro de 2003. *Aprovar o Regulamento Técnico sobre Rotulagem Nutricional de Alimentos Embalados*. Recuperado de <http://www.anvisa.gov.br>.
- Brasil (2017). Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017. *Regulamenta a Lei nº 1.283, de 18 de dezembro de 1950, e a Lei nº 7.889, de 23 de novembro de 1989, que dispõem sobre a inspeção industrial e sanitária de produtos de origem animal*. Recuperado de www.agricultura.gov.br.
- Canva (2022). Ferramenta gratuita de design. https://www.canva.com/pt_br/

- Cilli, L. P. de L. (2018). *Estabilidade oxidativa de hambúrguer de salmão enriquecido com fibra utilizando farinha de uva e aveia* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de São Paulo, Diadema, SP.
- Clerici, M. T. P. S., & Schmiele, M. (2019). *Starches for food application: Chemical, technological and health properties* (1st ed.). New York: Elsevier.
- Codex Alimentarius. (2017). *Guidelines On Nutrition Labelling CAC/GL 2-1985*. Recuperado de <http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/en/>.
- Colla, L. M., & Prentice-Hernández, C. (2003). Congelamento e descongelamento – sua influência sobre os alimentos. *Vetor*, Rio Grande, 13, 53-66.
- Cossa, M. A. V. (2020). *Potencial de aplicação de embalagem biodegradável para conservação de pescado congelado* (Dissertação de Mestrado). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Brasil.
- Damodaran, S., & Parkin, K. L. (2017). *Fennema's Food Chemistry* (5th ed.). Boca Raton: CRC Press.
- Das, A. K., Nanda, P. K., Madane, P., Biswas, S., Das, A., Zhang, W., & Lorenzo, J. M. (2020). A comprehensive review on antioxidant dietary fibre enriched meat-based functional foods. *Trends in Food Science & Technology*, 99, 323-326. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.010>
- Derringer, G., & Suich, R. (1980). Simultaneous Optimization of Several Response Variables. *Journal of Quality Technology*, 12, 214-219.
- Dhua, S., Kumar, K., Kumar, Y., Singh, L., & Sharanagat, V. S. (2021). Composition, characteristics and health promising prospects of black wheat: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 112, 780–794. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.037>
- Essa, R. Y., & Elsebaie, E. M. (2022). New fat replacement agent comprised of gelatin and soluble dietary fibers derived from date seed powder in beef burger preparation. *LWT – Food Science and Technology*, 156, 113051. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.113051>
- Ferreira, L., & Caminotto, E. L. (2020). Análise sensorial e físico-química de carne moída bovina na cidade de Araquari/SC. *Brazilian Journal of Development*, 6 (4), 20137-20144. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n4-258>
- Flaticon (2022). Ícones e Adesivos Grátis. <https://www.flaticon.com/br/>
- Garg, M., Chawla, M., Chunduri, V., Kumar, R., Sharma, S., Sharma, N. K., ... Singh, S. P. (2016). Transfer of grain colors to elite wheat cultivars and their characterization. *Journal of Cereal Science*, 71, 138–144. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.08.004>
- Gomes, A. M. (2018). *Acompanhamento das linhas de processamento de peixes na indústria INTERFRIOS - INTERCÂMBIO DE FRIOS S.A., localizada em Fortaleza/CE* (Relatório de Estágio Supervisionado). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.
- Gomes, P. T. G (2020). *Produção de amido resistente misto por extrusão termoplástica e aplicação em biscoito cream cracker sem glúten* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, MG.
- Gomes, P. T. G., Morais, L. A., Rocha, T. S., & Schmiele, M. (2021). Resistant starch production, properties and potential application in gluten-free products. In *The Food Industry: Perceptions, Practices and Future Prospects* (1sted., pp. 83-118) New York: Nova Science Publisher.
- Hashmi, M., Ullah, S., Ullah, A., Saito, Y., Haider, M.K., Bie, X. ... Kim, I.S. (2021). Carboxymethyl cellulose (CMC) based electrospun composite nanofiber mats for food packaging. *Polymers*, 13(2), 302. <https://doi.org/10.3390/polym13020302>
- Jaekel, L. Z., Schmiele, M., & Chang, Y. K. (2020). Impactos do amido resistente e da enzima transglutaminase nas características tecnológicas de espaguete. *Research, Society and Development*, 9, e891986219. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.6219>
- Miranda, A. V. S., & Schmiele, M. (2020). Non-digestible carbohydrates as an alternative to improve the technological and nutritional quality of meat products and potential application in fish burgers. *Research, Society and Development*, 9(11), e87691110490. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i11.10490>
- Mokrzycki, W., & Tatol, M. (2011). Color difference Delta E –A survey. *Machine Graphics and Vision*, 20(4), 383–411.
- Monterrey-Quintero, E. S., & Sobral, P. J. do A. (2000). Preparo e caracterização de proteínas miofibrilares de tilápia-do-Nilo para elaboração de biofilmes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 35(1), 179–189. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2000000100020>
- Nix Sensor Ltd. (2022). Color Converter. <https://www.nixsensor.com/free-color-converter/>
- Oliveira, D. L. de (2015). *Influência dos processos de lavagens de tipos de crioprotetores na produção de surimi de tilápia* (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual Paulista, Araçatuba, SP.
- Oliveira, R. G. de, Mergen, M., Signor, A., & Souza, M. L. R. de. (2021). Nutritional, microbiological and sensory quality of pizza dough with inclusion of CMS of Nile tilapia. *Research, Society and Development*, 10(10), e530101018986. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i10.18986>
- Paucar-Menacho, L. M., Castillo-Martínez, W. E., Simpalo-Lopez, W. D., Verona-Ruiz, A., Lavado-Cruz, A., Martínez-Villaluenga, C., ... Schmiele, M. (2022). Performance of thermoplastic extrusion, germination, fermentation, and hydrolysis techniques on phenolic compounds in cereals and pseudocereals. *Foods*, 11(13), 1957. <https://doi.org/10.3390/foods11131957>
- Pietäinen, S., Moldin, A., Ström, A., Malmberg, C., & Langton, M. (2022). Effect of physicochemical properties, pre-processing, and extraction on the functionality of wheat bran arabinoxylans in breadmaking – A review. *Food Chemistry*, 383, 132584. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132584>
- Raúl, L. J., Araújo, I. B., Barbosa, R. C., Maciel, M. I. S., Shinohara, N. K. S., & Oliveira Filho, P. R. C. (2018). Manufacture of biquara (*Haemulon Plumierii* - Lacepède, 1801) fishburger with addition of wheat bran. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 27(5), 544-556. <https://doi.org/10.1080/10498850.2018.1461159>

Rodrigues, L. M., Sales, L. A., Fontes, P. R., Filho, R. A. T., Andrade, M. P. D., Ramos, A. L. S., & Ramos, E. M. (2020). Combined effects of gamma irradiation and aging on tenderness and quality of beef from Nellore cattle. *Food Chemistry*, 313, 126137. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126137>

Rosa, K. R., Silva, A. A., Ferreira, R. X., Stelatto, D. S., Cardoso, D. A., Scabora, M. H., & Cassol, L. A. (2020). Elaboração, caracterização físico-química e microbiológica de produtos do Pirarucu. *Brazilian Journal of Development*, 6(3), 10566–10585. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-074>

Schmiele, M., Hori, L. K., Clerici, M. T., & Chang, Y. K. (2017). *Brasil Patente Nº WO2018112576A1*. Recuperado de <https://patents.google.com/patent/WO2018112576A1/en?inventor=schmiele&oq=schmiele>.

Schmiele, M., Mascarenhas, M. C. C. N., Barretto, A. C. S., & Pollonio, M. A. R. (2015). Dietary fiber as fat substitute in emulsified and cooked meat model system. *LWT – Food Science and Technology*, 61(1), 105-111. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.11.037>

Sousa, A. W. F. (2018). *Avaliação sensorial do hambúrguer de peixe voador (Hirundichthys affinis) adicionado de óleo pigmentado com astaxantina obtido do resíduo de camarão* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN.

Suhareva, T. N., Toporkova, K. I., & Tolstova, N. Y. (2021). New fish product enriched with essential micronutrients. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 845 (1), 012041. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/845/1/012041>

Wong, D. W. S. (2018). *Mechanism and Theory in Food Chemistry*. Springer Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-50766-8>

Younis, K., Younisa, K., Yousuf, O., Qadrib, O. S., Jahana, K., Osama, K., & Islamc, R. (2022). Incorporation of soluble dietary fiber in comminuted meat products: special emphasis on changes in textural properties. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 27, 100288. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2021.100288>.

Zambello, A. V., Soares, A. G., Tauil, C. E., Donzelli, C. A., Fontana, F., & Chotolli, W. P. (2018). *Metodologia da pesquisa e do trabalho científico*. Penápolis, SP: FUNEPE.