

Recebido: 30/09/2023 | Revisado: 22/12/2023 | Aceito: 07/02/2024 | Publicado: 01/03/2024



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 Unported License.

DOI: 10.31416/rsdv.v12i1.693

## ELABORAÇÃO DE ORGANOGÉIS DE ÓLEO DE AÇAÍ UTILIZANDO O PLANEJAMENTO DE MISTURAS SIMPLEX CENTROIDE

### ELABORATION OF ORGANOGELS OF AÇAÍ OIL USING THE PLANNING OF CENTROID SIMPLEX MIXTURES

**SILVA, Karina Vila Verde. Mestra em Ciência e Tecnologia de Alimentos**

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - Campus JK. Rodovia MGT 367 - Km 583, nº 5000, Alto da Jacuba - Diamantina - MG - Brasil. CEP: 39.100-000 / Telefone: (38) 99819.7613 / E-mail: karina.vila@ufvjm.edu.br

**OLIVEIRA, Larissa Costa de. Mestranda em Ciência e Tecnologia de Alimentos**

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - Campus JK. Rodovia MGT 367 - Km 583, nº 5000, Alto da Jacuba - Diamantina - MG - Brasil. CEP: 39.100-000 / Telefone: (38) 98805.4404 / E-mail: oliveira.larissa@ufvjm.edu.br

**GONÇALVES, Bruna Néria Azevedo. Mestra em Ciência e Tecnologia de Alimentos**

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - Campus JK. Rodovia MGT 367 - Km 583, nº 5000, Alto da Jacuba - Diamantina - MG - Brasil. CEP: 39.100-000 / Telefone: (38) 99209.0706 / E-mail: bruna.azevedo@ufvjm.edu.br

**SCHMIELE, Marcio. Doutor em Tecnologia de Alimentos.**

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - Campus JK. Rodovia MGT 367 - Km 583, nº 5000, Alto da Jacuba - Diamantina - MG - Brasil. CEP: 39.100-000 / Telefone: (38) 98803-7758 / E-mail: marcio.sc@ict.ufvjm.edu.br

**ANDRADE, Monalisa Pereira Dutra. Doutora em Ciência dos Alimentos**

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - Campus JK. Rodovia MGT 367 - Km 583, nº 5000, Alto da Jacuba - Diamantina - MG - Brasil. CEP: 39.100-000 / Telefone: (38) 99743.4339 / E-mail: monalisadutra@ict.ufvjm.edu.br

## RESUMO

O organogel consiste em um sistema semissólido onde ocorre o aprisionamento do óleo líquido em uma rede tridimensional. Em sua elaboração podem ser utilizados os métodos de dispersão direta e gelificação indireta. Para tanto, se utiliza organogeladores, responsáveis pela estrutura dos organogéis formados. O presente estudo teve como objetivo a utilização do planejamento de misturas simplex centróide na elaboração de organogéis contendo quantidades determinadas de cera de abelha, parafina alimentícia e monoestearato de glicerila. Essa elaboração teve como intuito a verificação da possibilidade de substituição do toucinho pelos organogéis formados. Os resultados demonstraram que as análises de luminosidade, tonalidade (hue), pH, dureza e mastigabilidade foram preditivas adotando o nível de significância de 0,10 e o  $R^2 > 0,80$ . Considerando a aplicabilidade do organogel, em um produto cárneo, foi determinado que os parâmetros pH, dureza e mastigabilidade deveriam apresentar valores mínimos. Sendo assim, a otimização evidenciou que o ensaio contendo 100% de cera de abelha apresentou potenciais características necessárias para ser aplicado em um produto cárneo sem que houvesse impacto nas características propiciadas pelo uso do toucinho.

**Palavras-chave:** Cera de abelha, Parafina alimentícia, Monoestearato de glicerila, Organogeladores.



## ABSTRACT

Organogels consist of a semisolid system where liquid oil is trapped in a three-dimensional network. In its elaboration can be used the methods of direct dispersion and indirect gelation. For this purpose, organogelators are used, which are responsible for the structure of the formed organogels. The present study aimed to use the planning of simplex centroid mixtures in the elaboration of organogels containing determined amounts of beeswax, food paraffin and glyceryl monostearate. This elaboration had as purpose the verification of the possibility of substitution of the lard by the formed organogels. The results showed that the analyses of luminosity, tonality (Hue), pH, hardness and chewiness were predictive adopting the significance level of 0.10 and  $R^2 > 0.80$ . Considering the applicability of organogel in a meat product, it was determined that the parameters pH, hardness and chewability should have minimum values. Therefore, the optimization showed that the test containing 100% beeswax had potential characteristics necessary to be applied in a meat product without impacting the characteristics provided by the use of lard.

**Keywords:** Beeswax, Food paraffin, Glyceryl monostearate, Organogeladores.

## Introdução

A gelificação se tornou uma abordagem muito utilizada para se obter uma textura específica em alimentos. Ela pode ser caracterizada conforme a fase líquida utilizada, resultando em suas estruturas distintas denominadas hidrogel e organogel (OG) (SAMUI et al., 2021).

Diante disso, os hidrogéis consistem em uma fase aquosa, estruturada por meio de gelificantes que geralmente são polímeros. A partir disso, surgem géis que possuem uma estrutura composta por uma rede tridimensional estabilizada por interações físicas ou químicas presentes entre as cadeias poliméricas (SAMUI et al., 2021).

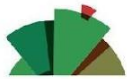
Já os organogéis (OGs) são óleos vegetais transformados em um sistema semi-sólido pelo processo de organogelificação. Desse modo, ao se utilizar um ou mais organogeladores, o óleo líquido é aprisionado em uma rede tridimensional formando estruturas com propriedades viscoelásticas e de natureza hidrofóbica (GUO; CUI; MENG, 2023).

A partir dessas estruturas, surgiram os géis de emulsão e os bigéis. Os géis de emulsão são estruturas semelhantes aos hidrogéis, mas eles possuem gotículas de óleo aprisionadas na matriz polimérica ou adsorvidas na interface óleo-água (ZHI et al., 2023). Enquanto os bigéis são sistemas bifásicos compostos por um hidrogel (fase aquosa) e um organogel (fase oleosa) sendo preparados separados e posteriormente misturados (ZAMPOUNI et al., 2023).

No que diz respeito ao processo de organogelificação utilizado na obtenção de OGs, pode-se destacar o método de dispersão direta e o método de gelificação indireta. O primeiro deles ocorre quando um gelificante é adicionado ao óleo líquido que se encontra em uma temperatura acima do seu ponto de fusão. Logo após, ocorre o resfriamento em temperaturas mais amenas, sob cisalhamento ou em condições mais suaves (DEMIRKESEN; MERT, 2020).

O segundo método é a gelificação indireta onde os polímeros utilizados formam redes estruturais em solventes aquosos que aprisionam o óleo líquido. Após essa formação é necessário que haja a remoção cuidadosa dos solventes a base de água para que se obtenha as redes de gel (DEMIRKESEN; MERT, 2020).

Os organogeladores utilizados podem ser polissacarídeos como etilcelulose, hidroxipropilmetilcelulose e k-carragenina, proteínas como caseinato de soja e proteína de soja, ceras como cera de abelha e cera de farelo de arroz. Além disso, fitoesteróis, monoestearato de



sorbitano e monoestearato de glicerila também possuem propriedades desejáveis na formação de OGs (MANZOOR et al., 2022).

As ceras podem ser definidas como compostos ésteres de cadeia longa e possuem como principais fontes alimentares o arroz, o girassol, a candelila, a carnaúba e a cera de abelha (GAO et al., 2021). Destacando o uso da cera de abelha em OGs, uma pesquisa realizada por Gómez-Estaca et al. (2019) visou estruturar a mistura dos óleos de azeitona, linhaça e peixe por meio da utilização da cera de abelha. Os OGs elaborados foram aplicados com sucesso em patês suínos, onde foi possível obter patês com atributos sensoriais semelhantes ao controle - tratamento contendo como fonte de gordura o toucinho suíno.

De maneira análoga, a parafina alimentícia pode ser utilizada na elaboração de OGs. Assim como os monoglicerídeos, ela é uma opção economicamente viável entre os demais tipos de organogeladores. Eles são capazes de formar uma rede cristalina durante o resfriamento estruturando fases aquosas e fases não aquosas por automontagem em bicamadas (FERRO et al., 2021).

Dentre eles, pode-se destacar a aplicação do monoestearato de glicerila, assim como relatado por Ferro et al. (2021) ao produzir OGs de óleo de girassol para serem aplicados em mortadelas do tipo Bologna visando substituir a gordura de porco na formulação. Como resultado, os pesquisadores obtiveram mortadelas com boa aceitação sensorial e com melhores propriedades nutricionais.

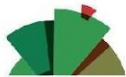
Diante disso, como demonstrado nas pesquisas supracitadas e demais estudos presentes na literatura, os OGs podem ser utilizados como substitutos de gordura animal em produtos cárneos. Essa substituição visa à mudança de perfil lipídico dos produtos, onde gorduras saturadas são trocadas por óleos insaturados, promovendo assim, a elaboração de alimentos mais saudáveis (ALEJANDRE et al., 2019).

De acordo com Alejandre et al. (2019), as gorduras insaturadas da dieta humana são provenientes principalmente de fontes vegetais, peixes ou algas. A partir de então, enfatiza-se o óleo de açaí como fonte de ácidos graxos monoinsaturados - especialmente o oleico - bem como fonte de ácidos graxos poliinsaturados - linoleico e linolênico (SILVA, et al., 2022).

Sendo assim, o presente estudo visa à elaboração de OGs contendo óleo de açaí para a substituição do toucinho em um produto cárneo. Para isso, adotou-se o planejamento de misturas simplex centroide, utilizando como organogeladores a cera de abelha, a parafina alimentícia e o monoestearato de glicerila.

## Metodologia

Os OGs foram elaborados no Laboratório de Carnes e Derivados do Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT) da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Para isso, o óleo de açaí Santo Óleo - lote 470, a parafina alimentícia Bianquímica e o monoestearato de glicerila Alimentari foram adquiridos em comércio eletrônico.



O toucinho foi obtido em comércio local na cidade de Diamantina, Minas Gerais. E a cera de abelha foi cedida pelo Laboratório de Apicultura do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha.

As análises foram realizadas no Laboratório de Carnes e Derivados e no Laboratório de Matérias Primas Alimentícias também pertencentes ao ICT/UFVJM.

#### Planejamento de misturas dos organogéis

A fim de determinar o comportamento dos estruturantes selecionados para a elaboração do organogel de óleo de açaí, o presente estudo utilizou o planejamento de misturas simplex centroide. Esse delineamento experimental promove uma varredura no espaço amostral permitindo estabelecer a influência dos componentes e das interações entre eles na mistura (VIEGAS, 2016).

O simplex centroide descreve a região experimental incluindo o ponto central com a mistura dos pseudo-componentes, componentes binários, componentes ternários e o ponto central em partes iguais ( $x_1+x_2+x_3=1$ ). Dentre os modelos matemáticos estabelecidos pela série de Taylor, destaca-se o modelo cúbico especial demonstrado na Eq. 01 (RODRIGUES; IEMMA, 2014).

$$Y = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3 \quad (\text{Eq. 01})$$

Como variáveis independentes foram utilizados os seguintes organogeladores: a cera de abelha (CA), a parafina alimentícia (PA) e o monoestearato de glicerila (MG). No total foram produzidas 12 formulações de OGs, tendo como variação a quantidade de cada organogelador, conforme estabelecido na Tabela 1. As variáveis dependentes correspondem às análises as quais os OGs foram submetidos, sendo elas, análise de perfil de textura (TPA), atividade de água (aw), pH e colorimetria (Cielab).

**Tabela 1 - Planejamento de misturas simplex centroide dos OGs de óleo de açaí**

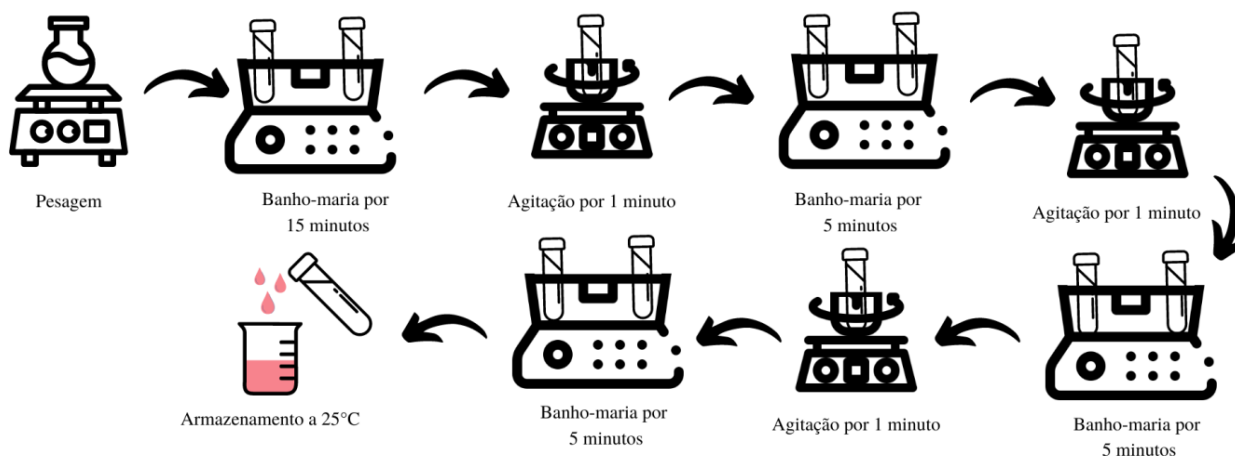
Ensaio	Valores Codificados			Valores reais (g)			
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	CA	PA	MG	
<i>Pseudo-componentes</i>	1	1,0000	0,0000	5,00	0,00	0,00	
	2	0,0000	1,0000	0,00	5,00	0,00	
	3	0,0000	0,0000	1,0000	0,00	0,00	5,00
<i>Componentes binários</i>	4	0,5000	0,5000	2,50	2,50	0,00	
	5	0,5000	0,0000	2,50	0,00	2,50	
	6	0,0000	0,5000	0,5000	0,00	2,50	2,50
<i>Componentes ternários</i>	7	0,6667	0,1667	0,1667	3,33	0,83	0,83
	8	0,1667	0,6667	0,1667	0,83	3,33	0,83
	9	0,1667	0,1667	0,6667	0,83	0,83	3,33
<i>Pontos centrais</i>	10	0,3333	0,3333	0,3333	1,66	1,66	1,66
	11	0,3333	0,3333	0,3333	1,66	1,66	1,66
	12	0,3333	0,3333	0,3333	1,66	1,66	1,66

Legenda: CA: cera de abelha; PA: parafina alimentícia; MG: monoestearato de glicerila.  
Fonte: Autoras, 2023.

### Elaboração dos organogéis

Os OGs foram preparados conforme a metodologia descrita por (SILVA, 2020). Os organogeladores foram pesados conforme a quantidade estabelecida pelo planejamento de misturas simplex centróide sendo acondicionados em tubos tipo falcon contendo 25 g de óleo de açaí. Os tubos foram levados a banho-maria a 80 °C onde permaneceram por 15 minutos. Logo após foram submetidos à agitação constante (velocidade média) em vortex por 1 minuto e levados ao banho-maria por 5 minutos. Esse processo foi repetido por três vezes, e ao final os OGs foram acondicionados em recipientes de poliestireno de 50 ml e armazenados por 2 horas em temperatura ambiente. As etapas da elaboração dos OGs podem ser observadas na Figura 1.

Figura 1 - Diagrama das etapas de elaboração dos OGs



Fonte: Autoras, 2023.

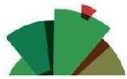
### Análises dos organogéis e toucinho

Como citado anteriormente, as variáveis dependentes do planejamento de misturas simplex centróide, correspondem às análises físico-químicas realizadas nos OGs e no toucinho. Sendo assim, foram realizadas as análises de pH, atividade de água, colorimetria e análise de perfil de textura (TPA) conforme a metodologia descrita abaixo:

#### pH

O pH da mistura contendo 2,5 g de amostras e 25 mL da solução éter etílico e álcool na proporção 1:2 foi avaliado em triplicata seguindo a metodologia adaptada de Instituto Adolfo Lutz (2008).

#### Atividade de água



A atividade de água foi medida em triplicata utilizando-se o analisador de atividade de água de bancada, modelo Aqualab (4TE Decagon Devices Inc.) que utiliza a técnica de determinação do ponto de orvalho em espelho encapsulado para medir a atividade de água de um produto (ANDRADE, 2013).

### **Colorimetria**

O colorímetro Konica Minolta, modelo CR-400 foi utilizado para medição da cor das amostras, as leituras foram realizadas em seis repetições nos OGs e no toucinho. Para tanto, utilizou-se o iluminante D65 e o ângulo do observador de 10°. Por meio do sistema CIELAB, foram avaliados os parâmetros ( $L^*$ ), índice de ( $a^*$ ) e de ( $b^*$ ), ( $C^*$ ) e ângulo de ( $h$ ) (RODRIGUES et al., 2020).

### **Textura instrumental**

A textura dos OGs e do toucinho foi determinada por meio do Texturômetro Stable Micro System, modelo TA.XT Plus. Nele foi utilizada a probe modelo P/2 tendo a força de penetração medida a 7 mm de profundidade e a velocidade de penetração de 100 mm/min. As amostras previamente acondicionadas em recipientes de poliestireno de 50 ml e após o resfriamento foram submetidas a 14 penetrações. O mesmo ocorreu com as amostras de toucinho, que possuíam altura média de 2 cm. Assim foram obtidos os seguintes parâmetros: dureza, adesividade, coesividade, flexibilidade e mastigabilidade (MOGHTADAEI; SOLTANIZADEH; GOLI, 2018).

### **Análise estatística**

Os dados obtidos no planejamento de misturas foram avaliados pela Metodologia de Superfície de Resposta a fim de determinar os coeficientes de regressão e a análise de variância (ANOVA) com o nível de significância de 10%. Para isso, utilizou-se o software Statistica® 7.0 (StatSoft, Poland) onde se adotou o coeficiente de regressão mínimo da ANOVA ( $R^2$ ) de 0,80, a fim de garantir a validade das predições resultantes do modelo matemático.

### **Validação e caracterização do ponto ótimo**

A otimização dos dados foi realizada através do software DX6 seguindo a metodologia proposta por Derringer e Suich (2018). Após a determinação do ponto ótimo, foi possível estabelecer o tratamento com o tipo e concentração ideal de organogeladores. A partir disso, foi realizada a validação, repetindo-se as análises preditivas e comparando-as com os valores de referência - resultantes da otimização. Nesse caso, as análises realizadas no ponto ótimo foram: colorimetria, pH e textura instrumental, seguindo as metodologias descritas anteriormente.

### **Resultados e discussão**

Considerando os parâmetros analisados, as variáveis dependentes:  $a^*$ ,  $b^*$ , saturação, atividade de água ( $a_w$ ), adesividade, flexibilidade e coesividade não foram influenciadas pelas



variáveis independentes ( $R^2 < 0,80$ ). Os resultados obtidos na análise colorimétrica dos ensaios podem ser observados na Tabela 2.

**Tabela 2 - Resultados das análises colorimétricas L\*, a\*, b\*, C\* e hue**

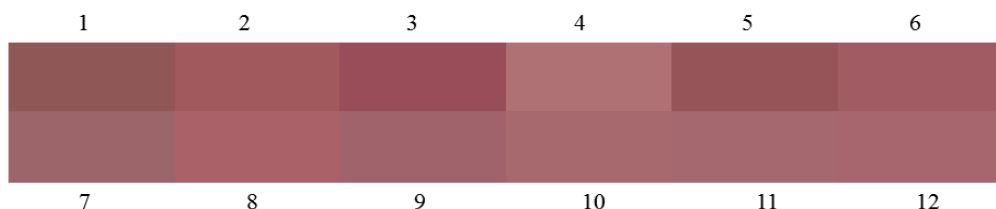
<b>Ensaio</b>	<b>L</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>	<b>C*</b>	<b>hue</b>
1	43,08±0,14	24,13±0,63	10,82±0,39	26,44±0,73	24,14±0,22
2	46,49±0,43	30,16±1,00	11,16±0,41	32,15±1,08	20,31±0,13
3	42,32±0,51	32,34±0,89	7,63±0,29	33,23±0,93	13,27±0,17
4	54,29±1,23	25,49±1,63	7,89±0,85	26,69±1,80	17,16±0,73
5	43,59±0,43	27,79±0,66	9,13±0,30	29,25±0,72	18,19±0,16
6	47,02±0,88	29,60±1,34	8,21±0,55	30,72±1,44	15,48±0,34
7	48,78±0,37	22,73±0,26	7,18±0,13	23,84±0,28	17,53±0,12
8	49,81±0,46	29,96±0,62	9,48±0,27	31,42±0,67	17,56±0,18
9	48,88±0,48	25,99±0,65	5,64±0,17	26,59±0,67	12,24±0,22
10	50,97±0,17	26,32±0,43	7,10±0,15	27,26±0,44	15,10±0,24
11	50,79±0,21	25,19±0,55	6,82±0,33	26,10±0,62	15,15±0,39
12	50,49±1,40	26,78±0,74	7,33±0,12	27,76±0,74	15,30±0,20

Valores correspondentes à média das repetições ± desvio padrão.

Fonte: Autoras, 2023.

Caracterizando colorimetricamente o toucinho, tem-se que o parâmetro a\* refere-se à variação entre as cores verde e vermelho. No toucinho, esse parâmetro resultou em 1,65. Considerando o parâmetro b\*, a média obtida foi de 10,94 e os valores variaram entre 10,3 e 11,67. Já a luminosidade, parâmetro que varia do preto (0) ao branco (100), apresentou o valor médio de 77,45. Os resultados do C\*, obtidos na análise do toucinho apresentaram a média de 11,07 tendo como variação valores entre 10,37 e 11,93. E o ângulo hue médio resultante foi de 81,44.

Os OGs produzidos apresentaram coloração avermelhada conforme mostrado na Figura 2, uma vez que, considerando o parâmetro a\* os valores médios dos ensaios variaram entre 24,13 e 32,34. Esse comportamento pode ser explicado pela cor característica do óleo de açaí naturalmente avermelhada. De acordo com Lira et al. (2021), os frutos do açaí quando maduros são ricos em antocianinas, e dependendo do método de extração do óleo (em meio básico ou ácido), a sua coloração pode variar de púrpura ao verde-escuro.

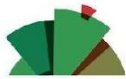
**Figura 2 - Coloração das amostras de organogel**

Legenda: coloração resultante dos parâmetros L\*, a\* e b\* das amostras obtido por meio do software Nix Sensor.

Fonte: Autoras, 2023.

O parâmetro b\* refere-se à variação de cores entre o azul e o amarelo. Ao analisar os valores de b\* dos OGs de óleo de açaí, a média corresponde a 8,20 e os resultados variaram entre 5,64 e 11,16. O croma (C\*), parâmetro da análise colorimétrica relacionado à saturação das amostras, apresentou o valor médio de 28,45 variando-se entre 23,84 e 33,23. Gómez-Estaca et al.





(2019) em estudo realizado a fim de produzir e aplicar OGs tendo como base lipídica a mistura de azeite de oliva, óleo de linhaça e óleo de peixe, obtiveram a saturação média igual a 21,0. Isso indica que o tipo de óleo utilizado também é responsável pela mudança da saturação resultante.

A saturação é responsável pela intensidade e opacidade das cores, dessa forma, pode-se inferir que os OGs apresentaram cores mais intensas que o toucinho. Essa característica deve ser considerada, uma vez que, a aplicação dos OGs elaborados em um produto cárneo, poderá propiciar alterações nos aspectos físicos do produto, principalmente no que diz respeito à cor.

A atividade de água ( $A_w$ ) (Tabela 3) está relacionada à quantidade de água presente no alimento que pode participar de reações químicas ou biológicas. Os resultados demonstram que a atividade média dos OGs elaborados corresponde a 0,65. Dessa forma, os OGs podem ser classificados como estruturas que possuem atividade de água intermediária, sendo menos susceptíveis a ação de microrganismos, uma vez que, as atividades microbianas ocorrem na faixa de  $A_w$  acima de 0,75. Outro fator relacionado à atividade de água é a oxidação lipídica, nesse caso, em alimentos com atividade de água intermediária, a oxidação lipídica tende a aumentar, devido ao oxigênio dissolvido na água (DALA-PAULA et al., 2021).

Já o toucinho, apresentou atividade de água média igual a 1, sendo essa, superior à atividade de água obtida nos OGs. Assim, o toucinho pode ser classificado como um alimento que possui alta atividade de água. Nele, a atividade microbiana aumenta, porém, a oxidação lipídica decresce significativamente, uma vez que o aumento da água provoca a diluição do oxigênio presente no alimento (DALA-PAULA et al., 2021).

**Tabela 3 - Resultados das análises:  $A_w$  e pH**

<i>Ensaio</i>	$A_w$	pH
1	0,67±0,01	5,81±0,07
2	0,67±0,01	6,59±0,16
3	0,69±0,00	7,95±0,04
4	0,65±0,02	6,45±0,19
5	0,70±0,01	7,25±0,11
6	0,69±0,01	7,73±0,04
7	0,73±0,02	6,42±0,23
8	0,57±0,03	6,57±0,13
9	0,61±0,01	7,27±0,03
10	0,69±0,01	6,63±0,13
11	0,59±0,01	6,89±0,07
12	0,60±0,02	6,92±0,03

Valores correspondentes à média das repetições ± desvio padrão.

Fonte: Autoras, 2023.

Considerando os parâmetros de adesividade, flexibilidade e coesividade (Tabela 4), a média dos resultados obtidos na análise dos OGs foi de -0,02 kg.mm, 0,63 mm e 0,37 respectivamente. Já no toucinho, as médias obtidas foram de -0,03 kg.mm para adesividade, 0,51 mm para flexibilidade e 0,84 para coesividade. No que diz respeito à adesividade, trabalho necessário para puxar um alimento para longe de uma superfície, os OGs de óleo de açaí e o toucinho tiveram



comportamentos semelhantes, demonstrando que nesse quesito a substituição do toucinho por OGs pode ser realizada sem prejuízos.

Em relação à coesividade, que corresponde às forças de ligação internas de um alimento, o toucinho apresentou resultados superiores. Isso indica que, o toucinho é mais coeso que os OGs obtidos, sendo necessária a utilização de mais energia para que ele se decomponha durante a mastigação. Já a flexibilidade, parâmetro que mensura o quanto o alimento retorna ao seu tamanho original após a remoção da carga, pode-se observar que, o valor médio de flexibilidade do toucinho foi inferior ao resultado obtido nos OGs (KASAPIS; BANNIKOVA, 2017).

**Tabela 4** - Resultados das análises: adesividade, coesividade, flexibilidade, dureza e mastigabilidade

<i>Ensaio</i>	<i>Adesividade</i>	<i>Flexibilidade</i>	<i>Coesividade</i>	<i>Dureza (kgf)</i>	<i>Mastigabilidade (kg.mm)</i>
1	-0,01±0,00	1,02±0,09	0,05±0,00	0,03±1,72	0,00±0,00
2	-0,01±0,00	0,40±0,05	0,84±0,07	0,08±7,57	0,02±0,00
3	-0,00±0,00	0,58±0,06	0,00±0,00	0,01±0,52	0,00±0,00
4	-0,06±0,05	0,62±0,05	0,92±0,02	0,18±8,31	0,02±0,00
5	-0,00±0,00	0,56±0,07	0,00±0,00	0,01±0,52	0,00±0,00
6	-0,01±0,00	0,27±0,03	0,97±0,01	0,02±2,12	0,01±0,00
7	-0,02±0,00	0,90±0,01	0,24±0,06	0,08±7,50	0,01±0,00
8	-0,01±0,00	0,71±0,06	0,20±0,02	0,05±4,59	0,01±0,00
9	-0,03±0,00	0,31±0,02	0,98±0,01	0,02±1,68	0,00±0,00
10	-0,03±0,00	0,84±0,09	0,05±0,00	0,07±3,97	0,00±0,00
11	-0,06±0,00	0,72±0,07	0,12±0,01	0,03±2,93	0,00±0,00
12	-0,04±0,00	0,59±0,06	0,30±0,03	0,03±3,33	0,01±0,00

Valores correspondentes à média das repetições ± desvio padrão.  
Fonte: Autoras, 2023.

As análises dispostas a seguir apresentam os resultados obtidos daquelas consideradas preditivas pelo planejamento de misturas simplex centroide, considerando-se o  $R^2 > 0,80$  e  $p < 0,10$ . Dessa forma, ser observadas as superfícies de resposta referentes às análises colorimétricas L e hue (Tabela 2), bem como os resultados de pH (Tabela 3), dureza e mastigabilidade (Tabela 4). Além disso, para cada análise considerada preditiva, foi possível obter as equações do modelo matemático, que demonstra os efeitos isolados dos organogeladores, e o efeito das interações entre eles. Nesse caso, no desenvolvimento de cada equação, foram considerados somente os fatores significativos ( $p < 0,10$ ).

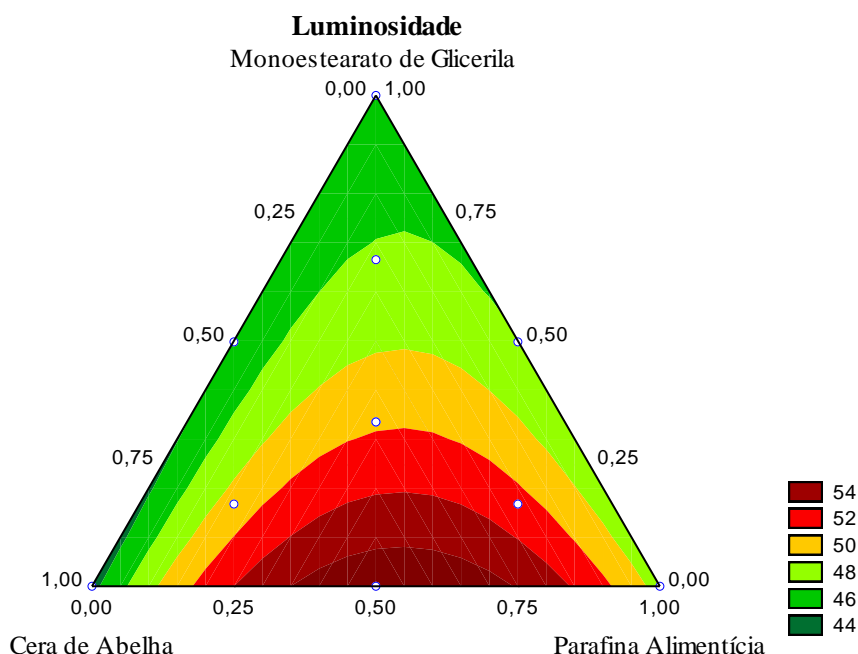
Considerando a luminosidade ( $L^*$ ), tem-se que a Eq. 02 conseguiu explicar 85,26% dos resultados preditos. Ao analisar os fatores apresentados na equação, observa-se que a luminosidade foi influenciada pela cera de abelha ( $x_1$ ), parafina alimentícia ( $x_2$ ), monoestearato de glicerila ( $x_3$ ) e pela interação entre a cera de abelha e a parafina alimentícia ( $x_1x_2$ ).

$$Y_{luminosidade} = 43,41x_1 + 47,17x_2 + 45,05x_3 + 40,80x_1x_2 \quad \text{Eq. 02}$$

Isso indica que, os OGs apresentaram cores mais escuras do que o toucinho. A Figura 3 demonstra as interações ocorridas entre os organogeladores, nela observa-se que maiores valores de luminosidade foram obtidos a partir da mistura entre cera de abelha e parafina alimentícia.

Gómez-Estaca *et al.* (2019) caracterizaram os OGs obtendo valores de luminosidade em torno de 36,7. Apresentando resultados mais próximos ao presente estudo, Gao *et al.* (2021) ao elaborarem OGs contendo óleo de colza e diferentes concentrações de cera de abelha, obtiveram valores de luminosidade entre 45,24 e 47,94 a 25 °C.

**Figura 3** - Superfície de resposta resultante da equação simplificada da luminosidade dos OGs de óleo de açaí elaborados em função dos organogeladores: cera de abelha, parafina alimentícia e monoestearato de glicerila



Fonte: Autoras, 2023.

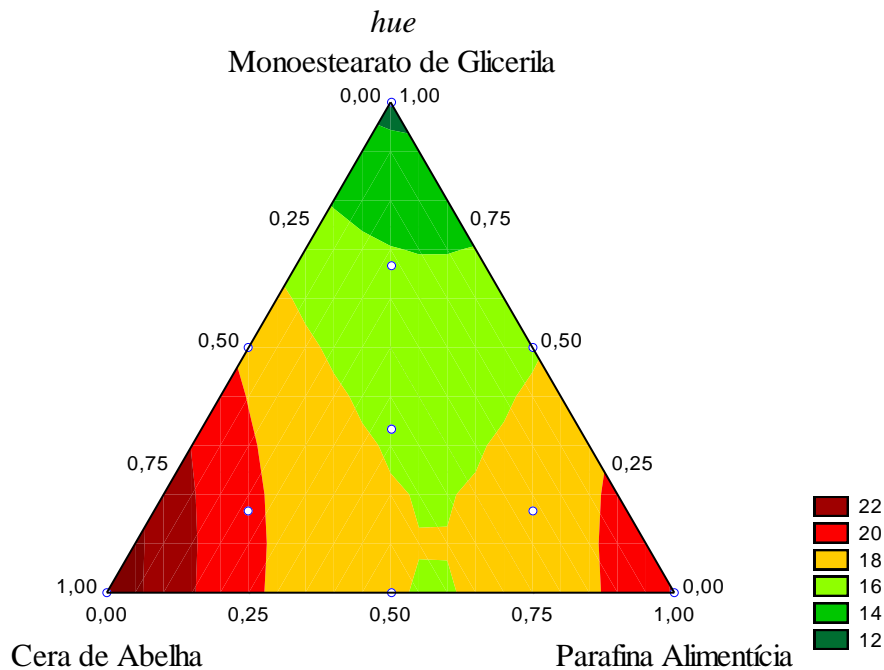
A tonalidade é a forma como uma cor se difere de outra, diferentemente da luminosidade e do croma, ela não é afetada pela intensidade da iluminação e é estável contra danos nos pigmentos (WITZEL; DEWIS, 2022). Ao considerar o ângulo *hue*, parâmetro que se refere à tonalidade das amostras, 89,05% dos resultados podem ser explicados pela Eq. 03. Nessa equação observa-se a influência dos pontos centrais, bem como a interação entre a cera de abelha e a parafina alimentícia. No geral, a tonalidade dos OGs variou entre 12,24 e 24,14.

$$Y_{Hue} = 23,60x_1 + 20,15x_2 + 11,44x_3 - 23,18x_1x_2 \quad \text{Eq. 03}$$

A Figura 4 demonstra que a maior tonalidade foi observada no ensaio com 100% de cera de abelha e em contrapartida, a menor tonalidade foi obtida no ensaio que possuía 100% de monoestearato de glicerila. Todos os resultados encontrados foram menores do que aqueles encontrados por Gómez-Estaca *et al.* (2019), onde se obtiveram OGs de cera de abelha com tonalidade em torno de 94.

A avaliação desse parâmetro é fundamental, uma vez que, ao se aplicar os OGs em um produto cárneo, poderá haver mudança em sua tonalidade, que acarretará descaracterização do produto em questão.

**Figura 4** - Superfície de resposta resultante da equação simplificada do ângulo hue dos OGs de óleo de açaí elaborados em função dos organogeladores: cera de abelha, parafina alimentícia e monoestearato de glicerila



Fonte: Autoras, 2023.

A medição do potencial hidrogeniônico (pH) consegue determinar a acidez ou alcalinidade de uma amostra. Dos resultados obtidos (Tabela 3), 96,06% dos valores podem ser explicados pelo modelo matemático evidenciado na Eq. 04. Nela, percebe-se a que os pontos centrais influenciaram o pH dos ensaios, bem como todas as combinações dos organogeladores cera de abelha, parafina alimentícia e monoestearato de glicerila. Os ensaios resultaram em um valor médio de pH correspondente a 6,87 enquanto o toucinho, quando analisado, apresentou o pH médio de 7,05.

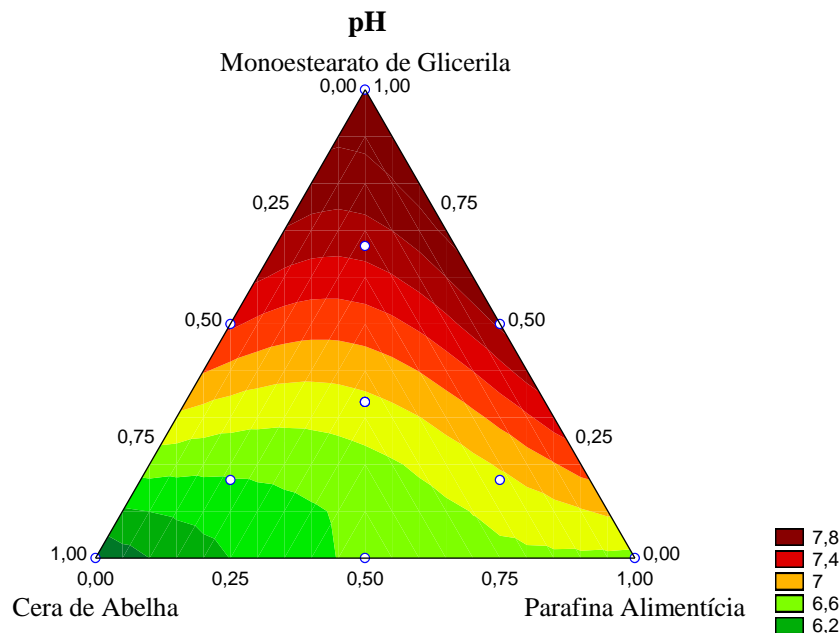
$$Y_{pH} = 5,84x_1 + 6,57x_2 + 7,90x_3 + 0,99x_1x_2 + 1,45x_1x_3 + 1,64x_2x_3 - 12,57x_1x_2x_3 \quad \text{Eq. 04}$$

A modificação do pH ocorrida pela alteração da quantidade e tipo dos organogeladores utilizados nos ensaios, pode ser observada na Figura 5. O monoestearato de glicerila quando utilizado sozinho apresentou elevados valores de pH. Além disso, ao ser combinado aos outros organogeladores, os OGs formados também apresentaram pH superior aos demais.

Inversamente, observa-se que o uso da cera de abelha na elaboração dos OGs resultou em amostras com menores valores de pH, apresentando comportamento inverso ao encontrado por Issara, Suwannakam e Park (2022). Em suas pesquisas, os autores previamente citados elaboraram OGs contendo óleo de canola que apresentaram pH superior a 7,0, no entanto, devido à composição bastante diversa das ceras de abelha, é possível que ela apresente compostos ácidos, apresentando

assim, um pH entre 4,0 e 6,0 (ISSARA; SUWANNAKAM; PARK, 2022).

**Figura 5** - Superfície de resposta resultante da equação simplificada do pH dos OGs de óleo de açaí elaborados em função dos organogeladores: cera de abelha, parafina alimentícia e monoestearato de glicerila



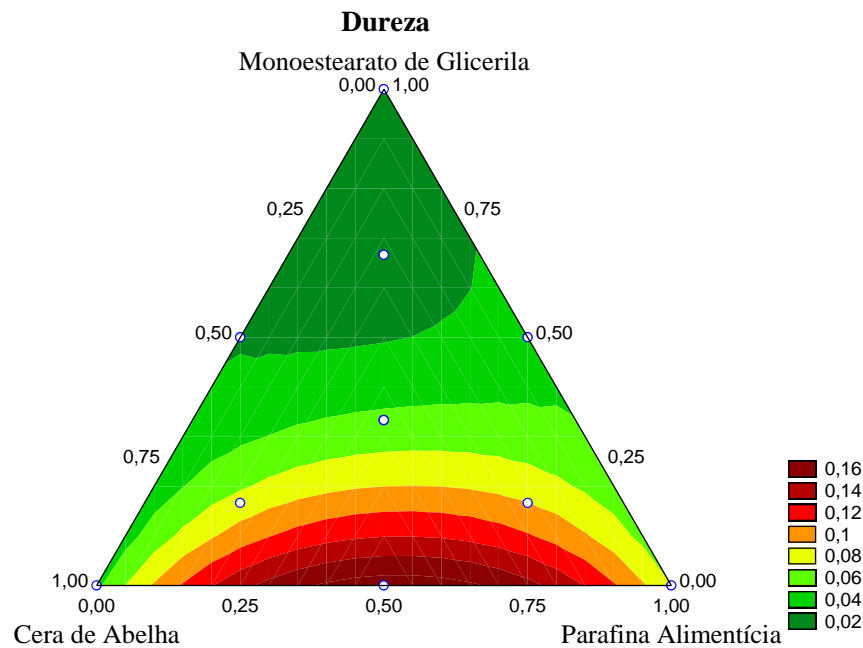
Fonte: Autoras, 2023.

A avaliação da dureza resultou na Eq. 05, essa equação conseguiu de prever 89,99% dos dados obtidos. Nela fica evidenciada a influência dos pontos centrais (cera de abelha, parafina alimentícia e monoestearato de sorbitana), da interação entre cera de abelha e parafina líquida e da interação entre os três organogeladores na dureza dos OGs.

$$Y_{dureza} = 0,04x_1 + 0,06x_2 + 0,0008x_3 + 0,49x_1x_2 - 1,16x_1x_2x_3 \quad \text{Eq. 05}$$

A dureza de um alimento está relacionada à força necessária para comprimi-lo durante a mastigação (KASAPIS; BANNIKOVA, 2017). Considerando os OGs, a medida desse parâmetro apresentou grande variação, sendo a dureza mínima encontrada correspondente a 0,01 kgf e a dureza máxima igual a 0,18 kgf. Já a textura do toucinho, apresentou dureza média de 0,90 kgf. Ao verificar a superfície de resposta (Figura 6), pode-se inferir que a combinação de 50% de cera de abelha e 50% de parafina alimentícia propiciou a formação de OGs mais duros.

**Figura 6** - Superfície de resposta resultante da equação simplificada da dureza dos OGs de óleo de açaí elaborados em função dos organogeladores: cera de abelha, parafina alimentícia e monoestearato de glicerila

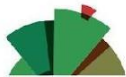


Fonte: Autoras, 2023.

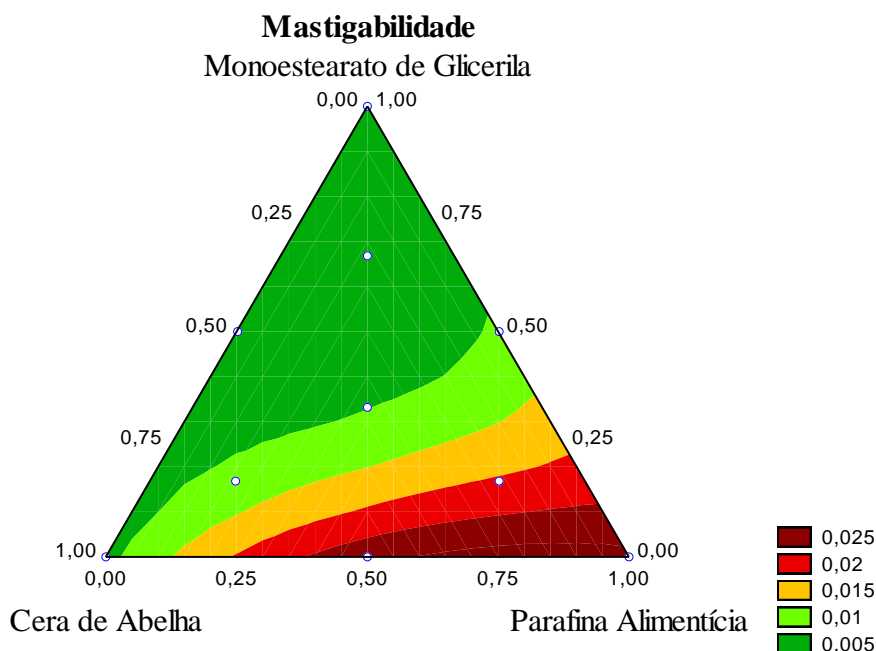
A mastigabilidade pode ser definida como a energia necessária para mastigar um alimento até que ele esteja pronto para ser engolido. Ela é definida pelo produto da dureza, coesividade e flexibilidade (KASAPIS; BANNIKOVA, 2017). A Eq. 06 conseguiu explicar 84,14% dos resultados preditos, e tais resultados foram influenciados por todas as interações exceto pela combinação de cera de abelha ( $x_2$ ) e o monoestearato de glicerila ( $x_3$ ).

$$Y_{Mastigabilidade} = 0,003x_1 + 0,026x_2 + 0,002x_3 + 0,034x_1x_2 - 0,033x_2x_3 - 0,158x_1x_2x_3 \quad \text{Eq. 06}$$

O toucinho apresentou mastigabilidade média de 0,27 kg.mm, valor superior aos resultados de mastigabilidade dos OGs de óleo de açaí. Na Figura 7 está apresentada a superfície de resposta da mastigabilidade com relação aos ensaios realizados na elaboração dos OGs. Nela observa-se que maiores concentrações de parafina alimentícia são responsáveis pelo aumento da mastigabilidade.



**Figura 7** - Superfície de resposta resultante da equação simplificada da mastigabilidade dos OGs de óleo de açaí elaborados em função dos organogeladores: cera de abelha, parafina alimentícia e monoestearato de glicerila



Fonte: Autoras, 2023.

#### Validação e caracterização do ponto ótimo

A fim de determinar qual o comportamento ideal do organogel de óleo de açaí para ser utilizado na substituição do toucinho, foram estabelecidos os critérios de importância dos organogeladores. Sendo assim, ambos foram classificados com peso igual a 5 que corresponde a alta importância. Em relação às características avaliadas: luminosidade, ângulo *hue*, pH, dureza (kg) e a mastigabilidade (kg.mm) todas foram classificadas com o peso 3 que se refere à importância intermediária (Tabela 5).

**Tabela 5 - Resultado da otimização do organogel de óleo de açai**

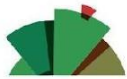
Ponto Ótimo					
Variáveis independentes	Objetivo	Importância	Solução	Valor Experimental	Desvio Relativo (%)
CA	Na faixa	5	1,00		
PA	Na faixa	5	0,00		
MG	Mínimo	5	0,00		
Variáveis dependentes					
L*	Na faixa	3	43,41	44,39	-2,25
hue	Na faixa	3	23,60	23,64	0,03
pH	Mínimo	3	5,98	6,26	4,55
Dureza	Mínimo	3	0,035	0,033	7,38
Mastigabilidade	Mínimo	3	0,005	0,004	4,66
Desejabilidade: 90,6%					

Legenda: CA: cera de abelha, PA: parafina alimentícia e MG: monoestearato de glicerila.  
Fonte: Autoras, 2023.

A partir disso, a desejabilidade obtida pela otimização foi de 90,6% e correspondeu ao organogel elaborado com 100% de cera de abelha e óleo de açai. Considerando as análises colorimétricas, esse resultado pode ser explicado pela necessidade de se obter um organogel com os menores valores possíveis de tonalidade e luminosidade, a fim de que, sua incorporação em um produto cárneo influencie o mínimo possível na sua coloração característica.

De maneira semelhante, o organogel deve apresentar menores valores de pH a fim de que sua qualidade microbiológica seja garantida. Além disso, no que diz respeito à dureza e mastigabilidade, a cera de abelha resultou em OGs macios e com menor mastigabilidade (quando comparada ao toucinho).





## Conclusão

Diante do exposto, infere-se que o organogel elaborado utilizando exclusivamente a cera de abelha apresenta potenciais características desejáveis para substituir o toucinho na formulação de produtos cárneos. Dessa forma, destaca-se o ensaio 1 por apresentar menores valores de pH, dureza e mastigabilidade. Porém, vale ressaltar que os demais OGs obtidos possuem características que podem ser utilizadas em outras aplicações alimentícias, principalmente no que diz respeito à substituição de gordura animal e redução dos ácidos graxos saturados.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - Campus JK, ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) pelas bolsas de estudo concedidas.

## Referências

- ALEJANDRE, M.; ASTIASARÁN, I.; ANSORENA, D.; BARBUT, S. **Using canola oil hydrogels and organogels to reduce saturated animal fat in meat batters**. *Food Research International*, v. 122, p. 129-136, 2019.
- ANDRADE, M. P. D. **Efeito da radiação gama e nitrito e na inibição do clostridium botulinum na qualidade de mortadelas**. 2013. 152 f. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos), Universidade Federal de Lavras, 2013.
- DALA-PAULA, B. M.; GOZZI, W. P.; KRINGEL, D. H.; PELOSO, E. de F.; CUSTÓDIO, F. B. **Química & Bioquímica de Alimentos**. Alfenas: Editora Universidade Federal de Alfenas, 2021.
- DEMIRKESEN, I.; MERT, B. **Recent developments of oleogel utilizations in bakery products**. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 60, n. 14, p. 2460-2479, 2020.
- DERRINGER, G.; SUICH, R. **Simultaneous Optimization of Several Response Variables**. <https://doi.org/10.1080/00224065.1980.11980968>, v. 12, n. 4, p. 214-219, out. 2018.
- FERRO, A. C.; DE SOUZA PAGLARINI, C.; RODRIGUES POLLONIO, M. A.; LOPES CUNHA, R. **Glyceryl monostearate-based oleogels as a new fat substitute in meat emulsion**. *Meat Science*, v. 174, p. 108424, 2021.
- GAO, Y.; LI, M.; ZHANG, L.; WANG, Z.; YU, Q.; HAN, L. **Preparation of rapeseed oil oleogels based on beeswax and its application in beef heart patties to replace animal fat**. *LWT*, v. 149, p. 111986, 2021.
- GÓMEZ-ESTACA, J.; HERRERO, A. M.; HERRANZ, B.; ÁLVAREZ, M. D.; JIMÉNEZ-COLMENERO, F.; COFRADES, S. **Characterization of ethyl cellulose and beeswax oleogels and their suitability as fat replacers in healthier lipid pâtés development**. *Food Hydrocolloids*, v. 87, p. 960-969, 2019.
- GUO, J.; CUI, L.; MENG, Z. **Oleogels/emulsion gels as novel saturated fat replacers in meat products: A review**. *Food Hydrocolloids*, v. 137, p. 108313, 2023.



INSTITUTO ADOLFO LUTZ. 1ª Edição Digital. **Métodos físicos-químicos para análise de Alimentos**, 2008.

ISSARA, U.; SUWANNAKAM, M.; PARK, S. **Effect of traditional fat replacement by oleogel made of beeswax and canola oil on processed meat (steak type) quality**. *Food Research*, v. 6, n. 5, p. 289-299, 2022.

KASAPIS, S.; BANNIKOVA, A. **Rheology and Food Microstructure**. [s.l.] Elsevier Ltd, 2017. 7-46 p.

LIRA, G. B.; LOPES, A. S. da C.; NASCIMENTO, F. C. de A.; CONCEIÇÃO, G. dos S.; BRASIL, D. do S. B. **Processos de extração e usos industriais de óleos de andiroba e açaí: uma revisão**. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 12, p. e229101220227, 2021.

MANZOOR, S.; MASOODI, F. A.; RASHID, R.; NAQASH, F.; AHMAD, M. **Oleogels for the development of healthy meat products: A review**. *Applied Food Research*, v. 2, n. 2, p. 100212, 2022.

MOGHTADAEI, M.; SOLTANIZADEH, N.; GOLI, S. A. H. **Production of sesame oil oleogels based on beeswax and application as partial substitutes of animal fat in beef burger**. *Food Research International*, v. 108, p. 368-377, 2018.

RODRIGUES, L. M.; SALES, L. A.; FONTES, P. R.; TORRES FILHO, R. de A.; ANDRADE, M. P. D.; RAMOS, A. de L. S.; RAMOS, E. M. **Combined effects of gamma irradiation and aging on tenderness and quality of beef from Nellore cattle**. *Food Chemistry*, v. 313, p. 126137, 2020.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Experimental design and process optimization**. 318 p.

SAMUI, T.; GOLDENISKY, D.; ROSEN-KLIGVASSER, J.; DAVIDOVICH-PINHAS, M. **The development and characterization of novel in-situ bigel formulation**. *Food Hydrocolloids*, v. 113, p. 106416, 2021.

SILVA, A. A. **Uso de oleogel à base de óleo de macaúba no desenvolvimento de recheio para biscoito**. 2020. 74 p. Dissertação (Mestrado em Nutrição e Saúde) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2020.

SILVA, F. G. C.; DO NASCIMENTO, T. G.; LIRA, G. M.; JUNIOR, I. D. B.; BORGES, A. L. T. F.; BALLIANO, T. L. **ÓLEO DE EUTERPE OLERACEA (AÇAÍ): PRODUÇÃO CIENTÍFICA E PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA**. *Revista Humanidades e Inovação*, v. 9, n. 13, 2022.

WITZEL, C.; DEWIS, H. **Why bananas look yellow: The dominant hue of object colours**. *Vision Research*, v. 200, n. January, p. 108078, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.visres.2022.108078>>.

ZAMPOUNI, K.; MOUZAKITIS, C. K.; LAZARIDOU, A.; MOSCHAKIS, T.; KATSANIDIS, E. **Physicochemical properties and microstructure of bigels formed with gelatin and  $\kappa$ -carrageenan hydrogels and monoglycerides in olive oil oleogels**. *Food Hydrocolloids*, v. 140, p. 108636, 2023.

ZHI, L.; LIU, Z.; WU, C.; MA, X.; HU, H.; LIU, H.; ADHIKARI, B.; WANG, Q.; SHI, A. **Advances in preparation and application of food-grade emulsion gels**. *Food Chemistry*, v. 424, p. 136399, 2023.