



**GIULIA SILVA BIANCHINI**

**ASSAMENTO DE PÃO DE QUEIJO EM FORNO DE  
MICRO-ONDAS**

**LAVRAS – MG  
2018**

**GIULIA SILVA BIANCHINI**

**ASSAMENTO DE PÃO DE QUEIJO EM FORNO DE MICRO-ONDAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Mestre.

Profa. Dra. Joelma Pereira  
Orientadora

**LAVRAS – MG  
2018**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Bianchini, Giulia Silva.

Assamento de pão de queijo em forno de micro-ondas / Giulia  
Silva Bianchini. - 2018.

68 p. : il.

Orientador(a): Joelma Pereira.

.  
Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. Panificação. 2. Otimização. 3. Formulação de pão de queijo.  
I. Pereira, Joelma. . II. Título.

**GIULIA SILVA BIANCHINI**

**ASSAMENTO DE PÃO DE QUEIJO EM FORNO DE MICRO-ONDAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 29 de agosto de 2018.

Dra. Joelma Pereira UFLA

Dra. Kelen Cristina dos Reis UFLA

Dr. Jefferson Esquina Tsuchida UFLA

Dr. Anderson Felicori Fernandes IF Sudeste MG

Profa. Dra. Joelma Pereira  
Orientadora

**LAVRAS – MG  
2018**

## **AGRADECIMENTOS**

Meu primeiro agradecimento é destinado aos causadores da minha existência: meus pais, Glória e Alberto, e à Divindade Suprema responsável pela criação do Universo.

Agradeço, EM ESPECIAL, aos que me deram meios de produzir meu projeto, bem como me proporcionaram conhecimentos e desenvolveram meu raciocínio lógico: à Universidade Federal de Lavras, ao Departamento de Ciência dos Alimentos bem como seu Programa de Pós-Graduação, aos meus professores, à minha orientadora e aos órgãos financiadores da minha bolsa de mestrado e dos gastos e equipamentos de minha pesquisa. O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).

À minha orientadora, Joelma Pereira, não há palavras que quantificam o quanto tenho a agradecer. Além do acadêmico, muito do meu crescimento emocional é devido aos seus conselhos, ensinamentos, cobranças, “puxões de orelha” e exemplos. Saio com a certeza de que fiz uma grande amiga que vou levar para o resto da vida.

Pela ajuda no decorrer do mestrado, nos projetos, cursos, nas atividades extracurriculares e por todo o suporte emocional, agradeço muito aos familiares, amigos e colegas que caminharam comigo durante esta jornada. Em especial aos amigos que o mestrado me proporcionou: Raul, Isabella, Sabrina, Sarah, Katia, Ana Alice, Dandara e Lucas. Aos familiares e amigos pessoais que, apesar de não dividirem de minha mesma formação acadêmica, me apoiaram, torceram por mim e souberam me entender: minha avó Dara; minha madrastra Dina; meus irmãos Lucas, Tayla e Sofia; meus tios Almir, Fran, Eliane e Lélia; meus primos Fernanda e Álvaro; Rose; Nara; Angélica; Milene; Lu; Rafa; Rosana; Lorena, e, em especial, Key.

**MEU MUITÍSSIMO OBRIGADA!**

*“Como estava farto de saber, a verdade não podia ser ensinada, só podia ser buscada gradualmente e na mais absoluta liberdade.”*

(Marcelo Simoni)

## RESUMO

Produtos panificáveis são altamente preferidos por muitas pessoas, e a indústria de panificação continua crescendo em todo o mundo. O pão de queijo, por exemplo, é um produto de panificação típico da culinária mineira e é amplamente comercializado e consumido em todo o Brasil. Porém, o pão de queijo não apresenta padrão de qualidade característico e não há uma formulação e uma tecnologia padronizada para sua fabricação. Além das formas convencionais, também não se tem conhecimento do uso de formas alternativas para seu cozimento, como o uso de aquecimento por micro-ondas que traz benefícios de facilidade e conveniência para os consumidores. Entretanto, para determinados tipos de alimentos, o aquecimento por micro-ondas é rápido, mas não uniforme. A melhoria nesse quesito tem sido um verdadeiro desafio para cientistas de desenvolvimento de produtos alimentícios e para projetistas de fornos de micro-ondas. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi o de estudar a interação das micro-ondas com o pão de queijo e propor uma formulação e metodologia para seu assamento em forno de micro-ondas. Esta dissertação foi dividida em três partes: introdução geral; descrição de um experimento utilizando uma estratégia sequencial de planejamentos estatísticos para a otimização da formulação e condições de assamento de pão de queijo em micro-ondas; descrição de um experimento em que se buscou mapear a incidência de radiação no forno de micro-ondas pela textura de pães de queijo, analisando a interação desta radiação com a formulação e localização do produto no prato do forno de micro-ondas.

**Palavras-chave:** Panificação. Otimização. Formulação de pão de queijo. Mapeamento da incidência de micro-ondas.

## ABSTRACT

Bread products are highly preferred by many people, and the baking industry continues to grow around the world. Cheese bread, for example, is a bakery product typical of Minas Gerais cuisine, and is widely marketed and consumed throughout Brazil. However, the cheese bread does not present a characteristic quality standard and there is no standard formulation and technology for its manufacture. In addition to the conventional forms, it is also not known to use alternative forms for their cooking, such as the use of microwave heating that brings benefits of facility and convenience to consumers. However, for certain types of foods, microwave heating is fast but not uniform. Improvement in this aspect has been a real challenge for food product development scientists and for microwave oven designers. In this way, the objective of this work was to study the interaction of the microwaves with the cheese bread and to propose a formulation and methodology for their baking in a microwave oven. This dissertation was divided in three parts: general introduction; description of an experiment using a sequential strategy of statistical planning for the optimization of the formulation and baking conditions of cheese bread in microwave; description of an experiment that sought to map the incidence of radiation in the microwave oven by the texture of cheese breads, analyzing the interaction of this radiation with the formulation and location of the product in the turntable of the microwave oven.

**Keywords:** Bakery. Optimization. Formulation of cheese bread. Mapping of the incidence of microwave.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 - Fluxograma de produção do pão de queijo.....	21
Figura 1.2 - Moléculas de água com e sem a influência do campo elétrico.....	23
Figura 1.3 - Esquema de um forno de micro-ondas. ....	25
Figura 2.1 - Disposição dos pães de queijo no prato do forno de micro-ondas.....	38
Figura 2.2 - Superfícies de respostas para: (a) Expansão em função da potência e queijo; Textura em função (b) do queijo e tempo; (c) da potência e leite; (d) do tempo e leite; (e) potência e tempo; (f) Perda de peso em função da potência e tempo.....	50
Figura 3.1 - Disposição dos pães de queijo no prato do forno de micro-ondas.....	61

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Potências indicadas no visor do forno de micro-ondas e suas respectivas potências reais.....	37
Tabela 2.2 - Fatores do PB-12 com seus respectivos níveis em valores reais.....	38
Tabela 2.3 - Fatores do DCCR 2 <sup>4</sup> com seus respectivos níveis em valores reais.....	40
Tabela 2.4 - Planejamento Plackett & Burman com 12 ensaios e 3 repetições no ponto central (C), com os valores reais dos fatores e as respectivas respostas obtidas após a realização dos ensaios. ....	42
Tabela 2.5 - Efeitos e p-valores dos fatores avaliados no delineamento PB-12 para as variáveis respostas. ....	45
Tabela 2.6 - Planejamento DCCR 2 <sup>4</sup> , com os valores reais dos fatores e as respectivas respostas obtidas após a realização dos ensaios. ....	47
Tabela 2.7 - Efeitos lineares (L), quadráticos (Q) e das interações entre os fatores do planejamento DCCR 2 <sup>4</sup> para as variáveis resposta.....	49
Tabela 2.8 - Resumo das análises estatísticas dos modelos preditivos com os efeitos significativos para as variáveis respostas. ....	51
Tabela 3.1 - Análise de variância da textura do pão de queijo em função da posição no PFMO e da composição e da interação entre os tratamentos. ....	63
Tabela 3.2 - Valores médios* das texturas ± desvio padrão, em N, dos pães de queijo em função dos tratamentos controle, formulação com mais leite e formulação com mais queijo.....	64

## SUMÁRIO

	<b>CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>11</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1</b>	<b>Pão de queijo .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2</b>	<b>Ingredientes do pão de queijo .....</b>	<b>14</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Polvilho doce .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Polvilho azedo .....</b>	<b>15</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Queijo .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2.4</b>	<b>Água.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2.5</b>	<b>Leite .....</b>	<b>18</b>
<b>2.2.6</b>	<b>Ovo.....</b>	<b>18</b>
<b>2.2.7</b>	<b>Óleos e gorduras .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2.8</b>	<b>Sal.....</b>	<b>19</b>
<b>2.3</b>	<b>Produção do pão de queijo .....</b>	<b>19</b>
<b>2.4</b>	<b>Assamento convencional do pão de queijo.....</b>	<b>21</b>
<b>2.5</b>	<b>Aquecimento de alimentos por micro-ondas .....</b>	<b>22</b>
<b>2.5.1</b>	<b>Forno de micro-ondas .....</b>	<b>24</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Fatores que afetam o aquecimento por MO .....</b>	<b>25</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>28</b>
	<b>CAPÍTULO 2 OTIMIZAÇÃO DA FORMULAÇÃO E PARÂMETROS DO ASSAMENTO DE PÃES DE QUEIJO EM FORNO DE MICRO-ONDAS .....</b>	<b>31</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>34</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>36</b>
<b>2.1</b>	<b>Matérias-primas e obtenção dos pães de queijo .....</b>	<b>36</b>
<b>2.2</b>	<b>Screening Design .....</b>	<b>37</b>
<b>2.3</b>	<b>Expansão e densidade .....</b>	<b>39</b>
<b>2.4</b>	<b>Textura .....</b>	<b>39</b>
<b>2.5</b>	<b>Perda de peso durante o assamento.....</b>	<b>40</b>
<b>2.6</b>	<b>Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) .....</b>	<b>40</b>
<b>2.7</b>	<b>Análises estatísticas .....</b>	<b>40</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>42</b>
<b>3.1</b>	<b>Plackett &amp; Burman 12 (PB-12) .....</b>	<b>42</b>
<b>3.2</b>	<b>Delineamento Composto Central Rotacional 2<sup>4</sup> (DCCR 2<sup>4</sup>).....</b>	<b>47</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>53</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>54</b>
	<b>CAPÍTULO 3 MAPEAMENTO DA INCIDÊNCIA DE RADIAÇÃO DO FORNO DE MICRO-ONDAS PELA TEXTURA DE PÃES DE QUEIJO .....</b>	<b>56</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>59</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>61</b>
<b>2.1</b>	<b>Matérias-primas e obtenção dos pães de queijo .....</b>	<b>61</b>
<b>2.2</b>	<b>Textura .....</b>	<b>62</b>
<b>2.3</b>	<b>Análises estatísticas .....</b>	<b>62</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>63</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>66</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>67</b>

**CAPÍTULO 1**  
**INTRODUÇÃO GERAL**

## 1 INTRODUÇÃO

Produtos panificáveis são altamente apreciados por muitos e a indústria de panificação está em crescente desenvolvimento em todo o mundo. O pão de queijo, por exemplo, é um produto de panificação típico da culinária mineira, sendo amplamente comercializado e consumido em todo o Brasil, porém não apresenta padrão de qualidade característico e não há formulação e tecnologia padronizados para sua fabricação. Também pouco se tem conhecimento do uso de formas alternativas para seu cozimento, além das convencionais (em forno elétrico, a gás, doméstico ou industrial).

O cozimento é a principal etapa na produção de panificados, onde o aquecimento é aplicado para induzir as transformações no produto. O tipo e as configurações de equipamentos que utilizam diferentes fontes de aquecimento (como convecção, micro-ondas e radiação) podem ser alterados para controlar as transformações no produto. Parâmetros de qualidade nestes tipos de produtos, como o miolo, crocância, maciez, volume e cor são resultados da gelatinização do amido, expansão do volume e reações de escurecimento. Faltam pesquisas que estudem a melhoria e padronização do cozimento manipulando essas fontes, e uma alternativa é o uso de estatísticas de otimização experimental do processo.

Em 2017, 38% dos consumidores brasileiros apresentavam tendências ao consumo por alimentos semiprontos, por serem mais convenientes e práticos (FIESP; CIESP, 2018). Estes são formados por pessoas que levam uma vida mais agitada, com horários apertados, trabalham em tempo integral e dispõem de pouquíssimo tempo para cuidar da casa, filhos e da alimentação da família. Desta forma, os alimentos industrializados, principalmente os semiprontos, são fortes aliados desses consumidores por apresentarem maior praticidade no preparo das refeições.

Um dos aliados destes tipos de produtos de rápido preparo são os fornos de micro-ondas. O aquecimento por micro-ondas ganhou aceitação no uso doméstico e está ganhando popularidade em aplicações industriais. A facilidade e conveniência de usar estes tipos de fornos resultou em lugar permanente nos lares dos consumidores de países industrializados e está aumentando rapidamente nas economias em desenvolvimento. O aquecimento por micro-ondas é mais rápido em comparação com cozimento convencional. Além disso, os fornos de micro-ondas são fáceis de operar e exigem menor manutenção.

Porém, pode-se apontar alguns problemas associados com o aquecimento por micro-ondas, como a distribuição de temperatura não uniforme e o grande número de fatores que afetam o comportamento da transferência de calor por micro-ondas, tais como a espessura, a

geometria e as propriedades dielétricas do alimento (associadas à sua composição). Além disso, vários fatores influenciam a uniformidade do campo eletromagnético, como o tamanho do produto e sua disposição no forno.

Pode-se citar alguns problemas bem conhecidos que ocorrem em alimentos de panificação cozidos no micro-ondas, como o pequeno volume, textura firme, escasso escurecimento e a perda de umidade e frescor natural. No caso do pão de queijo, existem algumas formulações para serem assadas em forno de micro-ondas, como os “pães de queijo de caneca”, mas que apresentam um produto final com qualidade tecnológica bem inferior ao produto assado em forno convencional. Assim, torna-se importante estudar e otimizar o processo de aquecimento deste produto em forno.

Desta forma, o objetivo desta dissertação é otimizar uma formulação de pão de queijo e binômio tempo/potência para seu assamento em forno de micro-ondas, bem como estudar a interação das micro-ondas com este produto em função da sua formulação e localização no prato do forno de micro-ondas durante o assamento.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Pão de queijo**

Pão de queijo é um produto tradicionalmente mineiro. A sua formulação envolve basicamente a mistura de polvilhos, queijo e outros ingredientes que conferem ao produto sabor, aroma e textura característicos (SILVA; GARCIA; FERREIRA, 2003). É uma fonte reconhecida de carboidratos e também é um produto de panificação isento de glúten, podendo ser consumido como alimento alternativo para pacientes alérgicos e intolerantes às proteínas do trigo (PEREIRA et al, 2004).

Por haver um grande número de pequenas fábricas, não há dados precisos sobre a quantidade de pão de queijo produzido no Brasil. Segundo dados de 2015, estima-se que a empresa Forno de Minas represente cerca de 25% do mercado nacional, fabricando 1.500 toneladas por mês, sendo 8% destinado à exportação. Esses dados sugerem que o Brasil fabrica aproximadamente 6.000 toneladas mensalmente. O pão de queijo representa mais de 15% do faturamento das vendas de lojas de conveniência e lanchonetes, sendo que a comercialização em larga escala foi promovida pelas facilidades oferecidas pelo mercado, como congelados e pré-misturas (PÃO..., 2015).

Ainda não foi estabelecido um padrão de qualidade para o pão de queijo, não havendo tecnologia de produção, caracterização ou tipificação do produto. Desta forma, encontra-se no mercado diversas formulações comercializadas e igualmente identificadas como "pão de queijo", que pode ser apresentado já modelado e congelado, em pó para posterior adição de ingredientes ou ainda na forma de massa congelada (MINIM et al., 2000).

### **2.2 Ingredientes do pão de queijo**

Cada ingrediente tem uma função específica que confere ao pão de queijo sabor, cor e aroma característicos (IMAMURA; MADRONA, 2008). Os ingredientes básicos utilizados em sua formulação são polvilho, azedo ou doce, queijo, gordura, água, sal e ovos. Pode-se separar estes ingredientes em duas funções principais, agentes amaciadores (gema do ovo, gordura) e agentes estruturadores (polvilhos, ovos, leite, queijo, água e sal), responsáveis pela textura e estrutura da massa, respectivamente (GONÇALVES, 2000).

Pereira et al. (2004) estudaram a função dos ingredientes nas características do pão de queijo, notando que formulações com ausência de leite, ovo e queijo mostravam diferenças

entre si e entre a formulação com todos os ingredientes (completa). Comparados com a formulação completa, a ausência de ovo nos pães de queijo resultou em um produto de menor peso específico, menor índice de expansão e menor diâmetro. A ausência de queijo deixou as paredes formadas pelas células do miolo muito frágeis, resultando no aparecimento de rachaduras no produto final. Já a formulação sem leite conservou seu formato até o assamento, possibilitando a expansão sem o rompimento da estrutura.

### **2.2.1 Polvilho doce**

O polvilho doce é utilizado na panificação, inclusive podendo ser um substituto parcial da farinha de trigo. Na aplicação industrial, as raízes de mandioca são processadas em polvilho antes de ser utilizado como matéria-prima (AMOA-AWUA; OWUSU; FEGLO, 2005).

Tradicionalmente, o polvilho doce é produzido ralando a raiz descascada da mandioca para produzir “leite de amido”, a partir do qual a fibra (massa) é separada através de filtros ou peneiras especiais e lavada cuidadosamente para recolher o amido. O “leite de amido” então irá decantar e levado para secar ao sol por um período de 1 a 2 dias, e então o polvilho doce será recolhido (JEKAYINFA; OLAJIDE, 2007).

Pode-se considerar o polvilho doce como uma matéria-prima de uso adequado na indústria de alimentos por causa de suas propriedades tecnológicas que incluem baixa temperatura de gelatinização (71°C), baixa tendência a retrogradação, sabor neutro, alta viscosidade, clareza de sua pasta e resistência adesiva razoavelmente boa. Porém, possui baixa estabilidade de pasta durante o cozimento, que reduz mais que 50% de sua máxima viscosidade (ABRAHAM, 1993; FALADE; AKINGBALA, 2011; GOMES et al., 2004).

No pão de queijo, ao utilizar polvilho apenas doce em sua formulação, tem-se um produto com volume ligeiramente menor em comparação ao obtido com polvilho apenas azedo, miolo menos esponjoso, com textura menos porosa e com menor número de alvéolos (PEREIRA, 1998).

### **2.2.2 Polvilho azedo**

O polvilho azedo é um amido ácido-modificado pela fermentação natural do polvilho doce, que possui amplas aplicações na culinária sul-americana e, em especial, na brasileira (DEMIATE et al., 1997). Pode-se citar pão de queijo e rosca de mandioca como dois produtos típicos brasileiros produzidos desta matéria-prima livre de glúten (MARCON et al., 2009).



Sua produção é caracterizada por modificação química e enzimática através de um processo fermentativo predominantemente natural. O amido de mandioca é extraído da raiz da mandioca e fermentado por vários dias em tanques até atingir a acidez aproximada de 5%. Após é seguido por secagem ao sol, procedimento essencial em seu acabamento, pois o polvilho azedo secado ao sol comporta-se de forma diferente de quanto secado no forno (MARCON et al., 2007; MARCON et al., 2009).

Os microrganismos responsáveis pela fermentação natural são oriundos da própria matéria-prima (polvilho doce) ou do próprio ambiente em que a etapa será realizada. É feita por uma microflora mista, sendo a gram-positiva predominante (cerca de 90%) em virtude da participação das bactérias ácido-láticas. Essa microbiota produz ácidos que aumentam a acidez durante o processo, sendo que o ácido lático constitui 60% dessa acidez total (CARVALHO et al., 1996).

A principal diferença entre o polvilho doce e o azedo, além da acidez, é o índice de expansão ao forno. Estudos mostram que nas mesmas condições, as pastas obtidas com polvilho doce (não fermentado e exposto ao sol) não se expandem ao forno (FANI, 2010). Então, substituir o polvilho azedo por polvilho doce resulta em massa com expansão significativamente menor (MARCON et al., 2007).

Nos produtos de panificação, o polvilho azedo é responsável pelas propriedades reológicas e expansão das massas dos produtos que o utilizam em sua formulação. A expansão do polvilho azedo faz com que essas massas aumentem em duas ou mais vezes seu volume inicial sem qualquer adição de fermento. Os ácidos orgânicos presentes no polvilho azedo também influenciam as propriedades sensoriais do produto e contribuem para uma redução significativa do pH (MARCON et al., 2007).

Para Pereira (1998), o polvilho azedo confere ao pão de queijo maior volume, textura mais porosa com maior número de células de ar no miolo, miolo esponjoso, mais leve e elástico, casca lisa e uniforme. Segundo Aplevicz e Demiate (2007), após a gelatinização as pastas de polvilho azedo liberaram mais água (sinérese) que as de polvilho doce, o que pode influenciar na maior utilização do polvilho doce na composição de massas de pães de queijo congeladas.

### **2.2.3 Queijo**

Bezerra (2008) define queijo como sendo o "produto concentrado de proteína e gordura, obtido a partir do leite coalhado, separado do soro e amadurecido durante tempo variável, dependendo do tipo de queijo que se deseja fabricar".

Por não apresentar padrão de identidade característico, vários são os tipos de queijo que podem ser usados na elaboração do pão de queijo. Porém os mais utilizados são os queijos semiduros e os de curta maturação, sendo o tipo Minas maturado o preferido pela maioria dos produtores (VALLE, 2000).

A proporção e o tipo de queijo empregado influenciam o sabor, a aparência (cor, volume) e a textura do miolo do pão de queijo. Para que essa textura do miolo seja tecnologicamente e sensorialmente boa, existe uma proporção ótima de queijo que deve ser usada. Geralmente, teores superiores a 35% de queijo em relação ao polvilho fazem com que o miolo fique muito “pesado”, e com teores inferiores a 5% os pães de queijo apresentam características similares as do biscoito de polvilho (PEREIRA, 1998).

Em relação à casca do pão de queijo, esta fica mais heterogênea, com muitas pintas, à medida em que se aumenta o teor de queijo utilizado na formulação (PEREIRA, 1998).

Pereira et al. (2004) observaram que as estruturas de pães de queijo produzidos sem o uso de queijo na massa, apesar de produzirem maiores diâmetros comparados à formulação completa, originadas de uma massa bastante mole, não foi mantida, entrando em colapso mesmo antes do assamento. Esse achatamento levou a um aumento no diâmetro desses pães, que também apresentaram rachaduras, sugerindo que a ausência do queijo deixou as paredes formadas pelos alvéolos do miolo muito frágeis, que se romperam e não conseguiram reter os vapores formados.

#### **2.2.4 Água**

Ingrediente indispensável para a formação da massa do pão de queijo, sendo fundamental para o inchamento do grânulo de amido oriundo do polvilho durante a etapa de gelatinização no escaldamento (etapa em que se verte, majoritariamente, uma mistura fervente de líquidos, sal e gordura/óleo no polvilho) (PEREIRA, 1998). A quantidade de água utilizada no processamento do produto depende dos ingredientes da fórmula e do processo de panificação utilizados, constituindo o meio dispersante para os outros ingredientes da formulação, além de favorecer o crescimento do pão de queijo durante o assamento (PEREIRA et al., 2004).

Pode ser total ou parcialmente substituída por leite, sendo que a quantidade total de líquidos utilizada na formulação influencia na consistência e na elasticidade da massa, não devendo ficar demasiado firme e nem mole demais. A massa deve ser suficientemente macia para ser moldada e suficientemente rígida para manter a forma e ficar em pé até que seja

congelada ou assada; devendo também, apresentar um certo grau de elasticidade para se expandir sem se romper durante o assamento (PEREIRA, 1998).

### **2.2.5 Leite**

O leite procede de diferentes espécies animais, porém é mais comumente usado na indústria de panificação o leite de vaca. É composto de água, proteínas, açúcares, sais minerais, gorduras e vitaminas (BEZERRA, 2008).

Usar leite na etapa de escaldamento do pão de queijo propicia ao produto melhor sabor, maior maciez ao miolo e melhor coloração à crosta, além de aumentar seu valor nutricional (PEREIRA, 1998).

Pereira et al. (2004) observaram que massas de pão de queijo com ausência de leite apresentaram textura um pouco mais pegajosa, confirmando que o leite ajuda na estruturação e texturização da massa, quando comparadas às massas feitas com água.

### **2.2.6 Ovo**

O ovo é considerado o alimento de origem animal mais completo em termos nutricionais (SERAFINI et al., 2015). Devido as suas propriedades de emulsificação, aeração e coagulação, o ovo fornece ao pão de queijo uma melhor estrutura, textura mais leve e aerada, maior volume, características de liga, cor amarelada natural, além de contribuir nutricionalmente por apresentar proteínas, vitaminas (A, D, E) e minerais na sua composição (LEME, 2000).

Sua função no pão de queijo é diferente para cada uma de suas partes, clara ou gema. Pela ação da lecitina da gema, pode atuar como emulsificante; pela ação das gorduras e lipídios da gema, pode atuar como amaciante; pela ação da clara, pode atuar como aerador e espumante; pela ação da clara e gema, pode atuar como agente ligante (PEREIRA, 1998).

A proporção de ovos utilizada na massa de pão de queijo influencia a maciez e coloração do miolo e da crosta, o volume do produto pela quantidade de incorporação de ar e o seu valor nutricional (PEREIRA, 1998).

Pereira et al. (2004) observaram que a ausência de ovo na formulação produziu pães de queijo mais pesados e também mais duros, típico de produtos amiláceos sem adição de emulsificantes. De acordo com seus resultados, não utilizar ovo na massa resultou em um produto de menor peso específico, menor índice de expansão e menor diâmetro, ressaltando a

importância do ovo, não só na plasticidade da massa, mas também na sua capacidade de retenção dos gases evaporados durante o forneamento.

### **2.2.7 Óleos e gorduras**

Óleos e gorduras são substâncias que estão presentes nos alimentos e apresentam propriedades físico-químicas características. Podem ser de origem vegetal ou animal, sendo formados predominantemente de produtos da condensação entre um glicerol e três moléculas de ácidos graxos. Diferem entre si pela temperatura em que se fundem, sendo considerado óleo os lipídios que apresentam ponto de fusão abaixo de 20°C, e gordura os que o possuem acima deste valor (GONÇALVES, 2000).

Estes ingredientes desempenham papel importante na qualidade do pão de queijo. Seu uso aumenta o volume e modifica a textura do produto, tornando-o mais macio e aveludado, com alvéolos do miolo mais uniformes. Esse efeito é progressivo até que se adiciona de 25% a 30% do óleo em relação ao peso do polvilho. Adições maiores podem fazer com que o produto apresente aspecto muito gorduroso, com intensa exsudação de gordura, além de acentuado sabor de “óleo” (PEREIRA, 1998).

As gorduras contribuem para as propriedades de mastigação e tornam o miolo e a casca do pão de queijo mais lustrosos, propiciando melhor aparência do alimento, além de prolongar sua maciez, melhorando, assim, sua conservação (GONÇALVES, 2000).

### **2.2.8 Sal**

Confere sabor ao pão de queijo, sendo usado na proporção de 1% a 2,5% em relação ao peso total do polvilho. Influencia no processo de escaldamento por aumentar a temperatura da mistura utilizada nesta etapa, além de interagir com os grânulos inchados de amido. Fortifica e estabiliza o amido gelatinizado, proporcionando melhor granulação do miolo (PEREIRA, 1998).

## **2.3 Produção do pão de queijo**

Para Pizzinato (2000) não existe uma tecnologia padrão para a produção de pão de queijo, mas sugere um processo de fabricação elaborado a partir do método adotado pela

maioria dos produtores. As etapas dessa produção estão representadas por um fluxograma apresentado na Figura 1.1, sendo explicadas pelo autor como:

**Escaldamento:** consiste na etapa em que se escalda o polvilho com apenas água ou leite, água com óleo ou água com leite, todos à temperatura de fervura. Escalda-se o polvilho para que este gelatinize seus grânulos de amido, o que ocorre na faixa de temperatura de 58-70°C. Nessa etapa há modificações na estrutura interna desses grânulos, ocorrendo sua hidratação e inchamento; aumento da claridade da pasta formada e acentuado e rápido acréscimo da consistência da pasta. Afeta a textura, sabor e a aparência final do pão de queijo. Esta etapa propicia massas mais fáceis de trabalhar, resulta em pães de queijo mais macios, que assam com menos tempo, e torna a digestão do produto mais fácil.

**Mistura (amassamento):** Etapa em que se busca a homogeneização total dos ingredientes e absorção adequada da umidade. Ao longo do processo forma-se uma massa de consistência plástica e elástica, onde procura-se incorporar uma certa quantidade de bolhas de ar na mesma. Esta incorporação de ar está associada à velocidade rápida de mistura e influencia o tamanho e textura do produto assado, uma vez que durante o processo de assamento essas células ou bolhas irão se expandir dando leveza e volume ao produto, formando sua textura fina.

**Modelagem:** divide-se a massa em pedaços de tamanhos adequados e padronizados (importante pois o tamanho afeta a velocidade e homogeneidade do assamento), sendo posteriormente modelados ou enformados manualmente ou por moldadoras. Esta etapa é importante pois melhora a textura e a estrutura da casca, além de dar a forma característica do pão de queijo (redonda).

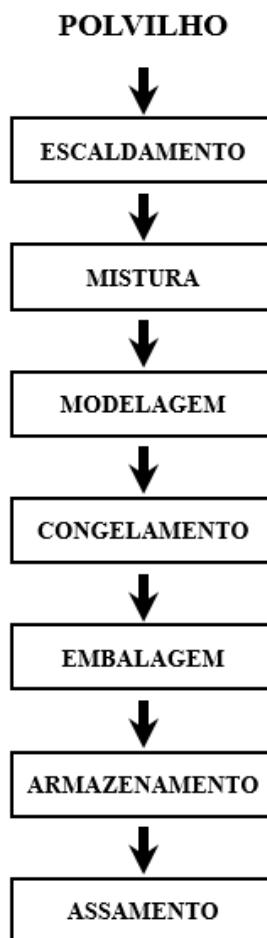
**Congelamento:** é realizado para prolongar a vida útil do produto. Nesta etapa podem haver mudanças nas propriedades físicas, químicas, microbiológicas e nutricionais do pão de queijo, como reações de oxidação ou rancificação de seus lipídios, retrogradação do amido e sinérese, entre outras. O tipo de congelamento influencia a sua qualidade, em especial quanto à crosta, textura do miolo e sua vida útil. Pode ser lento (processo demorado em que há a formação de grandes cristais de gelo, causando o rompimento das células com a consequente desorganização da estrutura do produto, e que torna a crosta do pão de queijo depois de assado mais dura e quebradiça) e rápido (processo brusco em que há formação de um número muito grande de pequenos cristais de gelo intracelulares que não alteram de maneira significativa a textura do produto e que torna a crosta do pão de queijo, depois de assado, mais fina e uniforme).

**Embalagem:** etapa fundamental para a comercialização e prolongamento da vida útil do produto. Deve-se escolher embalagens impermeáveis ao vapor de água e ao oxigênio, sendo

recomendado o uso de vácuo ou atmosfera de gás inerte (N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>) para prevenir reações oxidativas.

**Assamento:** etapa em que a massa é transformada em um produto leve, poroso e de fácil digestão. O pão de queijo cresce pela incorporação de ar e pela evaporação da água, no qual o aumento de volume é devido à expansão de vapor e ar durante o assamento.

Figura 1.1 - Fluxograma de produção do pão de queijo.



Fonte: Adaptado de Pereira (1998).

#### 2.4 Assamento convencional do pão de queijo

No forno (a gás ou elétrico), a massa do pão de queijo expande-se durante um determinado período de tempo, após o qual as paredes da célula sofrem modificações que impedem uma posterior expansão. O que limita o crescimento do volume do pão de queijo é a formação de uma crosta na sua parte externa, impedindo seu inchamento posterior (PIZZINATTO, 2000).

As principais modificações que ocorrem durante o assamento são: evolução e expansão dos gases; gelatinização do amido; coagulação das proteínas do ovo, leite e queijo; desidratação parcial do produto e consequente evaporação de água; formação da crosta pela desidratação da superfície; escurecimento da crosta devido às reações de Maillard e caramelização dos açúcares redutores; desenvolvimento de aromas e sabores (PEREIRA, 1998).

Pereira (1998) cita que a sequência em que ocorrem essas modificações durante o assamento é:

1. Quando se coloca a massa no forno previamente aquecido, o ar quente faz com que se forme um filme sobre sua superfície. Posteriormente, o volume da massa cresce cerca de 30% do seu tamanho inicial.
2. À medida em que a temperatura da massa atinge 55°C, os grânulos de amido começam a inchar, aumentando o volume da mesma. Acompanha-se a retirada de água de outros ingredientes, que é parte absorvida pelos grânulos. Além do intumescimento do amido, também há a expansão dos gases que faz com que haja o crescimento da massa.
3. Próximo a temperatura de 77°C os grânulos de amido aumentam o máximo de seu tamanho e são fixados na estrutura proteica.
4. À medida que o assamento continua, a velocidade de expansão do gás diminui. O motivo por esse fato ainda não é bem elucidado, mas talvez seja por causa da coalescência das bolhas, que formam bolhas de maior tamanho, porém em maior número. O sistema se estabiliza, forma-se uma cor dourada na crosta resultante da reação de Maillard e da caramelização de açúcares, acompanhada pelo surgimento de aromas e sabores agradáveis no produto.

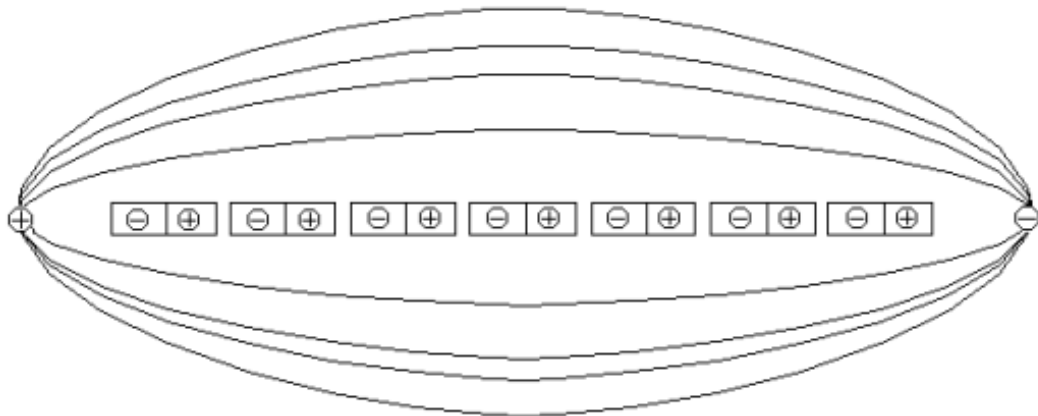
## **2.5 Aquecimento de alimentos por micro-ondas**

Micro-ondas (MO) são ondas eletromagnéticas que estão dentro de uma banda de frequência de 300 MHz a 300 GHz, entre ondas de rádio e radiação infravermelha. O aquecimento por MO refere-se ao aquecimento dielétrico, onde energia é transmitida como ondas que penetram no alimento, sendo absorvidas e convertidas em calor. O aquecimento por MO é um método direto, onde o calor é gerado dentro do produto. Nele, a energia dielétrica induz o atrito molecular em moléculas de água para produzir calor (AHMED.; RAMASWAMY, 2007; FELLOWS, 2000).

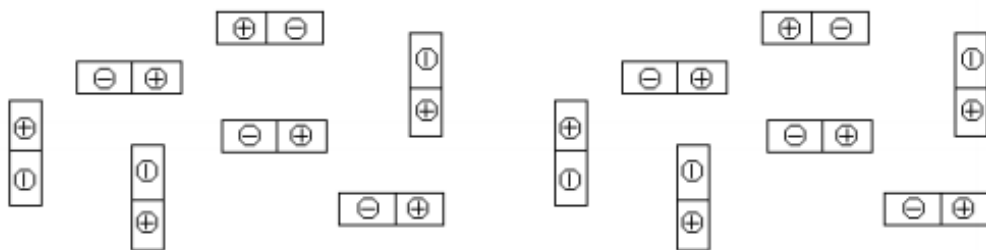
Sanseverino (2002) cita dois mecanismos principais para a transformação de energia eletromagnética característicos do aquecimento por micro-ondas: rotação dipolo e condução

iônica. O primeiro deles relaciona-se com o alinhamento das moléculas (que tem dipolos permanentes ou induzidos) com o campo elétrico aplicado. A água no alimento é o principal componente dipolar responsável pelo aquecimento dielétrico. Em um campo elétrico de corrente alternada, a polaridade do campo é variada à taxa de frequência das MO e as moléculas tentam alinhar-se com o campo em mudança. Quando o campo é removido, as moléculas voltam a um estado desordenado, e a energia que foi absorvida para esta orientação nestes dipolos é dissipada na forma de calor. No forno de MO doméstico, o campo elétrico na frequência de 2,45 GHz oscila (muda de sinal)  $4,9 \times 10^9$  vezes por segundo (AHMED; RAMASWAMY, 2007; SANSEVERINO, 2002). Uma representação esquemática das moléculas de água sob um campo elétrico é mostrada na Figura 1.2.

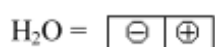
Figura 1.2 - Moléculas de água com e sem a influência do campo elétrico.



1- Dipolos alinhados com o campo eletromagnético.



2- Dipolos após a retirada do campo eletromagnético.



Fonte: Sanseverino (2002).

O segundo mecanismo de aquecimento com MO é através da polarização de íons como resultado do movimento de ida e volta das moléculas iônicas tentando alinhar-se com o campo



elétrico oscilante. O calor é gerado através de perdas por fricção desses movimentos. O aquecimento por MO é também afetado pelo estado físico dos constituintes, quer estejam ligados ou livres, e dependem do tamanho, carga, condutividade dos íons dissolvidos e interação destes últimos com o solvente (AHMED; RAMASWAMY, 2007; SANSEVERINO, 2002).

O aquecimento por MO ganhou aceitação no uso doméstico e está aumentando sua popularidade em aplicações industriais pela facilidade e a conveniência de sua aplicação. A mudança de atitude dos consumidores e seu estilo de vida rápido resultou em refeições "prontas para comer", para as quais as micro-ondas são de grande utilidade. O aquecimento de MO é mais rápido comparado com o cozimento convencional e espera-se que produza um tratamento térmico mais homogêneo a um ritmo mais rápido do que o aquecimento convencional. Além disso, os fornos de MO são fáceis de operar e requerem menos manutenção (VADIVAMBAL; JAYAS, 2010).

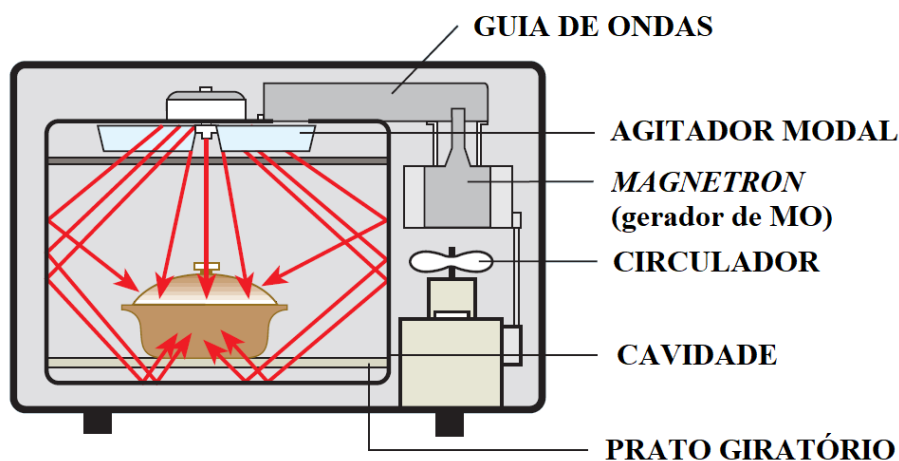
No cozimento convencional, o calor é aplicado no exterior dos alimentos e penetra gradualmente para o interior. No cozimento por MO, o calor é gerado dentro do alimento. Em um forno de micro-ondas, as micro-ondas penetram o alimento e são convertidos em calor dentro dele, fazendo com que toda a comida se aqueça muito rapidamente. MO só podem penetrar alimentos a uma profundidade de 3-5 cm. Assim, pequenos pedaços de alimentos são cozidos muito rapidamente e pedaços maiores, mais lentamente. No entanto, nos lugares onde as MO não podem penetrar, o alimento se aquece por condução (RAMESH, 2007).

A grande vantagem de cozinhar em MO é a sua velocidade. Porém, fornos de MO também têm algumas desvantagens. Por exemplo, os tempos de cozimento devem ser cuidadosamente controlados. Além disso, os alimentos não ficam castanhos ou desenvolvem crocância (RAMESH, 2007).

### **2.5.1 Forno de micro-ondas**

A parte do forno responsável pela geração das MO é uma válvula chamada *magnetron*. Basicamente seu princípio de funcionamento se baseia na conversão de energia elétrica em ondas de geralmente 2450 MHz de frequência (BARBOZA et al., 2001). Além do *magnetron*, um típico forno de MO consiste em mais cinco componentes principais: o guia de ondas, a cavidade, o agitador modal, um circulador e um prato giratório. A energia das MO é produzida pelo *magnetron*, propagada abaixo do guia de ondas, e injetada diretamente na cavidade de MO, onde o agitador modal distribui a energia que chega em várias direções (NEAS; COLLINS, 1988). O esquema de um forno de MO está representado na Figura 1.3.

Figura 1.3 - Esquema de um forno de micro-ondas.



Fonte: Adaptado de Vollmer (2004).

### 2.5.2 Fatores que afetam o aquecimento por MO

Para Ahmed e Ramaswamy (2007), algumas propriedades físicas, térmicas e elétricas determinam a absorção de energia por MO e o consequente aquecimento dos alimentos. Essas propriedades/fatores são:

**Frequência:** Para a aplicação em alimentos, apenas duas frequências são atribuídas para aquecimento por MO (915 MHz e 2450 MHz) e, portanto, essas frequências são de interesse especial. Os comprimentos de onda correspondentes destas frequências são 0,328 m e 0,122 m, respectivamente. O comprimento de onda tem um significado especial, pois a maioria das interações entre a energia e os materiais ocorrem nessa região e geram calor instantâneo devido ao atrito molecular. Os constituintes dos alimentos, exceto a umidade, os lipídios e as cinzas, são relativamente inertes às frequências de MO prescritas (AHMED; RAMASWAMY, 2007).

**Propriedades dielétricas:** As propriedades elétricas dos materiais no contexto de aquecimento por MO e radiofrequência são conhecidas como propriedades dielétricas, que fornecem uma medida de como os alimentos interagem com a energia eletromagnética. Estas propriedades geralmente governam o comportamento do aquecimento de um alimento durante o aquecimento por MO e estão diretamente relacionadas à sua composição química (AHMED; RAMASWAMY, 2007).

**Umidade:** O teor de umidade afeta significativamente as propriedades dielétricas do alimento e, conseqüentemente, a profundidade de penetração das MO. A taxa de aquecimento desigual é observada em alimentos com alta umidade devido à baixa profundidade de penetração das MO. Alimentos com baixa umidade terão uma taxa de aquecimento mais uniforme devido à penetração mais profunda de MO. O teor de umidade inicial do produto e a

taxa de evaporação da umidade desempenham papéis importantes durante o aquecimento por MO. O comportamento de aquecimento da água é dependente da fase (água líquida versus fase de gelo sólido) e também depende do teor de água livre disponível. Em temperatura constante, o comportamento dielétrico da água livre permanece constante na faixa de frequência mais baixa (região estática) e os dipolos de água têm tempo suficiente para se reorientarem com pouca absorção de energia, enquanto que uma diminuição significativa no comportamento dielétrico pode ser observada em maiores frequências (região óptica) sem inversão de campo pelos dipolos de água. A constante dielétrica diminui exponencialmente com a frequência (frequência crítica) entre as regiões estática e óptica. A mudança de fase resulta em uma mudança significativa nas propriedades dielétricas e, portanto, essas propriedades para água e gelo diferem amplamente em sua magnitude (AHMED; RAMASWAMY, 2007).

**Massa:** Existe uma relação direta entre a massa e a quantidade de energia de MO que é absorvida, a qual deve ser aplicada para obter o aquecimento desejado. Cada forno de MO tem uma massa de amostra crítica (mínima) para sua operação eficiente. É geralmente em torno de 250 ml de volume de água em um forno de 1 kW. Abaixo deste nível, uma quantidade significativa de energia de MO não é absorvida pelo produto (AHMED; RAMASWAMY, 2007).

**Temperatura:** O aquecimento por MO é significativamente afetado pela temperatura da amostra. As propriedades dielétricas podem variar com a temperatura, dependendo do material. Tanto a temperatura como o teor de umidade podem mudar durante o aquecimento e, portanto, podem ter um efeito combinado na constante dielétrica, no fator de perda dielétrica, na tangente de perda e subsequentemente no comportamento de aquecimento. O congelamento tem efeito importante na capacidade de aquecimento de um material devido às propriedades dielétricas muito diferentes do gelo e da água. A água tem um valor significativamente maior de constante dielétrica e perda em relação ao gelo, e essas propriedades também são dependentes da frequência de MO. A temperatura inicial do alimento a ser aquecido por MO deve ser controlada ou conhecida, de modo que a potência de MO pode ser ajustada para obter temperaturas finais uniformes. Se o forno de MO estiver predefinido para aumentar a temperatura do produto entre 20°C e 80°C, atingirá praticamente temperatura alvo de 95°C com temperatura inicial do produto de 35°C. Para compensar o efeito da temperatura inicial mais elevada, a potência do forno de MO deve ser reduzida ou uma massa de amostra maior deve ser usada ou o produto deve ser aquecido por um tempo mais curto (AHMED; RAMASWAMY, 2007).

**Geometria e localização do alimento no forno de MO:** A forma do alimento desempenha papel importante na distribuição de calor dentro do produto aquecido no forno de MO. Ela afeta a profundidade de penetração de MO, a taxa de aquecimento e a uniformidade. Os produtos de forma irregular são submetidos a aquecimento não uniforme devido à diferença na espessura do produto. Já a relação superfície/volume mais elevada aumenta a taxa de aquecimento. Para a maioria dos alimentos, o tamanho e a geometria em combinação com a energia de um comprimento de onda relativamente pequeno, como os de ondas com frequência de 2450 MHz, resultaria em perfis de aquecimento não homogêneos, mas previsíveis. Recentemente, tem sido defendido que a uniformidade de aquecimento por MO de alimentos multicomponentes é dependente da composição, colocação e geometria dos produtos e embalagens. Já o posicionamento do alimento dentro do forno de MO tem efeito muito significativo. A distribuição de temperatura varia dependendo da intensidade de MO em que um lugar do forno recebe (AHMED; RAMASWAMY, 2007).

**Propriedades térmicas:** As características de aquecimento dos alimentos dependem, em maior ou menor grau, de algumas propriedades térmicas, tais como a condutividade térmica, a densidade e a capacidade térmica. A condutividade térmica dos alimentos desempenha papel significativo no aquecimento por MO. Materiais com maior condutividade térmica dissipam calor mais rapidamente do que aqueles com menor condutividade durante o aquecimento por MO. Alimentos com alta condutividade térmica levarão menos tempo para atingir a temperatura uniforme. A condutividade térmica dos alimentos congelados é maior devido à alta condutividade térmica do gelo, enquanto os alimentos liofilizados têm menor condutividade térmica. A capacidade calorífica dos alimentos mede a resposta à temperatura dos alimentos como resultado da entrada ou remoção de calor. Pode-se aumentar a capacidade calorífica aumentando o conteúdo de sólidos, adicionando componentes como sal e proteínas (AHMED; RAMASWAMY, 2007).

## REFERÊNCIAS

- ABRAHAM, T. E. Stabilization of Paste Viscosity of Cassava Starch by Heat Moisture Treatment. **Starch/Stärke**, v. 45, n. 4, p. 131–135, 1993.
- AHMED, J.; RAMASWAMY, H. S. Microwave pasteurization and sterilization of foods. In: RAHMAN, M. S. **Handbook of food preservation**. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2007. p. 691-711.
- AMOA-AWUA, W. K.; OWUSU, M.; FEGLO, P. Utilization of unfermented cassava flour for the production of an indigenous African fermented food, agbelima. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 21, n. 6-7, p. 1201-1207, 2005.
- APLEVICZ, K. S.; DEMIATE, I. M. Caracterização de amidos de mandioca nativos e modificados e utilização em produtos panificados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 3, p. 478-484, jul./set. 2007.
- BARBOZA, A. C. R. N. et al. Aquecimento em forno de microondas/Desenvolvimento de alguns conceitos fundamentais. **Química Nova**, v. 24, n. 6, p. 901-904, 2001.
- BEZERRA, J. R. M. V. **Tecnologia da fabricação de derivados do leite**. Guarapuava: Unicentro, 2008. 56 p.
- CARVALHO, E. P. de et al. Polvilho azedo: aspectos físicos, químicos e microbiológicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 2, p. 129-137, fev. 1996.
- DEMIATE, I. M. et al. Características de qualidade de amostras de polvilho azedo. Parte 2 - Santa Catarina. **Agropecuária Catarinense**, v. 10, n. 4, p. 51-56, 1997.
- FALADE, K. O.; AKINGBALA, J. O. Utilization of Cassava for Food. **Food Reviews International**, v. 27, p. 51–83, 2011.
- FANI, M. (Ed.). Polvilho Azedo. **Revista Aditivos Ingredientes**, n. 72, p. 44-50, ago. 2010. Disponível em: <[http://aditivosingredientes.com.br/upload\\_arquivos/201604/2016040821618001460571267.pdf](http://aditivosingredientes.com.br/upload_arquivos/201604/2016040821618001460571267.pdf)>. Acesso em: 02 mar. 2017.
- FELLOWS, P. **Food processing technology: Principles and practice**. 2. ed. New York: CRC Press, 2000. 575 p.
- FIESP; CIESP. **A mesa dos brasileiros: Transformações, confirmações e contradições**. 2018. Disponível em: <[hotsite.fiesp.com.br/amesadosbrasileiros/amesadosbrasileiros.pdf](http://hotsite.fiesp.com.br/amesadosbrasileiros/amesadosbrasileiros.pdf)>. Acesso em: 22 ago. 2018.
- GOMES, A. M. M. et al. Impact of annealing on the physicochemical properties of unfermented cassava starch. **Starch/Stärke**, v. 56, n. 9, p. 419-423, 2004.

- GONÇALVES, J. J. Aplicação de gordura vegetal em pão de queijo. In: PIZZINATTO, A.; ORMENESE, R. de C. S. C. **Seminário pão de queijo: ingredientes, formulação e processo**. Campinas: ITAL/CEREAL CHOCOTEC, 2000. p. 43-57.
- IMAMURA, J. K. N.; MADRONA, G. S. Reaproveitamento de soro de queijo na fabricação de pão de queijo. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 1, n.3, p. 381-390, set./dez. 2008.
- JEKAYINFA, S. O.; OLAJIDE, J. O. Analysis of energy usage in the production of three selected cassava-based foods in Nigeria. **Journal of Food Engineering**, v. 82, n. 2, p. 217-226, Sept. 2007.
- LEME, L. L. Ovos pasteurizados resfriados e desidratados e sua importância. In: PIZZINATTO, A.; ORMENESE, R. de C. S. C. **Seminário pão de queijo: ingredientes, formulação e processo**. Campinas: ITAL/CEREAL CHOCOTEC, 2000. p. 29-41.
- MARCON, M. J. A. et al. Effect of the improved fermentation on physicochemical properties and sensorial acceptability of sour cassava starch. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 50, n. 6, p. 1073-1081, Nov. 2007.
- MARCON, M. J. A. et al. Expansion Properties of Sour Cassava Starch (Polvilho Azedo): Variables Related to its Practical Application in Bakery. **Starch/Stärke**, v. 61, p. 716-726, 2009.
- MINIM, V. D. R. et al. Perfil sensorial e aceitabilidade de diferentes formulações de pão de queijo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 154-159, maio/ago. 2000.
- NEAS, E. D.; COLLINS, M. J. Microwave Heating. In: KINGSTON, H. M.; JASSIE, L. B. **Introduction to microwave sample preparation: theory and practice**. 1st ed. New York: American Chemical Society, 1988. p. 7-32.
- PÃO de Queijo. **Food Magazine**, Tucuruvi, 30 abr. 2015. Disponível em: <<http://www.foodmagazine.com.br/food-service-noticia-produtos/pao-de-queijo>>. Acesso em: 02 abr. 2018.
- PEREIRA, A. J. G. **Fatores que afetam a qualidade do pão de queijo**. Belo Horizonte: CETEC, 1998. 52p.
- PEREIRA, J. et al. Função dos ingredientes na consistência da massa e nas características do pão de queijo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 4, p. 494-500, out.-dez. 2004.
- PIZZINATTO, A. Processo de fabricação do pão de queijo. In: PIZZINATTO, A.; ORMENESE, R. de C. S. C. **Seminário pão de queijo: ingredientes, formulação e processo**. Campinas: ITAL/CEREAL CHOCOTEC, 2000. p. 87-101.
- RAMESH, M. N. Cooking and Frying of Foods. In: RAHMAN, M. S. **Handbook of food preservation**. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2007. p. 625-634.

SANSEVERINO, A. M. Microondas em síntese orgânica. **Química Nova**, v. 25, n. 4, p. 660-667, 2002.

SERAFINI, S. et al. Produção, estrutura e processamento de ovos. **SB Rural**, v. 149, n. 7, p. 1, mar. 2015.

SILVA, M. R. GARCIA, G. K. de S.; FERREIRA, H. de F. Caracterização química, física e avaliação da aceitação de pão de queijo com baixo teor energético. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 14, n. 1, p. 69-75, 2003.

VADIVAMBAL, R.; JAYAS, D. S. Non-uniform Temperature Distribution During Microwave Heating of Food Materials - A Review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 3, n. 2, p. 161-171, 2010.

VALLE, J. L. E. do. Características de qualidade de queijos. In: PIZZINATTO, A.; ORMENESE, R. de C. S. C. **Seminário pão de queijo**: ingredientes, formulação e processo. Campinas: ITAL/CEREAL CHOCOTEC, 2000. p. 59-61.

VOLLMER, M. Physics of the microwave oven. **Physics Education**, v. 39, n. 1, p. 74-81, Jan. 2004.

**CAPÍTULO 2**  
**OTIMIZAÇÃO DA FORMULAÇÃO E PARÂMETROS DO ASSAMENTO DE PÃES**  
**DE QUEIJO EM FORNO DE MICRO-ONDAS**



## RESUMO

Pão de queijo é um produto tradicionalmente mineiro, cuja formulação envolve basicamente a mistura de polvilhos, queijo e outros ingredientes. Não existe uma tecnologia padrão para a sua produção, mas a maioria dos produtores adota um método que consiste nas etapas de escaldamento, mistura, modelagem, congelamento, embalagem, armazenamento e assamento. Porém, até o presente momento não se tem conhecimento do assamento destes pães de queijo em fornos além dos convencionais (a gás e elétrico), como o de micro-ondas (MO), para o ganho de praticidade aos consumidores. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi utilizar uma estratégia sequencial de planejamentos estatísticos experimentais para se obter as condições otimizadas de formulação e parâmetros de assamento de pão de queijo em forno de micro-ondas. Usou-se Packlett & Burman para *screening design* dos fatores ingredientes da formulação dos pães de queijo (polvilho, leite, margarina, sal, queijo e ovo) e parâmetros de assamento no forno de micro-ondas (tempo e potência). Os fatores significativos e com maiores efeitos sobre as variáveis respostas foram levados ao Delineamento Composto Central Rotacional para a otimização do processo. As variáveis respostas analisadas nos dois planejamentos foram expansão, textura, perda de peso e densidade dos pães de queijo. As condições de otimização alcançadas foram: 55% de leite; 40% de queijo; tempo de assamento de 3 minutos; potência de 80% da potência real do forno de micro-ondas. Porém, concluiu-se que as características físicas (textura e expansão) dos pães de queijo formulados e assados com condições de otimização encontradas nesta pesquisa não apresentam similaridade aos que foram assados em fornos convencionais encontrados na literatura. Desta forma, faz-se necessário mais estudos sobre o impacto dos ingredientes e parâmetros de assamento do pão de queijo no forno de micro-ondas.

**Palavras-chave:** Packlett & Burman. DCCR. Panificação. Polvilho.

## ABSTRACT

Cheese bread is a product traditionally from Minas Gerais, whose formulation basically involves the mixing of cassava starch, cheese and other ingredients. There is no standard technology for its production, but most producers adopt a method consisting of the stages of scalding, mixing, shaping, freezing, packaging, storage and baking. However, up to the present moment it is not known to bake these cheese breads in ovens other than conventional (gas and electric), such as the microwave oven (MO), to gain practicality for consumers. In this way, the objective of this work was to use a sequential strategy of experimental statistical design to obtain optimized conditions of formulation and parameters of baking cheese bread in a microwave oven. Packlett & Burman was used to screening design the ingredients of the formulation of cheese breads (cassava starch, milk, margarine, salt, cheese and egg) and microwave oven baking parameters (time and potency). The significant factors with greater effects on the response variables were taken to the Central Composite Rotational Design for the optimization of the process. The variables responses analyzed in the two plans were expansion, texture, weight loss and density of the cheese breads. The optimization conditions were: 55% milk; 40% cheese; 3 minutes baking time; power of 80% of the actual power of the microwave oven. However, it was concluded that the physical characteristics (texture and expansion) of formulated and baked cheese breads with optimization conditions found in this research do not present similarity to those that were baked in conventional ovens found in the literature. In this way, it is necessary to further studies on the impact of the ingredients and parameters of baking cheese bread in the microwave oven.

**Keywords:** Packlett & Burman. CCRD. Bakery. Cassava Starch.

## 1 INTRODUÇÃO

Pão de queijo é um produto tradicionalmente mineiro. A sua formulação envolve basicamente a mistura de polvilhos, queijo e outros ingredientes que conferem ao produto sabor, aroma e textura característicos (SILVA; GARCIA; FERREIRA, 2003).

É uma fonte reconhecida de carboidratos e também é um produto de panificação isento de glúten, podendo ser consumido como alimento alternativo para pacientes alérgicos e intolerantes às proteínas do trigo (PEREIRA et al, 2004).

Ainda não foi estabelecido um padrão de qualidade para o pão de queijo, não havendo tecnologia de produção, caracterização ou tipificação do produto. Desta forma, encontram-se no mercado diversas formulações comercializadas e igualmente identificadas como "pão de queijo", que pode ser apresentado já modelado e congelado, em pó para posterior adição de ingredientes ou ainda na forma de massa congelada (MINIM et al., 2000).

Os ingredientes básicos utilizados em sua formulação são: polvilho (azedo e/ou doce), queijo, gordura, líquido (água ou leite), sal e ovos. Pode-se separar estes ingredientes em duas funções principais, agentes amaciadores (gema do ovo, gordura) e agentes estruturadores (polvilhos, ovos, leite, queijo, água e sal), responsáveis pela textura e estruturada da massa, respectivamente (GONÇALVES, 2000).

Para Pizzinato (2000) não existe uma tecnologia padrão para a produção de pão de queijo, mas sugere um processo de fabricação elaborado a partir do método adotado pela maioria dos produtores. As etapas dessa produção consistem em: escaldamento do polvilho com mistura fervente de líquido, gordura e sal; mistura dos demais ingredientes (ovo e queijo); modelagem; congelamento; embalagem; armazenamento; assamento.

O assamento é a etapa em que a massa é transformada em um produto leve, poroso e de fácil digestão. O pão de queijo cresce pela incorporação de ar e pela evaporação da água, no qual o aumento de volume é devido à expansão de vapor e ar durante o assamento (PIZZINATO, 2000).

O aquecimento por micro-ondas (MO) ganhou aceitação no uso doméstico e está aumentando sua popularidade em aplicações industriais, pela facilidade e a conveniência de sua aplicação. A mudança de atitude dos consumidores e seu estilo de vida rápido resultaram em refeições "prontas para comer", para as quais as micro-ondas são de grande utilidade. O aquecimento de MO é mais rápido comparado com o cozimento convencional e espera-se que produza um tratamento térmico mais homogêneo a um ritmo mais rápido do que o aquecimento

convencional. Além disso, os fornos de MO são fáceis de operar e requerem menos manutenção (VADIVAMBAL; JAYAS, 2010).

No cozimento convencional, o calor é aplicado no exterior dos alimentos e penetra gradualmente para o interior. No cozimento por MO, o calor é gerado dentro do alimento. Em um forno de micro-ondas, as micro-ondas penetram o alimento e são convertidos em calor dentro dele, fazendo com que toda a comida se aqueça muito rapidamente (RAMESH, 2007).

Além das vantagens, também pode-se apontar alguns problemas associados com o aquecimento por micro-ondas, como a distribuição de temperatura não uniforme e o grande número de fatores que afetam o comportamento de transferência de calor de micro-ondas, tais como a espessura, a geometria e as propriedades dielétricas do alimento (associadas à sua composição). Além disso, vários fatores influenciam a uniformidade do campo eletromagnético, como a forma e tamanho do produto e sua disposição no forno (AHMED; RAMASWAMY, 2007).

A adoção da tecnologia de micro-ondas pela indústria de alimentos tem sido lenta devido às limitações técnicas ligadas ao processo. Idealmente, o produto deve ser aquecido a níveis especificados sem cozimento excessivo, depois resfriado rapidamente e adequadamente armazenado e distribuído. Assim, melhorar o design do forno, embalagem do alimento e/ou a sua formulação pela composição dos alimentos deve levar a melhores processos (AHMED; RAMASWAMY, 2007).

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi utilizar uma estratégia sequencial de planejamentos estatísticos experimentais para se obter as condições otimizadas de formulação e parâmetros de assamento de pão de queijo em forno de micro-ondas.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Matérias-primas e obtenção dos pães de queijo

Para a realização do experimento, utilizou-se matérias-primas de mesmo lote obtidas do comércio local, sendo elas: polvilhos doce e azedo; margarina com 80% lipídios (composição comercial); ovo in natura; leite integral UHT de caixa; sal refinado iodado; queijo minas artesanal da canastra meia cura. Todo o experimento foi realizado em laboratórios do Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras.

Os pães de queijo foram preparados com base na formulação proposta por Silva (2009) e pré-testes, porém variou-se as quantidades dos ingredientes (níveis das variáveis independentes) de acordo com os planejamentos experimentais. Todos os ingredientes para obtenção dos pães de queijo, menos o polvilho azedo, bem como o tempo de assamento e a potência do forno de micro-ondas, foram variáveis utilizadas nos planejamentos.

Devido à grande quantidade de variáveis, optou-se por utilizar uma estratégia sequencial de planejamentos estatísticos experimentais. Primeiramente, realizou-se o planejamento Plackett & Burman como um *screening design* para a seleção dos fatores mais importantes. Posteriormente, utilizou-se estes fatores no Delineamento Composto Central Rotacional, para geração de modelos preditivos e superfícies de resposta que apresentaram informações sobre as condições de otimização dos parâmetros estudados.

Nas formulações, a soma das quantidades de polvilhos doce e azedo representou 100%. Por este motivo, a quantidade de polvilho azedo não entrou nos planejamentos, por ser sempre o valor complementar da quantidade de polvilho doce. A quantidade dos demais ingredientes foram calculados como porcentagem sobre a soma das quantidades de polvilhos doce e azedo. As medidas de todos os ingredientes foram pesadas em balança de precisão com resolução de 0,01 g (BEL ENGINEERING, modelo MARK 4100).

Em uma tigela, homogeneizou-se os polvilhos doce e azedo que foram escaldados pela mistura fervente de leite, margarina e sal, misturando-se para homogeneizar e esfriar a massa. Posteriormente foram adicionados o ovo e queijo em seguida, misturando-se até a total dispersão dos ingredientes. Após a etapa de mistura, usou-se molde cilíndrico (diâmetro de 2,8 cm e altura de 2,4 cm) para a obtenção das massas de pão de queijo moldadas, que foram embaladas em bandeja de isopor (23,5 cm x 18 cm x 3,3 cm) cobertas por filme plástico de PVC e congeladas a  $-18^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ) por 24 h em freezer horizontal antes do assamento. Passadas as 24 h, as massas moldadas e congeladas foram assadas em forno de micro-ondas (LG, modelo

MS3047G, Brasil) segundo as condições de tempo e potência descritas pelos planejamentos. Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

As potências reais para cada nível de potência do forno de micro-ondas foram calculadas utilizando a Equação 1, e estão descritas na Tabela 2.1.

$$P = \frac{mc\Delta t}{\Delta T} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde: P é a potência em watts (W); m é a massa da substância (kg), onde foi utilizado água; c é o calor específico da substância (calor específico da água 4180 JKgK<sup>-1</sup>); Δt é a diferença de temperatura, antes e após aquecimento em forno micro-ondas; ΔT é o tempo de exposição da amostra às micro-ondas em segundos (s). Utilizou-se para tal béqueres com água a temperatura ambiente (22°C + 1°C) conforme metodologia citada por Souza et al. (2007). A temperatura da água antes e após seu aquecimento foi medida utilizando-se termômetro infravermelho (Fluke, modelo 62MAX, 3M DROP).

Tabela 2.1 - Potências indicadas no visor do forno de micro-ondas e suas respectivas potências reais.

<b>Potência (%) indicada no visor do forno de micro-ondas*</b>	<b>Potência real calculada (W)</b>
10	65
20	154
30	238
40	271
50	325
60	352
70	468
80	488
90	570
100	669

\*forno de micro-ondas LG, modelo MS3047G.

Fonte: Do autor (2018).

## 2.2 *Screening Design*

O *Screening Design* foi usado para a seleção das variáveis mais significativas para o objetivo final desta pesquisa. Escolheu-se utilizar o planejamento experimental fatorial Plackett & Burman (PLACKETT; BURMAN, 1946) com 12 ensaios (PB-12) e 3 pontos centrais, totalizando 15 ensaios. A Tabela 2.2 mostra os fatores, ou variáveis independentes, e seus respectivos níveis codificados como -1, 0 e + 1.

Tabela 2.2 - Fatores do PB-12 com seus respectivos níveis em valores reais.

Fator	Sigla	Níveis		
		-1	0	+1
Polvilho doce (%)	PD	25	50	75
Leite (%)	L	50	55	60
Margarina (%)	M	15	20	25
Sal (%)	S	2	3	4
Ovo (%)	O	20	25	30
Queijo (%)	Q	40	50	60
Tempo de assamento (min)	T	2	2,5	3
Potência do forno de micro-ondas (%)	P	70	80	90

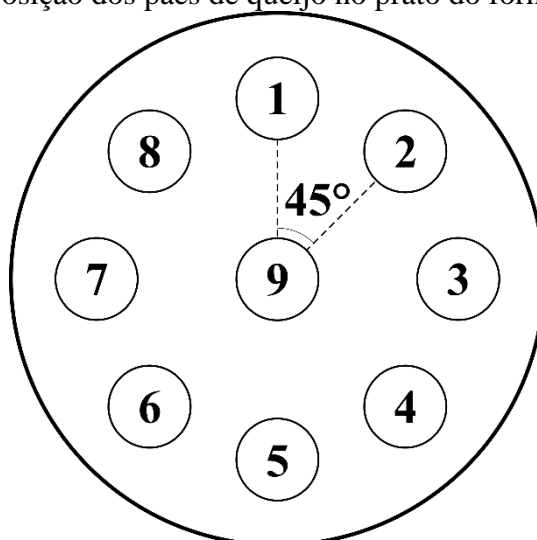
Fonte: Do autor (2018).

O nível de polvilho azedo foi complementar ao de polvilho doce para que a soma dos dois fosse 100%. Desta forma, quando utilizado 25% de polvilho doce, usou-se 75% de polvilho azedo, e assim sucessivamente. Por este motivo, não se utilizou o polvilho azedo como um fator no planejamento experimental.

As amostras de massas de pão de queijo moldadas e congeladas obtidas com a formulação determinada pelo planejamento PB-12 foram distribuídas diretamente no prato do forno micro-ondas conforme Figura 2.1. Imediatamente após suas disposições, as amostras foram assadas nas condições de potência e tempo definidas na matriz do planejamento.

Em seguida à realização dos ensaios, avaliou-se como respostas, ou variáveis dependentes, expansão, densidade, textura e perda de peso dos pães de queijo obtidos após assamento, segundo metodologias descritas a seguir.

Figura 2.1 - Disposição dos pães de queijo no prato do forno de micro-ondas.



Fonte: Do autor (2018).

### 2.3 Expansão e densidade

A expansão, ou índice de expansão, e a densidade do pão de queijo foram determinadas segundo metodologias propostas por Pereira et al. (2004), de acordo com as Equações 2, 3 e 4.

$$V = \frac{4 \pi r^3}{3} \quad \text{Equação (2)}$$

$$D = \frac{m}{V} \quad \text{Equação (3)}$$

$$E = \frac{\phi_{PQ} + h_{PQ}}{\phi_{MM} + h_{MM}} \quad \text{Equação (4)}$$

Sendo: V, o volume; r, o raio; D, a densidade; m, a massa; E, a expansão;  $\phi_{PQ}$ , o diâmetro do pão de queijo assado;  $h_{PQ}$ , a altura do pão de queijo;  $\phi_{MM}$ , o diâmetro da massa moldada de pão de queijo antes do assamento;  $h_{MM}$ , a altura da massa moldada.

As massas e as dimensões das massas moldadas foram obtidas após seus congelamentos, e dos pães de queijo assados, após esfriarem no suporte (grade). As massas foram aferidas em balança de precisão com resolução de 0,01 g (BEL ENGINEERING, modelo MARK 4100) e as dimensões foram medidas utilizando paquímetro digital (MARBERG, modelo 200MM-8").

### 2.4 Textura

A textura do pão de queijo foi mensurada por análise de resistência à força de compressão pelo equipamento analisador de textura (STABLE MICRO SYSTEMS, modelo TA.XT2). Os ensaios foram realizados após os pães de queijo esfriarem (temperatura de aproximadamente 25 °C), sendo que a primeira medição foi feita 20 min depois do assamento. A probe P/75 foi utilizada nos testes, configurados com os seguintes parâmetros: velocidade do teste e do pré-teste de 2,0 mm/s; velocidade do pós-teste de 10,0 mm/s; distância de compressão de 50,0 % de deformação. As análises foram feitas em triplicata. O software utilizado para a obtenção dos resultados foi o *Exponent Lite Express* (STABLE MICRO SYSTEMS, 2017).



## 2.5 Perda de peso durante o assamento

A perda de peso foi calculada pela diferença entre as massas do pão de queijo assado e da massa moldada congelada. As massas foram aferidas em balança de precisão com resolução de 0,01 g (BEL ENGINEERING, modelo MARK 4100).

## 2.6 Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR)

O planejamento experimental usado para a otimização da formulação e condições de assamento do pão de queijo em forno de micro-ondas foi o DCCR  $2^4$  com 8 pontos axiais e 3 pontos centrais. Os fatores utilizados foram os selecionados pelo planejamento PB-12 e estão apresentados na Tabela 2.3 juntamente com seus respectivos níveis codificados como -2, -1, 0, +1 e +2.

Tabela 2.3 - Fatores do DCCR  $2^4$  com seus respectivos níveis em valores reais.

Fator	Sigla	Níveis				
		-2	-1	0	+1	+2
Leite (%)	L	45	50	55	60	65
Queijo (%)	Q	20	30	40	50	60
Tempo de assamento (min)	T	2	2,5	3	3,5	4
Potência do forno de micro-ondas (%)	P	60	70	80	90	100

Fonte: Do autor (2018).

Os níveis de tempo e queijo foram menores do que os utilizados no PB-12 por motivos tecnológicos. Os pães de queijo queimavam quando utilizados níveis muito altos desses fatores.

Os níveis de polvilho doce, polvilho azedo, margarina, sal e ovo foram fixos em todos os ensaios em 50%, 50%, 20%, 3% e 25%, respectivamente.

O procedimento para a realização dos ensaios foi similar ao do PB-12 e as respostas avaliadas também foram as mesmas.

## 2.7 Análises estatísticas

Utilizou-se o software Statistica (STATSOFT, 2007) para realizar as análises estatísticas dos dados obtidos nos planejamentos experimentais. Os dados obtidos no planejamento Plackett & Burman foram submetidos a análise de efeito linear, onde avaliou-se o erro puro a 5% de significância. Os efeitos significativos foram determinados pelo p-valor. Os dados obtidos do

DCCR foram submetidos a análises de efeitos linear, quadrático e de interação, onde também se avaliou o erro puro a 5% de significância. As significâncias dos efeitos foram determinadas pelo p-valor, e estes usados na confecção de modelos de segunda ordem para correlacionar os fatores (variáveis independentes) com suas respostas (variáveis dependentes). Optou-se por estimar o erro puro nas estatísticas a fim de determinar a falta de ajuste para verificar a adequação dos modelos. A verificação da validade estatística e capacidade preditiva destes modelos foi feita por teste F e os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA). Os valores otimizados dos parâmetros independentes foram obtidos pela função de desejabilidade.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Plackett & Burman 12 (PB-12)

Os resultados das variáveis respostas que foram obtidos após a realização dos ensaios do planejamento PB-12 estão expressos na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Planejamento Plackett & Burman com 12 ensaios e 3 repetições no ponto central (C), com os valores reais dos fatores e as respectivas respostas obtidas após a realização dos ensaios.

Ensaio	Fator								Resposta			
	PD	L	M	S	O	Q	T	P	E	Tx (N)	PP (%)	D (g/mL)
1	75	50	25	2,0	20	40	3,0	90	0,99	314,64	19,70	0,75
2	75	60	15	4,0	20	40	2,0	90	0,94	41,50	15,30	0,84
3	25	60	25	2,0	30	40	2,0	70	0,94	25,99	5,63	0,83
4	75	50	25	4,0	20	60	2,0	70	0,96	41,94	5,12	0,79
5	75	60	15	4,0	30	40	3,0	70	0,96	33,06	10,05	0,75
6	75	60	25	2,0	30	60	2,0	90	0,92	29,18	7,74	0,82
7	25	60	25	4,0	20	60	3,0	70	0,93	35,03	9,28	0,83
8	25	50	25	4,0	30	40	3,0	90	0,98	172,54	16,97	0,73
9	25	50	15	4,0	30	60	2,0	90	0,99	49,89	8,34	0,58
10	75	50	15	2,0	30	60	3,0	70	0,96	45,73	8,68	0,64
11	25	60	15	2,0	20	60	3,0	90	0,92	123,59	14,45	0,81
12	25	50	15	2,0	20	40	2,0	70	1,00	32,88	4,20	0,86
13 (C)	50	55	20	3,0	25	50	2,5	80	0,97	46,29	8,22	0,74
14 (C)	50	55	20	3,0	25	50	2,5	80	0,95	53,81	8,44	0,85
15 (C)	50	55	20	3,0	25	50	2,5	80	0,96	61,71	8,47	0,77

Legenda: Fatores: Polvilho doce (PD); Leite (L); Margarina (M); Sal (Sal); Ovo (O); Queijo (Q); Tempo de assamento (T); Potência do forno de micro-ondas (P). Respostas: E (Expansão); Tx (Textura); PP (Perda de peso); D (Densidade).

Fonte: Do autor (2018).

É curioso observar que os valores do índice de expansão são menores ou igual a 1,00. Este não é um resultado esperado, uma vez que valores menores que 1,00 indicam que o pão de queijo após o assamento é menor do que antes de assar. Este fato pode ser explicado pelo método de assamento por irradiação de micro-ondas. Ao observar o comportamento do pão de queijo durante o tempo em que o forno está emitindo micro-ondas sobre o mesmo, percebe-se que ele cresce, porém não tem estrutura para manter sua forma, murchando logo em seguida. As micro-ondas aquecem o alimento a nível molecular, fazendo com que a propagação de calor neste seja de dentro para fora (RAMESH, 2007). Assim, o problema do assamento da superfície externa poderia ser resolvido aumentando-se as variáveis tempo de assamento e/ou potência do forno de micro-ondas. Porém, para níveis maiores destas variáveis os pães de queijo queimaram

por dentro, independente da formulação utilizada. Desta forma, nas condições em que este experimento foi realizado, em nenhum ensaio do planejamento foi possível obter eficiente propagação de calor pelo pão de queijo a ponto do mesmo conseguir manter estrutura estável que o possibilitasse expandir sem queimar por dentro.

Pode-se observar que os três maiores valores de textura foram atingidos nos ensaios que utilizavam os maiores níveis de tempo e de potência, concordando com a discussão acima. Pesquisas que realizaram testes de compressão para aferir a textura de pães de queijo assados em fornos elétricos obtiveram aproximadamente 18 N (PEREIRA, 2001; SILVA et al., 2009). Este valor é bem abaixo dos encontrados neste experimento, que teve a textura variando entre o ensaio 3 (25,99 N) e o ensaio 1 (314,64 N).

Nagata (2011) realizou experimentos para otimizar a formulação de pré-misturas para pão de queijo, e em seu trabalho encontrou valores de textura que variavam entre 18,74 N a 46,23 N. Porém, de acordo com o autor, é desejável que a textura seja a menor possível, pois quanto menor o valor, mais macio será o pão de queijo. Este seu resultado pôde ser comprovado na análise sensorial, em que o pão de queijo com a menor força de compressão teve a maior aceitação no quesito textura, pelo público.

Imediatamente após ser assado em forno de micro-ondas, o pão de queijo apresenta uma textura macia ao toque. Porém, por ter que esperar esfriar para fazer a aferição no texturômetro, a textura do produto mudou ao longo do tempo, ficando cada vez mais duro ao toque. Este pode ser decorrente à retrogradação do amido proveniente dos polvilhos, e pode ser a justificativa para os valores elevados de textura encontrados neste experimento, mas necessita-se de mais estudos para uma explicação deste fato. Bilbao-Sáinz et al. (2007) estudaram a gelatinização do amido de trigo e notaram que o mecanismo de aquecimento influenciava na gelatinização, uma vez que mais energia era necessária para a gelatinização destes grânulos de amido sob irradiação de micro-ondas em comparação com a energia necessária para a gelatinização de amostras aquecidas por condução. Então, uma sugestão para experimentos futuros é estudar a gelatinização e a retrogradação do amido de mandioca por aquecimento utilizando a irradiação de micro-ondas.

Outro motivo para os altos valores de textura encontrados neste experimento pode ser as quantidades de queijo utilizadas nas formulações. Segundo Pereira (1998), teores superiores a 35% de queijo em relação ao polvilho fazem com que o miolo fique mais pesado. Por este motivo, optou-se por diminuir o nível de queijo no DCCR.

Machado e Pereira (2010) estudaram a textura de pães de queijo que foram escaldados e assados em forno elétrico. Uma das formulações de seus tratamentos que mais se aproximou

da formulação utilizada no ensaio 12 (textura de 32,88 N) obteve textura de 16,64 N. Essa diferença de aproximadamente o dobro (proporção de 1,98) entre os valores de textura achados nestes experimentos, evidenciam a distinção nos métodos de assamento utilizados.

A menor perda de peso foi a do ensaio 12, com 4,20% e a maior foi a do ensaio 1 com 19,70%. A perda de peso durante o assamento pode ser um indicativo da quantidade de água que é perdida por evaporação durante esta etapa, já que as outras reações que ocorrem (caramelização, reação de Maillard e gelatinização do amido) não influenciam significativamente na perda de peso (CARDOSO et al., 2016). Pode-se relacionar também a perda de peso com a textura, uma vez que aparentam uma correlação positiva, como observado na Tabela 2.4.

Alguns ingredientes ajudam na retenção da água no pão de queijo, como: polvilhos que possuem amidos que prendem as moléculas de água em suas estruturas (FRAZIER, 2015); ovo que atua como emulsificante e agente ligante (PEREIRA, 1998); óleos e gorduras que no assamento formam uma película na superfície do produto que impede a saída de água (PANIFICAÇÃO..., 2009); sal que, além de prender água por causa da sua alta solubilidade na mesma, fortifica e estabiliza o amido gelatinizado, fazendo com que este retenha mais moléculas e diminua a perda de umidade (PEREIRA, 1998).

Além do impacto dos ingredientes, também se espera que as condições de assamento interfiram na perda de água, uma vez que maiores valores de tempo de assamento e potência do forno de micro-ondas proporcionem mais transferências de calor no pão de queijo, fazendo com que mais água seja evaporada. Isto pode ser evidenciado nos resultados obtidos nos ensaios 1 (maiores níveis de gordura, tempo e potência) e 12 (menores níveis de gordura, sal, ovo, tempo e potência), que apresentaram o maior e a menor perda de peso, respectivamente. Outro ensaio que apresentou alto valor de perda de peso, 16,97%, foi o ensaio 8, o qual também apresentou os maiores níveis de gordura, sal, ovo, tempo e potência. O motivo pelo qual o ensaio 1 apresentou maior perda de peso do que o ensaio 8, mesmo utilizando menores níveis de sal e ovo, pode ser devido à maior quantidade de polvilho doce. Segundo Demiate (2007), pastas de polvilho azedo liberaram mais água (sinérese) que as de polvilho doce.

A densidade dos pães de queijo variou entre 0,58 g/mL (ensaio 9) e 0,86 g/mL (ensaio 12). Valores maiores do que o encontrado por Pereira (2001) em uma formulação completa e congelada.

Para Pereira (2001), um pão de queijo mais leve, com menores valores de densidade, é o desejável para este tipo de produto, que em sua formulação completa e congelada, encontrou densidade de 0,44 g/mL. O autor comprovou que o queijo tem correlação positiva na densidade,

e que o ovo tem correlação negativa. Também afirmou que formulações congeladas apresentam pães de queijo mais densos.

Desta forma, uma possível justificativa para os altos valores de densidade encontrados neste experimento pode ter sido as altas quantidades de queijo utilizado nas formulações. Apesar do ensaio 9, que obteve menor densidade, apresentar maior quantidade de queijo do que o ensaio 12, que obteve maior densidade, este também apresenta maiores quantidades de sal e ovo, além de ter sido assado a uma potência maior. Assar a uma potência maior implica em mais transferências de calor no pão de queijo nesta etapa, o que corresponde a mais evaporação de água, maior perda de peso e conseqüentemente menor densidade (relação entre peso e volume).

Tabela 2.5 - Efeitos e p-valores dos fatores avaliados no delineamento PB-12 para as variáveis respostas.

Fator	Expansão		Textura (N)		Perda de Peso (%)		Densidade (g/mL)	
	Efeito	p-valor	Efeito	p-valor	Efeito	p-valor	Efeito	p-valor
Média	0,958	0,000*	73,852	0,001*	10,038	0,000*	0,772	0,000*
PD (%)	-0,005	0,387	11,023	0,132	1,285	0,004*	-0,008	0,830
L (%)	-0,042	0,010*	-61,547	0,005*	-0,096	0,347	0,093	0,107
M (%)	-0,009	0,162	48,776	0,008*	0,571	0,018*	0,044	0,310
S (%)	0,005	0,382	-33,009	0,018*	0,779	0,010*	-0,032	0,430
O (%)	0,005	0,400	-38,865	0,013*	-1,772	0,002*	-0,087	0,118
Q (%)	-0,019	0,045*	-49,207	0,008*	-3,040	0,001*	-0,049	0,276
T (min)	0,000	0,932	83,868	0,003*	5,468	0,000*	-0,038	0,371
P (%)	-0,002	0,651	86,120	0,003*	6,592	0,000*	-0,029	0,478

Legenda: \*valores estatisticamente significativos a 5% ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Do autor (2018).

A Tabela 2.5 mostra os efeitos dos fatores sob as variáveis respostas avaliados no PB-12. Os fatores significativos estatisticamente a 5% foram: leite e queijo para a resposta expansão; leite, margarina, sal, ovo, queijo, tempo e potência para a resposta textura; polvilho doce, margarina, sal, ovo, queijo, tempo e potência para a resposta perda de peso; nenhum fator para a resposta densidade. Como muitos efeitos foram significativos, optou-se por escolher apenas quatro para o DCCR, pois o delineamento com muitos efeitos seria inviável.

Para a expansão, ambos os efeitos significativos apresentaram correlação negativa com a resposta. Ou seja, quanto menor a quantidade de queijo ou leite utilizada, maior a expansão, e vice-versa.

Para a textura, os efeitos significativos de leite, sal, ovo e queijo apresentaram correlação negativa, ou seja, quanto maior a quantidade de leite, sal, ovo e queijo, menor a resistência à compressão (maior a maciez) do pão de queijo. Margarina, tempo e potência apresentaram

correlação positiva, ou seja, quanto maiores os valores dos níveis destes fatores, maiores valores de textura serão obtidos. Observando o módulo dos valores, os quatro maiores efeitos alcançados foram dos fatores potência, tempo, leite e queijo, respectivamente. Isto implica que essas variáveis são as que desempenham mais impacto para a resposta textura, segundo planejamento PB-12.

Para a perda de peso, dos efeitos significativos, apenas ovo e queijo apresentaram correlação negativa, enquanto o restante apresentou correlação positiva com a resposta. Os quatro maiores efeitos alcançados, em módulo, foram dos fatores potência, tempo, queijo e ovo.

Para a densidade, nenhum dos efeitos se mostraram significativos a um nível de 5% de probabilidade. Ou seja, variar os valores dos fatores nos níveis propostos no delineamento PB-12 não causa nenhuma influência com relevância estatística significativa na resposta densidade. Mesmo não sendo significativo, o fator leite apresentou o maior efeito (positivo) sobre a densidade.

Desta forma, os fatores escolhidos para serem avaliados no DCCR foram leite, queijo, tempo e potência, por serem, na maioria, os que apresentaram maiores efeitos nas respostas.

Esperava-se que a relação entre polvilho doce e polvilho azedo tivesse maior influência no processo, por causa da diferença na expansão que o uso deles pode acarretar no pão de queijo. Porém, o que pode justificar este efeito não ter dado significativo ou ser muito baixo é o fato do assamento por micro-ondas não ter sido eficiente para que o pão de queijo sustentasse sua estrutura ao crescer. O aquecimento de dentro para fora causado pela irradiação nas condições deste experimento não favoreceu o endurecimento da crosta do pão de queijo, que murchou após cessar a incidência de micro-ondas do forno (fato evidenciado pelos resultados igual ou menores que 1 de expansão obtidos).

Sumnu et al. (2007) também observaram que o assamento por micro-ondas provocava problemas na qualidade de pães, como textura densa, miolo duro, baixo volume, falta de cor na superfície e alta perda de umidade. Interações específicas de cada componente da formulação com a energia das micro-ondas, conhecidas como propriedades dielétricas podem ser a causa desses problemas. Essas propriedades variam significativamente durante o aquecimento, especialmente acima de 80°C para proteína e amidos. Estas alterações podem afetar qualitativamente o padrão de aquecimento, enquanto tais fatores não são sérios no processamento térmico convencional (AHMED; RAMASWAMY, 2007).

A água líquida é muito polar e pode absorver facilmente a energia de micro-ondas, então alimentos com alta umidade possuem alta atividade dielétrica o que faz com que receba muito aquecimento gerado pela irradiação. Já componentes alimentares como proteínas, triglicerídeos

e carboidratos possuem baixa atividade dielétrica nas frequências de micro-ondas, recebendo delas pouco aquecimento direto (SAHIN; SUMNU, 2006). Então, sendo o queijo definido como um produto concentrado de proteína e gordura (BEZERRA, 2008), sua composição pode ser a explicação para este ter sido um fator significativo para este trabalho, como o leite. As propriedades dielétricas do leite podem ser afetadas pelos teores de proteína, lactose, gordura e umidade de sua composição.

### 3.2 Delineamento Composto Central Rotacional 2<sup>4</sup> (DCCR 2<sup>4</sup>)

Tabela 2.6 - Planejamento DCCR 2<sup>4</sup>, com os valores reais dos fatores e as respectivas respostas obtidas após a realização dos ensaios.

Fator	Fator				Resposta			
	L (%)	Q (%)	T (min)	P (%)	E	Tx (N)	PP (%)	D (g/mL)
1	50	30	2,5	70	1,00	48,22	9,50	0,77
2	50	30	2,5	90	1,00	139,14	15,20	0,75
3	50	30	3,5	70	1,00	169,55	16,85	0,71
4	50	30	3,5	90	1,06	494,62	24,53	0,59
5	50	50	2,5	70	0,94	47,87	10,01	0,85
6	50	50	2,5	90	0,98	99,67	15,08	0,73
7	50	50	3,5	70	0,94	107,22	17,24	0,67
8	50	50	3,5	90	1,00	480,34	24,37	0,55
9	60	30	2,5	70	0,98	37,04	10,20	0,66
10	60	30	2,5	90	1,01	94,23	15,83	0,70
11	60	30	3,5	70	0,94	147,72	16,33	0,90
12	60	30	3,5	90	1,01	422,17	24,75	0,60
13	60	50	2,5	70	0,96	37,66	10,92	0,67
14	60	50	2,5	90	1,00	59,31	16,94	0,61
15	60	50	3,5	70	0,95	63,39	13,85	0,86
16	60	50	3,5	90	0,97	253,40	19,98	0,73
17	45	40	3	80	1,03	100,10	15,75	0,60
18	65	40	3	80	0,96	78,25	17,15	0,71
19	55	20	3	80	1,02	120,89	16,32	0,65
20	55	60	3	80	0,94	50,50	14,19	0,79
21	55	40	2	80	0,98	45,20	9,49	0,77
22	55	40	4	80	1,04	250,01	22,14	0,43
23	55	40	3	60	0,99	44,88	10,53	0,70
24	55	40	3	100	0,99	442,89	23,47	0,64
25 (C)	55	40	3	80	1,01	126,72	15,31	0,73
26 (C)	55	40	3	80	1,04	104,62	16,39	0,61
27 (C)	55	40	3	80	1,02	127,59	16,78	0,71

Legenda: Fatores: Leite (L); Queijo (Q); Tempo de assamento (T); Potência do forno de micro-ondas (P). Respostas: E (Expansão); Tx (Textura); PP (Perda de peso); D (Densidade).

Fonte: Do autor (2018).



Os resultados das variáveis respostas que foram obtidos após a realização dos ensaios do planejamento DCCR 2<sup>4</sup> estão expressos na Tabela 2.6.

Observa-se que neste delineamento os ensaios 10, 12, 17, 19, 22, 25, 26 e 27 apresentaram expansão maior que 1, variando entre 1,01 e 1,04. Porém ainda são valores pequenos e expressam que estes pães de queijo cresceram apenas de 1 a 4% com relação ao seu tamanho antes de assar. Pereira (2001) obteve valor médio de expansão para pão de queijo feito com formulação completa de 1,39. Ou seja, crescimento de 39% de seu tamanho após a etapa de forneamento.

Os valores de textura continuaram altos, variando de 37,04 N até 494,62 N. Os ensaios 4, 8, 24 e 12 apresentaram os quatro maiores valores de textura, respectivamente, sendo maiores que 400 N. Pode-se observar que estes ensaios obtiveram as menores perdas de peso e densidades menores que os valores encontrados no delineamento PB-12. Uma possível explicação para este ocorrido é que as condições de assamento podem ter levado a maior evaporação de água, fazendo com que o produto ficasse mais duro, porém com menor peso e consequentemente menor densidade.

O ensaio 22 apresentou o menor valor de densidade, de 0,44 g/mL, próximo ao encontrado por Pereira (2001) (0,41 g/mL). Também apresentou a maior expansão e perdeu cerca de 22% de seu peso durante o assamento. Entretanto sua textura foi muito além do valor considerado desejável por Machado e Pereira (2010).

Na Tabela 2.7 encontram-se os valores dos efeitos lineares, quadráticos e das interações de primeira ordem dos fatores sob as respostas avaliados no DCCR 2<sup>4</sup>. Os fatores significativos estatisticamente a 5% foram: os efeitos lineares de queijo e potência para a resposta expansão; os efeitos lineares de leite, queijo, tempo e potência, o efeito quadrático de potência e os efeitos das interações entre leite e tempo, leite e potência, queijo e tempo e tempo e potência para a resposta textura; os efeitos lineares de tempo e potência para a resposta perda de peso; nenhum para a resposta densidade.

Um efeito linear de um fator ser estatisticamente significativo representa uma associação proporcional entre este fator e a resposta, e a superfície de resposta será um plano linear. Da mesma forma, efeitos quadráticos significativos indicam uma curvatura na superfície de resposta, e haverá pontos críticos nas associações dos fatores com as respostas. Efeitos quadráticos positivos indicam que aumentando o nível do fator, a resposta aumenta de forma exponencial (e não mais na mesma proporção que o fator, como seria caso o efeito fosse linear).

Tabela 2.7 - Efeitos lineares (L), quadráticos (Q) e das interações entre os fatores do planejamento DCCR 2<sup>4</sup> para as variáveis resposta.

Fator	E		Tx (N)		PP (%)		D (g/mL)	
	Efeito	p-valor	Efeito	p-valor	Efeito	p-valor	Efeito	p-valor
Média	1,022	0,000*	119,640	0,004*	16,161	0,001*	0,683	0,003*
L (%) (L)	-0,022	0,065	-42,950	0,015*	-0,098	0,784	0,028	0,382
L (%) (Q)	-0,015	0,140	-6,149	0,389	0,217	0,581	0,003	0,929
Q (%) (L)	-0,035	0,027*	-45,384	0,013*	-0,756	0,137	0,022	0,471
Q (%) (Q)	-0,025	0,060	-7,886	0,297	-0,380	0,370	0,035	0,328
T (min) (L)	0,011	0,197	165,406	0,001*	6,623	0,002*	-0,068	0,115
T (min) (Q)	-0,011	0,234	23,067	0,055	-0,100	0,792	-0,026	0,435
P (%) (L)	0,029	0,041*	181,686	0,001*	6,474	0,002*	-0,079	0,089
P (%) (Q)	-0,020	0,089	71,208	0,006*	0,491	0,277	0,011	0,713
Interação LxQ	0,017	0,143	-21,370	0,082	-0,755	0,188	0,006	0,875
Interação LxT	-0,019	0,124	-32,301	0,038*	-1,523	0,058	0,129	0,054
Interação LxP	-0,001	0,950	-37,202	0,029*	0,077	0,860	-0,012	0,739
Interação QxT	-0,005	0,539	-31,950	0,039*	-1,153	0,095	0,004	0,913
Interação QxP	0,000	0,993	-13,881	0,167	-0,383	0,423	-0,005	0,897
Interação TxP	0,014	0,189	117,635	0,003*	0,868	0,152	-0,064	0,175

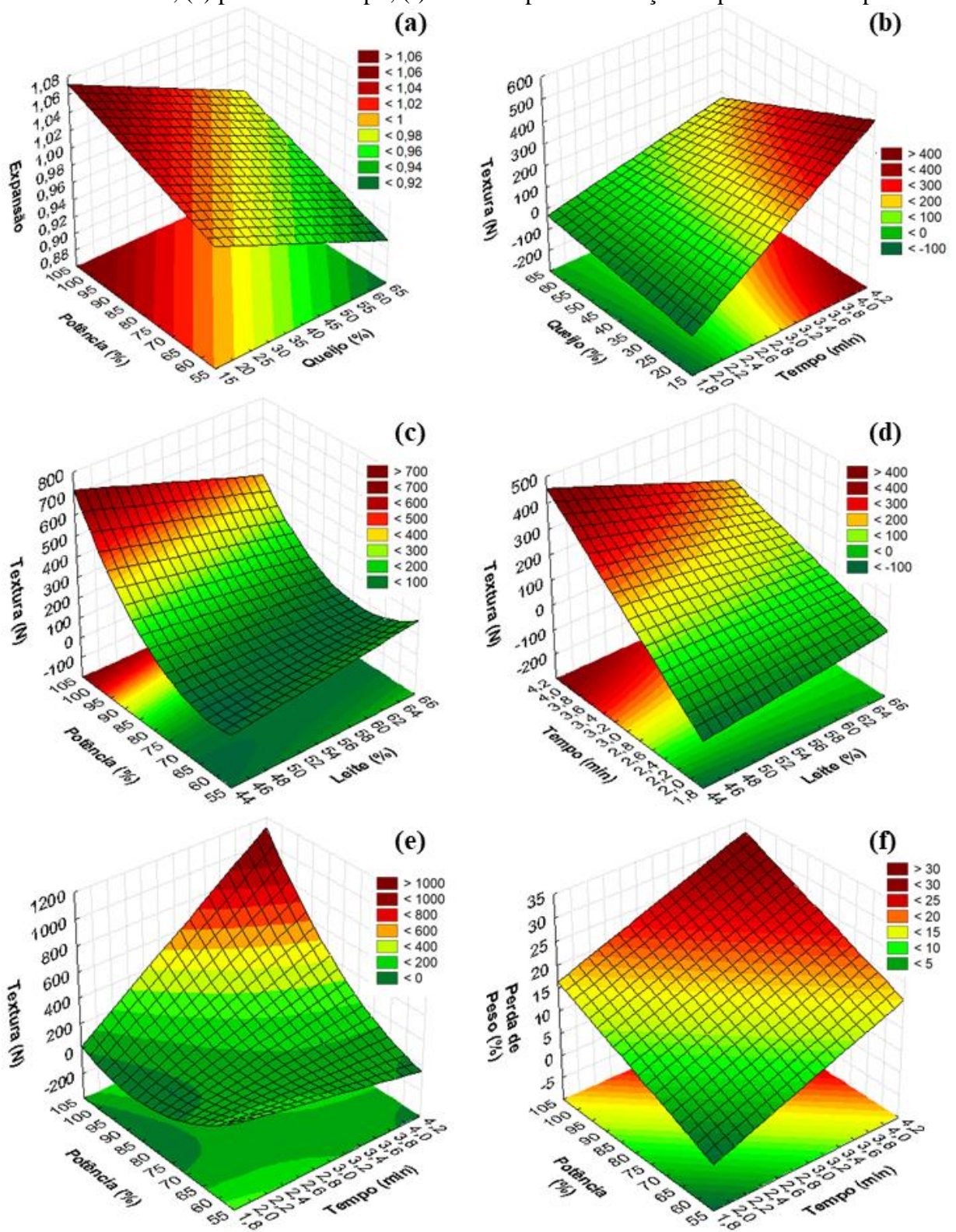
Legenda: Respostas: E (Expansão); Tx (Textura); PP (Perda de peso); D (Densidade). \*valores estatisticamente significativos a um nível de 5% ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Do autor (2018).

Efeitos significativos de interações entre duas variáveis querem dizer que a relação entre um fator e a variável resposta depende do outro fator da interação. Por exemplo, pode-se afirmar que, para o pão de queijo deste experimento, a influência na textura devido a quantidade de leite usada na formulação muda conforme o tempo utilizado para o assamento no forno de micro-ondas.

A Tabela 2.8 mostra o resumo da ANOVA para os modelos preditivos das respostas expansão, textura e perda de peso. A Equação (5) descreve a expansão em função do queijo e potência. Seu coeficiente de determinação  $R^2$  foi de apenas 0,4106, o que significa que 41,06% da expansão consegue ser explicada pelo queijo e pela potência, e 59,94% da variância do modelo depende de outras variáveis. Porém a regressão foi considerada estatisticamente significativa pela ANOVA ( $F_{\text{calculado}} > F_{\text{tabelado}}$ ) e não apresentou falta de ajuste ( $F_{\text{calculado}} < F_{\text{tabelado}}$ ), estando ilustrada na Figura 2.2 (a). Segundo superfície de resposta, para se obter maiores valores de expansão é necessário assar os pães de queijo nas maiores potências e utilizar na formulação menores valores de queijo.

Figura 2.2 - Superfícies de respostas para: (a) Expansão em função da potência e queijo; Textura em função (b) do queijo e tempo; (c) da potência e leite; (d) do tempo e leite; (e) potência e tempo; (f) Perda de peso em função da potência e tempo.



Fonte: Do autor (2018).

Tabela 2.8 - Resumo das análises estatísticas dos modelos preditivos com os efeitos significativos para as variáveis respostas.

Fator	R <sup>2</sup>	Regressão		Falta de Ajuste		Equação
		F <sub>cal</sub>	F <sub>tab</sub>	F <sub>cal</sub>	F <sub>tab</sub>	
E	0,4106	8,358*	3,400	3,666 <sup>ns</sup>	248,535	$E = 0,991 - 0,035Q + 0,029P$ (5)
Tx	0,9344	26,906*	2,494	13,315 <sup>ns</sup>	19,429	$T_x = 124,458 - 42,950L - 45,384Q$ $+ 165,406T + 181,686P +$ $69,402P^2 - 32,301L*T -$ $37,202L*P - 31,950Q*T +$ $117,636T*P$ (6)
PP	0,9324	165,442*	3,400	2,800 <sup>ns</sup>	248,535	$PP = 16,262 + 6,623T + 6,474P$ (7)

Legenda: Fatores Respostas: E (Expansão); Tx (Textura); PP (Perda de peso). Valores F: F<sub>cal</sub> (F calculado); F<sub>tab</sub> (F tabelado). \* valores estatisticamente significativos a um nível de 5% (p<0,05).

<sup>ns</sup> valores estatisticamente não significativos a um nível de 5% (p<0,05).

Fonte: Do autor (2018).

A falta de ajuste não ser significativa estatisticamente implica que os parâmetros do modelo consideram todos os efeitos significativos para a variável resposta em questão. Ou seja, não há indicação de que existam efeitos adicionais além dos avaliados, como, por exemplo, não há interações de ordem superior entre os fatores no design (STATSOFT, 2007).

A Equação (6) descreve a resposta textura em função dos fatores significativos, sendo que esta foi estatisticamente significativa segundo ANOVA, apresentou ajuste e explica 93,44% do processo. Menores valores de textura são desejáveis para o pão de queijo, portanto, de acordo com as interpretações da Figura 2.2 (b), (c), (d) e (e), deve-se utilizar menores quantidades de leite e queijo e assar em forno de micro-ondas ou com maior tempo e menor potência, ou com maior potência e menor tempo.

A resposta perda de peso em função do tempo e potência é descrita pela Equação (7). O modelo se apresentou sem falta de ajuste, significativo e explica 93,24% do processo. Conforme dados obtidos na pesquisa de Pereira (2001), o pão de queijo com formulação completa e massa congelada perde cerca de 12% de umidade durante o assamento em forno elétrico convencional. Desta forma, pela interpretação da Figura 2.2 (f), para estes valores de perda de tempo recomenda-se usar menores potências e maiores tempo, ou maiores potências e menores tempo, ou perto do ponto central.

As condições de otimização do experimento das respostas com modelos significativos foram determinadas pela função desejabilidade. Os valores de desejabilidade igual a 1 (valor mais desejável) foram designados para: maior expansão encontrada (1,064); menor textura encontrada (37,04 N); perda de peso de 12%. Os demais valores de expansão e textura foram

designados com desejabilidade igual a 0 (valor inaceitável) e os valores de perda de peso de 10% e 14% foram designados com desejabilidade igual a 0,5 (valor meio aceitável).

A desejabilidade global foi de 59,9%, ou seja, 59,9% das respostas desejadas foram alcançadas. As condições de otimização para os ingredientes e parâmetros de assamento de pães de queijo em forno de micro-ondas foram: 55% de leite; 40% de queijo; tempo de assamento de 3 minutos; potência de 80% da potência real do forno de micro-ondas.

## 4 CONCLUSÃO

Por meio do planejamento de *Screening Design* Plackett & Burman, é possível detectar que as quantidades de leite e queijo, o tempo de assamento e a potência do forno são os fatores significativos que apresentam maiores efeitos nas respostas expansão, textura e perda de peso dos pães de queijo que foram assados no micro-ondas.

As condições de otimização alcançadas foram: 55% de leite; 40% de queijo; tempo de assamento de 3 minutos; potência de 80% da potência real do forno de micro-ondas.

Os pães de queijo assados no forno de micro-ondas apresentaram valores muito altos de textura e muito baixos de expansão. Pães de queijo com maiores texturas apresentaram menores perdas de peso e menores densidades. As condições de assamento podem ter levado a maior evaporação de água, fazendo com que o produto ficasse mais duro, porém com menor peso e, conseqüentemente, menor densidade. Assar a uma potência maior implica em mais transferências de calor no pão de queijo, o que corresponde a mais evaporação de água, maior perda de peso e conseqüentemente menor densidade (relação entre peso e volume).

Faz-se necessário mais estudos sobre o impacto dos ingredientes e parâmetros de assamento do pão de queijo no forno de micro-ondas, bem como parâmetros que não foram estudados neste projeto, como propriedades físico-químicas e elétricas dos ingredientes e suas interações com as micro-ondas, geometria e posicionamento dos produtos no forno, uso de embalagens e de aditivos.

## REFERÊNCIAS

- AHMED, J.; RAMASWAMY, H. S. Microwave pasteurization and sterilization of foods. In: RAHMAN, M. S. **Handbook of food preservation**. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2007. p. 691-711.
- BEZERRA, J. R. M. V. **Tecnologia da fabricação de derivados do leite**. Guarapuava: Unicentro, 2008. 56 p.
- BILBAO-SÁINZ et al. Wheat starch gelatinization under microwave irradiation and conduction heating. **Carbohydrate Polymers**, v. 69, p. 224-232, 2007.
- CARDOSO, W. S. et al. Avaliação do processo de fermentação e de forneamento para elaboração da tabela nutricional de pães. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 25., 2016, Gramado. **Anais...** Gramado: FAURGS, 2016. Disponível em: <[www.ufrgs.br/sbctars-eventos/xxvcbcta/anais/files/995.pdf](http://www.ufrgs.br/sbctars-eventos/xxvcbcta/anais/files/995.pdf)>. Acesso em: 16 fev. 2018.
- DEMIATE, I. M. et al. Características de qualidade de amostras de polvilho azedo. Parte 2 - Santa Catarina. **Agropecuária Catarinense**, v. 10, n. 4, p. 51-56, 1997.
- FRAZIER, R. A. Química de alimentos. In: CAMPBELL-PLATT, G. (Ed.). **Ciência e tecnologia de alimentos**. Barueri: Editora Manole, 2015. Cap. 2. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=sdqcCwAAQBAJ&dq>>. Acesso em: 17 fev. 2018.
- GONÇALVES, J. J. Aplicação de gordura vegetal em pão de queijo. In: PIZZINATTO, A.; ORMENESE, R. de C. S. C. **Seminário pão de queijo: ingredientes, formulação e processo**. Campinas: ITAL/CEREAL CHOCOTEC, 2000. p. 43-57.
- MACHADO, A. V.; PEREIRA, J. Perfil reológico de textura da massa e do pão de queijo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 4, p. 1009-1014, jul./ago., 2010.
- MINIM, V. D. R. et al. Perfil sensorial e aceitabilidade de diferentes formulações de pão de queijo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 154-159, maio/ago. 2000.
- NAGATA, C. L. P. **Otimização de uma pré-mistura para pão de queijo**. 2011. 146 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.
- PANIFICAÇÃO - Os ingredientes enriquecedores. **Food Ingredients Brasil**, n. 10, p. 22-27, 2009.
- PEREIRA, A. J. G. **Fatores que afetam a qualidade do pão de queijo**. Belo Horizonte: CETEC, 1998. 52p.
- PEREIRA, J. **Caracterização química, física, estrutural e sensorial do pão de queijo**. 2001. 222 p. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

PEREIRA, J. et al. Função dos ingredientes na consistência da massa e nas características do pão de queijo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 4, p. 494-500, out.-dez. 2004.

PIZZINATTO, A. Processo de fabricação do pão de queijo. In: PIZZINATTO, A.; ORMENESE, R. de C. S. C. **Seminário pão de queijo: ingredientes, formulação e processo**. Campinas: ITAL/CEREAL CHOCOTEC, 2000. p. 87-101.

PLACKETT, R. L.; BURMAN, J. P. The design of optimum multifactorial experiments. **Biometrika Trust**, Oxford, v. 33, n. 4, p. 305-325, Jun., 1946.

RAMESH, M. N. Cooking and Frying of Foods. In: RAHMAN, M. S. **Handbook of food preservation**. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2007. p. 625-634.

SAHIN, S.; SUMNU, S. G. **Physical properties of foods**. Ankara, Turkey: Springer, 2006. 257 p.

SILVA, M. R. GARCIA, G. K. de S.; FERREIRA, H. de F. Caracterização química, física e avaliação da aceitação de pão de queijo com baixo teor energético. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 14, n. 1, p. 69-75, 2003.

SILVA, R. P. G. et al. Efeito do congelamento nas características físicas e químicas do pão de queijo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 33, n. 1, jan./fev. 2009.

SOUZA, G. B. de et al. **Teor de matéria seca em amostras de plantas: determinação com forno de microondas doméstico**. São Carlos: Embrapa, 2007. 6 p.

STABLE MICRO SYSTEMS. **Exponent Lite Express**. Version 4. Texture Analysis. Godalming: Stable Micro Systems, 2017. Disponível em: <<https://www.stablemicrosystems.com/SoftwareUpdateExponentLiteExpress.html>>.

STATSOFT. **Statistica**. Version 8.0. Data analysis software system. Tulsa: StatSoft, 2007. Disponível em: <[www.statsoft.com/Products/STATISTICA-Features](http://www.statsoft.com/Products/STATISTICA-Features)>.

SUMNU, G. et al. Transport and related properties of breads baked using various heating modes. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n.4, p.1382–1387, 2007.

VADIVAMBAL, R.; JAYAS, D. S. Non-uniform Temperature Distribution During Microwave Heating of Food Materials - A Review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 3, n. 2, p. 161-171, 2010.



**CAPÍTULO 3**  
**MAPEAMENTO DA INCIDÊNCIA DE RADIAÇÃO DO FORNO DE MICRO-  
ONDAS PELA TEXTURA DE PÃES DE QUEIJO**

## RESUMO

O aquecimento de alimentos em fornos de micro-ondas é rápido, mas não uniforme. A posição dentro do forno, bem como a composição são fatores que tem efeito muito significativo nas distribuições de temperatura nos alimentos durante o aquecimento. Para compreender a distribuição de temperatura no forno de micro-ondas em pães de queijo, é necessário ter uma melhor compreensão, além do funcionamento do forno, da interação das micro-ondas com o alimento. Assim, o objetivo deste trabalho foi o mapeamento da incidência de radiação no forno doméstico de micro-ondas pela textura de pães de queijo, em função da sua formulação e localização durante o assamento. O experimento consistiu em dois tratamentos, posição no prato do forno de micro-ondas (nove níveis) e formulação (três níveis), em triplicata. As três formulações utilizadas foram: controle; com mais quantidade de leite; com mais quantidade de queijo. A variável resposta avaliada foi a textura que foi aferida por texturômetro em três repetições para cada medida. Os resultados foram avaliados por análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ambos a 95% de confiança. A distribuição de micro-ondas não foi uniforme nas formulações controle e com maior quantidade de leite. No entanto, apresentou uniformidade quando a quantidade de queijo foi aumentada. Pôde-se concluir que a incidência de radiação no forno de micro-ondas doméstico durante o assamento de pães de queijo é função da sua formulação e da localização durante o assamento.

**Palavras-chave:** Localização. Posição. Prato do forno de micro-ondas. Formulação. Panificação.

## ABSTRACT

The heating of food in microwave ovens is fast but not uniform. The position within the oven as well as the composition are factors that have very significant effect on the temperature distributions in food during the heating. To understand the temperature distribution in the microwave oven in cheese breads, it is necessary to have a better understanding, besides the operation of the oven, of the interaction of the microwaves with the food. Thus, the objective of this work was the mapping of the radiation incidence in the microwave oven by the texture of cheese breads, as a function of its formulation and location during the baking. The experiment consisted of two treatments, position in the turntable of the microwave oven (nine levels) and formulation (three levels) in triplicate. The three formulations used were: control; with more quantity of milk; with more quantity of cheese. The variable response evaluated was the texture that was measured by a texturometer in three replicates for each measurement. The results were evaluated by analysis of variance and the means were compared by the Tukey test, both at the 95% confidence level. The microwave distribution was not uniform in the control formulations and with a higher amount of milk. However, it showed uniformity when the amount of cheese was increased. It could be concluded that the radiation incidence in the domestic microwave oven during the baking of cheese breads is a function of its formulation and the location during the baking.

**Keywords:** Location. Position. Turntable of the microwave oven. Formulation. Bakery.

## 1 INTRODUÇÃO

Os hábitos alimentares têm sido um componente muito importante da sociedade humana. Mudanças de tendências e estilos de vida exigem atributos mais específicos, como, por exemplo, conveniência na preparação e no consumo de alimentos. Gosto, nutrição e conveniência são as forças motrizes no mercado atual. Há também uma grande ênfase na preparação de refeições simples em casa, especialmente com o assamento utilizando forno de micro-ondas (RAHMAN, 2007).

Micro-ondas (MO) são ondas eletromagnéticas que estão dentro de uma banda de frequência de 300 MHz a 300 GHz, entre ondas de rádio e radiação infravermelha. O aquecimento por MO refere-se ao aquecimento dielétrico, onde energia é transmitida como ondas que penetram no alimento, sendo absorvidas e convertidas em calor (AHMED.; RAMASWAMY, 2007; FELLOWS, 2000).

O aquecimento por MO é um método direto, onde o calor é gerado dentro do produto. Nele, a energia dielétrica induz o atrito molecular em moléculas de água para produzir calor (FELLOWS, 2000). Este aquecimento é usado em muitos processos, como reaquecimento, pré-cozimento, têmpera, assamento, secagem, pasteurização e esterilização na indústria e no uso doméstico (RAMESH, 2007; SAHIN; SUMNU, 2006). Comparado com o cozimento convencional, os fornos que usam esta tecnologia são fáceis de operar e requerem menos manutenção (VADIVAMBAL; JAYAS, 2010).

Porém, para determinados tipos de alimentos, o aquecimento por micro-ondas é rápido, mas não uniforme. A melhoria nesse quesito tem sido um verdadeiro desafio para cientistas de desenvolvimento de produtos alimentícios e para projetistas de fornos de micro-ondas. Diferentes designs desses equipamentos podem levar a melhores processos, onde é possível aquecer um alimento de forma mais homogênea com o uso dessa radiação. Projetos eficientes de engenharia requerem conhecer e entender as propriedades que têm efeito muito significativo na absorção de energia por micro-ondas, bem como as distribuições de temperatura nos alimentos durante o aquecimento (AHMED; RAMASWAMY, 2007; PITCHAI et al., 2010). Para Ahmed e Ramaswamy (2007), o posicionamento do alimento dentro do forno é uma dessas propriedades, uma vez que lugares específicos podem receber diferentes intensidade de irradiação, fazendo com que a distribuição de temperatura varie. De acordo com Ryyänänen (2002), a composição do alimento também é um desses fatores, pois para melhorar o design do forno é necessário conhecer o produto a ser manipulado e sua interação com as micro-ondas.

Uma possível aplicação do aquecimento por micro-ondas é em produtos da indústria de panificação. O pão de queijo, por exemplo, é um produto panificável tradicionalmente mineiro que é amplamente comercializado e consumido em todo o Brasil. É uma fonte reconhecida de carboidratos e também um produto de panificação isento de glúten, podendo ser consumido como alimento alternativo para pacientes alérgicos e intolerantes às proteínas do trigo (PEREIRA et al, 2004).

Para compreender a distribuição de temperatura no forno de micro-ondas em pães de queijo, é necessário ter uma melhor compreensão, além do funcionamento deste forno, da interação das micro-ondas com este alimento. Assim, o objetivo deste trabalho foi o mapeamento da incidência de radiação no forno doméstico de micro-ondas pela textura de pães de queijo, em função da sua formulação e localização no forno durante o assamento.

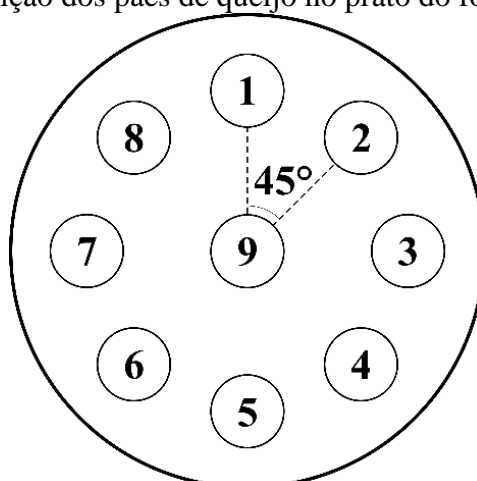
## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Matérias-primas e obtenção dos pães de queijo

Para a realização do experimento, utilizou-se matérias-primas de mesmo lote obtidas do comércio local. Todas as análises e ensaios foram realizados em laboratórios do Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras.

O experimento consistiu em comparar a textura do pão de queijo em função da posição no prato do forno de micro-ondas (PFMO) durante o assamento e em função da sua composição. Foram testadas nove posições no PFMO (conforme Figura 3.1) e três tipos de formulações: controle; com mais leite; com mais queijo.

Figura 3.1 - Disposição dos pães de queijo no prato do forno de micro-ondas.



Fonte: Do autor (2018).

A formulação controle utilizada para a obtenção dos pães de queijo, com base na quantidade total de polvilhos (doce + azedo), foi de: 50% de polvilho doce; 50% de polvilho azedo; 55% de leite integral UHT; 20% de margarina com 80% de lipídios; 3% de sal refinado e iodado; 25% de ovo in natura; 40% de queijo canastra meia cura. O tratamento com pães de queijo com mais queijo utilizou 60% de queijo e o tratamento com mais leite utilizou 65% de leite, sendo mantidas as quantidades dos demais ingredientes iguais às do controle. As medidas de todos os ingredientes foram aferidas em balança de precisão com resolução de 0,01 g (BEL ENGINEERING, modelo MARK 4100).

Em uma tigela, homogeneizou-se os polvilhos doce e azedo que foram esquentados pela mistura fervente de leite, margarina e sal, misturando-se para homogeneizar e esfriar a massa. Posteriormente foram adicionados o ovo e queijo sequencialmente, misturando-se até a total

dispersão dos ingredientes. Após a etapa de mistura, usou-se um molde cilíndrico (diâmetro de 2,8 cm e altura de 2,4 cm) para a obtenção das massas de pão de queijo moldadas, que foram embaladas em bandeja de isopor (23,5 cm x 18 cm x 3,3 cm) coberta por filme plástico PVC e congeladas a  $-18^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ) por 24 h em freezer horizontal antes do assamento. Passadas as 24h, as massas moldadas e congeladas foram assadas em forno de micro-ondas, marca LG modelo MS3047G de 1000 W de potência, por 3 minutos na potência de 80% (potência real de 488 W, segundo metodologia descrita por Souza et al. (2007)).

## 2.2 Textura

A textura do pão de queijo foi mensurada por análise de resistência à força de compressão pelo equipamento analisador de textura (STABLE MICRO SYSTEMS, modelo TA.XT2). Todos os ensaios foram realizados em triplicata e após os pães de queijo esfriarem (temperatura de aproximadamente  $25^{\circ}\text{C}$ ), sendo que a primeira medição foi feita 20 min depois do assamento. A probe P/75 foi utilizada nos testes, configurados com os parâmetros: velocidades do teste e pré-teste de 2,0 mm/s; velocidade do pós-teste de 10,0 mm/s; distância de compressão de 50,0 % da deformação. O software utilizado para a obtenção dos resultados foi o *Exponent Lite Express* (STABLE MICRO SYSTEMS, 2017).

## 2.3 Análises estatísticas

Realizou-se análise de variância da textura em função dos tratamentos posição no prato do micro-ondas (nove níveis) e composição do pão de queijo (três níveis), para testar se havia diferença significativa entre as medições e interação entre os tratamentos. Usou-se teste de Tukey para a comparação das médias. As análises foram realizadas a 95% de confiança e efetuadas no software STATISTICA 8.0 (STATSOFT, 2007).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pode-se utilizar a avaliação da textura na indústria alimentícia para controlar o processo de fabricação de um produto, especialmente quando se tem mudanças de equipamentos em sua produção (FANI, 2012). É possível relacioná-la com as condições de assamento, pois, de acordo com Gava (1984), a duração do aquecimento e temperatura atingida pelo alimento é um fator que se utilizado em excesso prejudica as características de textura (dureza, maciez e suculência) do produto. Desta forma, o atributo de textura foi utilizado para avaliar o método de assamento de pães de queijo no forno doméstico de micro-ondas.

Para a avaliação a homogeneidade da incidência de micro-ondas no forno de micro-ondas, variou-se a localização do pão de queijo no PFMO em nove posições diferentes, e a composição do produto, aumentando-se as quantidades de queijo e leite da formulação controle.

A Tabela 3.1 mostra o resultado da ANOVA. Os p-valores indicam que houve diferenças entre a textura dos pães de queijo que foram assados em diferentes posições do PFMO e com composições diferentes (controle, com mais leite e com mais queijo), e que houve interação entre os tratamentos. Estas diferenças indicam que não houve uniformidade na distribuição de radiação na cavidade do forno e no modo que ela interagiu com o pão de queijo, de modo que sua composição e localização influenciaram na absorção dessas micro-ondas.

Tabela 3.1 - Análise de variância da textura do pão de queijo em função da posição no PFMO e da composição e da interação entre os tratamentos.

Fonte	GL	SQ	QM	F	p-valor
<b>Formulação</b>	2	679703218,84	339851609,42	33,7470	0,000000*
<b>Posição no PFMO</b>	8	2108802616,31	263600327,04	26,1753	0,000000*
<b>Formulação*Posição</b>	16	626559517,36	39159969,83	3,8885	0,000088*
<b>Resíduo (Erro)</b>	54	543811702,63	10070587,09		
<b>Total</b>	80	3958877055,13			

Legenda: PFMO: prato do forno de micro-ondas; GL: grau de liberdade; SQ: soma de quadrado; QM: quadrado médio; \*valor estatisticamente significativo a um nível de 5% ( $p < 0,05$ ).

Fonte: Do autor (2018).

Componentes alimentares como proteínas e triglicerídeos apresentam baixas atividades dielétricas. Já água livre, monossacarídeos e íons interferem significativamente nas propriedades dielétricas, pois a polaridade faz com que o componente possa facilmente absorver a energia das micro-ondas (SAHIN; SUMNU, 2006). Desta forma, mudar a quantidade de alimentos como queijo e leite na formulação do pão de queijo pode interferir na sua interação com a radiação, uma vez que, de acordo com Bezerra (2008), queijo é um produto concentrado



de proteína e gordura e leite é composto de água, proteínas, açúcares, sais minerais, gorduras e vitaminas.

Aplicou-se o teste de Tukey para comparar as médias dos tratamentos, cujo resultado está expresso na Tabela 3.2. Os resultados demonstraram, a 5% de probabilidade, que, nas formulações controle e com mais leite, a 9 é a posição entre as nove analisadas nesta pesquisa que recebe a maior incidência de micro-ondas. Adicionar mais leite faz com que haja menor interação da radiação com o pão de queijo na posição 9. Porém, ao se adicionar mais queijo na formulação, pode-se afirmar com 95% de certeza que há uniformidade na distribuição da radiação no forno. Estas alterações provenientes do tratamento formulação podem ser explicadas pelas propriedades dielétricas dos pães de queijo que mudam de acordo com a composição do alimento, sendo estas também funções da localização no forno de micro-ondas.

Tabela 3.2 - Valores médios\* das texturas  $\pm$  desvio padrão, em N, dos pães de queijo em função dos tratamentos controle, formulação com mais leite e formulação com mais queijo.

Posição no PFMO	Formulação		
	C (N)	ML (N)	MQ (N)
1	8069,31 $\pm$ 2101,80 <sup>A</sup>	5372,58 $\pm$ 1381,40 <sup>A</sup>	4171,47 $\pm$ 168,97 <sup>A</sup>
2	8099,50 $\pm$ 1874,04 <sup>A</sup>	5600,34 $\pm$ 943,99 <sup>A</sup>	4427,18 $\pm$ 1244,24 <sup>A</sup>
3	7993,60 $\pm$ 1947,87 <sup>A</sup>	7124,13 $\pm$ 2347,30 <sup>A</sup>	4686,57 $\pm$ 446,69 <sup>A</sup>
4	8421,75 $\pm$ 1898,83 <sup>A</sup>	5467,17 $\pm$ 267,51 <sup>A</sup>	4735,69 $\pm$ 695,41 <sup>A</sup>
5	9940,53 $\pm$ 3105,38 <sup>A</sup>	6528,26 $\pm$ 1102,79 <sup>A</sup>	4099,99 $\pm$ 1010,09 <sup>A</sup>
6	13274,35 $\pm$ 5748,93 <sup>AB</sup>	7543,64 $\pm$ 2015,24 <sup>A</sup>	4892,37 $\pm$ 279,97 <sup>A</sup>
7	8791,74 $\pm$ 3260,32 <sup>A</sup>	6014,05 $\pm$ 1361,17 <sup>A</sup>	4872,42 $\pm$ 964,38 <sup>A</sup>
8	8972,14 $\pm$ 1289,26 <sup>A</sup>	6815,96 $\pm$ 1406,18 <sup>A</sup>	3875,99 $\pm$ 807,54 <sup>A</sup>
9	36236,28 $\pm$ 9979,90 <sup>C</sup>	21343,18 $\pm$ 8802,73 <sup>B</sup>	10587,66 $\pm$ 1440,75 <sup>A</sup>

Legenda: \*média de 3 repetições. PFMO: prato do forno de micro-ondas; C: controle; ML: mais leite; MQ: mais queijo. Letras iguais indicam que não há diferença significativa entre as amostras ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste Tukey.

Fonte: Do autor (2018).

A falta de uniformidade na distribuição da radiação observada pela posição do pão de queijo no PFMO ocorre por causa da existência de pontos frios (interferência destrutiva entre as ondas) e pontos quentes (interferência construtiva) em lugares específicos do forno durante o funcionamento, pois a incidência de micro-ondas tem um padrão estacionário e esses pontos são gerados pela reflexão e absorção da radiação pelas paredes do forno (ANNIS, 1980; CURNUTTE, 1980). O prato é giratório para evitar estes pontos, levando a uma média entre os efeitos de alta e baixa intensidade de incidência de radiação no alimento. Porém, ainda é possível que este alimento seja exposto a padrões de campo fortemente localizados, como por

exemplo no centro do prato, como foi observado na posição 9 para os níveis controle e mais leite do tratamento formulação.

## 4 CONCLUSÃO

Pode-se concluir que a incidência de radiação no forno de micro-ondas doméstico durante o assamento de pães de queijo é função da sua formulação e da localização durante o assamento.

Há diferenças entre a textura dos pães de queijo assados em diferentes posições do prato do forno de micro-ondas e com composições diferentes e há interação entre estes fatores. Estas diferenças indicam que não há uniformidade na distribuição de radiação na cavidade do forno e na maneira que ela interage com o pão de queijo, de modo que sua composição e localização influenciam na absorção das micro-ondas.

Mudar a quantidade de ingredientes, como o queijo e o leite, na formulação do pão de queijo pode interferir na sua interação com a radiação de micro-ondas. Nas formulações controle e com mais leite, a posição central (posição 9) do prato do forno de micro-ondas que recebe a maior incidência de micro-ondas. Adicionar mais leite na formulação controle diminui a interação da radiação com o pão de queijo nesta localização. Porém, ao se adicionar mais queijo na formulação controle, a posição central recebe radiação de maneira uniforme às outras posições.

## REFERÊNCIAS

- AHMED, J.; RAMASWAMY, H. S. Microwave pasteurization and sterilization of foods. In: RAHMAN, M. S. **Handbook of food preservation**. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2007. p. 691-711.
- ANNIS, P. J. Design and use of domestic microwave ovens. **Journal of Food Protection**, v. 43, n. 8, p. 629-632, Aug. 1980.
- BEZERRA, J. R. M. V. **Tecnologia da fabricação de derivados do leite**. Guarapuava: Unicentro, 2008. 56 p.
- CARDOSO, W. S. et al. Avaliação do processo de fermentação e de forneamento para elaboração da tabela nutricional de pães. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 25., 2016, Gramado. **Anais...** Gramado: FAURGS, 2016. Disponível em: <[www.ufrgs.br/sbctars-eventos/xxvcbcta/anais/files/995.pdf](http://www.ufrgs.br/sbctars-eventos/xxvcbcta/anais/files/995.pdf)>. Acesso em: 16 fev. 2018.
- CURNUTTE, B. Principles of microwave radiation. **Journal of Food Protection**, v. 43, n. 8, p. 618-624, Aug. 1980.
- FANI, M. Agentes de textura: importância no desenvolvimento dos alimentos. **Aditivos & Ingredientes**, v. 92, p. 24-30, set. 2012.
- FELLOWS, P. **Food processing technology: Principles and practice**. 2. ed. New York: CRC Press, 2000. 575 p.
- GAVA, A. J. **Princípios da tecnologia de alimentos**. São Paulo: Nobel, 1984. 242 p.
- PEREIRA, J. et al. Função dos ingredientes na consistência da massa e nas características do pão de queijo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 4, p. 494-500, out.-dez. 2004.
- PITCHAI, K. et al. Heating performance assessment of domestic microwave ovens. In: INTERNATIONAL MICROWAVE POWER INSTITUTE'S ANNUAL SYMPOSIUM, 44, 2010, Denver. **Anais...** Lincoln: University of Nebraska, 2010. Disponível em: <[digitalcommons.unl.edu/biosysengpres/55/](http://digitalcommons.unl.edu/biosysengpres/55/)>. Acesso em: 27 maio 2018.
- RAHMAN, M. S. Food Preservation: Overview. In: RAHMAN, M. S. **Handbook of food preservation**. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2007. p. 3-17.
- RAMESH, M. N. Cooking and Frying of Foods. In: RAHMAN, M. S. **Handbook of food preservation**. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2007. p. 625-634.
- RYYNÄNEN, S. **Microwave heating uniformity of multicomponent prepared foods**. 2002. 86 p. Dissertação (Mestrado em Food Technology) - University of Helsinki, Helsinki, 2002.

SAHIN, S.; SUMNU, S. G. **Physical properties of foods**. Ankara, Turkey: Springer, 2006. 257 p.

SOUZA, G. B. de et al. **Teor de matéria seca em amostras de plantas: determinação com forno de microondas doméstico**. São Carlos: Embrapa, 2007. 6 p.

STABLE MICRO SYSTEMS. **Exponent Lite Express**. Version 4. Texture Analysis. Godalming: Stable Micro Systems, 2017. Disponível em:  
<<https://www.stablemicrosystems.com/SoftwareUpdateExponentLiteExpress.html>>.

STATSOFT. **Statistica**. Version 8.0. Data analysis software system. Tulsa: StatSoft, 2007. Disponível em: <[www.statsoft.com/Products/STATISTICA-Features](http://www.statsoft.com/Products/STATISTICA-Features)>.

VADIVAMBAL, R.; JAYAS, D. S. Non-uniform Temperature Distribution During Microwave Heating of Food Materials - A Review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 3, n. 2, p. 161-171, 2010.