



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DE RECIFE**

JOÃO CARLOS GUIMARÃES PINTO

**PROPOSTA DE USO DE PLANEJAMENTO FATORIAL PARA REDUZIR A
GERAÇÃO DE DESCARTE DE FORNO EM UMA LINHA DE BISCOITO DO TIPO
*WAFER***

**RECIFE
2024**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DE RECIFE
ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

JOÃO CARLOS GUIMARÃES PINTO

**PROPOSTA DE USO DE PLANEJAMENTO FATORIAL PARA REDUZIR A
GERAÇÃO DE DESCARTE DE FORNO EM UMA LINHA DE BISCOITO DO TIPO
*WAFER***

TCC apresentado ao Curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico de Recife, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos TCC.

Orientadora: Andreлина Maria Pinheiro Santos

RECIFE

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Pinto, João Carlos Guimarães.

Proposta de uso de planejamento fatorial para reduzir a geração de descarte de forno em uma linha de biscoito do tipo wafer / João Carlos Guimarães Pinto. - Recife, 2024.

42 p. : il., tab.

Orientador(a): Andrelina Maria Pinheiro Santos

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia de Alimentos - Bacharelado, 2024.

Inclui referências.

1. Planejamento fatorial. 2. Pelotas. 3. Biscoito wafer. 4. Otimização. I. Santos, Andrelina Maria Pinheiro. (Orientação). II. Título.

680 CDD (22.ed.)

JOÃO CARLOS GUIMARÃES PINTO

PROPOSTA DE USO DE PLANEJAMENTO FATORIAL PARA REDUZIR A GERAÇÃO DE PELOTAS EM UMA LINHA DE BISCOITO DO TIPO *WAFER*

TCC apresentado ao Curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico de Recife, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimento

Aprovado em: 25/03/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof^o. Dra. Andreлина Maria Pinheiro Santos (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco



Documento assinado digitalmente
MERCIA AURELIA GONCALVES LEITE
Data: 17/03/2025 10:08:38-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^o. Dra. Mércia Aurélia Gonçalves Leite (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco



Documento assinado digitalmente
SAMARA ALVACHIAN CARDOSO ANDRADE
Data: 03/04/2025 22:07:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^o. Dra. Samara Alvachian C. Andrade (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico esse estudo aos trabalhadores que ajudaram no projeto. Vocês me inspiram a ser um excelente profissional e na busca da excelência.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à minha mãe e ao meu pai. O amor e apoio foram pilares que me sustentaram durante minha vida e jornada acadêmica. À minha irmã e ao meu irmão, tias e tios e sobrinhos, obrigado por sempre acreditar em mim e oferecer palavras de incentivo. Vocês me inspiram a ser uma pessoa melhor. A toda minha família por sempre estar ao meu lado e por me encorajar.

À Stela Nascimento, meu coração transborda de gratidão. Sua paciência, compreensão e apoio incondicional foram essenciais para o sucesso deste projeto. Sou grato por tudo que faz por mim e espero sempre retribuir da mesma forma.

Aos meus amigos de infância Arthur, Caio, Daniel, Henrique, Irio, Leonardo, Lucas, Matheus, Pedro e Piero. A presença de todos sempre foram uma fonte constante de conhecimento e felicidade. A amizade que construímos desde os tempos mais puros da nossa infância cresceu e se fortificou, tornando-se um alicerce sólido em minha vida.

Aos amigos Venâncio, Amanda, Lignalva, Almir e Gabriel, meu muito obrigado. Suas risadas, conselhos, companhia e conhecimentos tornaram esta jornada acadêmica mais leve e prazerosa.

Agradeço também a Angela, Lauro e Kelson pela oportunidade e ensinamentos no trabalho. Sua confiança em minhas habilidades foi um impulso fundamental para meu desenvolvimento profissional.

Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para este trabalho. Esta conquista é resultado do apoio, amor e amizade que recebi ao longo do tempo. Que este seja apenas o início de muitos outros momentos compartilhados juntos.

Por fim, gostaria de estender meus agradecimentos à respeitada Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e aos dedicados professores que moldaram meu percurso acadêmico, compartilhando seus conhecimentos e experiências, moldando minha visão e habilidades. Suas aulas, orientações e feedbacks foram fundamentais para a minha formação e para a qualidade deste trabalho.

RESUMO

O objetivo do projeto foi apresentar uma proposta de utilização do planejamento fatorial para reduzir a quantidade de resíduos na produção de *wafer*, gerados pelo forno, conhecidos como "pelotas". Essa abordagem visa otimizar o uso de matéria-prima, aumentar a produtividade e reduzir o desperdício. Busca-se, a partir da relação entre a viscosidade da preparação da massa e a quantidade gerada desse descarte, oportunidades em reduzir desperdício de matérias-primas e pelotas. A redução dessa perda é essencial para a eficiência econômica e ambiental da indústria, enfatizando a necessidade de uma abordagem estratégica. O estudo visa otimizar o processo industrial de biscoitos *wafer*, caracterizado por processos complexos e alto consumo de recursos, tornando necessárias abordagens focadas na redução de desperdícios. O planejamento fatorial será utilizado para identificar os fatores importantes que influenciam na geração de descartes do forno.

Palavras-chave: planejamento fatorial; pelotas; biscoito *wafer*; otimização.

ABSTRACT

The project objective was to present a proposal for factorial planning to reduce the amount of waste in wafer production, generated by the oven, known as “pellets”. This approach aims to optimize the use of raw materials, increase productivity, and reduce waste. Based on the relationship between the viscosity of the dough preparation and the quantity generated from disposal, opportunities to reduce waste of raw materials and pellets. Reducing this loss is essential for the economic and environmental efficiency of the industry, emphasizing the need for a strategic approach. The study aims to optimize the wafer biscuit industrial process, characterized by complex processes and high resource consumption, making approaches focused on reducing waste necessary. The Factorial planning is going to be used to identify the major factors that influence the generation of furnace waste.

Keywords: factorial planning; pellets; wafer biscuit; optimization.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Biscoitos wafers de casquinha com coloração clara (sem corante, à esquerda) e escuro (com corante, à direita).....	20
Figura 2: Viscosímetro de copo Ford	22
Figura 3: Viscosímetro de Ostwald.....	23
Figura 4: Viscosímetro de Hoppler	23
Figura 5: Fluxograma reduzido para formação de biscoito wafer.....	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Matriz do planejamento Plackett-Burman (12) para massa clara.....	35
Tabela 2 - Matriz Plackett-Burman (12) para massa escura	36

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	14
2.1 Objetivos Específicos	14
3. REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1 Biscoito <i>Wafer</i>	15
3.2 Cenário econômico	15
3.3 Características de fabricação do biscoito <i>wafer</i>	16
3.3.1 <i>Insumos</i>	16
3.3.2 <i>Controle de processo</i>	20
3.4 Viscosidade	21
3.4.1 <i>Viscosímetro de orifício</i>	22
3.4.2 <i>Viscosímetro de tubo capilar</i>	22
3.4.3 <i>Viscosímetro de queda de esfera</i>	23
3.5 Gestão da Qualidade	24
3.5.1 <i>Ferramentas da qualidade</i>	24
3.5.2 <i>Perda de Qualidade</i>	25
3.6 Planejamento Experimental	26
3.6.1 <i>Mapeamento de variáveis e relação de dependência e independência</i>	28
3.6.2 <i>Planejamento Composto Central Rotacional</i>	29
3.6.3 <i>Planejamento Experimental Fracionário</i>	29
3.6.4 <i>Planejamento Plackett-Burman</i>	30
4. METODOLOGIA	32
4.1 Fluxograma de produção	32
4.2 Descarte do forno	34
4.3 Planejamento experimental para massa clara e massa escura	35
4.4 Proposta de Execução	37
4.5 Compilação de dados e verificação	38
4.6 Validação do experimento	38
REFERÊNCIAS	39

1. INTRODUÇÃO

A redução dos resíduos produzidos pela indústria é um componente de extrema importância no contexto dos problemas ambientais e sustentáveis atuais (Leite, 2005). As perdas de embalagem, de reprocesso e descarte gerados no processo industrial são exemplos de potenciais resíduos. Caso não sejam tratados adequadamente, esses resíduos são altamente tóxicos e colocam em risco a saúde humana e os ecossistemas naturais. Além disso, o consumo de recursos naturais, como energia e água, contribui para a degradação ambiental como resultado da produção desses resíduos (Santos, 2022).

À vista disso, por vários motivos, a redução dos resíduos gerados na indústria é crucial. Em primeiro lugar, a redução desses resíduos ajuda a preservar o meio ambiente, evitando que o solo, a água e o ar sejam contaminados. Aliado a isso, reduzir os resíduos provoca aumento da eficiência do uso dos recursos naturais, o que significa menos necessidade de matérias-primas e energia (FAO, 2013).

O benefício econômico que a redução dos resíduos pode ter para as indústrias de biscoito é outro fator importante. O uso de práticas e tecnologias destinadas à redução de resíduos pode aumentar a eficiência da operação, o que significa que mais recursos são usados e os custos são reduzidos. Além disso, a preocupação com a sustentabilidade tem aumentado a competitividade no mercado, pois investidores e consumidores valorizam as empresas que adotam práticas ambientalmente responsáveis (Oliveira, 2018).

Para reduzir o volume de resíduos produzidos pela indústria, é necessário implementar uma abordagem integral que inclua medidas em várias fases do processo produtivo. A gestão ambiental inclui a reciclagem e reutilização de materiais, a otimização dos processos produtivos para reduzir os desperdícios, o uso de tecnologias mais limpas e eficientes e o treinamento e conscientização dos funcionários (Antônio, 2011).

Por fim, é inegável que a redução dos resíduos gerados em indústrias alimentícias é crucial. A redução dos resíduos não é apenas melhor para o meio ambiente, mas também ajuda na economia e faz com que as empresas se sintam mais responsáveis sociais e atuantes no desenvolvimento sustentável, ou seja, sem comprometer gerações futuras (Silveira, 2017). Como resultado, as indústrias de biscoitos devem tomar medidas eficazes para reduzir seu impacto ambiental e

ajudar a construir um futuro mais sustentável. Pelota é um resíduo inerente oriundo dos fornos horizontais para formação de casquinha de biscoito *wafer*.

2. OBJETIVOS

O objetivo principal deste estudo é usar o planejamento fatorial para reduzir a geração de descarte gerados durante o processo de forneamento de biscoitos *wafer*, conhecidos como pelotas.

2.1 Objetivos Específicos

- Otimizar a viscosidade: Determinar faixa ideal para as variáveis pertinentes que impactam a viscosidade da mistura da massa.
- Analisar os impactos na viscosidade: Investigar os efeitos de individuais e as interações entre as variáveis de processo na viscosidade.
- Estabelecer relações causais entre a formação de pelotas e os parâmetros do processo.
- Validar o experimento: Realizar mais experimentos para confirmar os resultados do planejamento experimental.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Biscoito *Wafer*

O biscoito, termo de origem britânica, refere-se ao produto alimentício feitos por pequenos produtos assados – geralmente de forma achatada – à base de farinha de trigo com várias misturas de gordura, açúcar e outros ingredientes. Eles têm baixo teor de umidade e longa vida útil se embalados de forma a protegê-los da umidade do ar (Manley, 2000).

Os biscoitos podem ser divididos em categorias como recheados, crackers, água e sal, *wafers*, maria e maisena, secos e doces, amanteigados, salgados, rosquinhas e muito mais (Branco, 2024). Esse alimento faz parte essencial da cultura alimentar de todo o mundo devido ao teor nutricional, praticidade no consumo, duradouro e à sua versatilidade para produzir produtos (ABIMAPI, 2020).

Wafer é um dos diversos tipos de biscoito, com sua origem na Holanda em meados do século XIX de maneira artesanal e seu processo de industrialização foi automatizado em 1950. (Manley, 2000). É um produto recheado na qual são apresentados sob a forma de folhas prensadas, ou seja, é um produto feito com folhas superpostas em camadas intercaladas de recheio e pode ter uma variedade de sabores (Moretto e Fett, 2001).

3.2 Cenário econômico

Em relação ao mercado alimentício, este está cada vez mais competitivo. A busca por inovação e melhorias garante permanência e expansão no mercado. Devido ao fato de clientes estarem buscando produtos com melhor qualidade, gera-se competitividade entre as empresas e aquelas que se adaptam pela busca de suas satisfações, conseguem ser mais competitivas (Abreu, 2022).

No Brasil, a indústria alimentícia do setor de biscoitos tem crescido significativamente em valor de faturamento nos últimos anos. Este setor possui valor de mercado de 29 bilhões de reais e volume de produção de 1,55 milhões de toneladas em 2022. O valor do total de vendas do biscoito *wafer* aumentou 26% de 2021 a 2022, passando de 2,48 para 3,13 bilhões de reais, segundo dados da ABIMAP (Associação Brasileira das Indústrias de Massas Alimentícias e Pães & Bolos Industrializados, 2023).

Colaborando com tal aspecto, a fim de buscar por lucratividade e satisfazer clientes, as indústrias estão cada vez mais otimizando sua produção e minimizando custos na produção e redução de perdas em seus processos. (Santos et al., 2020).

A redução ou eliminação de perdas produzidas pelo próprio processo produtivo é uma estratégia para aumentar o faturamento sem aumentar a produção. Essas perdas podem ocorrer de várias maneiras, como perda de matéria-prima, refugo, tempo de parada e outros desperdícios. A empresa pode otimizar os recursos e aumentar a eficiência operacional ao identificar e eliminar essas perdas (Silva, 2002). Como resultado, uma estratégia importante para aumentar o faturamento na indústria de biscoitos *wafer* é a redução ou eliminação de perdas no processo produtivo; isso permite que a empresa utilize seus recursos de forma mais eficiente e alcance melhores resultados financeiros (Antonio, 2011).

3.3 Características de fabricação do biscoito *wafer*

O produto tem como uma das suas principais características a sua crocância, ocasionada pela rápida perda de água durante o forneamento, deixando os *wafers* com textura crocante. Para formação do produto, é necessário a utilização dos seguintes insumos: farinha, água, gordura, emulsificante, sal, fermento químico, açúcares e corantes (Eldash; Germani, 1994).

As folhas devem ser resfriadas antes de serem recheadas, o que leva alguns minutos ou alguns segundos, dependendo da otimização do processo. O recheio é feito separadamente e contém gordura, açúcar, sabores e corantes. É espalhado em uma folha de *wafer*, sobre a qual se deposita uma segunda, que também recebe o recheio. As lâminas recheadas são seguidas por uma esteira, onde são cortadas nas dimensões padronizadas e embaladas. (Eldash; Germani, 1994).

3.3.1 Insumos

3.3.1.1 Farinha

Na indústria, a farinha é um componente principal da qual desempenha um papel importante na fabricação de produtos de biscoitos para formação da massa (Gutkoski *et al.*, 2003). O uso industrial do grão de trigo é diretamente impactado pelas condições de cultivo, como o solo, clima, pragas e o manejo da cultura e do cultivar. A qualidade do grão de trigo também é influenciada pelas interferências nas operações de colheita, secagem e armazenamento (El-dashi; Germani, 1994; Gutkoski; Neto, 2002).

A farinha de trigo é a mais usada para biscoito no Brasil (Gutkoski *et al.*, 2003). Em sua composição, é rica em amido, principal fonte de energia dos alimentos, além de conter proteínas das quais conferem estrutura e textura aos produtos finais e fibras que ajudam a saúde intestinal e as vitaminas e minerais (El-dashi; Germani, 1994). Esta composição proteica é crucial porque 80% dela refere-se ao glúten, o principal determinante da qualidade dos produtos de panificação. Aliado a isso, certas farinhas são qualificadas de acordo com a designação de uso. As quais contêm mais glúten são boas para fazer pães e massas, enquanto as quais contêm menos glúten são boas para fazer bolos e biscoitos (Marcelino, 2008).

3.3.1.2 Água

A água é um elemento importante da produção de alimentos e também desempenha um papel fundamental nos biscoitos, afetando as diferentes propriedades físicas e químicas dos produtos finais. A água é essencial na produção de biscoitos porque influencia a massa, a textura e a estabilidade do produto final (Moretto e Fett, 1999).

Sua função principal é dissolver os ingredientes solúveis e hidratar o glúten. As características e qualidade da massa são afetadas pelo pH e pela dureza da água. Como resultado, a água deve satisfazer os requisitos de potabilidade e constituição física e química. É essencial para a formação da rede de glúten da massa, pois afeta na elasticidade, consistência, textura e maciez dos biscoitos (Pereira, 2015).

3.3.1.3 Gordura

A quantidade de gordura e a sua origem afetam a qualidade dos produtos e vários fatores devem ser levados em consideração ao escolher a gordura para o processamento, incluindo resistência à rancificação, sabor, aroma, poder cremoso, plasticidade, textura, cor, sensibilidade à luz e, logicamente, preço (El-dashi; Germani, 1994).

Em um biscoito, as gorduras desempenham quatro funções principais: lubrificação, aeração, mastigação e expansão. A seleção de gordura para creme tipo recheio de biscoito é influenciada por outros fatores. Neste caso, suas funções principais são facilitar a mastigação e transportar ingredientes. (Pereira, 2015).

3.3.1.4 Emulsificante

Os emulsificantes são substâncias usadas para estabilizar misturas de dois líquidos imiscíveis, normalmente óleo e água. A relação quantitativa dos dois líquidos e a presença de outros ingredientes, como proteínas, amido e ar, também influenciam sua ação. As funções principais incluem estabilizar o óleo em uma emulsão aquosa; estabilizar a água em uma emulsão oleosa; alterar a cristalização da gordura; alterar a consistência, aderência da massa e as características de geleificação do amido por complexação com amido, proteína e açúcares; e lubrificar massas com baixo teor de gordura. Emulsificantes podem ser naturais (por exemplo, lecitina) ou sintéticos (por exemplo, monoglicérides de glicerol) (Pereira, 2015).

A lecitina de soja, por exemplo, é um emulsificante muito usado. O óleo de soja é o mais comum deles, mas pode ser obtido de gemas de ovo e outros tipos de óleos vegetais. Com propriedades emulsificantes, que uniformizam a massa, reduz o tempo de mistura e é antioxidante, aumentando o prazo de validade do produto. (Rego; Vialta; Madi, 2020).

3.3.1.5 Sal

Além de contribuir para o sabor do produto, intensificando o sabor dos biscoitos de modo geral, o sal é um ingrediente responsável pelas características de desenvolvimento da proteína do trigo. Além disso, tem a capacidade de funcionar como estabilizador da fermentação, regulando a taxa de reprodução das leveduras (Rego; Vialta; Madi, 2020).

O sal é usado em dois modos diferentes: para salgar a massa; e como revestimento, em forma de cristais não dissolvidos. O sal afeta principalmente a massa, especialmente os biscoitos fritos, diminuindo a absorção de água, ajudando a fortalecer o glúten, melhorando a retenção de gases, melhorando a textura e o volume do produto final e aumentando o sabor (Pereira, 2015).

3.3.1.6 Açúcar

Pode-se dizer que o açúcar aumentar a doçura, maciez, volume e serve como veículo para outros aromas, ajudar na retenção de umidade, dar um acabamento atraente e servir como substrato para leveduras e outros microrganismos nos produtos fermentados (Pereira, 2015). Há diversas opções de fontes de açúcar,

como a sacarose, açúcar mascavo ou demerara, melado, açúcar invertido, glicose de milho e mel (Rego; Vialta; Madi, 2020).

3.3.1.7 Fermento químico

O fermento químico são substâncias que no ambiente úmido e ácido da massa provocam reações químicas e produzem gás carbônico. Ao fazer biscoitos, o bicarbonato de sódio é usado para neutralizar os ácidos que os microrganismos presentes na farinha causam na massa durante a fermentação (Rego; Vialta; Madi, 2020). Como resultado, deve ser adicionado no processo de preparação e a quantidade usada deve ser determinada para neutralizar tal acidez. Logo, este processo de neutralização determina o pH e a cor do produto final (Pereira, 2015).

3.3.1.8 Corante

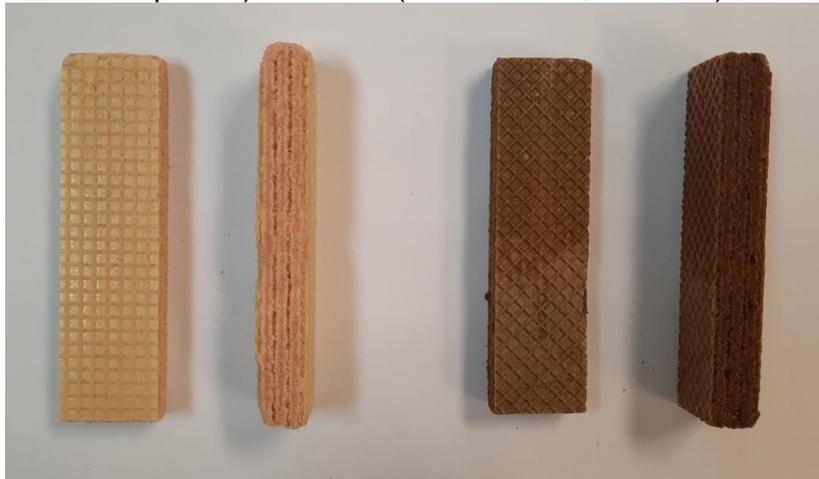
Um aditivo, segundo a portaria Nº 540, de 27 de outubro de 1997 é qualquer ingrediente adicionado intencionalmente ao alimento com finalidade de alterar suas características físicas, químicas, biológicas ou sensoriais durante a fabricação, processamento, preparação, embalagem, acondicionamento, armazenamento, transporte ou manipulação, sem o propósito de nutrir o alimento. A mesma define o corante sendo substância que confere, intensifica ou restaura a cor de um alimento.

Há três categorias principais de corantes em alimentos regulados: corantes naturais, caramelo e artificiais. O artigo 10 do Decreto no 55.871, de 26 de março de 1965 (Brasil, 2002), define o corante natural como um pigmento ou corante não tóxico obtido de materiais vegetais ou animais. O corante caramelo é feito aquecendo açúcares a temperaturas acima do ponto de fusão e, em seguida, passando por procedimentos especificados pela tecnologia. Já o corante artificial se refere a substâncias que foram produzidas por processos de síntese e têm uma composição química específica.

Devido à sua grande resistência à luz, oxigênio e temperatura, os corantes artificiais são amplamente utilizados na indústria de alimentos. Os biscoitos são alimentos ultra processados que são acessíveis e baratos (Morais *et al.*, 2023). A aparência do produto tem grande impacto na opinião do consumidor em relação a todos os outros fatores (paladar, audição, olfato e tato), podendo influenciar sua decisão de compra e o consumo. Assim, as indústrias de alimentos têm priorizado o uso visual para tornar os alimentos mais atraentes. Eles fazem isso incorporando

diferentes cores para novos produtos, além de formas e decorações (Bento *et al.*, 2013). A coloração da casquinha do biscoito *wafers*, por exemplo, que varia entre tons claros e escuros (Figura 1) e oferece aos consumidores experiências sensoriais diferentes.

Figura 1: Biscoitos wafers de casquinha com coloração clara (sem corante, à esquerda) e escuro (com corante, à direita)



Fonte: Autor, 2024.

A obtenção da coloração desejada nos *wafers* é uma tarefa complexa. A seleção adequada de ingredientes, a otimização dos tempos de processamento e o controle adequado da temperatura durante o processo de cocção são pontos importantes. A indústria busca por inovações para atender às preferências de coloração e melhorar a textura e o sabor de cada variante.

3.3.2 Controle de processo

Na produção industrial, o controle de processos abrange todas as etapas do processo, desde o recebimento da matéria-prima até o produto final. Trata-se de um conjunto de métodos e ferramentas destinados a garantir uniformidade, qualidade e eficiência ao longo de toda a cadeia produtiva. Ao receber a matéria-prima, o controle do processo começa, afinal é fundamental garantir que os insumos sejam de alta qualidade e conformes. O controle de processos monitora variáveis importantes durante a produção para garantir que os parâmetros estejam dentro dos limites aceitáveis até a qualidade do produto final. O produto é submetido a testes e inspeções finais para garantir que atenda às especificações e padrões de qualidade definidos (Lutosa *et al.*, 2008).

Há uma variedade de atributos e componentes essenciais que garantem a eficiência e qualidade ao longo das operações industriais. Para garantir que o

processo esteja funcionando dentro de limites aceitáveis, as variáveis-chave devem ser constantemente monitoradas no controle de processos. Uma característica essencial é ter uma definição precisa dos parâmetros operacionais e isso inclui estabelecer limites aceitáveis para variáveis específicas para garantir que o processo siga os padrões pretendidos. A coleta e a análise de dados são partes cruciais do processo e para ter sucesso nesse quesito, o uso de ferramentas analíticas para encontrar tendências, padrões e oportunidades de melhoria contínua (Lutosa *et al.*, 2008). Um ponto importante de controle na produção de biscoitos está na masseira, na qual se acompanha a viscosidade da massa.

3.4 Viscosidade

A viscosidade é uma característica de um fluido e pode ser entendida como sua resistência a qualquer força que possa fazer com que uma camada se mova sobre a outra. Quantitativamente, no movimento retilíneo e paralelo de um determinado fluido, a tensão tangencial entre duas camadas adjacentes é proporcional ao gradiente de velocidade, sendo perpendicular às camadas (MASSEY, 2006). Esses fluidos são chamados de newtonianos quando há uma proporção entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação. Quando não há, são chamados de não newtonianos, ou seja, que os fluidos não newtonianos não se comportam de maneira independente do tempo. Esse tipo de plástico pode ser classificado como dilatante, pseudoplástico ou plástico de Bingham (FOX, 2010).

A viscosidade (τ) é definida por η a partir da equação 1:

$$\tau = \eta \frac{\partial v}{\partial r} \quad (1)$$

Onde η é a tensão de cisalhamento e v velocidade do fluido, ambas medidas na posição r a partir do centro da circunferência de um cilindro.

Esse fator impacta diretamente em muitos aspectos na produção industrial. O domínio desse fator permite ajustes, o que resulta em produtos finais mais uniformes e de alta qualidade. A indústria pode ajustar a textura e a crocância dos biscoitos de acordo com essa propriedade. Para isso, há diversos tipos de instrumentação dos quais podem ajudar a quantificar a viscosidade de seus produtos.

3.4.1 Viscosímetro de orifício

Os viscosímetros de orifício são feitos de pequenos capilares que parecem apenas um orifício. O princípio de operação destes medidores de viscosidade é medir o tempo de escoamento e provocar a saída de um fluido, cujo volume de ensaio é conhecido (Miranda, 2014).

O copo Ford (Figura 2), por exemplo, é um desses tipos de instrumento que é utilizado para medição de viscosidade de fluidos newtonianos. Seu uso é simples de tal forma que a operação consegue realizar a medição em qualquer lugar e entregar resultados de maneira satisfatória (Barbosa e Rodrigues, 2004).

Figura 2: Viscosímetro de copo Ford



Fonte: SP Labor.

A indústria pode, de maneira estratégica, utilizá-lo de tal forma para acompanhar o processo e verificar se o mesmo está dentro do padrão estabelecido.

3.4.2 Viscosímetro de tubo capilar

Os viscosímetros de tubo capilar são o grupo de equipamentos para medir viscosidade dos quais têm uma forma U aproximada com um ramo composto por um tubo capilar fino conectado a um reservatório superior (Hernandez, 2008).

A viscosidade do fluido pode ser determinada com base no tempo que o fluido leva para deslocar-se entre duas marcas feitas no reservatório. Isso é feito medindo a viscosidade cinemática do material. Como este tipo de estudo é realizado tendo em consideração o deslocamento por gravidade de um fluido, ele pode ser lento e levará mais tempo quanto maior for a viscosidade do fluido (Miranda, 2014).

Usa o instrumento de Ostwald (Figura 3) para observar o tempo gasto para o fluido fluir sob influência da gravidade. Consiste de um depósito mais ou menos esférico, onde se armazena um volume de líquido específico a ser medido. A

gravidade faz esse líquido escorrer através de um tubo capilar. O líquido é, então, transferido por um tubo para um depósito um pouco maior (Hernandez, 2008).

Figura 3: Viscosímetro de Ostwald



Fonte: UFG, Cercomp, 2018.

3.4.3 Viscosímetro de queda de esfera

A viscosidade é determinada pelo viscosímetro de queda de esfera, que mede o tempo que uma esfera sólida de massa conhecida demora a percorrer a distância entre dois pontos marcados em um recipiente cheio de um fluido estacionário. A viscosidade cinemática do fluido pode ser determinada com o conhecimento do tempo posterior. Em um fluido viscoso, a esfera se moverá até atingir uma velocidade constante quando a soma das forças atuantes na esfera é zero. Nesse ponto, a viscosidade do fluido pode ser calculada (Miranda, 2014). O viscosímetro de Hoppler (Figura 4) é exemplo desse tipo de viscosímetro.

Figura 4: Viscosímetro de Hoppler



Fonte: UFG, Cercomp, 2018.

Este dispositivo é composto por um tubo interno encamisado, pela qual a substância a ser medida para a viscosidade é inserida. Para estabelecer a medida percorrida por uma esfera colocada dentro dele, a extensão desse tubo há três

marcações. Além disso, o dispositivo gira em torno de um eixo central, alterando o sentido do escoamento. Há o uso de água em banho termostático a fim de manter a temperatura da substância ao redor do tubo estável (Hernandez, 2008).

3.5 Gestão da Qualidade

Uma unidade organizacional com foco na qualidade cria uma cultura baseada em comportamentos, atitudes, atividades e processos que agregam valor. Isso é feito satisfazendo as necessidades e expectativas dos clientes e outras partes interessadas relevantes. A capacidade das mesmas de satisfazer seus clientes e o impacto pretendido e não pretendido nas partes interessadas pertinentes determinam a qualidade de seus produtos e serviços (ISO 9000, 2015).

Diante disso, indústrias alimentícias a usam como um fator diferenciador, mas também como um método de prevenir e resolver problemas. É composta por ferramentas úteis para construir estratégias essenciais para manter e fortalecer o relacionamento com clientes e consumidores finais em um ambiente onde as novidades, novos produtos, marcas e concorrentes estão sempre presentes (Paldini, 2009). Uma das formas utilizadas pela indústria para melhorar sua qualidade na produção de seus produtos ocorre para evitar ou reduzir as perdas de qualidade.

3.5.1 Ferramentas da qualidade

O uso de ferramentas e metodologias de gestão da qualidade torna possível garantir a qualidade e a segurança esperadas da produção de alimentos. É fundamental usar ferramentas de gestão da qualidade para garantir características micro e macro do processo produtivo (Telles e Bittencourt, 2014). Esses meios são técnicas que podem ser usadas para definir, mensurar, analisar e propor soluções para problemas que interferem no bom desempenho dos processos de trabalho. Por isso, as lideranças das indústrias precisam ter o domínio das diferentes ferramentas a fim de auxiliar e tornar o produto de excelência. Fluxograma, diagrama de Ishikawa, folha de verificação, diagrama de Pareto, histograma, diagrama de dispersão, cartas de controle e *brainstorm* são alguns exemplos para o uso. Cada uma tem uma finalidade e o bom uso traz informações para resolver diversos problemas (Machado, 2012).

O bom uso das ferramentas torna possível atender às necessidades dos clientes e as indústrias devem, para isso, melhorar continuamente seus sistemas

visando a produtividade. Isso requer métodos flexíveis e sustentáveis que permitam a rapidez no projeto e desenvolvimento de novos produtos, reduzindo o tempo de espera e estoque reduzido (Lutosa *et al.*, 2008). Com isso, é possível reduzir perda de qualidade na produção.

3.5.2 Perda de Qualidade

A perda de qualidade ocorre quando a produção produz produtos que não atendem aos padrões de qualidade. Os três indicadores principais classificam essas perdas: descarte, reprocesso e sobrepeso. O termo "reprocesso" refere-se ao volume de produto que foi perdido pela linha de produção, mas que foi recuperado e reintegrado ao processo. O volume de produto que é perdido pela linha de produção e não pode mais ser usado é chamado de descarte. Por fim, sobrepeso é o termo usado para descrever o peso do produto que excede a média (Nakakima, 1988).

Caso não sejam tratados adequadamente, esses resíduos são altamente tóxicos e colocam em risco a saúde humana e os ecossistemas naturais. Além disso, o consumo de recursos naturais, como energia e água, contribui para a degradação ambiental como resultado da produção desses resíduos (Santos, 2022). Portanto, por vários motivos, a redução dos resíduos gerados na indústria é crucial. Em primeiro lugar, a redução desses resíduos ajuda a preservar o meio ambiente, evitando que o solo, a água e o ar sejam contaminados. Aliado a isso, reduzir os resíduos provoca aumento da eficiência do uso dos recursos naturais, o que significa menos necessidade de matérias-primas e energia (FAO, 2013).

O benefício econômico que a redução dos resíduos pode ter para as indústrias de *wafers* é outro fator importante. O uso de práticas e tecnologias destinadas à redução de resíduos pode aumentar a eficiência da operação, o que significa que mais recursos são usados e os custos são reduzidos. Além disso, a preocupação com a sustentabilidade tem aumentado a competitividade no mercado, pois investidores e consumidores valorizam as empresas que adotam práticas ambientalmente responsáveis (Oliveira, 2018). Para evitar a ocorrência de perdas na qualidade, as indústrias podem utilizar diversas ferramentas da qualidade que auxiliam na busca por melhores resultados e maior eficiência e de técnicas estatísticas. O Planejamento Experimental, por exemplo, é uma abordagem estatística que visa otimizar processos, permitindo a identificação de condições que

proporcionem os melhores desempenhos e que pode dar suporte na solução do problema.

3.6 Planejamento Experimental

O planejamento fatorial é constituído por uma série de métodos para analisar as relações entre uma ou mais respostas, medidas de forma analítica, e um conjunto de variáveis de entrada sob controle. Essa abordagem é amplamente utilizada tanto na indústria quanto na academia para resolver diversos problemas. Para cada variável, faz-se uso de um planejamento fatorial de 2 níveis (-1 e +1). Assim, o número total de experimentos necessários para examinar todas as combinações possíveis é 2^n , onde "n" representa o número de variáveis envolvidas no estudo (Pereira Filho, 2015).

Essa abordagem é amplamente utilizada para resolver problemas importantes como:

- No impacto da resposta – como um conjunto específico de variáveis de entrada afeta uma região específica da resposta;
- No atendimento das especificações – qual série de variáveis de entrada produzirá um produto dentro das especificações pretendidas;
- Otimização das variáveis de entrada – na determinação dos valores ótimos das variáveis de entrada que levarão a um desempenho superior para uma resposta específica;
- Compreensão da superfície de resposta – como será a superfície de resposta agora e quais valores das variáveis de entrada trarão o melhor valor para uma resposta específica.

Adicionalmente, como sugerido por Box *et al.* (2005), a inclusão ensaios no ponto central (nível 0) é uma prática comum. Esta técnica permite uma análise mais profunda dos resultados experimentais, fornecendo uma estimativa de erro puro. Ao seguir esses passos, o pesquisador estabelece uma base sólida para uma análise posterior da superfície de resposta. Isso permite uma otimização do processo e uma melhor compreensão das relações entre as variáveis estudadas.

A Metodologia de Superfície de Resposta (RSM) é uma técnica de planejamento experimental na qual começa com o planejamento fatorial para a realização dos ensaios. Este método implica na definição de um número fixo de níveis para cada fator ou variável de entrada, seguido pela execução de experimentos abrangendo todas as combinações possíveis. O número de variáveis

escolhidas para o estudo determina o tipo de planejamento experimental que será usado (Khuri e Cornell, 2018).

É possível utilizar o planejamento fatorial completo de primeira ou segunda ordem em estudos que envolvem 2, 3 ou 4 variáveis. No entanto, os Planejamentos Experimentais Facionário e Plackett-Burman parecem ser as opções mais adequadas quando se trata de quatro variáveis ou mais. Para cada variável, a primeira etapa geralmente usa um planejamento fatorial de 2 níveis (-1 e +1). Assim, o número total de experimentos necessários para examinar todas as combinações possíveis é $2n$, onde "n" representa o número de variáveis envolvidas no estudo (Rodrigues e lemma, 2005).

A análise dos resultados do planejamento experimental permite o cálculo dos principais efeitos e interações das variáveis sobre a resposta. Essa avaliação ajuda a identificar os efeitos mais importantes e permite o ajuste empírico de um modelo que conecta as variáveis independentes e a resposta observada. O modelo linear de primeira ordem e o modelo quadrático de segunda ordem são os dois tipos de modelos que são normalmente considerados para esse propósito (Box *et al.* 2005).

Inicialmente, durante uma análise, se os dados experimentais não forem consistentes com o modelo linear, é possível melhorar a investigação aumentando o planejamento fatorial inicial. Isso é feito por meio da execução de mais $2n$ ensaios usando uma técnica conhecida como "estrela". Um objetivo desta expansão é obter um modelo de 2ª ordem (quadrático). Isso permitiria uma representação mais detalhada e completa das interações entre as variáveis e a resposta (Neto *et al.*, 2002).

Essa mudança na estratégia do planejamento experimental mostra a flexibilidade do método, pois permite a mudança do modelo linear inicial para um modelo mais complexo quando necessário. Assim, o pesquisador busca garantir que o modelo escolhido seja capaz de capturar de maneira precisa a influência das variáveis estudadas na resposta esperada, fornecendo ao pesquisador uma melhor compreensão do sistema (Rodrigues e lemma, 2005).

Para problemas com muitas variáveis, a possibilidade de que uma ou mais dessas variáveis não tenha um impacto significativo na resposta aumentam com o número de variáveis. Não é necessário realizar todos os ensaios de um fatorial completo se os efeitos específicos dessas variáveis não são relevantes ou não precisam ser determinados (Pereira Filho, 2015).

Essa observação enfatiza a vantagem dos planejamentos fatoriais fracionados ou métodos como o Plackett-Burman, especialmente em experimentos complexos. É possível economizar recursos e tempo concentrando-se nas variáveis que desempenham um papel mais importante na resposta desejada, escolhendo cuidadosamente as variáveis de interesse e os níveis apropriados. Isso ajuda a tornar os experimentos mais econômicos e eficientes, sem comprometer a integridade dos resultados (Neto *et al.*, 2002).

No entanto, é difícil determinar antecipadamente a importância relativa de cada variável envolvida no processo. Ao incluir o maior número possível de variáveis no estudo neste momento, é mais vantajoso excluir arbitrariamente fatores que possam ser significativos. Como resultado, os planejamentos fracionários são preferidos aos planejamentos fatoriais completos (Rodrigues e Lemma, 2005).

A abordagem cautelosa necessária na investigação de sistemas complexos é refletida pela opção de planejamento fracionário. Ao incluir um número maior de variáveis no estudo inicial, o pesquisador evita negligenciar elementos importantes para o entendimento global do processo, mesmo que algumas delas possam ter impacto mínimo ou insignificante. Essa abordagem tem como objetivo garantir uma abordagem abrangente na fase inicial do estudo, fornecendo uma base mais sólida para a identificação e avaliação das variáveis mais pertinentes em fases posteriores (Neto *et al.*, 2002).

3.6.1 Mapeamento de variáveis e relação de dependência e independência

Os mapeamentos das variáveis, bem como a compreensão das variáveis dependentes e independentes, são essenciais para a pesquisa estatística e a análise estatística. O mapeamento de variáveis envolve a identificação e representação de várias características ou fatores que podem ter um impacto em um fenômeno ou processo específico. Isso pode incluir variáveis qualitativas, que são características que não podem ser medidas, ou quantitativas, que podem ser medidas numericamente. O mapeamento ajuda a obter uma visão geral do sistema em estudo, enfatizando as interações entre as variáveis (Pereira Filho, 2015).

As variáveis que são manipuladas ou controladas durante um experimento são consideradas variáveis independentes. Eles são considerados os elementos que podem afetar a variável dependente. As variáveis independentes são frequentemente representadas ao longo dos eixos de um gráfico ou tabela durante o

mapeamento, o que facilita a visualização de seu impacto no sistema. Já aquelas variáveis que reagem às mudanças nas variáveis independentes são chamadas de variáveis dependentes. Em outras palavras, nos interessa estudar as respostas ou os resultados. Para o mapeamento, as variáveis dependentes são frequentemente representadas no eixo vertical de um gráfico para mostrar como elas mudam em resposta às mudanças nas variáveis independentes (Lazar *et al.*, 2017).

3.6.2 Planejamento Composto Central Rotacional

É possível utilizar o planejamento fatorial completo de primeira ou segunda ordem em estudos que envolvem poucas variáveis ($n \leq 4$). A metodologia do Planejamento Composto Central Rotacional (PCCR) é um conjunto de técnicas matemáticas e estatísticas que são usadas para estudar as relações entre uma ou mais respostas (variáveis dependentes) e vários fatores (variáveis independentes). Essa técnica estatística, derivada dos planejamentos fatoriais, foi introduzida nos anos 50 e tem sido amplamente utilizada para modelar vários processos industriais (Neto *et al.*, 2002). Menezes Filho *et al.* (2020) utilizaram essa metodologia a de verificar a produção, o rendimento e as características físico-químicas da pectina da cultivar Crimson Sweet Extra de *Citrullus lanatus* para otimizar o processo, variando-se as concentrações ácidas, tempo e temperatura em quatro pontos axiais e três repetições no ponto central.

3.6.3 Planejamento Experimental Fracionário

No entanto, quando se tem muitas variáveis ($n > 4$), o Planejamento Experimental Fracionário é uma abordagem eficaz do qual permite uma análise de vários fatores enquanto reduz o número total de experimentos necessários (Neto *et al.*, 2002). A ideia é dividir os experimentos do fatorial 2^n em frações e escolhe-se um efeito na blocagem para confundir o efeito dos blocos e, assim, reduzir diversos experimentos. A escolha de quais efeitos serem confundidos para obter a maior vantagem possível do experimento, que é deduzir efeitos principais e interações baixas (Mayer, 2017). Figueira *et al.* (2014), por exemplo, usaram o planejamento 2^{8-4} para avaliar a produção da enzima β -glicosidase com intuito de minimizar os custos de produção da enzima e estudar o efeito da adição de sais e extrato de levedura.

Isso só é possível pois as interações de primeira ordem têm um impacto maior do que as interações de ordem superior, por isso alguns testes podem dar

resultados com interações entre variáveis que podem ser descartadas devido à sua insignificância. Assim, nessas circunstâncias, um planejamento completo não é necessário (Pereira Filho, 2015).

Devido à sua natureza parcial, a matriz de planejamento fracionado apresenta características específicas em sua aplicação, ela se diferencia da matriz para o caso completo. Como os fatores são compostos pelos produtos dos níveis codificados de outros fatores, existe a possibilidade de confusão entre os efeitos principais e as interações. Reter alguns dos ensaios da matriz completa é essencial para obter uma parte adequada do planejamento completo, garantindo assim uma variação dos níveis dos fatores em cada teste realizado (Silva, 2022).

3.6.4 Planejamento Plackett-Burman

Outro uso do planejamento experimental é o método estatístico *Plackett-Burman*. Seu uso tem como objetivo identificar um número considerável de variáveis significativas a partir de um conjunto inicial considerável usando cálculos estatísticos para avaliar a importância das variáveis analisadas. Esse método reduz a complexidade experimental ao identificar as variáveis mais influentes em um processo (Plackett e Burman, 1946). Brito *et al.* (2012), por exemplo, fez uma avaliação com essa ferramenta com a finalidade de investigar a influência de diversas variáveis, incluindo hexa-metafosfato de sódio, silicato de sódio, dispersol, carbonato de sódio, sulfato de cobre, carboximetilcelulose, 3 M e pH, na dispersão de um minério de níquel.

Esse tipo de planejamento funciona em tamanhos múltiplos de quatro, caracterizados por sinais positivos para os níveis superiores e sinais negativos para os níveis inferiores de cada fator. Para construir esses projetos, uma regra fundamental é que eles devem ser compostos até por k parâmetros, onde $k = (N-1)$, sendo N o número total de ensaios realizados na qual a matriz de planejamento segue um padrão de arranjo helicoidal (Pereira Filho, 2015).

Para aplicações industriais onde custo e tempo são limitantes, o planejamento Plackett-Burman pode ser a principal estratégia de experimentação, eliminando a necessidade de outros planejamentos subsequentes. Isso permite avançar diretamente para ensaios de validação, acelerar o processo de otimização e reduzir os custos associados à realização de experimentos (Rodrigues e lemma, 2005).

A análise da revisão transmitiu que a fabricação de biscoitos de *wafer* é envolve atividades complexas. Isso se aplica principalmente aos insumos usados, aos controles de processo, à gestão de qualidade e à necessidade de um planejamento experimental de forma eficiente. O estudo do cenário econômico e das características da fabricação do biscoito *wafer* revelou o valor de técnicas eficazes podem reduzir custos e otimizar o processo produtivo. A importância de métodos como o planejamento experimental, que permite investigar de forma sistemática o impacto das variáveis de processo e otimizar a produção, evidenciou-se pela compreensão da possibilidade de seu uso para investigação da relação entre viscosidade da massa e seu impacto na qualidade de processo da indústria de biscoitos. Assim, a integração de conhecimentos sobre o biscoito *wafer*, suas características e métodos de planejamento experimental emerge como um elemento fundamental para o sucesso operacional e a competitividade da indústria alimentícia.

4. METODOLOGIA

Esta pesquisa teve como proposta realizar um estudo em uma linha de uma indústria, localizada em Pernambuco, de biscoitos *wafer*. Em um dia de produção, a mesma pode chegar a aproximadamente 50 toneladas de produtos. Dentre as linhas de produção, foi escolhida aquela que tem o histórico de incidência maior de pelotas em seu processo. A escolha de explorar essa linha específica é estratégica porque visa entender as oportunidades dessa dinâmica de produção e avaliar a melhor forma de otimizá-la.

Para isso, foi entendido o fluxo de produção e o que se trata a pelota. Em seguida, foi feito mapeamento das variáveis, assim como o range de cada uma que impactam diretamente na formação de pelotas. Foi elaborado o planejamento experimental a fim de se obter a viscosidade com faixa ótima, utilizando o método adequado para melhor solução para massa clara e escura. Por fim, foi feita uma elaboração por meio de modelagem matemática e por Análise de Superfície de Resposta.

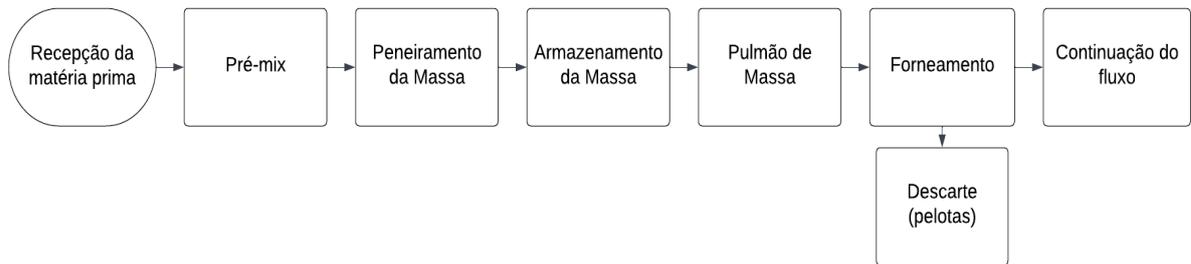
4.1 Fluxograma de produção

O processo produtivo do biscoito *wafer* envolve várias etapas. Sua organização é fundamental para garantir a eficiência e a capacidade de produção necessárias para atender ao mercado.

O fluxograma na Figura 5 ilustra o processo, mostrando a sequência das etapas desde o depósito da massa líquida até a etapa de forneamento do qual irá prosseguir até formação final do produto. Esse processo produtivo é crucial para garantir a qualidade e as características desejadas do biscoito *Wafer*, como textura, sabor e aparência. Cada etapa desempenha um papel importante na produção final do alimento, resultando em um biscoito pronto para ser embalado e distribuído ao mercado.

Primeiramente, as matérias-primas chegam ao estoque e são colocadas em seus devidos locais de maneira a garantir a preservação da integridade dos mesmos.

Figura 5: Fluxograma reduzido para formação de biscoito wafer



Fonte: Autor, 2024.

Após o recebimento da matéria prima, o pré-mix inclui a criação de kits com micro ingredientes do estoque. Usando utensílios exclusivos, os mesmos são manipulados e agrupados de maneira tal que facilite sua identificação e armazenamento correto. Os kits são enviados para a etapa de preparação de massa, onde cada ingrediente é pesado de acordo com os padrões operacionais definidos.

Na etapa de batimento de massa, os kits com micro ingredientes que foram extraídos da mistura são colocados no batedor de massa e cuidadosamente misturados à água gelada e farinha, conforme especificado na formulação. A tubulação adiciona automaticamente farinha e água. A água gelada é necessária para manter a massa firme e evitar aumento da temperatura ocasionada pelo atrito da rotação da mistura. Quando a etapa de mistura está concluída, o composto é bombeado para a peneira de massa. Isso garante uma produção constante e eficaz. Após isso, a fase de peneiramento é realizada, na qual a massa passa por uma peneira de aço inoxidável com aberturas projetadas para reter resíduos físicos do processo com dimensões superiores ao padrão. Para garantir a preservação da qualidade do produto final, a operação segue um padrão restrito, o que permite a remoção eficaz de partículas indesejadas.

Em seguida, a massa produzida é armazenada em um reservatório. A bomba direciona a massa no fluxo da linha de produção, sendo transportada até o pulmão de massa, proporcionando um controle preciso do fluxo na linha de produção.

A massa armazenada no pulmão é então direcionada ao bico injetor. O pulmão de massa é fundamental para manter uma quantidade controlada de massa e garantir que seja aplicada uniformemente nas placas do forno durante a produção de casquinhas. Essa técnica melhora a integridade e a qualidade do produto final, tornando mais eficiente sua consistência e homogeneidade.

Na etapa do forneamento, o bico injetor é usado para fazer o cozimento e a formação de casquinhas, bombeando a massa do pulmão de massa para as placas do forno. O gás natural alimenta as chamas e o aquecimento ocorre diretamente nas placas de forma linear na parte superior e inferior antes de ser transmitido às casquinhas por condução. A massa líquida é depositada sobre placas metálicas que estão abertas no forno. As placas são projetadas de forma a permitir o fechamento posterior para distribuição uniforme da massa. Após o depósito da massa líquida, as placas se fecham, garantindo que a massa seja distribuída de maneira uniforme por toda a superfície da placa. As placas fechadas com a massa são levadas ao forno, onde são cozidas. As casquinhas das placas, já prontas, seguem o fluxo de fabricação até a realização do produto final.

Na etapa do forno, há uma formação do descarte devido ao excesso de massa nas placas. Estes caem do forno, são retirados da produção por meio de um arrastador e ensacados para sua destinação adequada.

4.2 Descarte do forno

O descarte dos fornos de wafer, conhecidos pelo nome pelotas (Figura 6), são um tipo de resíduo em forma de unidades esféricas pequenas encontradas na indústria de biscoito do tipo *wafer* geradas pelo processo inerente ao forno, gerados no excesso da massa nas placas do equipamento. O seu conteúdo é considerado descarte porque não atendem aos padrões de qualidade necessários para serem comercializadas como *wafers*.

O controle da viscosidade da massa, preparada na masseira, influencia diretamente a formação da casquinha, cozidas no forno, assim como a formação de pelotas. A massa com viscosidade acima do padrão produz casquinhas sem defeito, pois preenchem por completo as placas do forno. Porém, a massa ultrapassa os limites das placas, tendo um excesso de massa e ao passar por aquecimento, mais volume de pelotas é gerado, levando, assim, a perda de matéria prima. Quando a viscosidade é abaixo do padrão, há formação de casquinha com rebarba (preenchimento incompleto da massa nas placas do forno), ou seja, casquinha que serão reprocessadas.

Para iniciar o planejamento, as variáveis que mais impactam a formação de pelotas, as variáveis da formação da massa foram identificadas para atender aos objetivos de otimização sugeridos e para realizar a análise de seus efeitos.

Figura 6: Amostra de pelotas de casquinha de massa clara



Fonte: Autor, 2023

4.3 Planejamento experimental para massa clara e massa escura

Para massa clara e escura, o planejamento Plackett-Burman será utilizado devido ao número de variáveis e permitir uma estratégia de coleta de dados com menos ensaios. A Tabela 1 e 2 mostram a sequência dos experimentos realizados para essa verificação:

Tabela 1 - Matriz do planejamento Plackett-Burman (12) para massa clara

Nº	Farinha	Água	Emulsão	Sal	Fermento químico	Tempo
1	+(55)	-(60)	+(1,0)	-(0,2)	-(0,1)	-(4)
2	+(55)	+(90)	-(0,3)	+(0,5)	-(0,1)	-(4)
3	-(45)	+(90)	+(1,0)	-(0,2)	+(0,3)	-(4)
4	+(55)	-(60)	+(1,0)	+(0,5)	-(0,1)	+(6)
5	+(55)	+(90)	-(0,3)	+(0,5)	+(0,3)	-(4)
6	+(55)	+(90)	+(1,0)	-(0,2)	+(0,3)	+(6)
7	-(45)	+(90)	+(1,0)	+(0,5)	-(0,1)	+(6)
8	-(45)	-(60)	+(1,0)	+(0,5)	+(0,3)	-(4)
9	-(45)	-(60)	-(0,3)	+(0,5)	+(0,3)	+(6)
10	+(55)	-(60)	-(0,3)	-(0,2)	+(0,3)	+(6)
11	-(45)	+(90)	-(0,3)	-(0,2)	-(0,1)	+(6)

12	-(45)	-(60)	-(0,3)	-(0,2)	-(0,1)	-(4)
13	0(50)	0(75)	0(0,65)	0(0,35)	0(0,2)	0(5)
14	0(50)	0(75)	0(0,65)	0(0,35)	0(0,2)	0(5)
15	0(50)	0(75)	0(0,65)	0(0,35)	0(0,2)	0(5)

Fonte: Autor, 2024.

Tabela 2 - Matriz Plackett-Burman (12) para massa escura

Nº	Farinha	Água	Emulsão	Sal	Fermento químico	Cor1	Cor2	Tempo
1	+(55)	-(60)	+(1,0)	-(0,2)	-(0,1)	-(2,8)	+(2,7)	+(6)
2	+(55)	+(90)	-(0,3)	+(0,5)	-(0,1)	-(2,8)	-(2,2)	+(6)
3	-(45)	+(90)	+(1,0)	-(0,2)	+(0,3)	-(2,8)	-(2,2)	-(4)
4	+(55)	-(60)	+(1,0)	+(0,5)	-(0,1)	+(3,8)	-(2,2)	-(4)
5	+(55)	+(90)	-(0,3)	+(0,5)	+(0,3)	-(2,8)	+(2,7)	-(4)
6	+(55)	+(90)	+(1,0)	-(0,2)	+(0,3)	+(3,8)	-(2,2)	+(6)
7	-(45)	+(90)	+(1,0)	+(0,5)	-(0,1)	+(3,8)	+(2,7)	-(4)
8	-(45)	-(60)	+(1,0)	+(0,5)	+(0,3)	-(2,8)	+(2,7)	+(6)
9	-(45)	-(60)	-(0,3)	+(0,5)	+(0,3)	+(3,8)	-(2,2)	+(6)
10	+(55)	-(60)	-(0,3)	-(0,2)	+(0,3)	+(3,8)	+(2,7)	-(4)
11	-(45)	+(90)	-(0,3)	-(0,2)	-(0,1)	+(3,8)	+(2,7)	+(6)
12	-(45)	-(60)	-(0,3)	-(0,2)	-(0,1)	-(2,8)	-(2,2)	-(4)
13	0(50)	0(75)	0(0,65)	0 (0,37)	0(0,2)	0(3,3)	0(2,45)	0(5)
14	0(50)	0(75)	0(0,65)	0 (0,37)	0(0,2)	0(3,3)	0(2,45)	0(5)

15	0(50)	0(75)	0(0,65)	0 (0,37)	0(0,2)	0(3,3)	0(2,45)	0(5)
----	-------	-------	---------	----------	--------	--------	---------	------

Fonte: Autor, 2024.

Para cada experimento, será considerada uma preparação de batelada. Os resultados deverão ser medidos com um copo Ford e um cronômetro. A fim de garantir a precisão das medições, os dados irão ser coletados em duplicata para melhor precisão dos dados. A coleta sistemática de dados deve permitir uma avaliação completa dos efeitos das variáveis-chave na viscosidade da mistura. Colaborando para isso, a quantidade de pelotas geradas será acompanhada no forno em cada batelada, sendo verificado a quantidade gerada em quilogramas.

4.4 Proposta de Execução

Com intuito de propor a temática desse planejamento para a indústria, a liderança e as operações devem trabalhar juntas para resolver o problema do descarte de forno por meio do uso eficaz de planejamento Plackett-Burman a fim de otimizar o processo dos biscoitos *wafers*. Logo, deve-se apresentar uma proposta de como será executado o seguinte trabalho.

Para isso, primeiramente, o problema será introduzido, mostrando o impacto do descarte excessivo dos quais aumentam o desperdício de matérias-primas e recursos, a sustentabilidade ambiental e explicar o objetivo da proposta a fim de otimizar as variáveis de processo para reduzir tal por meio da implementação de um planejamento fatorial.

Logo, será proposto a formação de equipe multidisciplinar, incluindo liderança, operadores e qualidade para planejar e estabelecer o plano de execução. Os operadores serão responsáveis pela execução e coleta de dados, enquanto a liderança fornecerá suporte e recursos. A comunicação é importante para estabelecer canais claros entre os mesmos a fim de garantir que as coisas estejam alinhadas e que os objetivos da proposta estejam em andamento.

Para capacitação da operação, serão oferecidos treinamentos sobre os problemas de descarte de forno e os benefícios do planejamento fatorial para resolver esses problemas, mostrando os conceitos básicos de Plackett-Burman, a importância de coletar dados precisos e como fazer experimentos.

4.5 Compilação de dados e verificação

A análise estatística dos dados será realizada usando o programa Statistica. Essa ferramenta irá utilizar o método de regressão ANOVA para validar modelo e da análise de superfície de resposta para fornecer uma análise completa para avaliar a significância dos efeitos principais e suas interações.

Após a realização da análise dos dados, a validação das condições otimizadas será realizada para confirmar experimentalmente os resultados da análise de superfície de resposta, sendo aplicado às variáveis os valores otimizados para os três turnos.

4.6 Validação do experimento

Por fim, os valores que representam melhor otimização da viscosidade na qual geraram menos resíduo de descarte será, então, aplicado nos demais turnos para verificação dos dados coletados e validação dos experimentos feitos. Para isso, a propagação do conhecimento será realizada nos demais turnos de forma similar ao time de execução. Com isso realizado, será então, feito uma verificação nos dados obtidos a fim de confirmar o experimento.

4.7 Resultados esperados

Ao implementar o planejamento fatorial em uma linha de produção de biscoitos *wafer*, espera-se que a geração de pelotas seja reduzida, o que levará a um processo mais eficiente e de acordo com os padrões de qualidade estabelecidos. Corroborando com isso, espera-se identificar os principais elementos que impactam diretamente na formação de pelotas através da análise estatística dos dados obtidos a partir da metodologia estabelecida. Isso permitirá ajustes precisos nas variáveis controláveis. Adicionalmente, a aplicação das melhorias sugeridas pelo estudo aumente a uniformidade e a eficiência do processo produtivo, o que resultará em uma redução de desperdícios e custos operacionais. Esses resultados ajudarão na otimização do processo e reforçarão o uso de técnicas estatísticas avançadas como o planejamento fatorial para resolver problemas complexos na indústria.

REFERÊNCIAS

- ANTONIO, T. D. **Gestão ambiental industrial: livro didático**. 1. ed. UnisulVirtual, 2011.
- ABIMAPI, Associação Brasileira das Indústrias de Biscoito, Massas Alimentícias e Bolos Industrializados. Disponível em: <<https://www.abimapi.com.br/>>. Acesso em 8 de janeiro de 2024.
- ABREU, Valter. O que uma empresa necessita para ser competitiva. **Administradores**, 19 de julho de 2009. Disponível em: <<https://administradores.com.br/artigos/o-que-uma-empresa-necessita-para-ser-competitiva>>. Acesso em 8 de janeiro de 2025.
- BOX, G. E. P.; HUNTER, J. S.; HUNTER, W. G. **Statistics for Experimenters: An Introduction to Design, Data Analysis, and Model Building**. John Wiley & Sons, 1978.
- BRANCO, M. D. Mercado de Biscoitos, Massas e Grãos: A indústria de biscoitos no Brasil. **Grupo M. Dias Branco**. Disponível em: <<https://ri.mdiasbranco.com.br/group/mercado-de-biscoitos-massas-e-graos/>>. Acesso em 21 de janeiro de 2024.
- BRASIL. ANVISA. **Decreto no 55.871/65 de 26 de março de 1965**. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br.2002b>>. Acesso em 6 de março de 2024.
- BRASIL. ANVISA. **Resolução no 44/77, de 1977 (DOU – Seção I, 01/02/78 e 24/04/78)**. Disponível: <<http://www.anvisa.gov.br.2002c>>. Acesso em 6 de março de 2024.
- BRITO, E. M. C. et al. **Determinação de variáveis pelo método estatístico Plackett-Burman aplicada à dispersão do minério de níquel**. Em *67º Congresso ABM, ISSN 1516-392X, 2012*.
- ELDASH, A.; GERMANI, R. **Tecnologia de Farinhas Mistas: uso de farinhas mistas na produção de biscoitos**. Brasília: Embrapa, 1994.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO, 2013). **Food Wastage Footprint: Impacts on Natural Resources**. Disponível em: <<https://www.fao.org/3/i3347e/i3347e.pdf>>. Acesso em 2 de dezembro de 2023.
- FIGUEIRA, J. A.; DIAS, FFG.; SATO, HH. **Avaliação da produção de β -glicosidase pela linhagem de *Aspergillus niger* LBA 02 em meio semissólido utilizando resíduos agroindustriais, extrato de levedura e sais, por meio da**

ferramenta de planejamento experimental. Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014.

GOMES, Laerty Keverson dos Santos. **Utilização da metodologia DMAIC para redução de perdas de wafer em uma indústria alimentícia: estudo de caso.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso.

GUTKOSKI, Luiz Carlos; NODARI, Mariana Lenzi; JACOBSEN NETO, Raul. Avaliação de farinhas de trigos cultivados no Rio Grande do Sul na produção de biscoitos. **Food Science and Technology**, v. 23, p. 91-97, 2003.

KHURI, Andre I.; CORNELL, John A. **Response surfaces: designs and analyses.** CRC press, 2018.

LAZAR, Jonathan; FENG, Jinjuan; HOCHHEISER, Harry. **Research Methods in Human-Computer Interaction.** Morgan Kaufmann, 2017.

LEITE, Bárbara Zanicotti; PAWLOWSKY, Uivald. Alternativas de minimização de resíduos em uma indústria de alimentos da região metropolitana de Curitiba. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, p. 96-105, 2005.

MACHADO, Simone Silva. **Gestão da Qualidade.** Inhumas: IFG; Santa Maria, 2012.

MANLEY, Duncan (Ed.). **Manley's technology of biscuits, crackers and cookies.** Elsevier, 2011.

MARCELINO, Janaina. Desenvolvimento de uma mistura integral e orgânica para bolo sabor chocolate com cobertura orgânica sabor chocolate. 2008. 63 f. **Monografia (Especialização)-Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba**, 2008.

MENEZES FILHO, A. C. P. et al. Produção, rendimento e Caracterização físico-química de pectina a partir da entrecasca de melancia (*Citrullus lanatus*): otimização por experiment Box-Behnken. **Revista Agrária Acadêmica**, v. 3, n. 1, p. 44-55, 2020.

MENITA, P. R. et al. Fatores determinantes para o desempenho dos processos de produção de fluxo contínuo: estudo de caso na indústria de biscoitos. **ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, v. 31.

MIRANDA, Marta Daniela Azevedo. **A influência dos fileres no comportamento viscoso dos mastiques betuminosos.** 2014. Dissertação de Mestrado. Instituto Politecnico do Porto (Portugal).

- MORAIS, S. K. Q.; GOUVEIA, D. S.; MOTA, M. M. A.; MENESES, R.; OLIVEIRA, E. A.; AMORIM, T. A. **Corantes alimentícios em biscoitos recheados: Análise qualitativa da rotulagem**. VIII ENAG & VIII CITAG 2022, p. 481-491.
- MORETTO, E.; FETT, R. **Processamento e análise de biscoito**. São Paulo, Livraria Varela, 1999.
- MORETTO, E.; FETT, R. **Processamento e análise de biscoitos**. Campinas: Varela, 2001.
- MAYER, F. **Planejamento Fatorial Fracionado**. Universidade Federal do Paraná, 2017. Disponível em: <<http://leg.ufpr.br/~fernandomayer/aulas/ce074/index.html>>. Acesso em 21 de dezembro de 2023.
- OLIVEIRA, A. P. **Minimização de resíduos na indústria de alimentos para elaboração de farinha: uma estratégia para aproveitamento**. João Pessoa, 2018.
- PALADINI, E. P. **Gestão Estratégica da Qualidade**. São Paulo: Atlas, 2009.
- PEREIRA, F. **Processos tecnológicos de alimentos**. IFPE, 2015.
- Pereira Filho, E. R.; **Planejamento fatorial em química: maximizando a obtenção de resultados**, Edufscar: São Carlos, 2015.
- PLACKETT, Robin L.; BURMAN, J. Peter. **The design of optimum multifactorial experiments**. *Biometrika*, v. 33, n. 4, p. 305-325, 1946.
- REGO, R. A. et al. **Biscoitos Industrializados: nutrição e indulgência na cultura alimentar**. São Paulo: BB Editora: Abimapi, 2020.
- RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Planejamento de Experimentos e Otimização de Processos: uma estratégia sequencial de planejamentos**. Casa do Pão Editora, 2005.
- SANTOS, E. B. *et al.* **Análise da Implantação da Produção Enxuta e suas Ferramentas em uma Fábrica de Automóveis situada em Gravatai-RS**. Editora Conhecimento Livre, 2020.
- SANTOS, Roberta Pinheiro. **Gestão de resíduos sólidos em uma indústria alimentícia: oportunidades de melhoria para o desperdício de alimentos**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- SASDELLI, M. C. **A utilização de ferramentas da qualidade para a geração de inovação em processo: um case de análise de perda em uma indústria de embalagens cartonadas**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012.
- SHIBA, S.; GRAHAM, A.; WALDEN, D. **TQM: quatro revoluções na gestão da qualidade**. 1ª ed. Bookman. Porto Alegre, 1997.

SILVA, E. D. **Boa Práticas em Planejamento Experimental**. Universidade Federal do ABC. Santo André, 2022.

SILVA, E. Z. **Automação e a eliminação das perdas: a base de uma estratégia de produção para assegurar uma posição competitiva na indústria**. 2002. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SILVEIRA, José Henrique Porto. Sustentabilidade e responsabilidade social. **Belo Horizonte: Poisson**, v. 3, 2017.

TELLES, Leomara Battisti; BITTENCOURT, Juliana Vitória Messias; PITTA, Christiano Santos Rocha. Gestão da Qualidade em laticínios: um panorama das micro e pequenas empresas da região Sudoeste do Paraná. **Revista ESPACIOS| Vol. 35 (Nº 09) Año 2014**, 2014.

SEIICHI, Nakajima. **Introduction to TPM: total productive maintenance**. Productivity Press, 1988.