

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS
INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
CAMPUS POÇOS DE CALDAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

KETOLLY NATANNE DA SILVA LEAL

**AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DE PRODUTOS LÁCTEOS ATRAVÉS DE
ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA, ESPECTROSCÓPICA E IMAGENS DIGITAIS**

POÇOS DE CALDAS / MG

2019

KETOLLY NATANNE DA SILVA LEAL

**AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DE PRODUTOS LÁCTEOS ATRAVÉS DE
ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA, ESPECTROSCÓPICA E IMAGENS DIGITAIS**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Engenharia Química.

Orientadora: Prof. Dr^a. Izabella Carneiro Bastos
Coorientadora: Prof. Dr^a. Sara Regina Ribeiro Carneiro de Barros

Poços de Caldas / MG

2019

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca campus Poços de Caldas

L435a Leal, Ketolly Natanne da Silva.

Avaliação da estabilidade de produtos lácteos através de análise físico-química, espectroscópica e imagens digitais / Ketolly Natanne da Silva Leal. -- Poços de Caldas/MG, 2019.

110 f. –

Orientador(a): Izabella Carneiro Bastos.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alfenas, campus Poços de Caldas, 2019.

Bibliografia.

1. Colorimetria. 2. Imagens digitais. 3. Derivados do leite - Qualidade. I. Bastos, Izabella Carneiro. II. Título.

CDD – 660.2

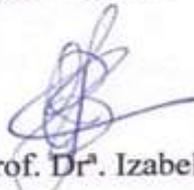
KETOLLY NATANNE DA SILVA LEAL

AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE DE PRODUTOS LÁCTEOS ATRAVÉS DE ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA, ESPECTROSCÓPICA E IMAGENS DIGITAIS

A banca examinadora abaixo assinada, aprova a dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Alfenas como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Área de concentração: Engenharia Química.

Aprovado em: 30 de agosto de 2019.



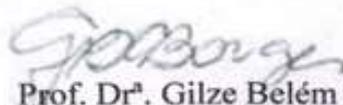
Prof. Dr^a. Izabella Carneiro Bastos

Instituição: Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL – MG



Prof. Dr. Paulo Henrique Gonçalves Dias Diniz

Instituição: Universidade Federal do Oeste da Bahia – UFOB – BA



Prof. Dr^a. Gilze Belém Chaves Borges

Instituição: Instituto Federal do Sul de Minas – IF SUL DE MINAS – MG

A minha mãe (*in memoriam*), pela dedicação, amor e
carinho, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me conceder a vida e a sabedoria.

As minhas orientadoras, professora Izabella Carneiro Bastos e Sara Regina R.C. de Barros, por toda atenção, generosidade, sinceridade e paciência no decorrer do desenvolvimento deste trabalho, além da amizade que foi construída, a palavra para resumir meu sentimento é gratidão.

A todos os docentes da pós-graduação em engenharia química, especificamente ao professor Rafael Firmani Perna por disponibilizar o laboratório registro aqui a meus agradecimentos.

Aos técnicos Cristiano e Bruno por toda ajuda com as análises, bem como, com a disponibilização de tempo para me acompanhar.

Aos membros da banca avaliadora Paulo Diniz e Gilze Borges deixo aqui meus agradecimentos pelas sugestões fornecidas.

A minha mãe (*in memoriam*), embora fisicamente ausente, sinto sua presença ao meu lado, dando-me força, sempre estará presente em meus pensamentos. Registro meu profundo amor e gratidão. A minha tia Lúcia Farias (*in memoriam*) pela criação e dedicação a minha formação.

Aos meus tios Valmir, Josias Farias e Maria da Guia por fazerem parte da minha vida de forma direta e indireta, contribuindo para meu crescimento e formação.

Ao meu tio Valdir Antônio que além de ser minha inspiração de vida é o maior incentivador para minha formação profissional e acadêmica.

Aos meus primos aqui registro meu carinho e companheirismo.

Aos amigos Letícia, Carol, Larissa e Luan Vitor por estarmos juntos nessa jornada enfrentando todas as dificuldades com parceria e amizade.

Aos amigos Mylena Almeida, Cleber Torres, Rayana de Araújo, Raissa Pimentel e Franklin por proporcionar grandes momentos na universidade durante a graduação e fora dela, momentos que fortaleceram uma amizade tão bonita.

Agradeço também a todos aqueles que de alguma forma estiveram presentes e contribuíram para que fosse possível a realização deste trabalho, em especial a Rodrigo Buriti pela paciência, conselhos e ajuda sou eternamente grata.

Agradeço a Capes pela bolsa concedida.

“A ciência é o átomo que compõe a minha vida”

(Auria Própria)

RESUMO

A ação oxidativa de alguns microrganismos e de substâncias químicas presentes em produtos lácteos podem alterar os seus níveis de acidez e pH, contribuindo para o escurecimento do produto. Consequentemente, a aparência em termos de cor é um dos primeiros fatores a ser considerado pelo consumidor, influenciando a aceitação ou rejeição do produto. Na indústria alimentícia, o parâmetro cor é medido através de colorímetros e espectrofotômetros, no entanto, o uso de imagens digitais para testes colorimétricos quantitativos vem sendo pesquisado, podendo ser aplicado em diversas áreas, inclusive a alimentícia. O processamento das imagens digitais é baseado no sistema de cor RGB (*red, green, blue*), HSV (*hue, saturation, value*) e Escala Cinza, no qual, a medição é através de algoritmos desenvolvidos em ambiente computacional. Portanto, o presente trabalho tem por objetivo investigar durante 45 dias as alterações químicas, físico-químicas e colorimétricas dos produtos lácteos sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco e iogurte sabor morango. Essas alterações foram monitoradas por meio da análise dos parâmetros pH, acidez, teor de sólidos solúveis, umidade, caracterização reológica, além de espectroscopia na região do infravermelho médio e imagens digitais. Todas as medidas foram realizadas em triplicata por um período de 0 a 45 dias em intervalos de 15 em 15 dias e posteriormente processadas em ambiente computacional. Também foram realizados testes de estabilidade expondo as amostras à radiação ultravioleta (UV) e temperaturas em diferentes tempos a fim de visualizar as condições de deterioração dos produtos. Desta maneira, pode-se verificar a qualidade e estabilidade ao longo do tempo de prateleira estabelecido pelo fabricante. Com base nos dados obtidos, constatou-se que houve alterações nos parâmetros avaliados, sendo que, a acidez da sobremesa láctea manteve-se constante durante o tempo de armazenamento. A partir da Análise de Componentes Principais utilizando as variáveis de cor, foi observado que as amostras foram agrupadas e separadas por tipo e tempo de armazenamento em concordância com as modificações colorimétricas visualmente observadas. Os testes de estabilidade indicaram que o tempo de armazenamento e tempo de exposição à radiação ultravioleta (UV) foram as variáveis de maior influência nos resultados de acidez, pH e sólidos solúveis.

Palavras-chave: Colorimetria. Imagens digitais. Qualidade de produtos lácteos.

ABSTRACT

The oxidative action of some microorganisms and chemicals present in dairy products can change their acidity and pH levels, contributing to the darkening of the product. Consequently, color appearance is one of the first factors to be considered by the consumer, influencing product acceptance or rejection. In the food industry, the color parameter is measured by colorimeters and spectrophotometers; however, the use of digital images for quantitative colorimetric tests has been researched and can be applied in several areas, including food. The processing of digital images is based on the RGB (red, green, blue), HSV (hue, saturation, value) and Gray Scale color systems, in which the measurement is by algorithms developed in a computational environment. Therefore, the present work aims to investigate for 45 days the chemical, physicochemical and colorimetric changes of the creamy dairy dessert white chocolate flavor and strawberry flavored yogurt. These changes were monitored by analyzing the parameters pH, acidity, soluble solids content, humidity, rheological characterization, as well as mid-infrared spectroscopy and digital images. All measurements were performed in triplicate over a period of 0 to 45 days at intervals every 15 days and subsequently processed in a computer environment. Stability tests were also performed exposing the samples to ultraviolet radiation (UV) and temperatures at different times in order to visualize the deterioration conditions of the products. In this way the quality and stability can be verified over the shelf life established by the manufacturer. Based on the data obtained, it was found that there were changes in the parameters evaluated, and the acidity of milk dessert remained constant during the storage time. From the Principal Component Analysis using the color variables, it was observed that the samples were grouped and separated by type and storage time according to the visually observed colorimetric modifications. Stability tests indicated that storage time and exposure time to ultraviolet radiation (UV) were the variables that most influenced acidity, pH and soluble solids results.

Keywords: Colorimetry. Digital Imaging. Quality of Dairy Products.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama do processamento do iogurte e leites fermentados	20
Figura 2 - Reação de fermentação láctea.....	21
Figura 3 - Comportamento da viscosidade em relação ao tempo.....	23
Figura 4 - Estrutura Molecular da Lactose	35
Figura 5 - Molécula de Sacarose	36
Figura 6 - (A) Amilose, (B) Amilopectina	36
Figura 7 - Estrutura Molecular do corante Carmim	37
Figura 8 - Estrutura molecular básica da pectina	38
Figura 9 - Projeção das componentes principais (PCs).....	41
Figura 10 - Aparato utilizado para a captura das imagens digitais.....	46
Figura 11 – Espectros das amostras de sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco ...	50
Figura 12 - Acidez das amostras de sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco	51
Figura 13 - pH das amostras de sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco.....	52
Figura 14 - Teor de sólidos totais das amostras de sobremesa láctea sabor chocolate branco.	54
Figura 15 - Teor de umidade das amostras de sobremesa láctea sabor chocolate branco.....	55
Figura 16 - Viscosidade das amostras de sobremesa cremosa láctea. A: Lote 1. B: Lote 2.....	56
Figura 17 - Viscosidade das amostras de sobremesa cremosa láctea. C: Lote 3. D: Lote 4.....	56
Figura 18 - Espectros da amostra de iogurte sabor morango	58
Figura 19 - Resultados obtidos de índice de acidez do iogurte sabor morango	59
Figura 20 - pH das amostras do iogurte sabor morango.....	61
Figura 21 - Teor de sólidos solúveis das amostras de iogurte sabor morango	62
Figura 22 - Umidade do iogurte sabor morango	63
Figura 23 - Viscosidade do iogurte sabor morango. A: Lote 1. B: Lote 2. C: Lote 3. D: Lote 4	64
Figura 24 - Imagens Digitais da sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco	65
Figura 25 - Imagens Digitais do iogurte sabor morango.....	65
Figura 26 - Histogramas de cores obtido das imagens digitais das amostras de sobremesa láctea (A), iogurte sabor morango (B) para obtenção das variáveis.....	66
Figura 27 - Scores do histograma das amostras de sobremesa láctea e iogurte sabor morango	67

Figura 28 - Gráfico de loadings dos histogramas das amostras de sobremesa láctea e iogurte sabor morango	68
Figura 29 - Diagrama de Pareto para as variáveis temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição UV no pH da sobremesa láctea cremosa chocolate branco ..	71
Figura 30 - pH em função do tempo de armazenamento e da temperatura: (A) superfície de resposta e (B) curvas de contorno.....	72
Figura 31 - pH em função do tempo de armazenamento e tempo de Exposição UV: (A) superfície de resposta e (B) curvas de contorno	73
Figura 32 - pH em função da temperatura e tempo de Exposição UV: (A) superfície de resposta e (B) curvas de contorno.....	73
Figura 33 - Diagrama de Pareto para as variáveis temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição UV no teor de sólidos solúveis da sobremesa láctea	74
Figura 34 - Teor de sólidos solúveis em função do tempo de armazenamento e da temperatura: (A) superfície de resposta e (B) curvas de contorno.....	75
Figura 35 - Teor de sólidos solúveis em função do tempo de armazenamento e tempo de Exposição UV: (A) superfície de resposta e (B) curvas de contorno	76
Figura 36 - Teor de sólidos solúveis em função da temperatura e tempo de Exposição UV: (A) superfície de resposta e (B) curvas de contorno	76
Figura 37 - Diagrama de Pareto para as variáveis temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição UV na acidez do iogurte sabor morango.....	78
Figura 38 - Acidez em função do tempo de armazenamento e da temperatura: (A) superfície de resposta e (B) curvas de contorno	79
Figura 39 - Acidez em função do tempo de armazenamento e tempo de Exposição UV: (A) superfície de resposta e (B) curvas de contorno	80
Figura 40 - Acidez em função da temperatura e tempo de Exposição UV: (A) superfície de resposta e (B) curvas de contorno.....	80
Figura 41 - Diagrama de Pareto para as variáveis temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição UV no pH do iogurte sabor morango.....	81
Figura 42 - pH em função do tempo de armazenamento e da temperatura: (A) superfície de resposta e (B) curvas de contorno.....	82
Figura 43 - pH em função do tempo de armazenamento e tempo de Exposição UV: (A) superfície de resposta e (B) curvas de contorno	83

Figura 44 - pH em função da temperatura e tempo de Exposição UV: (A) superfície de resposta e (B) curvas de contorno.....	83
Figura 45 - Diagrama de Pareto para as variáveis temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição UV no teor de sólidos solúveis do iogurte sabor morango ...	84
Figura 46 - Teor de sólidos solúveis em função do tempo de armazenamento e da temperatura: (A) superfície de resposta e (B) curvas de contorno.....	85
Figura 47 - Teor de sólidos solúveis em função do tempo de armazenamento e tempo de Exposição UV: (A) superfície de resposta e (B) curvas de contorno	86
Figura 48 - Teor de sólidos solúveis em função da temperatura e tempo de Exposição UV: (A) superfície de resposta e (B) curvas de contorno	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados de valor nutritivo de alguns iogurtes	19
Tabela 2 - Principais mudanças deteriorantes de alguns produtos lácteo.....	27
Tabela 3 - Coeficientes de absorção (α) de alimentos líquidos (253,7nm)	28
Tabela 4 - Dose de UV para se obter 90% de morte dos microrganismos	29
Tabela 5 - Regiões espectrais no infravermelho e amostras utilizadas	33
Tabela 6 - Grupos funcionais e regiões no espectro eletromagnético de maior absorção	34
Tabela 7 – Atribuições de possíveis compostos encontrados em amostras de produtos lácteos no Infravermelho médio	35
Tabela 8 - Aplicações do método por análise de imagens digitais na última década.....	40
Tabela 9 - Valores utilizados no DCCR para três fatores.....	47
Tabela 10 -Matriz de experimentos para execução do planejamento experimental do tipo delineado composto central rotacional 2^3 (DCCR)	48
Tabela 11 - Informação Nutricional da sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco ...	49
Tabela 12 - Informação Nutricional do Iogurte Sabor Morango.....	58
Tabela 13 - Matriz do planejamento experimental e respostas	70
Tabela 14 - Matriz do planejamento experimental e respostas	78
Tabela 15 - Resultados Físico-químicos das amostras de sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco	102
Tabela 16 - Resultados Físico-químicos das amostras de Iogurte sabor morango.....	103
Tabela 17 - Dados de Viscosidade da sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco ...	104
Tabela 18 - Dados de Viscosidade do iogurte sabor morango	105
Tabela 19 - Efeitos estimados, erro padrão e p-valor para avaliação dos efeitos da temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição UV no pH da sobremesa láctea cremosa chocolate branco.....	106
Tabela 20 - Análise de variância para a avaliação dos efeitos da temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição UV no pH da sobremesa láctea cremosa chocolate branco	106
Tabela 21 - Efeitos estimados, erro padrão e p-valor para avaliação dos efeitos da temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição UV no teor de sólidos solúveis da sobremesa láctea cremosa chocolate branco	107

Tabela 22 - Análise de variância para a avaliação dos efeitos da temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição UV no teor de sólidos solúveis da sobremesa láctea cremosa chocolate branco.....	107
Tabela 23 - Efeitos estimados, erro padrão e p-valor para avaliação dos efeitos da temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição UV na acidez do iogurte sabor morango	108
Tabela 24 - Análise de variância para a avaliação dos efeitos da temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição UV na acidez do iogurte sabor morango	108
Tabela 25 - Efeitos estimados, erro padrão e p-valor para avaliação dos efeitos da temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição UV no pH do iogurte sabor morango	109
Tabela 26 - Análise de variância para a avaliação dos efeitos da temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição UV no pH do iogurte sabor morango.....	109
Tabela 27 - Efeitos estimados, erro padrão e p-valor para avaliação dos efeitos da temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição UV no teor de sólidos solúveis do iogurte sabor morango.....	110
Tabela 28 - Análise de variância para a avaliação dos efeitos da temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição UV no teor de sólidos solúveis do iogurte sabor morango	110

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	15
2.	OBJETIVOS	17
2.1	OBJETIVO GERAL.....	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1	PRODUTO LÁCTEO IOGURTE.....	18
3.1.1	Tipos de Iogurtes	19
3.1.2	Processos de produção industrial do Iogurte	20
3.1.3	Parâmetros de Qualidade do Iogurte	22
3.1.4	Qualidade e alterações do iogurte durante o armazenamento	25
3.1.5	Fatores de deterioração dos Produtos lácteos	27
3.1.5.1	Efeitos da Radiação Ultravioleta (UV).....	27
3.1.5.2	Efeitos do Tempo e da Temperatura	29
3.2	PRODUTO LÁCTEO SOBREMESA CREMOSA E SUAS CARACTERÍSTICAS	30
3.3	ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO EM APLICADA EM ANÁLISE DE ALIMENTOS.....	32
3.3.1	Compostos Químicos encontrados em produtos lácteos no Infravermelho	34
3.4	IMAGENS DIGITAIS.....	38
3.5	ANÁLISE MULTIVARIADA	41
3.5.1	Análise de Componentes Principais (PCA).....	41
4	MATERIAIS E MÉTODOS	43
4.1	AQUISIÇÃO DAS AMOSTRAS	43
4.2	CARCTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICO-QUÍMICA	43
4.2.1	Screening espectroscópica na região do infravermelho médio	43
4.2.2	pH	44
4.2.3	Acidez titulável.....	44
4.2.4	Viscosidade Aparente	45
4.2.5	Teor de sólidos solúveis (°Brix)	45
4.2.6	Teor de umidade	45
4.3	ANÁLISE DOS PRODUTOS LÁCTEOS USANDO HISTOGRAMAS DE COR .	45
4.4	TESTES DE ESTABILIDADE DOS PRODUTOS LÁCTEOS.....	46

4.4.1	Avaliação dos fatores de deterioração	47
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
5.1	ANÁLISE ESPECTROSCÓPICA E FÍSICO-QUÍMICA DA SOBREMESA LÁCTEA CREMOSA SABOR CHOCOLATE BRANCO.....	49
5.1.1	Screening espectroscópico no infravermelho	49
5.1.2	Acidez.....	51
5.1.3	pH	52
5.1.4	Teor de Sólidos Solúveis	53
5.1.5	Umidade	54
5.1.6	Viscosidade.....	55
5.2	ANÁLISE ESPECTROSCÓPICA E FÍSICO-QUÍMICA DO IOGURTE SABOR MORANGO	57
5.2.1	Screening espectroscópico no infravermelho	57
5.2.2	Acidez.....	59
5.2.3	pH	60
5.2.4	Teor de Sólidos Solúveis	62
5.2.5	Umidade	63
5.2.6	Viscosidade.....	64
5.3	INVESTIGAÇÃO DA INTENSIDADE DOS PIXELS DAS IMAGENS DIGITAIS DA SOBREMESA LÁCTEA CREMOSA SABOR CHOCOLATE BRANCO E IOGURTE SABOR MORANGO	65
5.4	TESTES DE ESTABILIDADE.....	70
5.4.1	Efeitos da Temperatura, Tempo de Armazenamento e Tempo de Exposição à Radiação Ultravioleta (UV) sobre o pH e teor de sólidos solúveis da sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco.	70
5.4.2	Efeitos da Temperatura, Tempo de Armazenamento e Tempo de Exposição à Radiação Ultravioleta (UV) sobre a acidez, pH e teor de sólidos solúveis do iogurte sabor morango.....	77
6	CONCLUSÕES	88
7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	90
	REFERÊNCIAS	91
	APÊNDICE	102

1. INTRODUÇÃO

Quando se trata de produtos alimentícios a qualidade é um fator primordial no meio industrial e científico devido sua importância e influência à saúde humana. Com o aumento da procura por produtos naturais e prontos para o consumo, além da busca de uma alimentação mais saudável, as indústrias alimentícias buscam constantemente otimizar os seus produtos, assim, atendendo as exigências do consumidor. Com base nisso, os produtos lácteos produzidos a partir da fermentação do leite como os iogurtes e sobremesas lácteas ganham destaque no mercado por proporcionar o bom funcionamento digestivo.

Os alimentos possuem diversas propriedades que estão relacionadas com a aparência e qualidade tais como: consistência, sabor, composição nutricional, odor e cor (RUSS, 2015). Devido às ações oxidativas de alguns microrganismos, substâncias químicas presentes em produtos lácteos e fatores de deterioração, como tempo de armazenamento, temperatura e radiação ultravioleta, podem alterar os seus níveis de acidez e pH, contribuindo para o escurecimento do produto (SPAGNOL et al., 2018). Dessa forma o parâmetro cor, que constitui um dos primeiros fatores a ser considerado pelo consumidor, influencia diretamente na aceitação ou rejeição do produto observado (LUPETTI et al., 2005). Portanto, há a necessidade de um controle rigoroso sob uma série de condições que vai desde a fase do processamento até sua comercialização para garantir a qualidade e, conseqüentemente, a saúde do consumidor (FERNANDES, 2011).

Diversas técnicas e procedimentos são empregadas para o controle de qualidade de produtos lácteos, uma delas é a análise colorimétrica com o auxílio de um colorímetro, onde, se faz o uso de reagentes e padrões. A utilização dos colorímetros tem sido frequentemente aplicado para verificar a cor de diferentes bebidas como vinho e café solúvel, sucos e produtos lácteos (MAMEDE et al., 2010, OLIVEIRA; SOUZA; MAMEDE, 2011). Embora a análise clássica para avaliação do parâmetro cor em produtos lácteos faça uso de colorímetros comerciais, seu custo elevado e a necessidade de reagentes tornam-se as principais desvantagens do uso da técnica. O uso de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier, tem sido uma técnica de análise bastante utilizada para verificação do controle de qualidade de produtos alimentícios. Dentre as vantagens se destaca por ser econômica, rápida, e principalmente por ser uma técnica de análise não destrutiva, que aliada a quimiometria pode auxiliar no controle de qualidade de alimentos (GONDIM; JUNQUEIRA; SOUZA, 2011).

Sabendo-se que a cor dos alimentos é influenciada pela presença de diferentes pigmentos e por alterações físico-químicas, métodos tecnologicamente avançados estão em estudo para que o processo de análise sejam rápidos, de fácil manuseio e sem uso de reagentes ou minimizando-as, oferecendo a indústria alimentícia habilidade e qualidade no processo de controle de qualidade (MOTTA et al., 2015).

Diante disso, na última década a utilização de imagem digital oriundas de câmeras digitais embutidas em smartphones, vem sendo aplicada para realização de testes colorimétricos quantitativos com aplicação em diversas áreas da ciência e tecnologia tais como: Química, Agronomia e Engenharias (LODHA et al., 2014). Isso se deve, ao aumento da oferta de aparelhos celulares portáteis com câmera digital de altíssima qualidade, cujo valor é acessível, tornando-o uma ferramenta para construção de sistemas químicos analíticos com rápida transmissão e processamento de dados, apresentando resultados satisfatórios (DINIZ et al., 2012).

Segundo Leal et al. (2018) como forma de avaliar a qualidade de amostras de alimentos diversos tais como: chás (Diniz et al., 2012), cachaça (Fernandes et al., 2018) e café (Souto et al., 2015), o método de análise por imagens digitais está apresentando resultados satisfatórios de acordo com os dados publicados na literatura (FERNANDES et al., 2018).

Desta forma, a utilização de câmeras digitais embutidas em smartphones pode ser considerada uma ferramenta viável e alternativa para investigar a estabilidade oxidativa dos mais diversos alimentos, em contraposição aos métodos tradicionais comumente utilizados para avaliar o parâmetro cor neste tipo de matriz, uma vez que a implementação de novos métodos, acessíveis, rápidos, portáteis e baratos para o controle de qualidade e o estabelecimento de um padrão de identidade é de grande importância para a indústria alimentícia.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Investigar a estabilidade de produtos lácteos durante o prazo de validade através de análises físico-químicas e avaliar o parâmetro cor utilizando processamento de imagens digitais e espectroscopia no infravermelho.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Realizar a caracterização química e físico-química de produtos lácteos (acidez, pH, viscosidade, umidade, sólidos solúveis e espectroscopia na região do infravermelho médio) durante o período de validade estabelecido pelo fabricante (0 a 45 dias);
- b) Processar e analisar as imagens digitais dos produtos lácteos, por meio da utilização de Análise de Componentes Principais (PCA) para agrupamento das amostras em relação ao tipo de produto e tempo de armazenamento;
- c) Investigar os efeitos dos fatores de deterioração: temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição à radiação ultravioleta sob os parâmetros físico-químicos: acidez, pH e sólidos solúveis por planejamento experimental.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PRODUTO LÁCTEO IOGURTE

De acordo com o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leites Fermentados da Instrução Normativa Nº 46, de 23 de outubro de 2007, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), define o iogurte como:

Um produto obtido por coagulação e diminuição do pH do leite, ou leite reconstituído, adicionado, ou não, de outros produtos lácteos, por fermentação láctea mediante a ação proto-simbiótica de *Lactobacillus delbruckii subsp bulgaricus* e *Streptococcus thermophilus*, aos quais pode se acompanhar, de forma complementar, outras bactérias ácido-lácticas que, por sua atividade, contribuem para a determinação das características do produto final (MAPA, 2007, p.5).

O iogurte apresenta características tais como: consistência pastosa, sabor e odor acidulados, teor de ácido láctico de 0,5 a 1,5 (g/100g), etanol menos de 0,25 % (v/v), germes da flora microbiana com vitalidade, ausência de impurezas e acondicionamento em recipientes fechados (AQUARONE; BORZANI; LIMA, 2001).

Sobre o surgimento do produto lácteo iogurte, diversos estudos apontam que foi entre a Índia e o Oriente Médio durante o segundo e o primeiro milênio a.C. onde as pessoas, que ali viviam, tinham o costume de armazenar o leite sempre no mesmo recipiente gerando uma microbiota que fermentava o leite originando um alimento de sabor diferente e agradável (RAMOS et al., 2009).

No exterior, a prática de consumir o iogurte já era frequente quando o mesmo chegou ao Brasil em meados dos anos 1930 com a imigração europeia, mas, o consumo só tornou-se expressivo a partir de 1970, devido aos estudos desenvolvidos o qual informavam que a bebida láctea iogurte era considerada medicinal. Hoje em dia o iogurte é consumido em todo o mundo em função de um modo de vida, cada vez mais ativo, saudável e urbano (MELO et al., 2018).

Com o aumento do consumo de iogurte, as indústrias atualmente procuram desenvolver um produto que tenha propriedades organolépticas e nutricionais agradáveis e de forma segura devido ao sabor, textura, cor e aroma desse alimento causados pelo metabolismo microbiano (SILVA; BESSA; SILVA, 2017). Um dos fatores importantes para estimular o consumo desse alimento é a aromatização, que pode ser realizada com uma variedade grande de sabores a base de frutas como o morango, a laranja, a pêra, a ameixa, dentre outros. Além disso, o iogurte se destaca devido a capacidade de revigorar a flora intestinal do aparelho digestivo assim,

proporcionando uma melhor digestão por ser rico em ácido láctico onde tem a função ativa no metabolismo (MELO et al., 2018).

3.1.1 Tipos de Iogurtes

São vários os tipos de iogurtes existentes no mercado, sendo que a diferenciação depende do processo de produção, dos tipos de ingredientes, da composição, dentre outros fatores. Robert (2008) classificou o iogurte em três tipos gerais: (i) o primeiro é o iogurte tradicional, em que a fermentação ocorre dentro da própria embalagem sem ocorrer homogeneização resultando em um produto firme, (ii) o segundo tipo é o iogurte batido que, ao contrário do iogurte tradicional, o processo de fermentação ocorre em incubadoras e posteriormente, a quebra do coágulo, (iii) e finalmente o terceiro caracterizado pelo iogurte líquido cuja fermentação é realizada em tanques e armazenados em garrafas plásticas (AQUARONE; BORZANI; LIMA, 2001).

Para Zicker (2011) os iogurtes são classificados conforme as propriedades como: sabor ácido, adição de frutas, corantes sintéticos, bem como, em relação aos dados nutritivos. Na Tabela 1 são apresentados dados de valores nutritivos de alguns tipos de iogurtes.

Tabela 1 - Dados de valor nutritivo de alguns iogurtes

Componentes Nutricionais	Iogurte Natural	Iogurte semi-desnatado	Iogurte com frutas
Sólidos não gordurosos (%)	13,10	13,1	14,0
Proteínas (%)	4,80	4,9	5,2
Riboflavina (mg/100g)	0,22	0,22	0,24
Cálcio (mg/100g)	180	181	192
Fósforo (mg/100g)	142	143	153
Potássio (mg/100g)	240	242	254
Calorias (mg/100g)	84	69	90

Fonte: Adaptado de Aquarone; Borzani; Lima, (2001).

Budak; Akal; Yetisemiye (2016), ressaltam que o iogurte possui 10 vezes mais ácido fólico que o leite utilizado na elaboração e que as principais vitaminas, em mg/100g, presentes no iogurte de leite desnatado são: vitamina A, 70; vitamina B1, 42; vitamina B2, 200; vitamina

B6, 46; vitamina B12, 0,23; vitamina C, 0,7; ácido fólico, 4,1; ácido nicotínico, 125; ácido pantotênico, 381; biotina, 2,6; e colina, 0,6.

Já Aquarone; Borzani; Lima (2001), classifica o iogurte por vários critérios tais como: quanto ao teor de gordura (g): Integral $g > 3,5$ %, Médio teor $2,0\% < g < 3,5\%$, Baixo teor $0,2\% < g < 2,0\%$, desnatado $g < 0,2\%$, quanto aos ingredientes: Natural - feito apenas com leite e microrganismos, Flavorizado – utilização de essências, corantes e açúcar, frutas – adição de polpa ou frutas em pedaços, e quanto à viscosidade: Baixa viscosidade – escoo facilmente do recipiente, Alta viscosidade - escoo com dificuldade do recipiente, Geleificado – não escoo do recipiente.

3.1.2 Processos de produção industrial do Iogurte

A primeira etapa e de grande importância é a seleção das matérias primas em que se deve certificar que são de alta qualidade, não contendo impurezas. O leite utilizado na produção do iogurte deve apresentar baixa contagem de bactérias, sem presença de enzimas e substâncias que atrapalhem o desenvolvimento da cultura de iogurte (FERNANDES, 2011). Após garantir a qualidade das matérias primas, inicia-se o processo de produção do iogurte, subdividido em várias fases como ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Diagrama do processamento do iogurte e leites fermentados

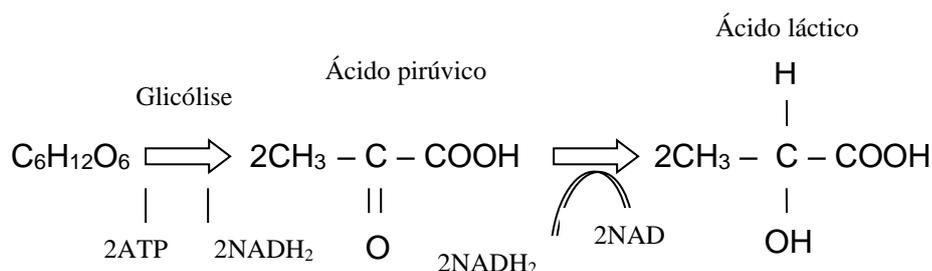


Fonte: Adaptado de Silva et al. (2010).

Observando a Figura 1, a primeira etapa consiste em receber a matéria prima e iniciar o aquecimento para a padronização da gordura. Em seguida passa por filtração, desaeração e homogeneização, possibilitando a diminuição do tamanho dos glóbulos de gordura e impedindo a formação da linha de nata. Para destruir os microrganismos que possam atrapalhar o fermento do iogurte, o leite é submetido a um tratamento térmico. Após o processo de aquecimento, é necessário resfriá-lo à temperatura em torno de -43°C e durante essa etapa é usado termopares com o intuito de prevenir contaminações (MELO et al., 2018).

Dependendo do tipo de iogurte que se deseja produzir, a fase da mistura pode variar os ingredientes e as proporções. Além disso, é nessa fase que se deve acrescentar os aditivos como adoçantes e estabilizadores para aumentar o teor em açúcares e, conseqüentemente, a viscosidade (SILVA et al., 2010). É importante ressaltar que, uma vez formando uma mistura homogênea, há um aumento da viscosidade e a estabilidade do iogurte, além de melhorar as propriedades organolépticas do produto final. Isso ocorre devido a alteração na capacidade de retenção de água das proteínas do leite e da pressão e temperatura utilizada no processo (WALSTRA et al, 2006). Após o processo de tratamento da matéria prima, mistura/homogeneização e pasteurização, a fermentação é o próximo passo no qual ocorre a fermentação láctea que consiste na redução do ácido pirúvico e ácido láctico (TAMIME; ROBINSON, 2007).

O produto resultante da fermentação láctea é o ácido láctico devido a conversão anaeróbica de carboidratos como a glicose e outras substâncias orgânicas. A fermentação láctea é um processo microbiano fundamental na produção de laticínios, podendo homoláctea, na qual o único produto da fermentação é o ácido láctico, como também pode ser heteroláctica, que durante a reação há formação de dióxido de carbono, etanol e ácido láctico nas mesmas proporções (SILVA et al., 2010). A reação simplificada de fermentação láctea é descrita através da Figura 2:



Fonte: Adaptado de Silva et al. (2010).

As duas bactérias do iogurte, *Streptococcus thermophilus* e *Lactobacillus bulgaricus*, crescem simbioticamente no processo de fermentação, gerando ácido láctico e compostos aromáticos, resultando um coágulo. O crescimento do *Streptococcus thermophilus* é favorecido com a acidez do leite (menor que 0,2 g/100g) no início da fermentação, pois ocorre o estímulo de alguns aminoácidos livres (como a valina) que são produzidos pelo *Lactobacillus bulgaricus*, que provoca um aumento de acidez. Com o estímulo do desenvolvimento *Lactobacillus bulgaricus*, o *Streptococcus thermophilus* libera ácido fórmico nesta fase inicial (XU et al, 2008).

Ao atingir 0,46 g/100g o ambiente torna-se desfavorável à bactéria *Streptococcus thermophilus* e, de forma abrupta, mais favorável ao desenvolvimento do *Lactobacillus bulgaricus*, produzindo acetaldeído, responsável pelo aroma do iogurte. Esse aumento de acidez nessa fase eleva o pH a 4,6, justamente no ponto isoelétrico (ponto onde o número de cargas positivas e negativas são iguais) da proteína do leite, ocasionando coagulação (WALSTRA et al, 2006). A acidez, ao atingir entre 0,80 e 0,90 g/100g, já está pronta para sofrer uma diversificação na técnica de fabricação, o que leva a escolher entre iogurte batido ou natural (TAMIME; ROBINSON, 2007).

3.1.3 Parâmetros de Qualidade do Iogurte

Ao investigar a deterioração de um alimento que ocorre crescimento de microrganismo, atividades enzimáticas e modificações dos corantes, por exemplo, a análise de pH é de extrema importância por estar relacionada com as alterações que o produto pode vir a ter, tais como mudança de cor, sabor e odor (CECCHI, 2003).

Silva e Ueno (2013) ressaltam que o pH é um índice que informa a acidez, neutralidade ou alcalinidade de um meio qualquer, cuja determinação é feita com a utilização de um potenciômetro e eletrodos. O pH do iogurte pode variar entre 4,5 e 4,8. Porém, em casos onde há a falta de higiene e refrigeração adequada, o leite obtido apresenta um aumento de ácidos orgânicos em sua composição, em especial os ácidos lácticos resultante da fermentação feita por microrganismos na lactose (SILVA; UENO, 2013).

De acordo com Cecchi (2003), a cor, sabor, odor e consistência dos produtos lácteos podem ser alterados, devido a presença de ácidos orgânicos que influenciam na qualidade desses produtos. Portanto, determinar a acidez total em produtos lácteos é também um outro parâmetro fundamental para obter dados valiosos na apreciação do processamento e do estado

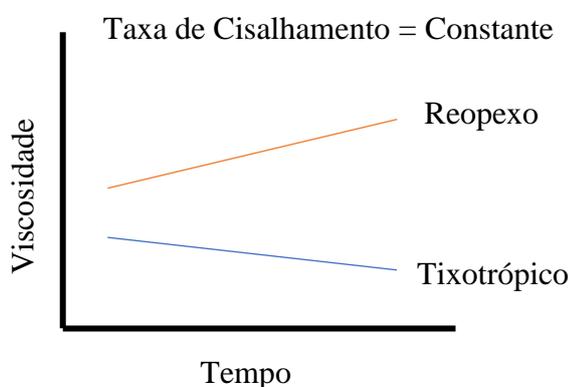
de conservação desses alimentos. O livro de metodologias analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2008) ressalta que: “A acidez é resultante dos ácidos orgânicos existentes no alimento, dos adicionados propositadamente e também daqueles provenientes das alterações químicas dos mesmos”.

Um dos testes mais importantes é o teste de acidez do iogurte durante o processo de produção e durante o tempo de prateleira. São diversos os métodos para monitorar e controlar a acidez do iogurte, porém todos eles possuem algo em comum que é a titulação de uma amostra de leite ou derivado com hidróxido de sódio com molaridade conhecida. Nesses casos, sua acidez será mostrada em g/100g de ácido láctico ou graus Dornic (°D) com variação de ácido láctico entre 0,12 e 0,23% (FERNANDES, 2011).

Gunasekaran e Mehmet (2003) definem a reologia como: “a ciência que estuda a deformação e o fluxo da matéria”. Segundo Schumacher (2009) o estudo reológico envolve a relação entre a taxa de cisalhamento e tensão de cisalhamento, logo, se a relação for linear o fluido é caracterizado como newtoniano que depende apenas da temperatura e da composição do fluido e a sua viscosidade é constante, entretanto, essa relação em muitos casos não é linear sendo classificado como um fluido não newtoniano, onde, a viscosidade é invariável quando a temperatura é constante. Os fluidos não-newtonianos são classificados em dois grupos dos quais são: os independentes do tempo e os dependentes do tempo (SILVA, 2018).

Diante disso, em relação ao tipo de fluido dos iogurtes e sobremesas lácteas, segundo Mathias et al. (2013) são fluidos não-newtoniano do tipo tixotrópico, ou seja, a viscosidade aparente depende do tempo de cisalhamento conforme demonstrado na Figura 3.

Figura 3 - Comportamento da viscosidade em relação ao tempo



Fonte: Adaptado de Araújo e Nascimento (2007).

Segundo Viana (2010), a tixotropia ocorre quando o valor da viscosidade diminui com o aumento da concentração, devido a aglomeração das partículas em suspensão, onde a interação entre partículas é resultante da atração pela ação de forças de van der Waals, bem como de repulsão resultante a efeitos eletrostáticos e estéricos.

De acordo com Steffe (1996):

O estudo da viscosidade é fundamental no desenvolvimento, fabricação e processamento de produtos alimentícios, permitindo que haja uma completa caracterização do material, pois é possível controlar a qualidade do produto final, determinar a vida de prateleira, fazer avaliações de textura, e o principal: estimar características de projeto e dimensionamento de equipamentos, otimizando processos com reduções de custos e melhoria na eficiência (STEFFE, 1996, p. 255).

Outro parâmetro de qualidade importante na avaliação de iogurtes é o teor de sólidos solúveis que na indústria alimentícia é determinado pela escala Brix, que indica a quantidade aproximada de açúcares e ácidos orgânicos presentes nos alimentos, tais como sucos de fruta, vinhos, dentre outros (SILVA et al., 2009). O método da refratometria é o método instrumental utilizado para determinar o teor de sólidos solúveis ($^{\circ}$ Brix) em alimentos. Trata-se de uma metodologia simples e segundo Salgado; Guerra e Melo Filho (1999) funciona da seguinte forma: “Quando um feixe de luz passa em um líquido ele muda de direção, esse fenômeno é chamado de refração. O ângulo de refração, indica à mudança de direção do feixe de luz. O equipamento refratômetro transforma os ângulos obtidos em valores de índices de refração (n_D)”.

A calibração da escala Brix é feita pela quantidade relativa de açúcar em 100g de solução. Ao medir o índice de refração da solução, a concentração real de açúcar deve ser refletida em porcentagem de Brix. A escala de Brix apresenta a concentração de sólidos solúveis que estão contidos na amostra. Os sólidos solúveis incluem todos os sólidos dissolvidos na água, como açúcares, sais, proteínas, ácidos, etc. A leitura do valor é o somatório de todos esses sólidos (SILVA et al, 2009).

A umidade de um alimento é um parâmetro físico-químico quantificada por meio de aquecimento. A umidade é a diferença de peso após o alimento ser aquecido, pois há a remoção da água ali presente. Outras substâncias que volatizam são igualmente perdidas e removidas ao aquecer o alimento, resultando em apenas resíduo seco. O teor de umidade tanto pode ser indicado em base úmida ou seca (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008). Este parâmetro é importante devido a influência da taxa de deterioração por microrganismos e reações

enzimáticas e químicas que ocorrem durante a armazenagem estão diretamente ligadas ao teor de água na produção de alimentos (FELLOWS, 2006).

A coloração dos alimentos é um importante atributo de qualidade, não só por contribuir para uma boa aparência, mas também, por influenciar a preferência do consumidor (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2010). A utilização da análise de cor é frequente para avaliação rotineira de diversas matérias-primas sob condições variadas, investigar degradações causadas pelo efeito do tempo de armazenamento, as alterações provocadas por aquecimentos, luminosidade, efeitos do frio, além de determinação instrumental. Este parâmetro é investigado com o auxílio de um colorímetro comercial ou um espectrofotômetro, onde é necessária a utilização de reagentes (padrões de cor) (MOTTA et al., 2015).

A colorimetria é vastamente empregada para a otimização do controle de processos na área de processamento de alimentos e com isso, pesquisas são desenvolvidas para verificar a relação colorimétrica com parâmetros químicos e físico-químicos (MOTTA et al., 2015). Miguel, AlbertinI e Spoto (2009) avaliaram geléias de morango em que, observaram que a coloração não apresentou alterações pronunciadas quando armazenado em temperaturas entre 20 e 30 °C, diferente daqueles que foram armazenados a 40 °C os quais foram afetados negativamente, causando um escurecimento. Moura et al. (2007) analisaram a maçã-passa, onde empregou a colorimetria para calcular e estimar a vida-de-prateleira do produto.

3.1.4 Qualidade e alterações do iogurte durante o armazenamento

Manter o equilíbrio das bactérias é fundamental para que o produto permaneça ácido e aromático em boas proporções, assim, evitando alterações durante o tempo de prateleira dos produtos lácteos. Para garantir maior uniformidade entre os lotes é necessário realizar ajustes da escala de produção, controle de qualidade da matéria prima, tempo gasto na elaboração do produto, dentre outros fatores (RODAS, 2001).

Do ponto de vista de vida de prateleira, Sivieri e Oliveira (2002) ressalta que a qualidade dos alimentos é definida por parâmetros fisiológicos, valores nutricionais e atributos sensoriais como cor, sabor e textura ou consistência. A diminuição da qualidade e a redução da vida de prateleira podem ser consequência do efeito de uma ou mais destas propriedades (SIVIERI; OLIVEIRA, 2002).

Com base nisso, Martin (2002) diz que para a avaliação da qualidade do iogurte os parâmetros físico-químicos mais importantes são: viscosidade, acidez, pH, sólidos solúveis,

dentre outros. A acidez, segundo Rodas (2001), torna os iogurtes alimentos estáveis por inibir o crescimento de bactérias Gramnegativas, e o mesmo autor ressalta que o pH pode variar 3,6 a 4,2 podendo atingir pH final de até 4,5. Manter esses valores evita que o produto apresente teor de acetaldeído elevado, evitando alterações nas propriedades organolépticas; além disso, o teor de sólidos solúveis também é importante controlar porque exerce influência direta na acidez e pH do iogurte.

A Instrução Normativa Nº 46 vigente (MAPA, 2007) recomenda que o produto seja conservado à temperatura máxima de 10°C, armazenado em material resistente a possíveis modificações internas e ser hermeticamente fechado/esterilizado industrialmente. A embalagem do produto não pode alterar suas características sensoriais e nem a composição do produto, portanto, o espaço livre dentro do recipiente não deverá exceder 5% do seu volume (NUTRI, 2010).

Durante o tempo de prateleira do iogurte são inúmeras reações químicas e microbiológicas que ocorrem, alterando seu padrão de qualidade. A reação de Miliard ocorre em diversos alimentos ocasionando o escurecimento. Isso se deve, porque os compostos formados pela reação de Miliard são de alto peso molecular com pigmentação escura denominados melanoidinas (FRANCISQUINI et al., 2017). Essa reação acontece entre os aminoácidos ou proteínas e os açúcares (carboidratos) dependendo de vários fatores tais como: temperaturas elevadas (acima de 40°C), atividade de água na faixa de 0,4 a 0,7, pH na faixa de 6 a 8 (preferencialmente alcalino), umidade relativa de 30% a 70% e presença de íons metálicos de transição como Cu^{2+} e Fe^{2+} , que podem catalisar a reação (SHIBAO; BASTOS, 2011).

Quando se trata de produtos lácteos segundo Francisquini et al. (2016) as reações de Maillard também podem ter efeitos negativos, inclusive no que diz respeito a qualidade sensorial e estética do alimento. Durante sua armazenagem os produtos como iogurte e sobremesa láctea podem desenvolver odores desagradáveis, que são provocados não só por degradação lipídica, mas também por reações de Maillard. Outro fator que altera visualmente é a coloração, podendo apresentar descoloração ou escurecimento dependendo da composição do produto.

O primeiro sinal que o iogurte não está aceitável é o surgimento do gosto amargo. Isso se deve à hidrólise das proteínas contidas no iogurte por ação microbiana, onde forma polipeptídios no qual o pH, temperatura e o tempo de armazenamento do produto são as variáveis influenciadoras (FERNANDES, 2011). Uma mudança considerável de temperatura durante o armazenamento ocasiona o desenvolvimento de microrganismos psicrotóxicos, ou

seja, aqueles que se proliferam em temperaturas de refrigeração ocorrendo alterações indesejáveis no iogurte. Quando acontece a hidrólise de peptídeos a proporção entre as culturas afeta o nível de aminoácidos contidos no iogurte ocasionando uma acidez indesejável, isso ocorre devido ao excesso de *Lactobacillus bulgaricus*. Quando a proporção de *Streptococcus thermophilus* e *Lactobacillus bulgaricus* diminui, o conteúdo de nitrogênio não proteico também diminui na mesma proporção, além disso, a quantidade de ácidos graxos livres podem modificar a atividade proteolítica da cultura láctica afetando a textura do coágulo (TAMIME E ROBISON, 2007).

Quando o iogurte é elaborado com leite sem passar por tratamento térmico ocorre um aumento da proteólise devido às proteases produzidas por psicrotróficos presentes no leite e, com isso, obtendo um produto de qualidade inferior após 15 dias de armazenamento (GASSEM; FRANK, 1990). Na Tabela 2 estão representadas as alterações que ocorrem durante o armazenamento de alguns produtos lácteos.

Tabela 2 - Principais mudanças deteriorantes de alguns produtos lácteos

Produto	Mecanismos de deterioração	Limites das Alterações
Leite fluido	Oxidação Reações hidrolíticas Crescimento microbiano	Rancidez e outros sabores
Leite em pó	Absorção de umidade oxidação	Aglutinação Alterações no sabor, Rancidez
Iogurtes	Sinéresis Oxidação	Separação do soro Rancidez
Iogurtes de Frutas	Sinéresis Oxidação Crescimento microbiano	Separação do soro Rancidez Mofo

Fonte: Adaptado da Revista-fi, 2011.

3.1.5 Fatores de deterioração dos Produtos lácteos

3.1.5.1 Efeitos da Radiação Ultravioleta (UV)

Algumas amostras de alimentos são tratadas com o uso de irradiação ultravioleta por ser um procedimento limpo e de baixa probabilidade de contaminação. Utiliza-se esse tipo de tratamento para o controle de deterioração de alimentos pois a irradiação funciona como um

germicida ao destruir de forma parcial ou total os microrganismos, concluindo seu uso como germicida (SOUZA, 2014).

A radiação ultravioleta (UV) gera efeitos biológicos decorrentes da excitação e não da ionização de moléculas (KAREL; LUND, 2003). Constatou-se que não há fornecimento de radioatividade residual pela energia, como a radiação ionizante (gama), porém ao analisar o comprimento de onda germicida, a radiação UV já é suficiente para quebrar as ligações do ácido desoxirribonucleico (DNA) dos microrganismos e causar deslocamento físico de elétrons, esse tipo de fenômeno modifica a reprodução e metabolismo dos microrganismos. Em outras palavras, a injúria aos sistemas 26 de radiação das células que às levam à morte (GUERRERO-BELTRÁN; BARBOSA-CÁNOVAS, 2004).

A radiação ultravioleta (UV) tem como característica o baixo comprimento de onda e alta carga de energia, essa última comparada a de uma ligação química e a de um fóton, com capacidade de provocar alterações fisiológicas como, a exemplo, a inativação do DNA (BALL, 2007). As bactérias que apresentam maior sensibilidade à radiação ultravioleta são aquelas em suspensão no ar, comparado às bactérias suspensas em líquidos. Essa sensibilidade acontece, devido, a capacidade penetrante da luz diferente em diferentes meios físicos (MONDARDO, 2015). Ao atravessar o meio, a luz incidente é atenuada, seja em maior ou menor grau. Isso ocorre por causa do coeficiente de absorção, em qualquer tipo de meio sempre haverá uma atenuação. O coeficiente de absorção do líquido varia de acordo com sua cor ou turbidez, quanto maiores, mais será o coeficiente de absorção, o que ocasiona uma menor penetração de luz através do sistema (MONDARDO, 2015). A Tabela 3 apresenta os coeficientes de absorção (α) de alguns alimentos líquidos (MONDARDO, 2015).

Tabela 3 - Coeficientes de absorção (α) de alimentos líquidos (253,7nm)

Microrganismo	Dose (mW.s.cm⁻²)	K * (m.J⁻¹)
<i>Bacillus anthracis</i>	45,2	0,051
<i>Clostridium tetani</i>	120	0,019
<i>Salmonella enteritidis</i>	40	0,058
<i>Salmonella paratyphi</i>	32	0,072
<i>Staphylococcus aureus</i>	26	0,086
Leveduras para panificação	39	0,060

Fonte: Mondardo, 2015.

Para eliminar os microrganismos, o comprimento de onda mais eficaz na região ultravioleta é de 260 nm, comprimento esse que é absorvido pelo DNA celular. Em casos cujo comprimento de onda é maior que 300 nm, o efeito letal nos organismos é anulado. A intensidade de irradiação UV é expressada como irradiância ou intensidade de fluxo (W/m^2). A dose de irradiação é em função da intensidade e do tempo exposto ao UV, sendo expressa como expressão radiante (J/m^2) (ALEXANDRE; FARIA; CARDOSO, 2008).

Em geral, há uma variação de eficiência dos microrganismos à luz UV, pode-se considerar além de outros fatores como o ambiente em que situa o microrganismo, a influência da dose de radiação a ser aplicada para a sua destruição. A Tabela 4 (PHILLIPS, 2006) mostra a sobrevivência de microrganismos a luz UV quando exposto.

Tabela 4 - Dose de UV para se obter 90% de morte dos microrganismos

Alimentos	α (cm^{-1})
Produtos Lácteos	300
Cerveja	10-20
Vinho Tinto	30
Vinho Branco	10
Molhos	2-50

Fonte: Adaptado de Phillips (2006).

Koutchma (2004) afirmou que a não havia estudos pela saúde pública para a dose mínima para controlar os microrganismos mais resistentes, entretanto observa-se que a sensibilidade à luz ultravioleta de *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* e *Staphylococcus aureus* em líquidos fluidos alimentares é similar à sensibilidade de *E.coli*. Mondardo (2015) destaca que a eficiência da luz UV só se torna possível ao atingir no mínimo $400 J/m^2$ em toda a região do produto para redução de 5 log₁₀ de contagem inicial. Sendo assim, pode-se dizer que, se uma indústria deseja reduzir a carga microbiana, ela deve aplicar uma dose de acordo com o processo, produto e alvo desejado.

3.1.5.2 Efeitos do Tempo e da Temperatura

O fator mais importante para conservar e manter a vida útil de um alimento é a temperatura do meio o qual se encontra, cuja manutenção mais utilizada é através da

refrigeração por retardar o desenvolvimento da deterioração do alimento (SPAGNOL et al., 2018).

Os fatores temperatura e forma de armazenamento influenciam na rapidez de multiplicação dos microrganismos após o armazenamento do iogurte. A alta temperatura está proporcionalmente ligada a maior taxa de proliferação microbiana (SILVA et al., 2012).

A formação de gel segundo Peixoto et al. (2016) é bastante influenciada pela temperatura de armazenamento e essa formação ocorre mais rapidamente a temperatura ambiente (20 °C a 25 °C) que em baixa (4 °C) e alta temperatura (35 °C a 40 °C) e os aditivos, como fosfato de sódio e citrato de sódio, aceleram a gelificação em leite UHT (UAT) integral.

Quando se considera o fator tempo, sabe-se que quanto maior o tempo de armazenamento à baixa temperatura de um produto lácteo que contém uma alta concentração de microrganismos do tipo psicrotrófico (como os do gênero *Pseudomonas spp*), maior é a chance do produto final apresentar alterações em relação ao produto inicial (leite pasteurizado, leite ultra pasteurizado, iogurtes e queijos) (FAGUNDES, 2006).

O tempo que o produto pode ser mantido sem alterações indesejáveis é a vida-de-prateleira, que no caso dos produtos avaliados no presente estudo o tempo de prateleira é de 45 dias após a data de fabricação. Este tempo é a condição no qual as mudanças podem ser distinguidas no leite de consumo por causa da decomposição por crescimento bacteriano, por enzimas bacterianas exógenas e enzimas nativas. Essas mudanças citadas resultam na produção de um iogurte ácido, proteólise, lipólise e reações químicas que causam oxidação (ANTUNES, 2014). Por exemplo, a incipiente gelificação, aumento da viscosidade, cremificação, floculação e sedimentação, que são fatores físico-químicos limitantes da vida-de-prateleira. As condições tropicais de armazenamento beneficiam a *Bacillus sthearothermophilus* (BSP) que produz esporos muito resistentes (WALSTRA et al., 2005). A lactose é o componente mais alterado em função da degradação em ácido láctico pelos microrganismos mesofílicos, causado pelo período de armazenamento (GOFF, 2009).

3.2 PRODUTO LÁCTEO SOBREMESA CREMOSA E SUAS CARACTERÍSTICAS

Na última década, pode-se destacar o crescimento elevado de sobremesas lácteas prontas para comer, com vida de prateleira média. Isso ocorre devido aos ingredientes inovadores e a tecnologia aplicada nas fábricas de laticínios que vem proporcionando novas alternativas às sobremesas lácteas clássicas feitas em casa, o que permite flexibilidade de

sabores, digestibilidade e maior valor nutritivo (VIDIGAL et al., 2012; KOMATSU et al., 2013). As sobremesas derivadas do leite são consumidas em todo o mundo, o qual cada uma é fabricada de acordo com o consumidor alvo ou local, assim como os grupos de consumidores, como idosos e crianças (MORAIS et al., 2014).

As sobremesas derivadas do leite são classificadas como “alimentos prontos para consumo”. Pela regulamentação vigente (BRASIL, 2006), os alimentos semiprontos ou prontos para consumo são descritos da seguinte forma: “são os alimentos preparados ou pré-cozidos ou cozidos, que para o seu consumo não necessitam de adição de outro(s) ingrediente(s). No entanto, requerer um aquecimento ou cozimento complementar”. Para o consumidor há uma farta e variadas opções de sobremesas estão disponíveis prontas para comer, com texturas, sabores e aparências diferentes (BRUZZONE et al., 2011). Essa variação tem como principal motivo o uso de diferentes ingredientes, equipamentos e condições de processo, o que influencia todo o alimento, desde as características nutricionais, físico-químicas e sensoriais, sujeitos a aprovação pelo consumidor final (ARCIA; COSTELL; TÁRREGA, 2010).

SAUNDERS (2011) afirma que a maioria das sobremesas lácteas são produzidas a partir de cinco ingredientes base: água, leite, gordura (láctea e/ou vegetal), modificadores de textura, e sabor/cor. Ao combinar esses ingredientes principais é determinado o tipo de textura que se espera, assim como a forma de processamento irá determinar a forma e funcionalidade da sobremesa final, que são classificadas em: sobremesa cremosas; pudins; sobremesas em pó (que devem ser batidas com leite); sobremesas aeradas (mousses) e outras sobremesas lácteas (regionais) (MORAIS, 2014).

Estes produtos são constituídos por sua formulação e o tipo de leite. Já o processo de fabricação segue, de forma mais ampla, as etapas de preparo de mistura, tratamento térmico, homogeneização, resfriamento parcial e estocagem sob refrigeração. O objetivo de tais tratamentos térmicos independe de garantir a segurança do produto, seu foco é prolongar a vida-de-prateleira das sobremesas lácteas por redução e destruição de microrganismos e por inativação de enzimas e, de forma simultânea, conservar as propriedades sensoriais e o valor nutricional tanto quanto possível, cujo pH final encontra-se entre 6,2 e 6,5 (SENAI, 2016).

De acordo com Valencia (2015) as sobremesas lácteas não possuem um padrão específico em nossa legislação brasileira, a sua composição difere em relação aos ingredientes e suas concentrações utilizadas, na forma de preparo e processamento, o qual o leite faça o papel mais relevante na composição do alimento. A consistência, na maioria dos casos, é semi-sólida e a composição é formulada com leite, hidrocolóides, aroma e corante. A estabilidade da

sobremesa depende da tecnologia empregada em sua fabricação, das características intrínsecas de cada ingrediente e estocagem sob condições refrigeradas (ARES et al., 2013). As condições em que o alimento foi preparado e seu processamento são muito importantes e devem ser feitos de acordo com a formulação dos ingredientes. O processo de fabricação é constituído pelo preparo da mistura, tratamento térmico, homogeneização, resfriamento parcial e estocagem sob refrigeração (VALENCIA, 2015).

Uma das sobremesas lácteas mais consumidas no mundo todo, por diversos tipos de consumidores, é o chocolate, devido ao seu sabor, aroma e cor único. Com esse cenário, muitas fabricantes inovam na matriz alimentar para culturas probióticas, já que possuem condições favoráveis ao desenvolvimento desses microrganismos, cujo pH é maior que 6,0, umidade relativa superior a 70%, não são fermentados, não possuem culturas “starter” para competir com microrganismos probióticos (SILVA et al., 2012). Em produtos lácteos do tipo achocolatado, as gomas reagem com as proteínas do leite e as partículas do cacau a fim de formar rede tridimensional, que mantém as partículas em suspensão, aumentando assim, sólidos solúveis (VIDIGAL et al., 2012).

Segundo a Revista-FI (2016) uma característica marcante da sobremesa Láctea é a sua solução viscosa com comportamento pseudoplástico em baixas concentrações, ou seja, a viscosidade tende a cair com o aumento do cisalhamento e seu uso é feito em aplicações onde é necessário: espessamento, estabilização, controle reológico e de viscosidade, suspensão e formação de corpo, modificação de textura e consistência e retenção de água., Por outro lado, a mesma é desfavorecida quando o pH é baixo.

3.3 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO APLICADA EM ANÁLISE DE ALIMENTOS

A absorção de frequências da radiação eletromagnética na região do infravermelho do espectro eletromagnético ocorre na maioria dos compostos orgânicos e inorgânicos. Essa região, do infravermelho, envolve os comprimentos de onda situados entre a luz visível e as micro-ondas (ATKINS; JONES, 2011) e seu espectro eletromagnético pode ser dividido em três partes principais: infravermelho próximo (NIR – *Near Infrared* - região das harmônicas) 0,8 – 2,5 μm (12500 – 4000 cm^{-1}); infravermelho médio (MIR – *Middle Infrared* - região de vibração-rotação) 2,5 – 50 μm (4000 – 200 cm^{-1}) e infravermelho distante (FIR – *Far Infrared* - região de rotação) 50 – 1000 μm (200 – 10 cm^{-1}) (TOSCAN, 2016). A região mais vista para

fins analíticos é aquela cujos comprimentos de onda variam de 2,5 a 25 μm (micrômetros), ou seja, cujos números de onda estejam entre 4000 e 400cm^{-1} conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Regiões espectrais no infravermelho e amostras utilizadas

Região	Número de onda cm^{-1}	Amostra a que se aplica
Próximo	12500 a 4000	Materiais comerciais sólidos ou líquidos e misturas gasosas
Médio	4000 a 200	Sólidos, líquidos ou gases puros, misturas complexas de líquidos, sólidos ou gases
Distante	200 a 10	Amostras sólidas, líquidas e gasosas

Fonte: Toscan, 2016.

Na Tabela 5 estão representadas as relações entre as regiões espectrais de interesse analítico com os materiais utilizados, considerando as características intrínsecas dos compostos a serem analisados. Como todo material, ao absorver a energia, as moléculas são excitadas para atingir um estado de maior energia, ao absorver a radiação infravermelho essa alteração ocorre na ordem de 8 a 40 kJ/mol (PAVIA et al., 2010), no qual, a radiação emitida nessa faixa de energia corresponde à faixa que envolve frequências vibracionais de estiramento e dobramento das ligações das moléculas covalentes, diferente das ligações simétricas, que não absorvem radiação no infravermelho (PAVIA et al., 2010).

Entende-se que cada ligação possui sua própria frequência natural de vibração, e com duas ligações idênticas em diferentes compostos estão em dois ambientes levemente diferentes, os padrões de absorção no infravermelho em duas moléculas de estruturas diferentes nunca serão exatamente idênticos. Os espectros infravermelhos de duas moléculas diferentes nunca serão idênticos mesmo que suas frequências absorvidas sejam iguais (FORATO et al, 2010).

Outra forma de usar o espectro infravermelho é quando necessita o fornecimento de informações estruturais de uma molécula. Como as absorções de cada tipo de ligação são encontradas em determinada região do infravermelho vibracional, conforme mostra a Tabela 6 (PAVIA et al., 2010).

Tabela 6 - Grupos funcionais e regiões no espectro eletromagnético de maior absorção

Grupo Funcional	Frequência (cm⁻¹)
Alcoóis, Fenóis, Ácidos Carboxílicos (O-H)	3200
Aminas e Amidas primárias e secundárias (N-H)	3400
Alcanos, Alcenos, Aromáticos, Alcinos, Aldeídos (C-H)	3000
Nitrilas (C≡N)	2250
Alcinos (C=C)	2150
Aldeídos, Cetonas, Ácidos Carboxílicos, Ésteres, Amidas, Anidridos, Cloreto Ácido (C=O)	1715
Alcenos, Aromáticos (C=C)	1650
Alcoóis, Éteres, Ésteres, Ácidos Carboxílicos, Anidridos (C-O)	1100

Fonte: PAVIA et al. 2010.

A área que mais vem criando demanda para o uso de espectroscopia no infravermelho para verificação da qualidade de alimentos é a área de Controle de Qualidade das indústrias alimentícias, atendendo essa procura, trabalhos científicos estão sendo desenvolvidos, apresentando resultados satisfatórios. Ao minimizar a distância entre o emprego de métodos qualitativos e quantitativos, a busca por alternativas para simplificar os resultados das análises para torná-las simples, rápidas, objetivas e de baixo custo, com atributos dos métodos de triagem são associados às respostas específicas e precisas dos métodos confirmatórios. Diante desse cenário, em especial a técnica espectroscópica no infravermelho, associada a métodos quimiométricos, vem sendo apresentada como uma alternativa para o uso confiável de identificação e quantificação de compostos em matrizes complexas (GONDIM; JUNQUEIRA; SOUZA, 2011).

3.3.1 Compostos Químicos encontrados em produtos lácteos no Infravermelho

A interpretação dos dados infravermelho médio é baseada na capacidade de absorção de radiação, em diferentes comprimentos de ondas, dos grupos químicos específicos de alguns componentes dos produtos lácteos como gordura, proteína e lactose. Os grupos carbonila (C=O) das ligações éster dos triglicerídeos absorvem radiação no comprimento de onda de 5,73μm, os grupos amida (CONH₂) das ligações peptídicas das proteínas em 6,46 μm e os grupos hidroxila (OH) da lactose em 9,53μm. A Tabela 7 apresenta os compostos que possivelmente podem ser encontrados no infravermelho médio (FTIR) em amostras de alimentos que têm como matéria prima principal o leite segundo Carvalho (2013).

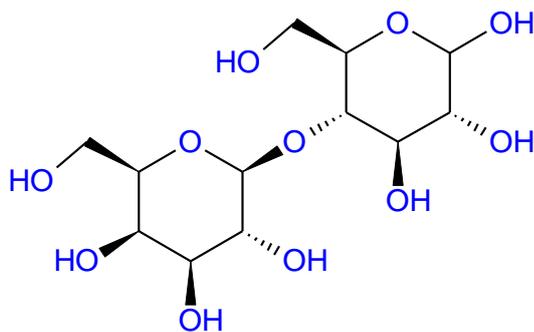
Tabela 7 – Atribuições de possíveis compostos encontrados em amostras de produtos lácteos no Infravermelho médio

NÚMERO DE ONDA (cm^{-1})	GRUPO	ATRIBUIÇÃO	MODO VIBRACIONAL
3438	$\nu_s(\text{OH})$	Gordura	Estiramento simétrico
2927-2925	$\nu_{as}(\text{CH}_2)$	Gordura	Estiramento assimétrico
2855-2854	$\nu_s(\text{CH}_2)$	Gordura	Estiramento simétrico
2350	$\nu_s(\text{CH}_2)$	Gordura	Estiramento simétrico
1747	$\nu(\text{C}=\text{O})$	Gordura	Estiramento simétrico
1660-1650	$\nu(\text{C}=\text{O})$	Amida I	Estiramento
1547-1541	$\delta(\text{N-H})$	Amida II	Deformação angular no plano (DAP)
1251-1241	$\nu(\text{C-N})$	Amida II	Estiramento
1160	$\nu(\text{C-O})$	Gordura	Estiramento
1150-1030	$\nu(\text{C-O}); \nu(\text{C-C}); \nu(\text{C-O-O})$	Carboidratos	Estiramento
800-1000	Anel de vibração	Carboidratos	(DAP)
722	$-(\text{CH}_2)_n-$	Óleo	(DAP)
~700	$\nu(\text{N-H})$	Proteína	(DAP)

Fonte: Adaptado de Carvalho (2013).

A lactose ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}$) é o principal carboidrato encontrado no leite, sendo constituída por dois monossacarídeos, glicose e galactose, caracterizando um dissacarídeo (BATISTA et al., 2018). A Figura 4 apresenta a estrutura molecular da lactose.

Figura 4 - Estrutura Molecular da Lactose

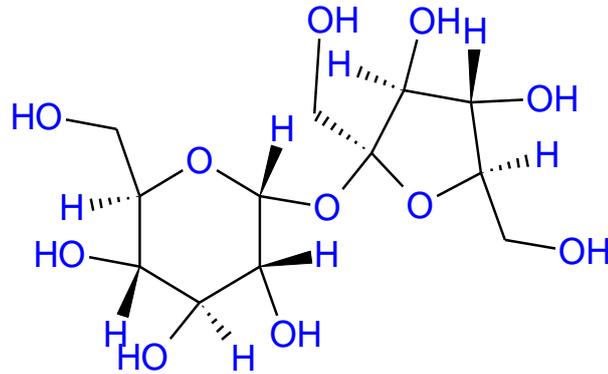


Fonte: Adaptado de Junior (2008).

Oba et al. (2011) identificaram em seu estudo utilizando Espectroscopia no Infravermelho médio a proteína e lactose em amostras do produto whey (proteína do soro) e constataram que as bandas na região de $1190\text{-}930\text{ cm}^{-1}$ correspondiam a lactose e as bandas de $1700\text{-}1481\text{ cm}^{-1}$ a proteína.

Segundo Waitzberg e Galizia (2017) o carboidrato principal é o açúcar, caracterizado como um dissacarídeo (Sacarose = Glicose e Frutose). A molécula da sacarose ($C_{12}H_{22}O_{11}$) está representada pela Figura 5.

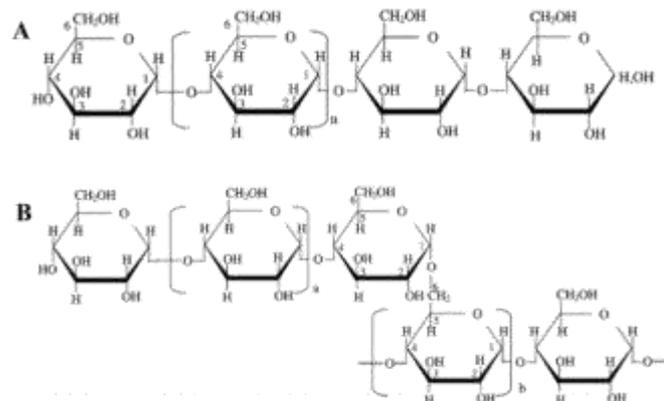
Figura 5 - Molécula de Sacarose



Fonte: Adaptado de Oba (2011).

A maioria dos produtos lácteos contém amido ($(C_6H_{10}O_5)_n$), que é um polímero fruto da combinação de dois polissacarídeos, a amilose e a amilopectina (Figura 6). De acordo com Dernardin e Silva (2009) a amilose é uma cadeia linear de unidades de glicose (glicopiranoses) unidas por ligações α -1-4, e a amilopectina é uma cadeia ramificada de unidades de glicose (glicopiranoses) unidas por ligações α -1-4 e α -1-6 a região de absorção é de 1148 cm^{-1} .

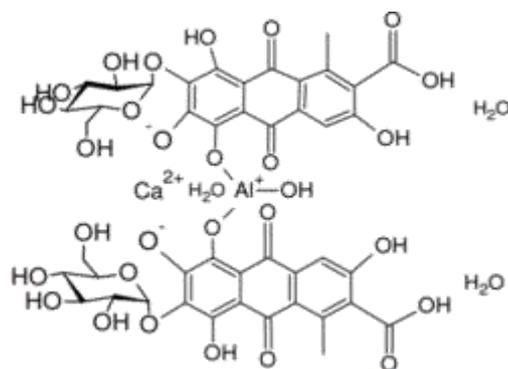
Figura 6 - (A) Amilose, (B) Amilopectina



Fonte: Oliveira, 2011.

Alguns produtos como iogurtes de sabor morango contém o corante carmim, no qual, é responsável pela coloração do produto e possui uma estrutura química complexa conforme a Figura 7.

Figura 7 - Estrutura Molecular do corante Carmim



Fonte: Sabnis, 2010.

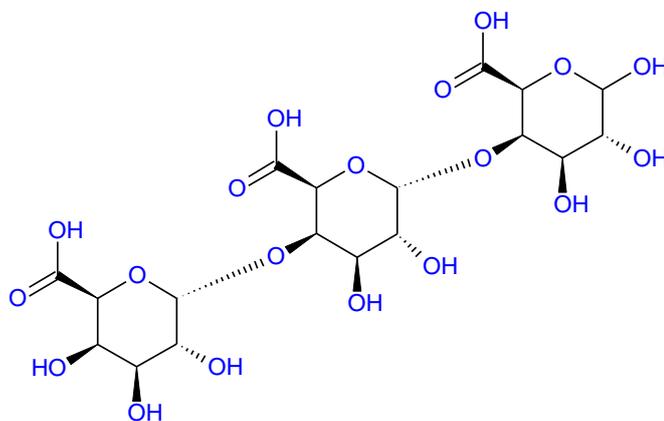
De acordo com Bernardino (2011) a atribuição de bandas observadas em FTIR não é trivial considerando a complexidade da estrutura química da molécula de carmim. Outro componente presente em amostras lácteas é a pectina no qual, é adicionada ao produto para dar consistência e estabilidade. Nos produtos lácteos, como iogurtes de frutas como as amostras avaliadas no presente trabalho, a pectina confere uma distribuição homogênea das frutas e uma superfície lisa no fundo do pote, é este componente que assegura a estabilização necessária e, conseqüentemente, a separação entre frutas e iogurte, além disso, em pH elevado, a pectina protege as proteínas para evitar a sua desnaturação e com isso, impedindo qualquer precipitação ou floculação (REVISTA-FI, 2014).

Em relação às suas propriedades químicas, a pectina segundo Revista-Fi (2014), é um ácido com valor de pK de aproximadamente 3,5, aumentando a relação entre os grupos ácidos dissociados e grupos ácidos não dissociados, assim a tendência para formar géis aumenta fortemente diminuindo-se o pH do sistema.

A estrutura básica de todas as moléculas de pectina consiste em uma cadeia linear de unidades α -D-ácido galacturônico. Monossacarídeos, principalmente L-ramnose, também estão presentes. Algumas pectinas contêm cadeias de arabinogalactanas ramificadas ou cadeias curtas, compostas de unidades de D-xilose na cadeia de ramnogalacturonoglicana. A estrutura química básica da pectina é representada na Figura 8 cujo sua nomenclatura IUPAC é acide α -

D-galactopyranuronosyl-(1->4)- α -D-galactopyranuronosyl-(1->4)-D-galactopyranuronic (FRACASSO, 2015).

Figura 8 - Estrutura molecular básica da pectina



Fonte: Adaptado de Fracasso (2015).

Segundo Fracasso (2015) amostras que contém pectina em sua composição ao serem analisadas utilizando espectroscopia no infravermelho médio apontam a presença de grupos éter, que correspondem às ligações glicosídicas (C-O-C) em bandas com absorção entre 1000 e 1200 cm^{-1} , que corresponde as ligações éter R-O-R e cíclicas C-C do anel da estrutura das pectinas (LIU et al., 2010), bem como, apresentaram bandas de absorção que correspondem aos grupos carboxílicos de ácidos urônicos esterificados (1706, 1710, 1697, 1693, 1710, 1716, 1693 e 1689 cm^{-1}).

3.4 IMAGENS DIGITAIS

De acordo com Faria (2010), uma imagem digital é composta por um número finito de pontos (*pixel*), onde cada um possui um valor e localização específica. O pixel é formado, de forma geral, pela combinação de três cores conhecido como RGB (*Red* (vermelho), *Green* (verde) e *Blue* (azul)) (Damasceno et al, 2015). O processamento digital de imagem refere-se ao processamento de imagem usando um computador e *softwares*. No presente estudo, o processamento de imagens para obtenção dos dados é realizado com base nos modelos de cor RGB, HSV e Escala de Cinza.

A representação do RGB (*Red*, *Green* e *Blue*) é feita por meio de um cubo com coordenadas cartesianas. Nesse cubo, cada eixo (X, Y e Z) corresponde a uma cor primária

(vermelho, verde e azul), cujos valores variam de zero (0) a um (1). Quando o valor assumido é um (1), temos a intensidade máxima da cor correspondente, quando o valor for zero (0) temos a intensidade mínima correspondente. Em cada combinação de cor primária, registra-se um *pixel* correspondente, em que cada componente poderá assumir 256 níveis de intensidade (*bits*). Em resumo, nota-se que cada componente do RGB (*Red, Green e Blue*) é capaz de assumir um valor entre 0 e 255 para os níveis de intensidade de cor, sendo 0 a intensidade mínima de cor (preto) e 255 a intensidade máxima (branco). As tonalidades de cor correspondem aos valores intermediários (SANTOS; WENTZELL; PEREIRA-FILHO, 2012).

O modelo HSV (*Hue, Saturation, Value* - Matiz, Saturação, Valor) foi introduzido diante uma necessidade de especificar numericamente as propriedades das cores. Neste modelo tem-se as cores baseadas na matiz, saturação e brilho. A matriz relaciona-se à cor propriamente dita e define a tonalidade dominante da mesma, diferenciando, por exemplo, o azul do vermelho. A saturação mede quão puro é uma cor, o que diferencia o vermelho do rosa, sendo essa última uma variação do vermelho. O valor do HSV (*Hue, Saturation, Value*) é a sua luminância, componente que só contém as informações de brilho de uma imagem, variando entre zero (0) e um (1) ao longo do eixo V do cone, local da escala de cinza. Os matizes puros encontram-se no plano cuja luminosidade é igual a 0,5 e a saturação é 1 (ALVES, 2010).

As aplicações desta técnica são amplas conforme apresentado na Tabela 8, dentre as aplicações amplamente utilizadas as que vêm se destacando são: para o controle de qualidade dos mais variados alimentos determinações de compostos orgânicos e inorgânicos em diversas matrizes, determinação de poluentes na atmosfera, entre outros. Na indústria alimentícia por exemplo, está sendo utilizado devido ao aumento da procura da objetividade, consistência e eficiência nas análises, permitindo assim, aumentar a exatidão, substituir a inspeção visual e ainda aumentar a flexibilidade nos processos de análises (CARDOSO, 2014).

Passaretti Filho (2015) enfatiza que imagens adquiridas no espectro visível podem ser utilizadas em indústrias como a robótica, autônoma, certificadoras de qualidade e até no estudo e pesquisa de eventos de natureza física. Monitorar imagens no espectro eletromagnético na região visível ajuda a visualizar as variações de cores e assim perceber as variações e mudanças relevantes para entender fenômenos particulares sobre a detecção de luz nos sensores usados, o qual pode obter respostas na forma de uma imagem. A Tabela 8 apresenta aplicações do método por análise de imagens digitais na última década.

Tabela 8 - Aplicações do método por análise de imagens digitais na última década

Autores	Publicações	Aplicações
Borin et al, (2007)	Analytical and Bioanalytical Chemistry. Quantification of lactobacillus in fermented milk by multivariate image analysis with least-squares support-vector machines.	Quantificação de <i>Lactobacillus</i> em leite fermentado usando imagens digitais.
Torres et al, (2011)	Talanta. A digital image-based method for determining of total acidity in red wines using acid - base titration without indicator.	Determinação da acidez em vinhos tintos por meio de uma titulação ácido-base sem uso do indicador ou um pré-tratamento da amostra;
Milanez e Pontes, (2013)	Microchemical Journal. Classification of edible vegetable oil using digital image and pattern recognition techniques.	Classificação de vários tipos de óleos vegetais comestíveis através de imagem digital
Botelho, (2014)	Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais – Departamento de Química. Desenvolvimento e validação de métodos para análise direta de alimentos usando ferramentas quimiométricas, espectroscopia no infravermelho e imagens digitais.	Desenvolvimento de método analítico para análise direta de alimentos.
Chaudhary e Prajapati, (2014)	International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering. Quality analysis and classification of bananas	Classificação dos sete estágios de maturação das bananas em formato individual e em grupos.
Barbin et al (2016)	Biosystems Engineering. Digital image analyses as an alternative tool for chicken quality assessment.	Qualidade do frango por meio de análise de imagens digitais.
Neto et al (2016)	Revista Química Nova. Classificação de águas minerais baseada em imagens digitais obtidas por smartphones.	Classificação de águas minerais por imagens digitais apresentando um índice de validação de 94%.
Pereira et al (2018)	An International Journal Computers and Electronics in Agriculture. Predicting the ripening of papaya fruit with digital imaging and random forests	Prever estágios de amadurecimento do mamão

Fonte: Da autora.

3.5 ANÁLISE MULTIVARIADA

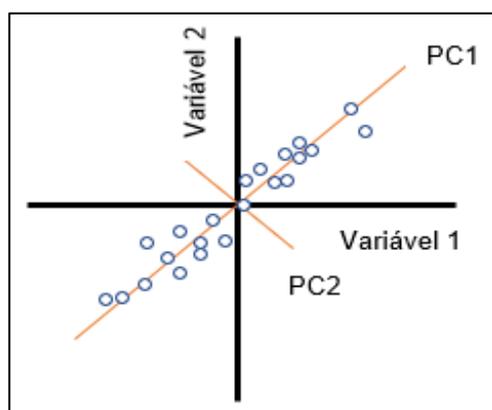
Genericamente pode-se dividir os métodos de análise multivariada em três classes distintas: (i) os de análise exploratória de dados, (ii) os de construção de modelos de calibração e (iii) os de construção de modelos de classificação. Neste trabalho foi utilizada a análise de componentes principais (PCA) como método de análise exploratória de dados.

3.5.1 Análise de Componentes Principais (PCA)

Uma técnica da estatística multivariada bastante conhecida é a PCA (Análise de componentes principais), utilizada para transformar um conjunto de variáveis originais em outro conjunto de mesma dimensão, denominados de componentes principais (NETO et al., 2016).

Nos componentes principais, cada componente é uma combinação linear de todas as variáveis originais. Estas variáveis são independentes entre si e possuem o propósito de reter, pela ordem de estimação, o máximo de informação da variação total presente nos dados (HONGYU, 2015). A Figura 9 mostra como esta técnica pode ser utilizada para gerar índices e agrupamentos de indivíduos. Observa-se um exemplo de PCA na Figura 9 utilizando duas variáveis, onde está construída uma componente principal (PC1) e ortogonalmente foi construída uma outra componente principal (PC2). A matriz de dados corresponde a duas colunas (variáveis) e trinta linhas (amostras) está representada pelos pontos. Analisando de forma geométrica, a variação ou espalhamento entre os pontos são descritas pelas componentes principais usando o menor número possível de eixos. As similaridades e diferenças são definidas pelas distâncias entre as amostras (OLIVEIRA, 2012).

Figura 9 - Projeção das componentes principais (PCs)



Fonte: Adaptado de Oliveira (2012).

A análise de componentes principais apresenta vantagens e desvantagens. Dentre as vantagens tem-se a remoção da multicolinearidade das variáveis, permitindo transformar em um novo conjunto de variáveis não correlacionadas (componentes principais) o conjunto de variáveis originais intercorrelacionadas (HYONGYU, 2016).

Por outro lado, como desvantagens, tem-se a sensibilidade (valor atípico), no qual, não é recomendada quando se tem duplas ausências (muitos zeros na matriz) e dados ausentes. Outra desvantagem é quando o número de variáveis é muito maior que unidades amostrais. Caso haja uma redução do número de variáveis, haverá conseqüentemente uma perda da informação de variabilidade das variáveis originais. A exemplo temos variáveis originais pouco correlacionadas com extremos, cujos componentes principais são as próprias variáveis originais (HONGYU, 2015; REGAZZI, 2000).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 AQUISIÇÃO DAS AMOSTRAS

Para investigação da estabilidade de produtos lácteos, amostras de iogurte sabor morango com adição de frutas e sobremesa láctea cremosa de sabor chocolate branco foram selecionadas. No total, quatro lotes diferentes foram analisados baseado na logística de fornecimento da empresa fabricante localizada na cidade de Poços de Caldas, Minas Gerais. As amostras fechadas em embalagem original, foram armazenadas sob refrigeração à temperatura de 5°C e, posteriormente, submetidas aos testes de estabilidade e caracterização físico-química.

4.2 CARCTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICO-QUÍMICA

As amostras dos quatros lotes diferentes do iogurte sabor morango e sobremesa láctea cremosa de sabor chocolate branco passaram por caracterização no início do armazenamento, ou seja, no dia que foram fabricadas e fornecidas (tempo zero) até o dia do vencimento informado pelo fabricante (45 dias) em intervalos de 15 dias. Vale ressaltar que, para realização das análises, os produtos eram deixados fora da refrigeração até alcançar a temperatura ambiente e, em seguida, retiradas diretamente da embalagem fechada. A metodologia adotada foi baseada nas instruções do Instituto Adolfo Lutz (2008) e a Instrução Normativa nº 68 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2006). Os dados obtidos foram processados utilizando o software Origin versão 8.

4.2.1 Screening espectroscópica na região do infravermelho médio

Para compreender a composição química e acompanhar as possíveis alterações dos produtos iogurte sabor morango e sobremesa láctea cremosa de sabor chocolate branco do primeiro lote, as amostras foram submetidas a análises em um espectrômetro com transformada de Fourier modelo Cary 630 seleneto de zinco, na região espectral entre 4000 a 400 cm^{-1} , com resolução de 1,93 cm^{-1} .

4.2.2 pH

A medição do pH foi determinada pelo método potenciométrico, em que foi utilizado um pHmetro de bancada (marca MS Tcnopon instrumentação), resolução 0,01, onde o equipamento foi calibrado com as soluções tampão de pH 4,0 e 7,0 e, posteriormente, foi realizada a leitura direta do pH colocando o eletrodo de vidro combinado em contato com amostra que se encontrava em um béquer de 50 ml devidamente preenchido (EGEA et al, 2019).

4.2.3 Acidez titulável

A acidez titulável foi realizada segundo a Instrução normativa nº 68 (BRASIL, 2006). Foi pesado 5 g da amostra em béquer de 50 ml. Foi adicionado com uma pipeta graduada aproximadamente 5 mL de água destilada. A solução foi homogeneizada com auxílio de bastão de vidro. Em seguida, adicionou-se 5 gotas de solução de fenolftaleína a 1 %. Titulou-se com solução de hidróxido de sódio a 0,1 mol/L utilizando uma bureta de 25 mL até o aparecimento de uma coloração rósea (BRASIL, 2006). Foram realizadas três repetições para cada amostra analisada. Para determinar a quantidade de ácido láctico (g/100 g) foi utilizada a seguinte Equação (1).

$$\text{Ácido Láctico (g/100g)} = \frac{V \times F \times 0,9}{m} \quad (1)$$

Em que V é o volume em mL da solução de hidróxido de sódio 0,1 mol/L gasto na titulação, F é o fator de correção da solução padronizada de hidróxido de sódio 0,1 mol/L, 0,9 é o fator de conversão para ácido láctico; m é a massa da amostra, em gramas.

O fator de correção utilizado na equação anterior foi obtido pesando-se após a secagem 0,5 g de biftalato de potássio ($C_8H_5KO_4$) p.a., padrão primário, previamente seco em estufa a 105 °C por 1 hora. Logo após, transferido para erlenmeyer de 250 mL e dissolvido em 75 mL de água destilada, foram adicionadas 2 gotas da solução de fenolftaleína a 1 % (m/v) e titulado com a solução de hidróxido de sódio 0,1 M. Calculou-se o fator de correção usando a média de três determinações (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008) conforme expressado pela Equação (2).

$$\text{Fator de correção} = \frac{m}{0,2042 \times V \times M} \quad (2)$$

Em que m é a massa de biftalato de potássio, (em gramas); V é o volume de solução padrão de hidróxido de sódio gastos na titulação, (em mL) e M é a concentração Molar esperada da solução.

4.2.4 Viscosidade Aparente

Com base nas informações publicadas por Egea et al. (2019), a viscosidade aparente (fluidos pseudo-plásticos) dos iogurtes deste trabalho foi caracterizada por meio de viscosímetro rotacional digital programável da marca Fungilab. Para os iogurtes de morango e ameixa foi utilizado o splindle r5 em uma velocidade de 100 rpm nos tempos 30 e 60 segundos e torque de 15%. Para a sobremesa cremosa de sabor chocolate branco foi utilizado o splindle r5 em uma velocidade de 10 rpm no tempo 30 segundos e torque de 15%.

4.2.5 Teor de sólidos solúveis (°Brix)

O teor de sólidos solúveis das amostras foi determinado por meio de um refratômetro digital portátil calibrado- DR301-95 Kruss (EGEA et al, 2019).

4.2.6 Teor de umidade

A umidade foi determinada pelo método gravimétrico com emprego de calor, em que se determinou, por meio da Equação (3) a perda de massa do material quando submetido ao aquecimento (105 °C) por 24 horas até obtenção da massa constante (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

$$\text{Teor de umidade \%} = \frac{[m(i) - m(f)]}{m(i)} \times 100 \quad (3)$$

Em que $m(i)$ é a massa inicial em (g) e $m(f)$ é a massa final em (g) após a secagem.

4.3 ANÁLISE DOS PRODUTOS LÁCTEOS USANDO HISTOGRAMAS DE COR

Foram registradas imagens digitais das amostras sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco e iogurte sabor morango, em que, utilizou-se uma caixa de madeira totalmente

vedada com o seu interior na cor preta e fundo branco, a iluminação por uma lâmpada LED, apenas um lado da caixa é móvel e um smartphone (Modelo: Iphone 5s. Marca: Apple, câmera com resolução de 8 megapixels). As amostras foram adicionadas em uma placa de Petri e então inserida no interior da caixa e o smartphone fixado em uma garra na haste da caixa conforme apresentado na Figura 10.

Figura 10 - Aparato utilizado para a captura das imagens digitais



Fonte: Da autora.

O processamento das imagens digitais foi por meio do software Matlab® empregando o Toolbox *imagens_GUI* (desenvolvido pelo Laboratório de Automação e Instrumentação em Química Analítica e Quimiometria – LAQA da Universidade Federal da Paraíba, 2016), adquirindo assim, os dados de imagens no formato MAT. Foram extraídos os histogramas em escala de cinza, RGB (*Red, Green e Blue*) e HSV (*Hue, Saturation, Value*) de todas as imagens. Em seguida, as matrizes foram convertidas ao formato compatível com o programa Unscrambler 9.7 (CAMO S/A), calculando as médias das variáveis obtidas e posteriormente realizando uma Análise de Componentes Principais empregando o método de *Full Cross Validation* (completa validação cruzada).

4.4 TESTES DE ESTABILIDADE DOS PRODUTOS LÁCTEOS

Para verificar a estabilidade dos produtos iogurte sabor morango e sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco durante 45 dias em relação aos parâmetros pH, acidez, sólidos

solúveis, as amostras foram submetidas aos fatores de deterioração temperatura, tempo de Armazenamento e tempo de exposição à radiação ultravioleta. Para isto, variou-se a temperatura em 5 °C (temperatura de conservação), 25 °C (temperatura ambiente), 35 °C e 45 °C no qual, as temperaturas maiores foram alcançadas por meio de aquecimento em banho-maria. Para medição da temperatura foi usado um termômetro digital.

As variações do tempo de exposição à radiação ultravioleta foram de 60 (min), 120 (min) e 180 (min). Para este procedimento, as amostras foram acondicionadas em uma capela estéril UV (ultravioleta).

Para cada condição experimental dos testes de estabilidade foram realizadas duas vezes por semana até completar o tempo de validade final análises de pH, índice de acidez titulável, e teor de sólidos solúveis, conforme descritos no Tópico 4.2.

4.4.1 Avaliação dos fatores de deterioração

Com o intuito de se avaliar os efeitos dos fatores deteriorantes temperatura, tempo de estocagem e tempo de exposição à radiação ultravioleta nos índices de acidez, pH e teor de sólidos solúveis (°Brix), foi realizado um planejamento experimental do tipo delineado composto central rotacional (DCCR) 2³, incluindo 6 pontos axiais e 3 repetições no ponto central, totalizando 17 ensaios.

A Tabela 9 apresenta os valores utilizados no planejamento. Estes valores, foram baseados nos valores de temperatura e tempo de validade estabelecidos pelo fabricante, bem como, as faixas de temperatura e tempo de exposição UV que ocasionam a deterioração segundo Mondardo (2015) e Peixoto et al. (2016).

Tabela 9 - Valores utilizados no DCCR para três fatores

Variáveis	código	-1,68	-1	0	1	1,68
Temperatura (°C)	X ₁	8	15	25	35	41
Tempo de Armazenamento (dias)	X ₂	3	11	23	34	42
Tempo de Exposição UV (min)	X ₃	69	90	129	150	170

Fonte: Da autora.

Após definir os valores a serem utilizados no planejamento foi construída a matriz de experimentos, composta por 17 ensaios (Tabela 10).

Tabela 10 - Matriz de experimentos para execução do planejamento experimental do tipo delineado composto central rotacional 2^3 (DCCR)

Valores Codificados			
Ensaio	Temperatura (°C)	Tempo (dias)	Tempo UV (min)
1	-1	-1	-1
2	1	-1	-1
3	-1	1	-1
4	1	1	-1
5	-1	-1	1
6	1	-1	1
7	-1	1	1
8	1	1	1
9	-1,68	0	0
10	1,68	0	0
11	0	-1,68	0
12	0	1,68	0
13	0	0	-1,68
14	0	0	1,68
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0

Fonte: Da autora.

Os ensaios de acidez, pH e teor de sólidos solúveis foram realizados conforme descritos no tópico 4.2, variando a temperatura e tempo de exposição UV seguindo os procedimentos descritos no tópico 4.4 e o tempo de armazenamento de acordo com o prazo estipulado pelo fabricante (45 dias). Todo o planejamento experimental foi aplicado para as amostras dos produtos iogurte sabor morango e sobremesa láctea cremoso sabor chocolate branco.

Após a execução dos experimentos, realizaram-se as análises estatísticas com o auxílio do software Statistica® versão 7.0 (StatSoft.Inc. 2007, USA). O modelo para a superfície de resposta foi ajustado para três variáveis resposta (Y): Acidez (g/100g), pH e Teor de sólidos solúveis (°Brix) dos fatores de deterioração temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição à radiação ultravioleta.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISE ESPECTROSCÓPICA E FÍSICO-QUÍMICA DA SOBREMESA LÁCTEA CREMOSA SABOR CHOCOLATE BRANCO

5.1.1 Screening espectroscópico no infravermelho

De acordo com informações fornecidas pelo fabricante apresentadas no rótulo do produto em estudo, os ingredientes principais em sua formulação são: leite integral, açúcar, creme de leite, amido modificado, soro de leite em pó, leite em pó desnatado, amido, aromatizantes, regulador de acidez fosfato dissódico, estabilizante pirofosfato tetrassódico e espessante carragena. A Tabela 11 apresenta as informações nutricionais indicadas pelo fabricante.

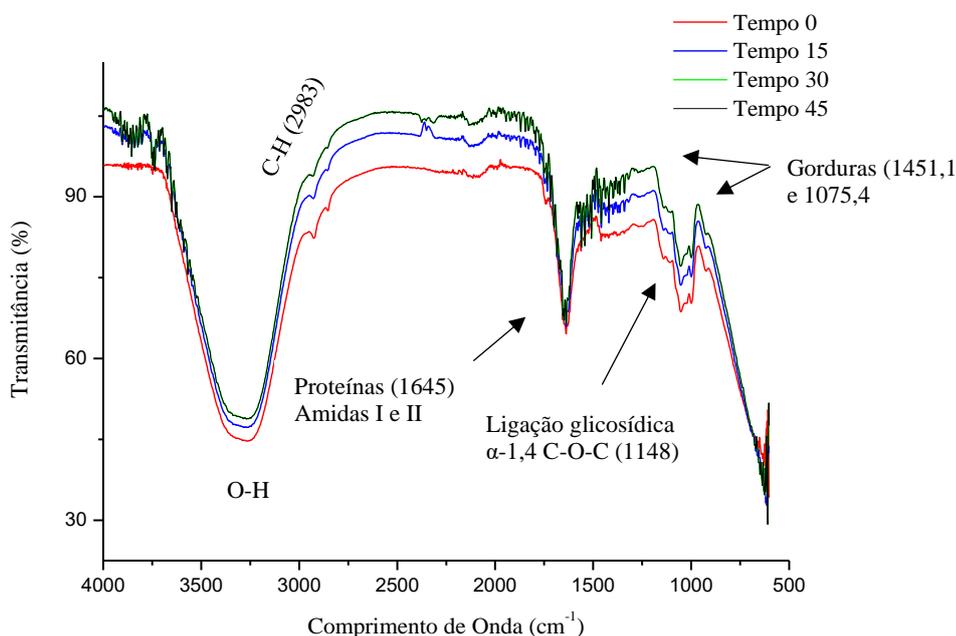
Tabela 11 - Informação Nutricional da sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco

INFORMAÇÃO NUTRICIONAL		
90g (1 pote)		
	Quantidade / Porção	% VD * (Valor diário)
Valor Energético	122kcal = 512kJ	6
Carboidratos	19,0 g	6
Proteína	2,6 g	3
Gorduras Totais	3,9 g	7
Gorduras Saturadas	2,6 g	12
Sódio	122,0 mg	5
Calcio	105,0 mg	10

Fonte: Do fabricante.

Para investigar quais componentes dos produtos eram responsáveis pela deterioração com o passar do tempo, foram obtidos espectros na região do infravermelho médio, os quais são apresentados na Figura 11.

Figura 11 – Espectros das amostras de sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco



Fonte: Da autora.

Com base nos espectros obtidos observa-se a presença de frequências típicas referentes as características estruturais das moléculas orgânicas do leite (matéria prima principal de produtos lácteos). É possível verificar por meio da Figura 11, a presença de um pico de absorção na região de 3250 cm^{-1} , devido a fortes vibrações no estiramento simétrico do grupo $\nu_s(\text{OH})$ indicando presença de água e possivelmente a presença do ácido carboxílico responsável pela formação da gordura do leite conforme também observado por Lei et al. (2010) ao analisar a lactose em leite em pó.

No comprimento de onda na faixa de 2983 cm^{-1} , nota-se a presença do grupo $\nu_{as}(\text{CH}_2)$ com vibrações no estiramento assimétrico responsável pela formação de composto de gordura e açúcar (TOSCAN, 2016). Entre 2854 cm^{-1} a 2855 cm^{-1} a banda de absorção revela presença de vibrações simétricas do composto $\nu_s(\text{CH}_2)$ também responsável pela gordura. Foi encontrado um pico pouco intenso em 2350 cm^{-1} devido a vibrações de estiramento simétrico do $\nu_s(\text{CH}_2)$, também atribuído à formação da gordura. Um pico de absorção em 1747 cm^{-1} pode ser atribuído ao estiramento do grupo $\nu(\text{C}=\text{O})$ responsável pela formação do composto de gordura, conforme os dados observados por Toscan (2016) que analisou amostras de leite utilizando espectroscopia no infravermelho, e detectou bandas referentes a gorduras nas mesmas faixas de comprimento do presente estudo.

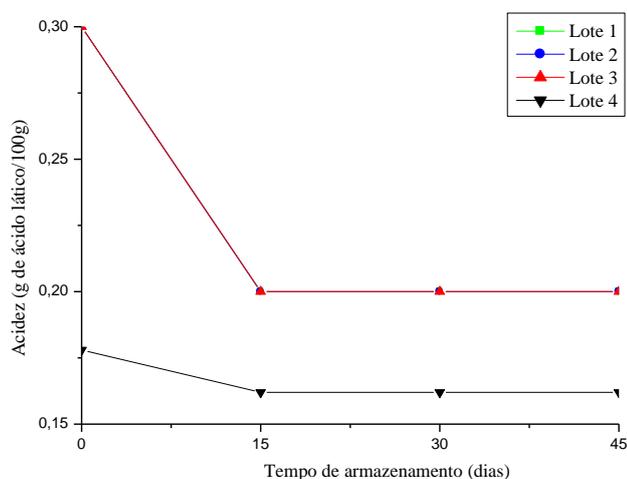
Em 1239 cm^{-1} há a formação de uma banda de intensidade moderada provavelmente associada à deformação axial da ligação C-O presente na sacarose. Uma banda de intensidade média é observada em 1126 cm^{-1} possivelmente associado com a vibração de deformação axial do sistema C-O-C da ligação entre a frutose e a glicose para a formação da sacarose (SAADE et al., 2007).

A amostra contém amido $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ segundo o fabricante no qual, a região de absorção é de 1148 cm^{-1} . As bandas relacionadas às proteínas existentes na amostra encontram-se por volta de 1645 cm^{-1} no qual, é referente às vibrações da amida I em proteínas presentes em produtos lácteos. Em relação as gorduras totais segundo Saade et al, (2007) as bandas $1451,1\text{ cm}^{-1}$ e $1075,4\text{ cm}^{-1}$ são associadas as gorduras, logo, nessa mesma faixa de comprimento de onda os espectros (Figura 11) apresentam uma intensidade média indicando associação as gorduras totais presentes na amostra estudada.

5.1.2 Acidez

A Figura 12 apresenta os valores de acidez dos quatro lotes analisados do produto lácteo sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco por um período de 45 dias. O índice de acidez das amostras de sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco manteve-se constante a partir de 15 dias até 45 dias de armazenamento, indicando valor de $0,20\text{ (g/100g)}$ para os três primeiros lotes e $0,1\text{ (g/100g)}$ para o último lote (Figura 12).

Figura 12 - Acidez das amostras de sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco



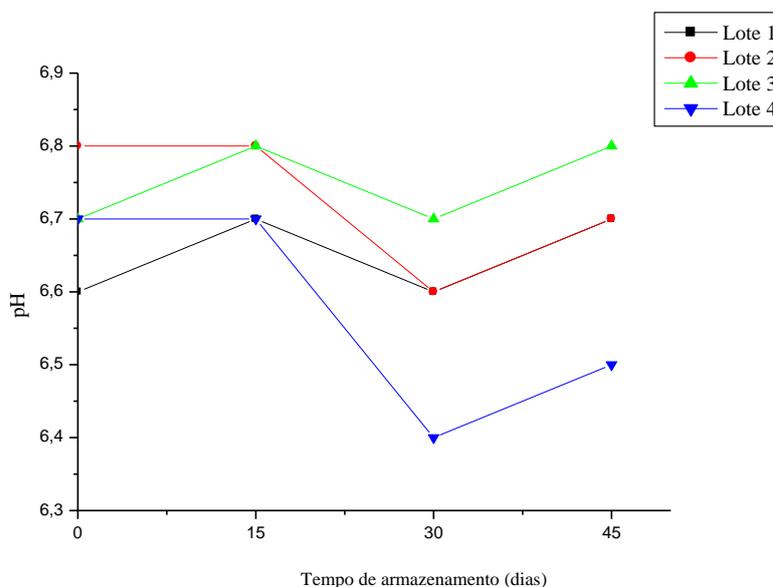
Fonte: Da autora.

Analisando a Figura 12 verifica-se que o lote 1 e 2, 3 e 4 apresentaram o mesmo comportamento indicando uma acidez mais acentuada no tempo 0, ou seja, no dia que o produto foi fabricado, segundo Barbosa (2016), isso se deve ao pouco tempo de ação do estabilizante de acidez adicionado ao produto. Além disso o produto contém o probiótico *Lactobacillus acidophilus* que segundo Kopper (2009) promove uma acidificação mais lenta após seu processamento, o que ajuda a manter a contagem das bactérias probióticas até o final do armazenamento, justificando assim, a acidez estabilizada encontrada, bem como, Granato (2009) em seu estudo no qual, apresentou resultados semelhantes em emulsões tipo sobremesa à base de cacau e chocolate com adição de inulina, onde constatou que o parâmetro de acidez titulável das amostras não variaram nos 28 dias de armazenamento refrigerado. A legislação brasileira não determina um valor limite de acidez para este tipo de produto lácteo.

5.1.3 pH

Na Figura 13 está apresentado os valores de pH dos quatro lotes analisados do produto lácteo sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco por um período de 45 dias.

Figura 13 - pH das amostras de sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco



Fonte: Da autora.

O pH das amostras da sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco variou de 6,5 a 6,8, apresentando variações durante os tempos de 0 a 45 dias. Observa-se (Figura 18) que em

todos os lotes o aumento do pH ao término do tempo de armazenamento, diferentemente da sua acidez que indicou estabilidade, isso se deve as proteínas existentes no produto com atividade e ação tamponante, portanto as medidas de acidez e pH não são obrigatoriamente proporcionais segundo Filho et al. (2016) . Um ponto importante a ser enfatizado é que a acidez é determinada em termos do ácido láctico e o pH está diretamente relacionado com a quantidade de íons hidrônio de uma solução. Logo, não necessariamente devem apresentar comportamento de forma proporcional.

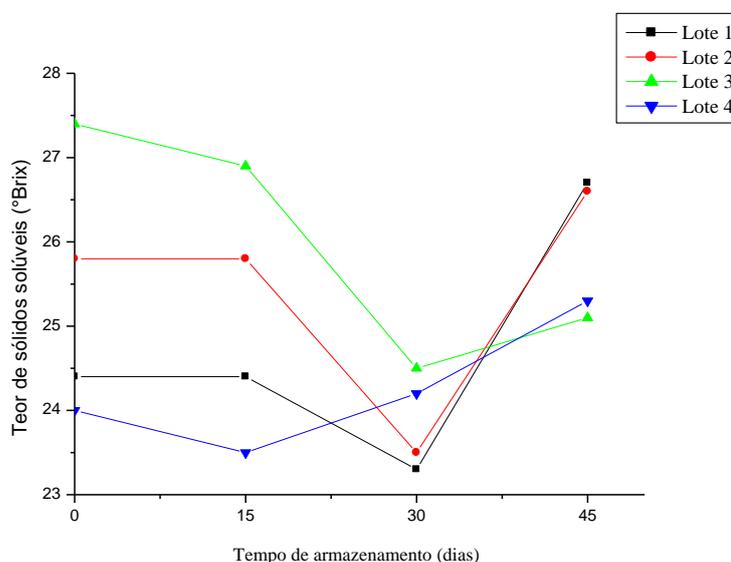
Vieira (2011) ressalta que o tempo de armazenamento é um dos motivos para a mudança de pH, uma vez que a acidificação do meio é resultado direto da produção de ácido láctico pelos microrganismos, consequência do consumo de lactose por parte dos microrganismos presentes nesses tipos de produto. Portanto, no tempo 45 dias indicou maiores valores de pH, ou seja, os microrganismos presentes na amostra produziram maiores quantidades de ácido láctico no qual é o produto principal da fermentação.

Nikaedo et al. (2004) determinaram valores pH entre 5,7 a 7,1 para as formulações de sobremesas lácteas cremosas com diferentes teores de concentrado proteico de soro. Os resultados aqui encontrados foram superiores ao comparar com os de Maruyama et al. (2006) que foram entre 5,8 a 6,0, no qual, o mesmo ressalta que o *Lactobacillus acidophilus* apresenta pH ótimo de multiplicação por volta de 5,5 a 6,0, sendo resistente ao armazenamento em baixas temperaturas. Fragoso et al. (2012) encontraram pH de sobremesas lácteas entre 6,3 a 6,5, apontando similaridade aos valores encontrados neste estudo.

5.1.4 Teor de Sólidos Solúveis

Em relação ao teor de sólidos solúveis totais (SST) das amostras de sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco, verifica-se por meio da Figura 14 que houve alterações durante o tempo de armazenamento de 0 a 45 dias apresentando valores entre 23,3% a 27,4%. A Legislação Brasileira não apresenta índice para este parâmetro. Nikaedo et al. (2004) apresentaram valores de SST entre 23,3% a 24,5% após 12 horas de fabricação e armazenamento, em conformidade com os teores encontrados neste trabalho. Henrique et al. (2012) encontraram valores entre 31% a 34% para teores de sólidos solúvel totais em um período de 12 horas após a fabricação do produto, valores incompatíveis com os valores deste estudo. A Figura 14 apresenta os valores encontrados de teor de sólidos solúveis totais nas amostras de sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco.

Figura 14 - Teor de sólidos totais das amostras de sobremesa láctea sabor chocolate branco



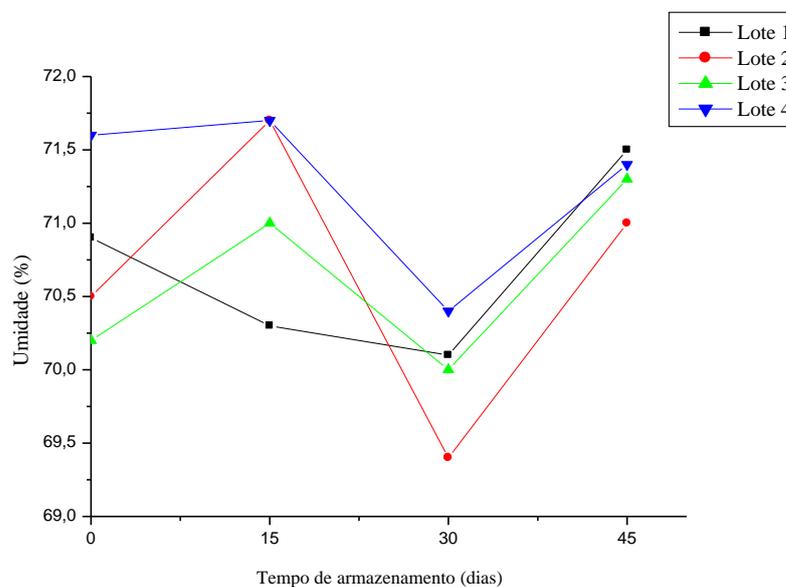
Fonte: Da autora.

O parâmetro teor de sólidos solúveis na indústria alimentícia indica a quantidade aproximada de açúcares e ácidos orgânicos presentes nos alimentos tais como: sucos de fruta, vinhos, produtos lácteos, dentre outros (SILVA et al., 2009). Em sobremesas lácteas cremosa as indústrias adicionam leite em pó pra aumentar o teor de sólidos totais e consequentemente reter a água das proteínas com o intuito de prevenir a sinérese, bem como, aumentar a consistência do produto. Portanto, provavelmente o teor de sólidos solúveis elevado observado durante o tempo de estocagem de todos os lotes estudados, está relacionado com a concentração dos açúcares, sais, proteínas, ácidos, oxidação de gorduras, atividades enzimáticas, dentre outros, presentes na amostra e com isso, segundo Fellows (2006), ocorre escurecimento do produto devido a inúmeras reações químicas que acontecem, principalmente a reação de Maillard. Além disso de acordo com Milagres et al. (2010), a alta presença de sacarose aumenta o teor de sólidos solúveis em produtos provenientes do leite.

5.1.5 Umidade

Na Figura 15 estão representados os resultados obtidos de umidade da sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco.

Figura 15 - Teor de umidade das amostras de sobremesa láctea sabor chocolate branco



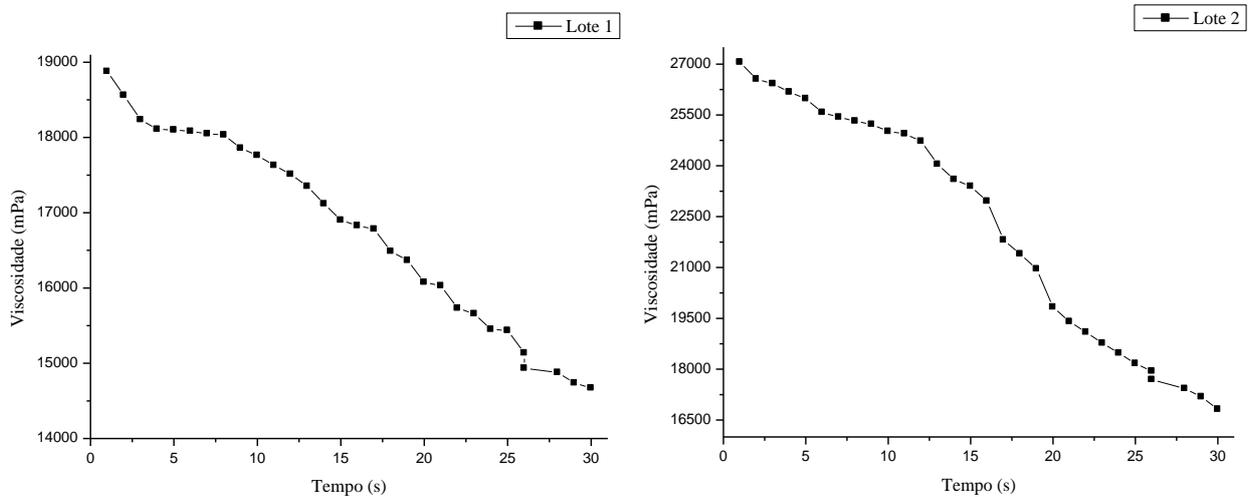
Fonte: Da autora.

De acordo com a Figura 15, é possível observar que as variações de umidade entre os lotes foram similares apresentando valores entre 65,2% a 71,7% indicando aumento no tempo final de armazenamento. Henrique et al. (2012) encontraram valores de umidade para amostras de sobremesa láctea cremosa entre 65,2% a 88,9%. Segundo Alonso (2013) o aumento do teor de umidade das amostras de sobremesa láctea está ligado com as alterações microbianas, enzimática e química, no qual, indica o tempo final da vida de prateleira. Além disso, o mesmo autor enfatiza que a água tem a funcionalidade de solvente e com isso influencia no crescimento dos microrganismos.

5.1.6 Viscosidade

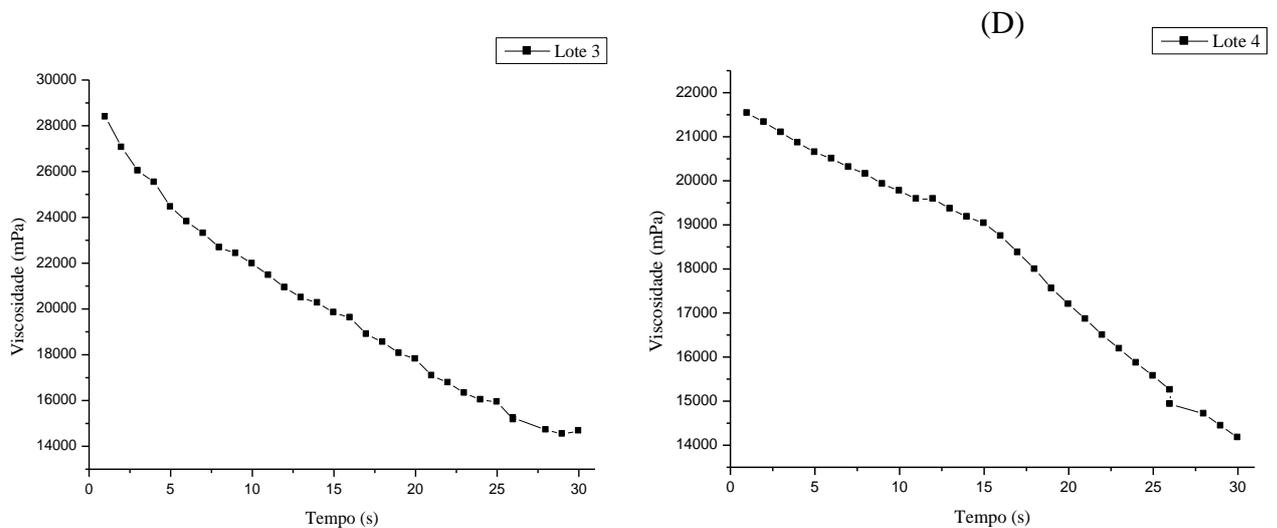
Na Figura 16 e 17 estão representados os resultados da análise de viscosidade aparente das amostras de sobremesa láctea cremosa sabor chocolate no qual foram utilizados quatro lotes diferentes.

Figura 16 - Viscosidade das amostras de sobremesa cremosa láctea. A: Lote 1. B: Lote 2



Fonte: Da autora.

Figura 17 - Viscosidade das amostras de sobremesa cremosa láctea. C: Lote 3. D: Lote 4



Fonte: Da autora.

O comportamento reológico dos fluidos é um importante fator para a aceitabilidade de um produto frente aos consumidores, bem como para manter um padrão de uniformidade da formulação (SOUZA; SOUZA; SOUZA, 2013). Investigações sobre reologia geralmente envolvem relações entre taxa de cisalhamento e tensão de cisalhamento. Quando a relação é linear, o fluido é dito newtoniano e sua viscosidade é constante, independentemente da taxa ou

tensão aplicadas. No entanto, em diversos casos, essa relação é não linear e o fluido é classificado como não newtoniano (MATHIAS et al., 2013).

Os fluidos não newtonianos podem ser caracterizados como pseudoplásticos, no qual, apresentam diminuição da viscosidade conforme aumenta a taxa de cisalhamento aplicada. Além da dependência da taxa, fluidos pseudoplásticos podem ser tixotrópicos, dependentes também do tempo de cisalhamento. Neste caso, mesmo para taxas cisalhantes constantes, a viscosidade sofre uma redução em função do tempo conforme observado nas Figuras 16 e 17, no qual, todas as amostras dos quatros lotes avaliados apresentaram comportamento não newtoniano com características tixotrópicas com a taxa de cisalhamento constante. Esse comportamento segundo Souza, Souza e Souza (2013) é característico de produtos que apresentam caráter semissólido.

Outros pesquisadores avaliaram as características reológicas de sobremesas lácteas como Schlabit (2014) que investigou a viscosidade de sobremesas lácteas cremosa por 45 dias caracterizando o comportamento como um fluido característico de tixotropia, devido a diminuição dos valores de viscosidade em relação ao tempo. Souza, Souza e Souza (2013) avaliaram o comportamento reológico da sobremesa láctea no qual, também apresentaram características tixotrópicas em conformidade com o presente estudo.

5.2 ANÁLISE ESPECTROSCÓPICA E FÍSICO-QUÍMICA DO IOGURTE SABOR MORANGO

5.2.1 Screening espectroscópico no infravermelho

De acordo com informações fornecidas pelo fabricante apresentadas no rótulo do produto em estudo, os ingredientes principais em sua formulação são: leite integral, açúcar, preparado de morango, amido, cloreto de cálcio, ácido cítrico, corante natural carmim, citrato de sódio, aromatizantes, goma xantana, sorbato de potássio, fermento lácteo, pectina, carboidratos, proteínas, gorduras, sódio e cálcio. A Tabela 12 apresenta as informações nutricionais indicadas pelo fabricante.

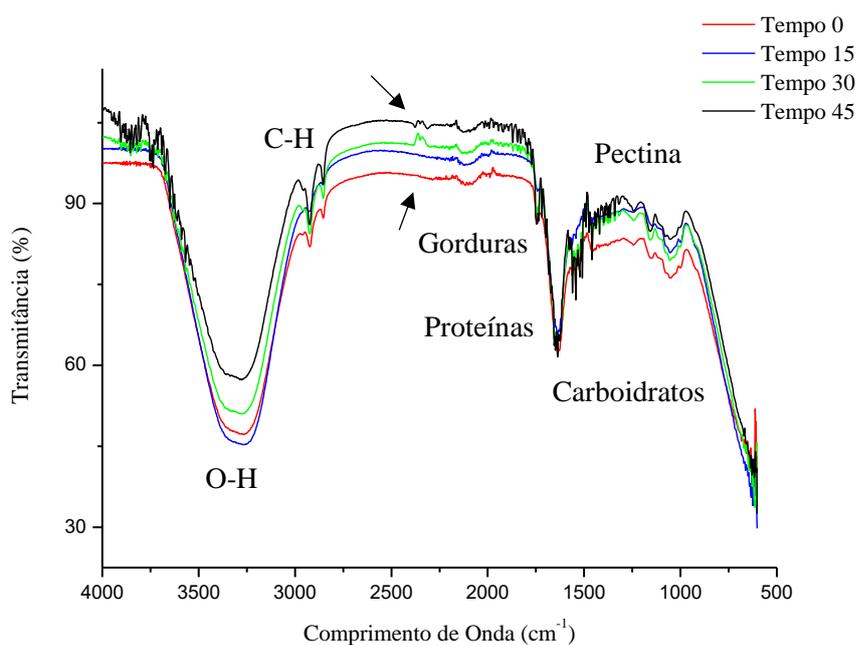
Tabela 12 - Informação Nutricional do Iogurte Sabor Morango

INFORMAÇÃO NUTRICIONAL		
90g (1 pote)		
	Quantidade / Porção	% VD * (Valor diário)
Valor Energético	102kcal = 448kJ	4
Carboidratos	13,0 g	4
Proteína	3,9 g	5
Gorduras Totais	3,8 g	7
Gorduras Saturadas	2,4 g	11
Sódio	72,0 mg	3
Calcio	153,0 mg	15

Fonte: Do fabricante.

As amostras de iogurte sabor morango também possuem carboidratos, proteínas e gorduras como já apresentados e discutidos no tópico 5.1.1. No entanto, o iogurte de morango possui componentes adicionais e particularmente característicos como o corante orgânico natural carmim ($\text{Ca}^{+2}(\text{Al} \cdot \text{C}_{44}\text{H}_{37}\text{O}_{32})^{-2}$). Na Figura 18 estão representados os espectros de infravermelho obtidos de 0 a 45 dias do iogurte sabor morango.

Figura 18 - Espectros da amostra de iogurte sabor morango



Fonte: Da autora.

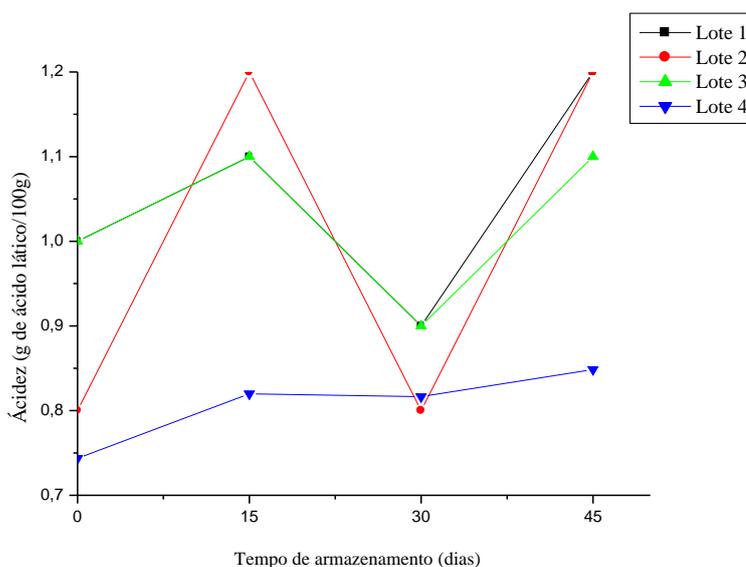
De acordo com Lei et al. (2010) modificações nas bandas entre 1760-1730 cm^{-1} é causada por estiramento C=O que indica presença de grupos carboxílicos esterificados (-COOCH₃), e entre 1630-1600 cm^{-1} , representa os grupos carboxílicos livres (-COOH) referente a pectina, as bandas intensas na região de 3450 cm^{-1} é devido as fortes vibrações no estiramento simétrico do grupo vs(OH) indicando possivelmente a presença do ácido carboxílico responsável pela formação da gordura do leite como observado nos espectros obtidos no presente estudo (Figura 23).

Carvalho (2013) ressalta que as bandas com intensidades medianas em torno de 1660 cm^{-1} - 1650 cm^{-1} e 1547 cm^{-1} - 1541 cm^{-1} são referentes as vibrações causadas pela presença de compostos de amida I $\nu(\text{C}=\text{O})$ e amida II $\delta(\text{N-H})$ identificando moléculas de proteína. Na região em torno de 800 cm^{-1} - 1250 cm^{-1} são representados pelos compostos de carboidratos $\nu(\text{C-O})$, $\nu(\text{C}=\text{C})$ e $\nu(\text{C-O-C})$, os quais estão sobrepostos aos compostos de gordura na região em torno de 1160 cm^{-1} $\nu(\text{C-O})$ e amida III na região em torno de 1241 cm^{-1} - 1251 cm^{-1} $\nu(\text{C-N})$ com estiramento nessa região em conformidade com os espectros aqui obtidos (Figura 18).

5.2.2 Acidez

Na Figura 19 estão representados os índices de acidez obtidos das amostras do iogurte sabor morando durante o tempo de armazenamento.

Figura 19 - Resultados obtidos de índice de acidez do iogurte sabor morango



Fonte: Da autora.

O índice de acidez do produto lácteo iogurte sabor morango é expressa em termos de gramas de ácido láctico, é o produto principal da fermentação láctea. Observa-se que o lote 1 apresentou valores de acidez de 1,0 (g/100g) a 1,20 (g/100g), o lote 2 com maior variação cujo valor foi de 0,8 (g/100g) a 1,2 (g/100g), o terceiro lote de 1,0 (g/100g) a 1,10 (g/100g) e por fim o quarto e último lote de 0,74 (g/100g) a 0,84 (g/100g) no qual, foi o lote de menor acidez. Isso se deve ao período de produção e avaliação dos lotes, em que os lotes foram disponibilizados em diferentes meses. Além disso, o comportamento de todos os parâmetros de qualidade depende da qualidade e remessa do leite (principal matéria prima) o qual o produto lácteo é produzido. Entretanto, observa-se que no tempo final de estoque a acidez apresentou um aumento em todos os lotes (Figura 19).

Segundo Silva e Ueno (2013) alterações nos valores de acidez estão vinculados a lactose componente presente em maior porcentagem na porção sólida do soro lácteo, pois este carboidrato durante a fermentação produz ácido láctico, mudando assim, a acidez do produto. Os lotes avaliados foram disponibilizados (produzidos) e analisados em períodos distintos, portanto, a matéria prima é padronizada seguindo normas e faixas de aceitação de índice de gordura, proteínas, dentre outros. No entanto, mesmo havendo padronização na produção dos iogurtes aqui avaliados, a produção de cada lote pode apresentar variações, influenciando assim na característica interna do produto.

Os quatro lotes avaliados estavam com valores de acidez dentro da faixa determinada pela Legislação Brasileira o qual define valores entre 0,6 (g/100g) a 1,5 (g/100g) (BRASIL, 2007). Oliveira et al. (2013) encontraram valores de índice de acidez na faixa de 0,8 (g/100g) para amostras de iogurtes industrializados sabor morango, valores idênticos foram encontrados por Silva e Ueno (2013), portanto, estando em comum acordo com os valores encontrados neste estudo. Oliveira et al. (2013) enfatiza que a atividade bacteriana durante a sua vida de prateleira acarreta desenvolvimento de acidez excessiva, textura frágil e alteração da coloração do produto lácteo.

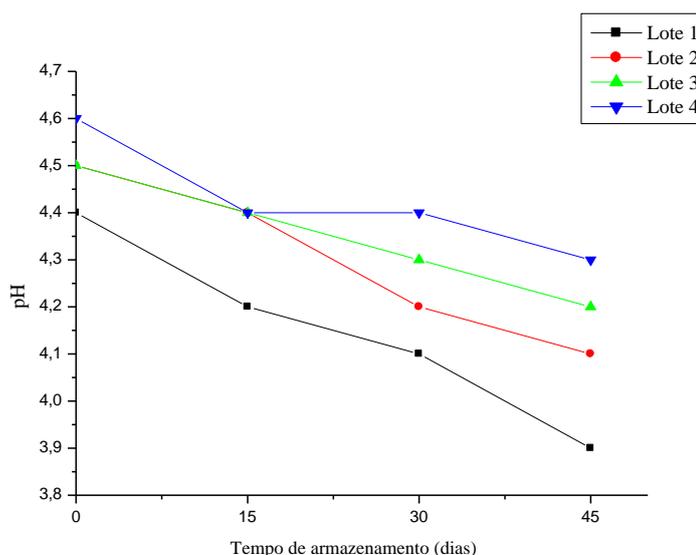
5.2.3 pH

Na Figura 20 estão representados os valores de pH dos quatro lotes analisados do iogurte sabor morango por um período de 45 dias. Nota-se que em todos os lotes houve diminuição do pH variando de 4,6 a 3,9. Essa variação pode ter ocorrido em função da reação de Maillard. Essa reação envolve um aldeído (açúcar redutor) e grupos amins de aminoácidos, alterando

assim o pH do meio (NEWTON et al., 2012), bem como a produção de ácidos reduzem o valor do pH. Os produtos da reação de Maillard podem influenciar em muitos atributos na qualidade dos alimentos, tais como cor, aroma e sabor. Além disso, em $\text{pH} < 4,0$ ocorre a contração do coágulo devido à redução da hidratação das proteínas, ocasionando também o dessoramento (conversão em soro) do produto o que pode ter ocorrido nas amostras do primeiro lote que apresentou pH abaixo de 4,0 (CALDEIRA et al, 2010).

Uma outra justificativa para a alteração do pH das amostras de iogurte sabor morango, pode estar embasada no fato desses produtos possuírem pedaços de fruta, que mesmo sendo removidos para a realização das medidas de pH, com o passar do tempo de armazenamento ocorre a desidratação dos pedaços de frutas contidos na amostra e possivelmente contribuindo para a alteração observada nesse parâmetro.

Figura 20 - pH das amostras do iogurte sabor morango



Fonte: Da autora.

De acordo com Caldeira et al. (2010), o pH é um parâmetro fundamental no qual é relacionado com o aspecto visual do produto lácteo, portanto, é necessário que haja controle rigoroso para que não ocorra separação de fases, acidificação elevada influenciada pelo tempo de fermentação, além de alterações nas características sensoriais que poderão tornar o produto indesejável.

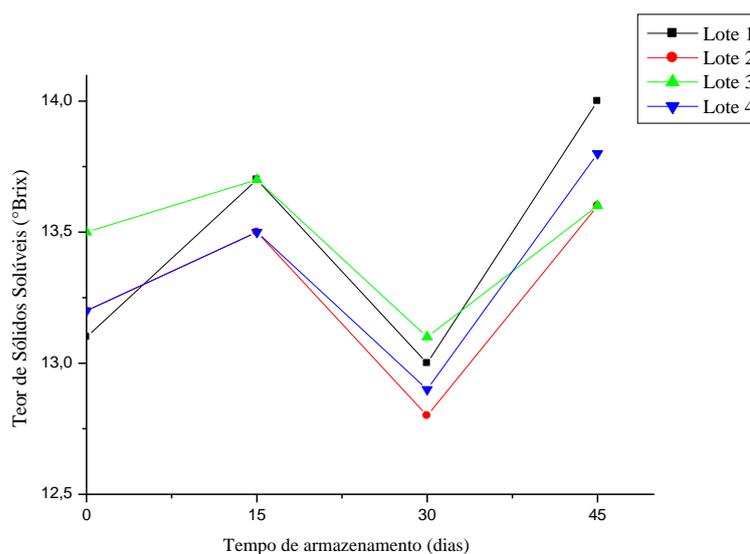
Os resultados de pH obtidos nesta pesquisa variaram entre 4,6 a 3,9 e estão dentro do esperado quando comparados com resultados encontrados na literatura, como Oliveira et al.

(2013) que investigaram amostras de iogurte sabor morango e observaram valores de pH entre 3,8 a 4,9, Moraes (2004) que obteve valores de pH entre 3,7 a 4,3 e 3,9 a 4,2, Silva e Ueno (2013) que investigaram o iogurte sabor morango e verificaram valores de pH entre 3,3 a 4,7 e Egea et al. (2019) que recentemente analisaram diversas marcas de iogurtes comerciais sabor morango e determinaram valores de pH entre 3,88 a 4,08.

5.2.4 Teor de Sólidos Solúveis

Na Figura 21 estão representados os valores encontrados para o parâmetro teor de sólidos solúveis das amostras de iogurte sabor morango no tempo de armazenamento de 0 a 45 dias.

Figura 21 - Teor de sólidos solúveis das amostras de iogurte sabor morango



Fonte: Da autora, 2019.

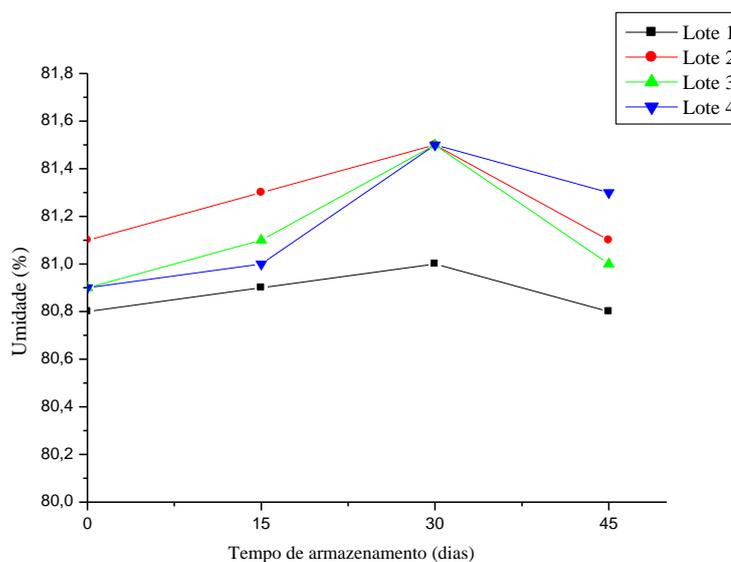
O teor de sólidos solúveis totais (°Brix) das amostras de iogurte sabor morango apresentaram variações durante o período avaliado. No entanto, observa-se um comportamento semelhante entre os lotes, em que, no tempo 15 a 30 dias indicou diminuição desses valores de 12,8 a 13,1 % e no tempo 45 dias um aumento mais acentuado na faixa de 13,6 a 14 % (Figura 21). Esses resultados estão de acordo com os encontrados na literatura, Santos et al. (2016) ao investigar as características físico-químicas de iogurtes verificaram que as amostras apresentaram valores de SST na faixa de 13%. Magalhães et al. (2018) verificaram que uma das amostras de iogurte analisadas indicou valor de SST entre 15,5%.

Souza (2015) ressalta que o aumento do teor de sólidos solúveis é causado pelo maior teor de constituintes no produto como gordura e proteína, favorecendo a redução de água livre em função do aumento de sólidos totais. Além disso, os iogurtes com adição de frutas favorecem o aumento de sólidos solúveis. De acordo com Magalhães et al. (2018) o teor de sólidos totais afeta diretamente as propriedades físicas do iogurte, tal como consistência do coágulo. Quanto maior o teor de sólidos, mais consistente e viscoso o produto final como observado nas amostras em estudo.

5.2.5 Umidade

Na Figura 22 estão representados os resultados obtidos de umidade do iogurte sabor morango no tempo de armazenamento de 0 a 45 dias.

Figura 22 - Umidade do iogurte sabor morango



Fonte: Da autora.

Ao observar o gráfico da Figura 22 nota-se que todos os lotes apresentaram comportamento semelhante, um aumento nos valores de umidade do tempo 0 até 30 dias de armazenamento e a partir do 30º dia uma diminuição desses valores até o 45º dia. Os valores de umidade das amostras de iogurte sabor morango variaram de 69,4 a 71,7%, embora a legislação brasileira não determine faixas de teor de umidade para este tipo de produto lácteo em estudo, os valores encontrados mantiveram-se abaixo do reportado na literatura. Santos et al. (2016) obtiveram valores de umidade entre 74 a 82,7 % e Silva, Bessa e Silva (2017)

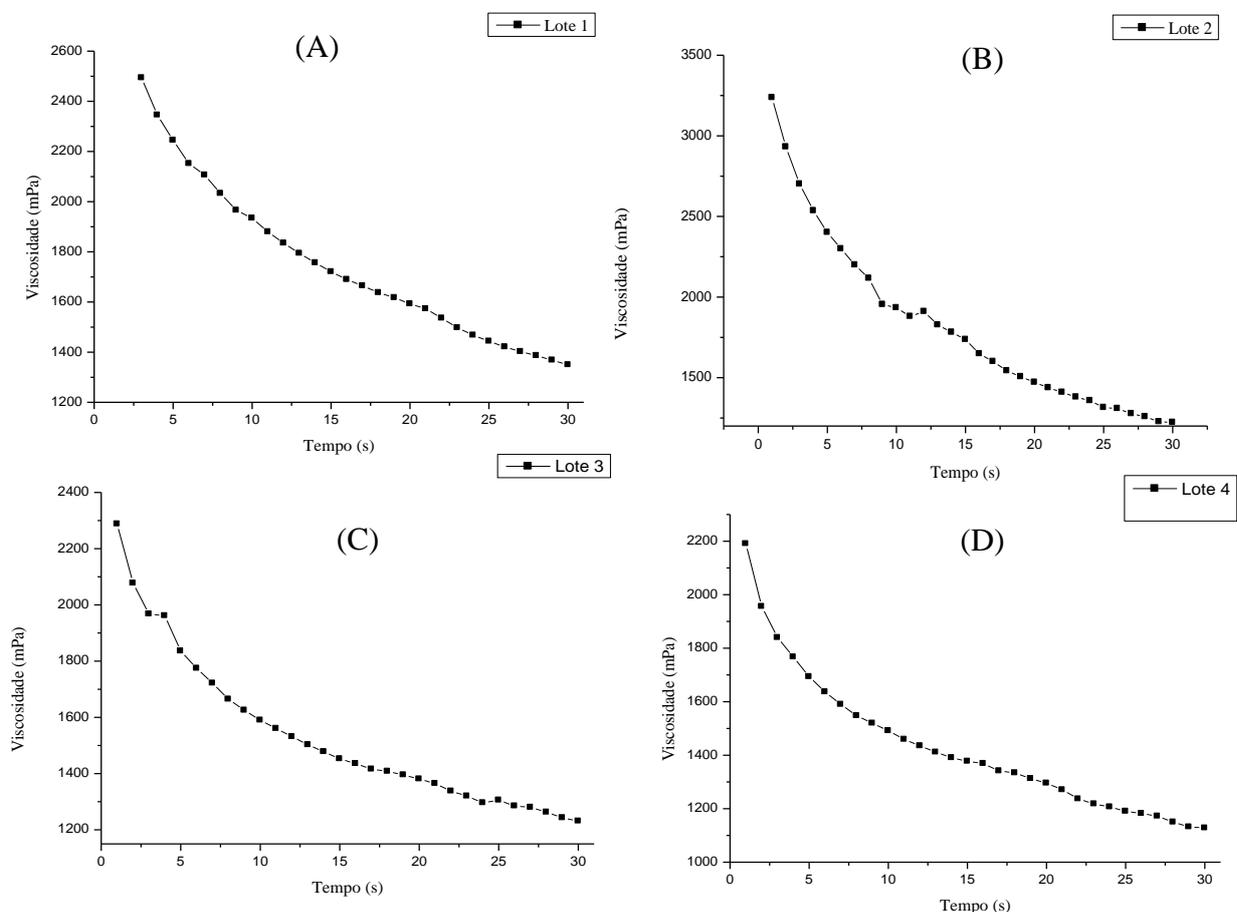
determinaram a umidade de 82 a 84%. De acordo com Oliveira et al. (2017) o teor de umidade em produtos lácteos como iogurte está relacionado com a estabilidade, qualidade e composição do produto e havendo alterações pode afetar o armazenamento.

A diminuição dos valores de umidade observados no período de 30 a 45 dias de armazenamento nas amostras em estudo pode ser justificado, pela capacidade dos microrganismos presentes na amostra de se ligarem à água e, conseqüentemente, a umidade do iogurte (SILVA; BESSA; SILVA, 2017). Oliveira et al. (2013) justifica essa diminuição da umidade as ações microbianas tendo como consequência um produto pastoso como foi notado nas amostras em estudo.

5.2.6 Viscosidade

Na Figura 23 estão representados os resultados da análise de viscosidade aparente das amostras de iogurte sabor morango de quatro lotes diferentes.

Figura 23 - Viscosidade do iogurte sabor morango. A: Lote 1. B: Lote 2. C: Lote 3. D: Lote 4



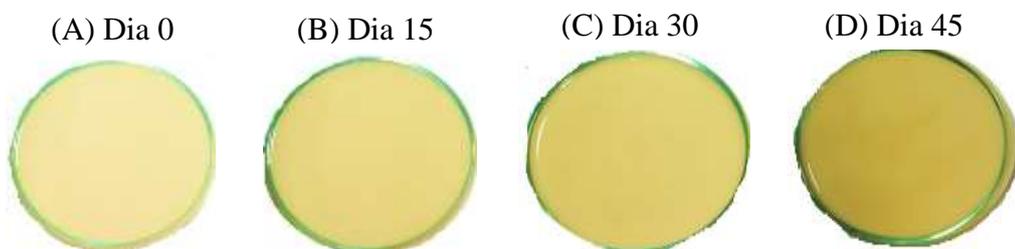
Fonte: Da autora.

Mathias et al (2013) realizaram um estudo reológico e caracterizaram as amostras de iogurtes comerciais sabor morango como um fluido não newtoniano do tipo tixotrópico devido a constante diminuição da viscosidade à medida que o tempo passava. Com base nisso, observando a Figura 23 é possível verificar que as amostras de iogurte sabor morango dos quatro lotes avaliados apresentaram comportamento e características de fluidos dependentes do tempo, ou seja, fluido do tipo tixotrópico com taxa de cisalhamento constante.

5.3 INVESTIGAÇÃO DA INTENSIDADE DOS PIXELS DAS IMAGENS DIGITAIS DASOBREMESA LÁCTEA CREMOSA SABOR CHOCOLATE BRANCO E IOGURTE SABOR MORANGO

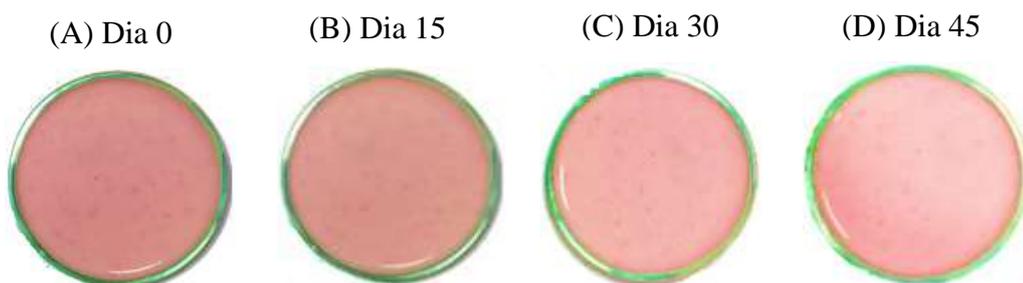
Com o intuito de verificar alteração colorimétrica entre as amostras dos produtos lácteos analisados ao longo do tempo de armazenamento, foram registradas imagens digitais do produto sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco conforme a Figura 24 e do iogurte sabor morango como mostra a Figura 25 no tempo de armazenamento de 0 a 45 dias em intervalos de 15 em 15 dias.

Figura 24 - Imagens Digitais da sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco



Fonte: Da autora.

Figura 25 - Imagens Digitais do iogurte sabor morango

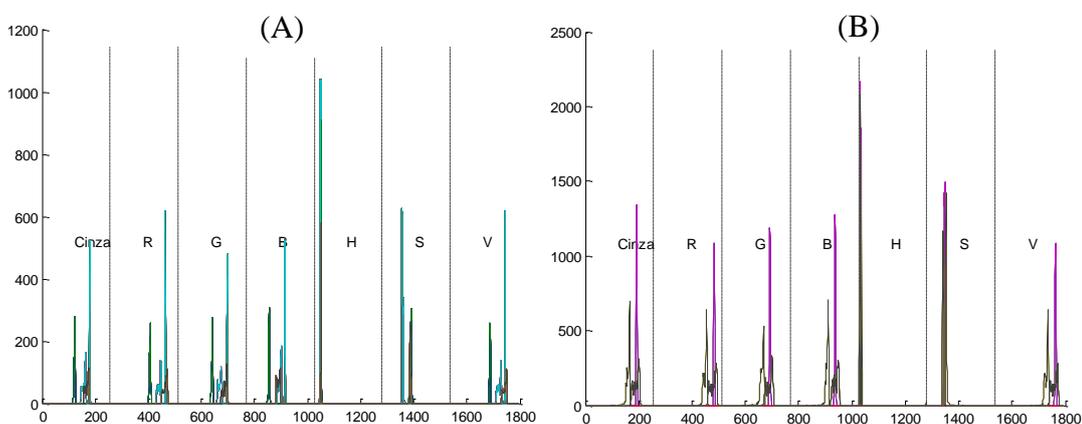


Fonte: Da autora.

De acordo com as Figuras 24 e 25 nota-se visualmente que a sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco escureceu à medida que o tempo de armazenamento aumentou e as amostras de iogurte sabor morango perdeu e a tonalidade da coloração rosa (clareamento). Logo, as diferenças visuais observadas podem ser registradas na forma de imagens digitais, e essas imagens são formadas por pixels que possuem informações de cores no qual estão associadas as modificações físico-químicas do produto. Essas alterações são oriundas das ações oxidativas de diversos compostos químicos como açúcares, carboidratos, proteínas, dentre outros, que têm associação com a cor do produto.

Para visualizar as mudanças colorimétricas de forma quantitativa, a fim de conseguir o grupamento das amostras distinguindo entre os sabores e dias de estocagem foi realizado o processamento das imagens digitais obtidas os produtos lácteos sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco e iogurte sabor morango, extraindo assim, as variáveis nas intensidades das cores RGB (*Red, Green and Blue*), HSV (*Hue, Saturation, Value*) e Escala cinza conforme estão representadas na Figura 26. Ao total foram extraídas 1792 variáveis das imagens digitais em triplicata no tempo de armazenamento de 0 a 45 dias em intervalos de 15 em 15 dias. Posteriormente foi realizada a análise de componentes principais utilizando todas as variáveis obtidas dos histogramas de cores. Os histogramas de cores (Figura 26) traz informações quantitativas das intensidades de cores. Com base nisso, observa-se que os picos de cores das amostras de sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco (A) apresentam diferenças nas regiões RGB (*Red, Green and Blue*), HSV (*Hue, Saturation, Value*) e Escala cinza em relação aos picos de cores das amostras de iogurtes sabor morango (B), indicando compatibilidade com a percepção visual representado pelas Figuras 24 e 25.

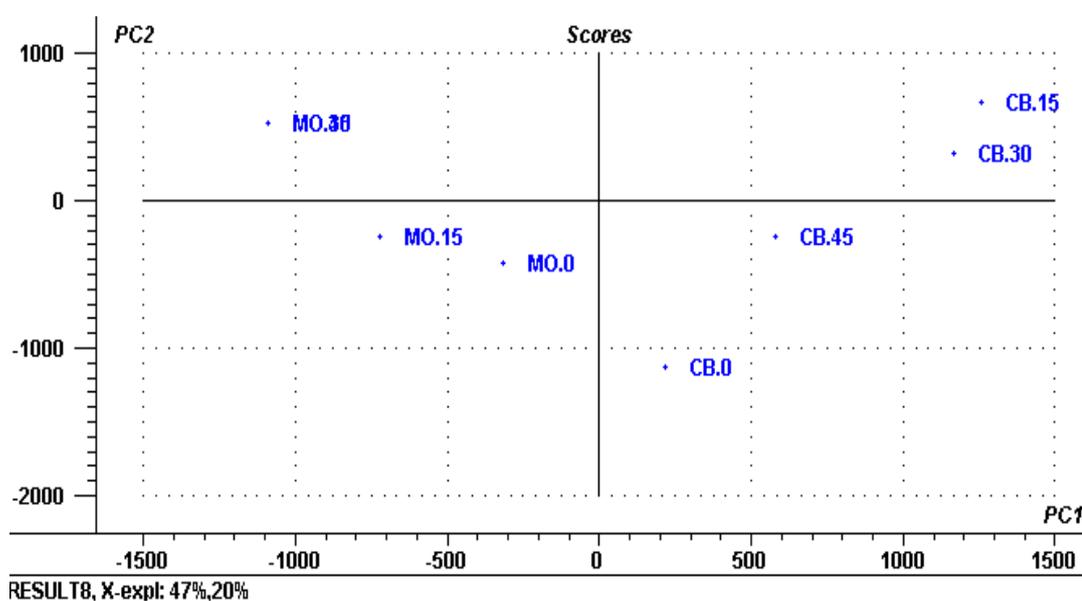
Figura 26 - Histogramas de cores obtido das imagens digitais das amostras de sobremesa láctea (A), iogurte sabor morango (B) para obtenção das variáveis



Fonte: Da autora.

Foram extraídas 1972 dos histogramas de cores, em seguida foi realizada uma análise de componentes principais (PCA) para identificar e agrupar as amostras dos produtos estudado. A variância dos dados foi explicada com sete PCs onde, 47% da variância total foi explicada em PC1 que resultou na separação das amostras de sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco (CB) e iogurte sabor morango (MO) conforme a Figura 27.

Figura 27 - Scores do histograma das amostras de sobremesa láctea e iogurte sabor morango



Fonte: Da autora.

Analisando a Figura 27, é possível perceber uma tendência de separação das amostras de sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco (CB) ao longo de PC1. De fato, as amostras pertencentes a este produto encontram-se localizada com valores de escores positivos em PC1. Além disso, a PC1 apresenta diferenças das amostras de CB pelo tempo de armazenamento de 0 a 45 dias. Em relação as amostras de iogurte sabor morango (MO) a PC1 apontou tendência de separação com aos valores de escores negativos e diferenças nos tempos de armazenamento 0 e 15 dias, já nos tempos 30 e 45 dias os pontos ficaram sobrepostos indicando que não houve variância de cor suficiente para separa-las.

Já em PC2 as amostras de sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco apresentaram uma tendência de agrupamento com valores de escores negativos e positivos da mesma forma para as amostras de iogurte morango. Além disso, os pontos CB15 e CB30 indicam similaridade com os pontos MO30 e MO45 no qual, pode estar relacionado aos valores próximos nos níveis de cor H. Portanto, as PCs geradas demonstram ser compatíveis com as

A reação de Maillard ocorre sob influência do pH, tempo de armazenamento, temperatura, teor de água, tipo de açúcar e aminoácidos envolvidos, gerando produtos como as melanoidinas que é responsável pela coloração marrom e perda de proteína (FRANCISQUINI et al, 2017). De acordo com Leonhardt (2015) os pigmentos marrons são indesejáveis em diversos produtos como chocolate branco, suco de laranja e leite em pó, por indicar que o produto está sofrendo alterações. No caso da sobremesa láctea cremosa sabor chocolate a cor marrom não é desejável por não ser a cor característica do chocolate branco. Já em produtos como café, alimentos cozidos e biscoitos, a cor marrom é desejável por apresentar ao consumidor a cor característica do produto.

Portanto, o escurecimento durante o armazenamento das amostras de sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco com base na literatura pode estar relacionado a reações químicas entre açúcar redutor, principalmente a D-glicose, e um grupo amina primário. No entanto, outros fatores deteriorantes, tais como tempo de estocagem, temperatura, dentre outros, não podem ser descartados.

Em relação ao iogurte sabor morango as alterações colorimétricas foram sutis (Figura 25), isto é confirmado pelo gráfico de scores (Figura 27) no qual, observou-se pouca variação das variáveis de cor extraídas das imagens das amostras do iogurte sabor morango. A literatura reporta que as alterações na cor do produto iogurte sabor morango também está ligada a reações entre açúcares, carboidratos, proteínas dentre outros compostos (SILVA e UENO, 2013). No entanto, o produto contém o corante carmim conforme indicado no rótulo, que neste caso passa ser o principal responsável pela coloração das amostras. Nas discussões das bandas observadas dos espectros obtidos por meio da espectroscopia no infravermelho (tópico 5.2.1), Bernardino (2011) ressalta que a atribuição de bandas observadas em FTIR não é trivial considerando a complexidade da estrutura química da molécula de carmim. Portanto, não foi possível atribuir as alterações colorimétricas do iogurte sabor morango a substância química carmim no presente estudo. Porém, o estudo realizado por Lemes (2013) investigando a estabilidade do corante carmim em iogurtes sabor morango evidenciou a perda da coloração vermelha e, conseqüentemente descoloração ao longo do período de armazenamento conforme observado no presente trabalho empregando processamento de imagens digitais e visualmente exposto na Figura 25. Além disso, as alterações do pH apresentadas anteriormente influenciam na estrutura da substância carmim (Figura 7), diminuindo as insaturações conjugadas, isto é, diminuem as transições $\pi \rightarrow \pi^*$.

5.4 TESTES DE ESTABILIDADE

5.4.1 Efeitos da Temperatura, Tempo de Armazenamento e Tempo de Exposição à Radiação Ultravioleta (UV) sobre o pH e teor de sólidos solúveis da sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco.

Conforme apresentado no Tópico 3.1.5 a temperatura e o tempo de armazenamento influencia na velocidade de multiplicação dos microrganismos provocando a formação de gel e consequentemente nas modificações nos parâmetros físico-químicos. A radiação ultravioleta elimina os microrganismos em determinados tempos de exposição e dosagem (MONDARDO, 2015). Portanto, com o intuito de se avaliar os efeitos da variação temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição à radiação ultravioleta (UV) sobre o pH e teor de sólidos solúveis da sobremesa láctea, foi realizado um planejamento experimental do tipo delineado composto central rotacional 2^3 , com seis pontos axiais e três repetições no ponto central, totalizando 17 ensaios (Tabela 13). Os experimentos foram conduzidos de acordo com os Tópicos 4.2 e 4.4.

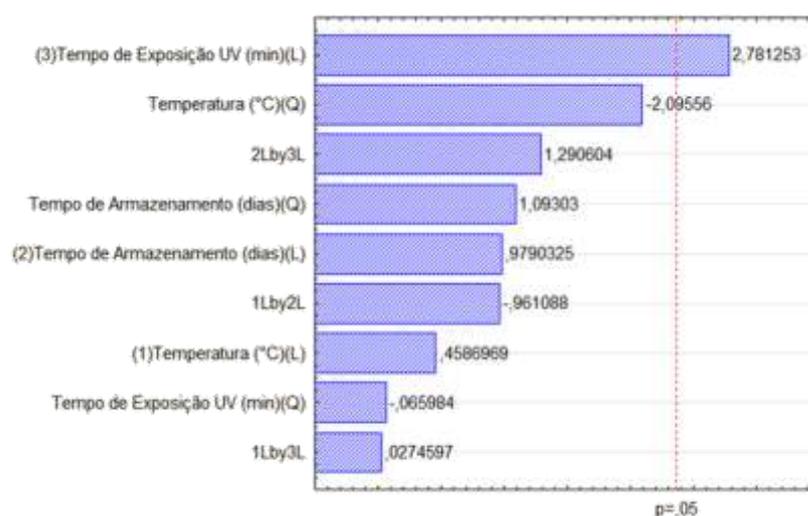
Tabela 13 - Matriz do planejamento experimental e respostas

Sobremesa Chocolate Branco	Valores Codificados (Reais)			Resposta	
	Ensaio	Temperatura (°C)	Tempo (dias)	Tempo UV (min)	pH
1	-1 (15)	-1 (11)	-1 (90)	6,39	22,4
2	1 (35)	-1 (11)	-1 (90)	6,71	23,1
3	-1 (15)	1 (34)	-1 (90)	6,53	24,5
4	1 (35)	1 (34)	-1 (90)	6,400	25,0
5	-1 (15)	-1 (11)	1(150)	6,70	25,5
6	1 (35)	-1 (11)	1(150)	6,75	26,0
7	-1 (15)	1 (34)	1(150)	6,80	27,0
8	1 (35)	1 (34)	1(150)	6,95	27,3
9	-1,68 (8)	0 (23)	0(129)	6,55	23,8
10	1,68 (41)	0 (23)	0(129)	6,46	26,2
11	0 (25)	-1,68 (3)	0(129)	6,75	24,2
12	0 (25)	1,68 (42)	0(129)	6,95	28,0
13	0 (25)	0 (23)	-1,68(69)	6,68	23,9
14	0 (25)	0 (23)	1,68(170)	6,77	24,6
15	0 (25)	0 (23)	0(129)	6,71	25,3
16	0 (25)	0 (23)	0(129)	6,71	25,3
17	0 (25)	0 (23)	0(129)	6,71	25,3

Fonte: Da autora.

Após obter as respostas do planejamento experimental, foi feita a análise estatística com o auxílio do software Statistica® versão 7, adotando-se como nível de significância ($\alpha = 5\%$), e, portanto, nível de confiança de 95%. Primeiramente, foi feita a análise para o pH, gerando os efeitos e conseqüentemente o diagrama de Pareto (Figura 29), análise de variância - ANOVA (Apêndice B - Tabela 20), superfície de resposta e curvas de contorno (Figuras 30, 31 e 32).

Figura 29 - Diagrama de Pareto para as variáveis temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição UV no pH da sobremesa láctea cremosa chocolate branco



Fonte: Da autora.

Figura 29, é possível notar que o único efeito significativo para o pH é o tempo de exposição UV linear, pois essa variável apresentou p -valor = 0,03, que é menor que 0,05. Esse resultado mostra que essa variável nas condições experimentais estabelecidas foi a que mais influenciou na resposta e comprova o que foi reportado na Tabela 13, visto que para alterações da temperatura e tempo de armazenamento, o pH sofreu pequenas variações. O tempo de exposição à radiação ultravioleta (UV) geraram variações expressivas na variável resposta em questão, no qual, segundo Mondardo (2015) isso se deve ao fato de que os microrganismos presentes na amostra apresentam sensibilidade a radiação ultravioleta, bem como acarreta na desestruturação das proteínas existentes.

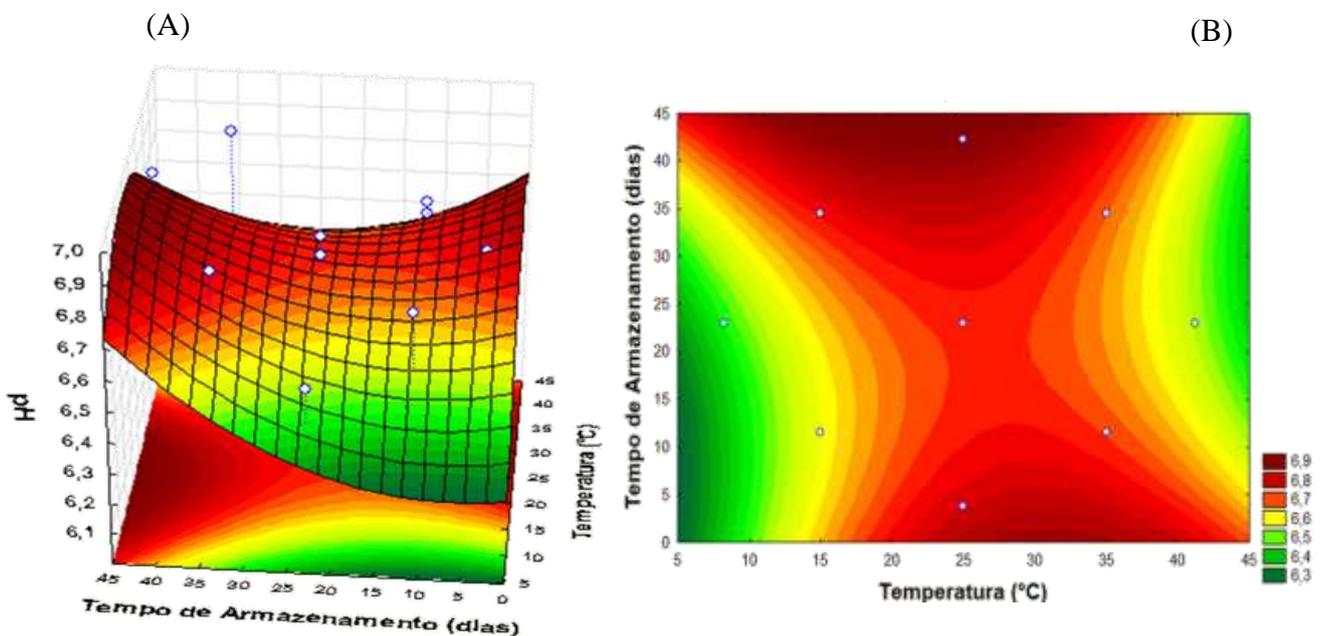
Para avaliação do ajuste tem-se o coeficiente de determinação (R^2), o qual nessa análise demonstrou que 73,10 % da variabilidade das respostas. Esse valor pode estar relacionado com as amplas variações microbianas, no entanto, como pode ser observado pela Tabela 13, não há variação nos pontos centrais, o que indica reprodutibilidade.

Em seguida, foi realizada a análise de variância – ANOVA (Apêndice B - Tabela 20) para verificar a quantidade significativa da variação dos dados experimentais (RODRIGUES; IEMMA,2009).

$$\text{Teste F} = \frac{\text{Quadrados médios da regressão}}{\text{Quadrados médios dos resíduos}} \quad (6)$$

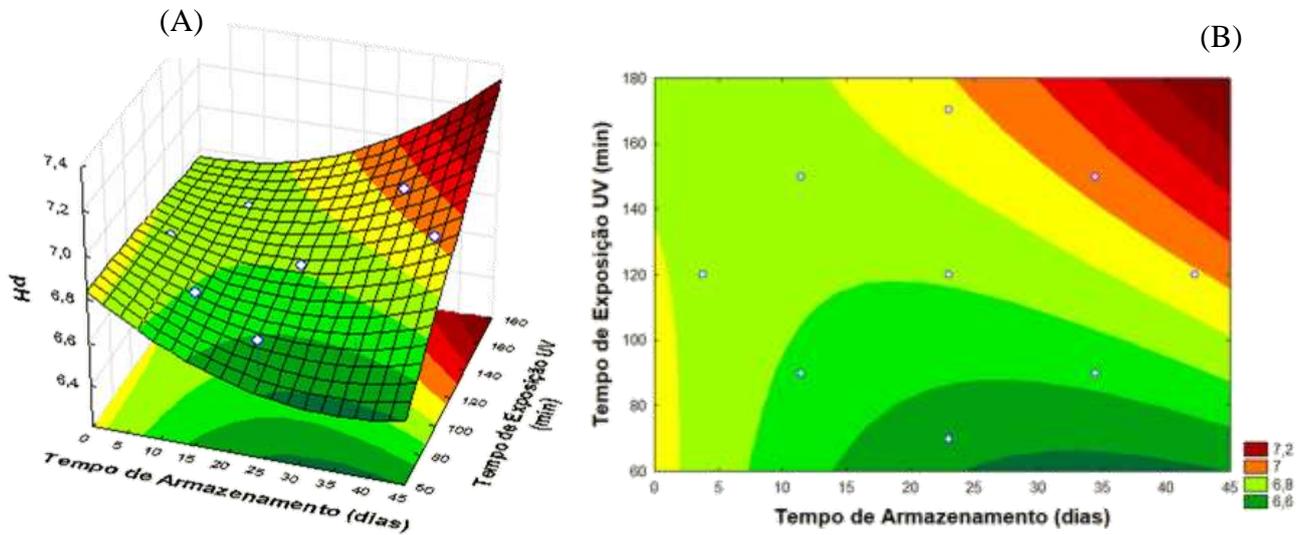
O valor calculado pela Equação 6 foi comparado com o valor tabelado de uma distribuição de frequência de referência ($F_{\text{Graus de liberdade do modelo; Graus de liberdade do desvio; Nível de significância}}$). Sendo assim, o valor de F tabelado para nível de significância de 5 % foi de 3,44, menor do que o valor calculado, ou seja, o modelo pode ser considerado válido e utilizado para a construção das superfícies de resposta e curvas de contorno, as quais foram geradas e podem ser visualizadas nas Figuras 30, 31 e 32.

Figura 30 - pH em função do tempo de armazenamento e da temperatura: (A) superfície de resposta e (B) curvas de contorno



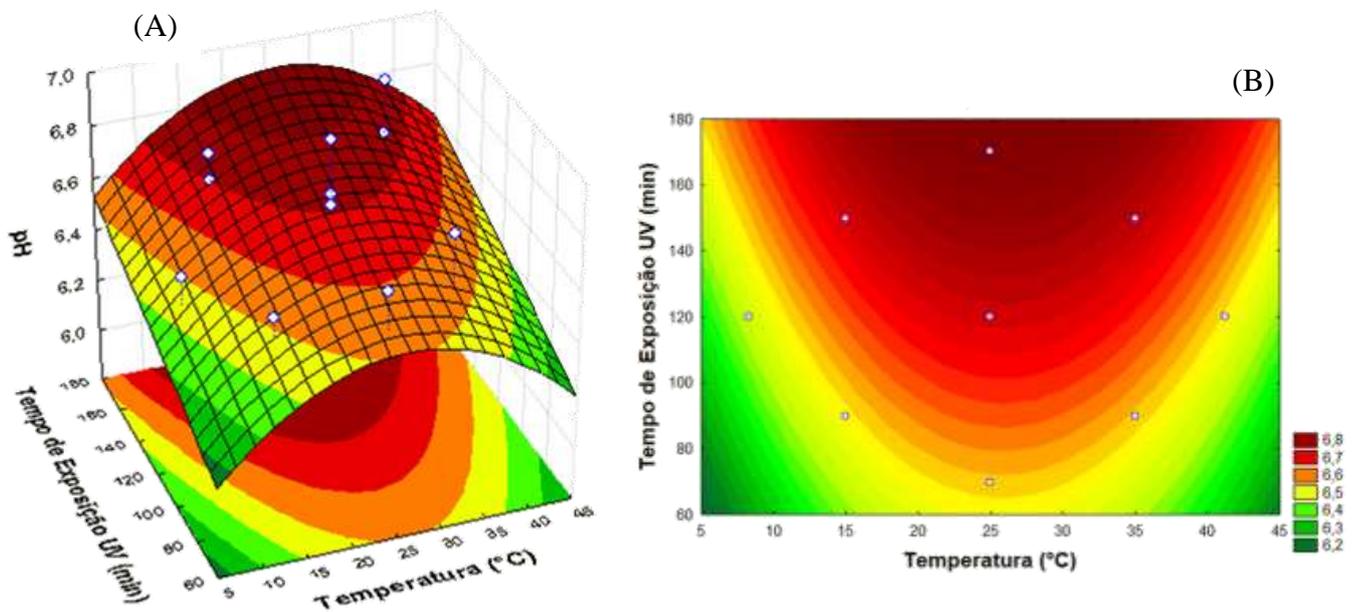
Fonte: Da autora, 2019.

Figura 31 - pH em função do tempo de armazenamento e tempo de Exposição UV: (A) superfície de resposta e (B) curvas de contorno



Fonte: Da autora.

Figura 32 - pH em função da temperatura e tempo de Exposição UV: (A) superfície de resposta e (B) curvas de contorno



Fonte: Da autora.

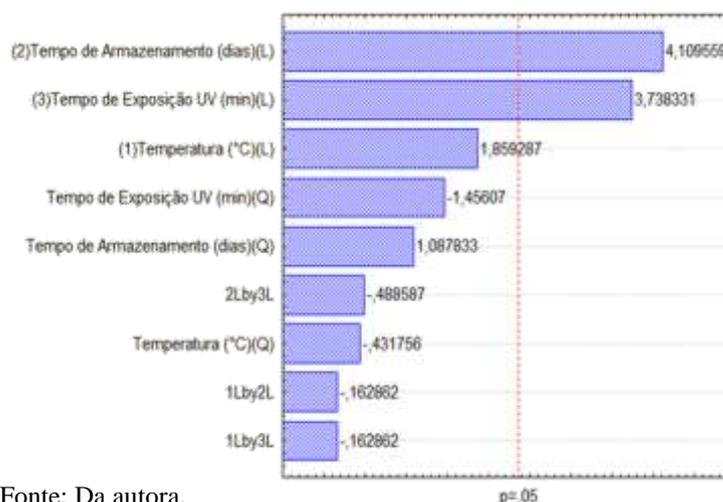
Observando as superfícies de resposta (Figuras 30, 31 e 32) quanto maior a intensidade do vermelho maior foram os valores de pH, que no caso do tempo de armazenamento e temperatura nota-se que o pH indicou alto valor (6,95) próximo ao final do tempo de armazenamento (42 dias) em temperatura de 25 °C.

Em relação ao tempo de armazenamento e exposição UV nota-se que o pH apresentou valor alto entre de 6,80 e 6,95 em tempo de armazenamento próximo de 35 dias e tempo de exposição UV de 150 min. Esses resultados apontam essas condições como sendo as responsáveis pela aceleração do processo de deterioração das amostras de sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco. E nas condições de Tempo de Exposição UV e temperatura o maior pH (6,80) foi alcançado no tempo máximo de exposição à radiação UV (170 min) e temperatura á 25 °C.

Diante do exposto, observa-se que o tempo de exposição UV foi determinante para acelerar o alcance do maior valor de pH. Segundo Cecchi (2003) em seu livro sobre alimentos, o aumento do pH em amostras de produtos lácteos indica alterações químicas e microbiológicas que acarretam mudanças no sabor, cor, textura, dentre outros, que fora do padrão de qualidade. A radiação ultravioleta (UV) promove a quebra de ligações dos microrganismos, ocasionando deslocamento físico de elétrons, esse tipo de fenômeno modifica a reprodução e metabolismo dos microrganismos, levando assim, o microrganismo à morte (BALL, 2007). Oliveira (2012) investigou o efeito da radiação UV no leite (matéria prima principal da amostra do presente estudo) e constatou que o mesmo afetou as propriedades químicas e físicas de suas amostras.

Após estudar as influências das variáveis temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição UV para a resposta pH, foi realizada também a análise para a resposta teor de sólidos solúveis (°Brix), gerando o diagrama de Pareto (Figura 33), análise de variância - ANOVA (Apêndice B - Tabela 22), superfície de resposta e curvas de contorno (Figuras 34, 35 e 36).

Figura 33 - Diagrama de Pareto para as variáveis temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição UV no teor de sólidos solúveis da sobremesa láctea

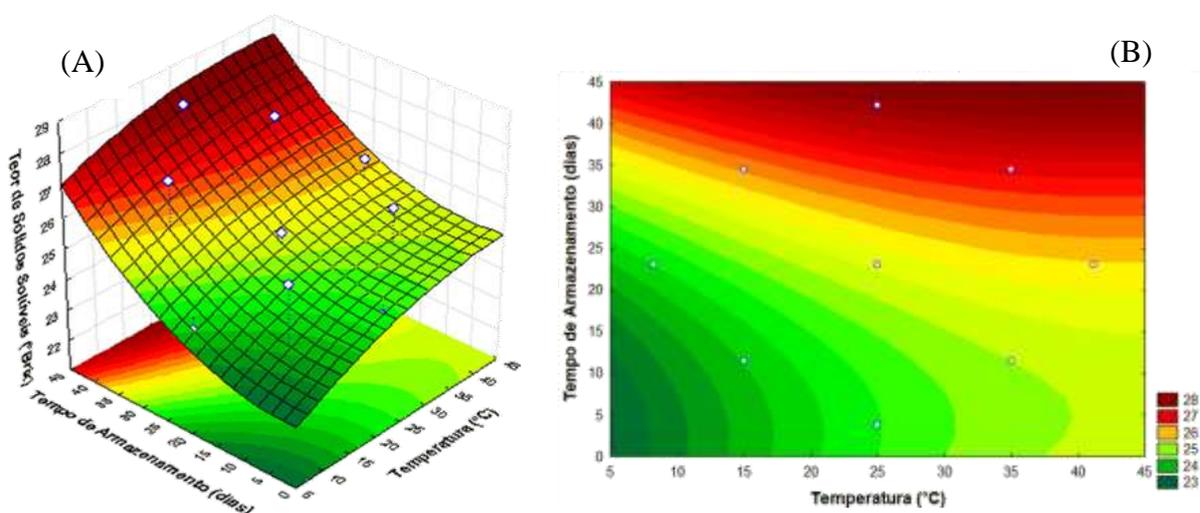


De acordo com a Figura 33 é possível notar que dois efeitos foram significativos para o teor de sólidos solúveis, o tempo de armazenamento linear e tempo de exposição UV linear cujo valor de p -valor = 0,0045 e 0,007 respectivamente, que é menor que 0,05. Esse resultado mostra que essas variáveis nas condições experimentais estabelecidas foram as que mais influenciaram na resposta e comprova o que foi reportado na Tabela 13, visto que para alteração da temperatura, o teor de sólidos solúveis sofreu pequenas variações. O tempo de exposição à radiação UV e tempo de armazenamento geraram variações expressivas na variável resposta em questão.

Em seguida, foi realizada a análise de variância – ANOVA (Apêndice B - Tabela 22) para verificar a quantidade significativa da variação dos dados experimentais (RODRIGUES; IEMMA,2009). O valor calculado pela Equação 6 foi comparado com o valor tabelado de uma distribuição de frequência de referência ($F_{\text{Graus de liberdade do modelo; Graus de liberdade do desvio; Nível de significância}}$). Sendo assim, o valor de F tabelado para nível de significância de 5 % foi de 3,44, menor do que o valor calculado, ou seja, o modelo pode ser considerado válido e utilizado para a construção das superfícies de resposta e curvas de contorno, as quais foram geradas e podem ser visualizadas nas Figuras 34, 35 e 36.

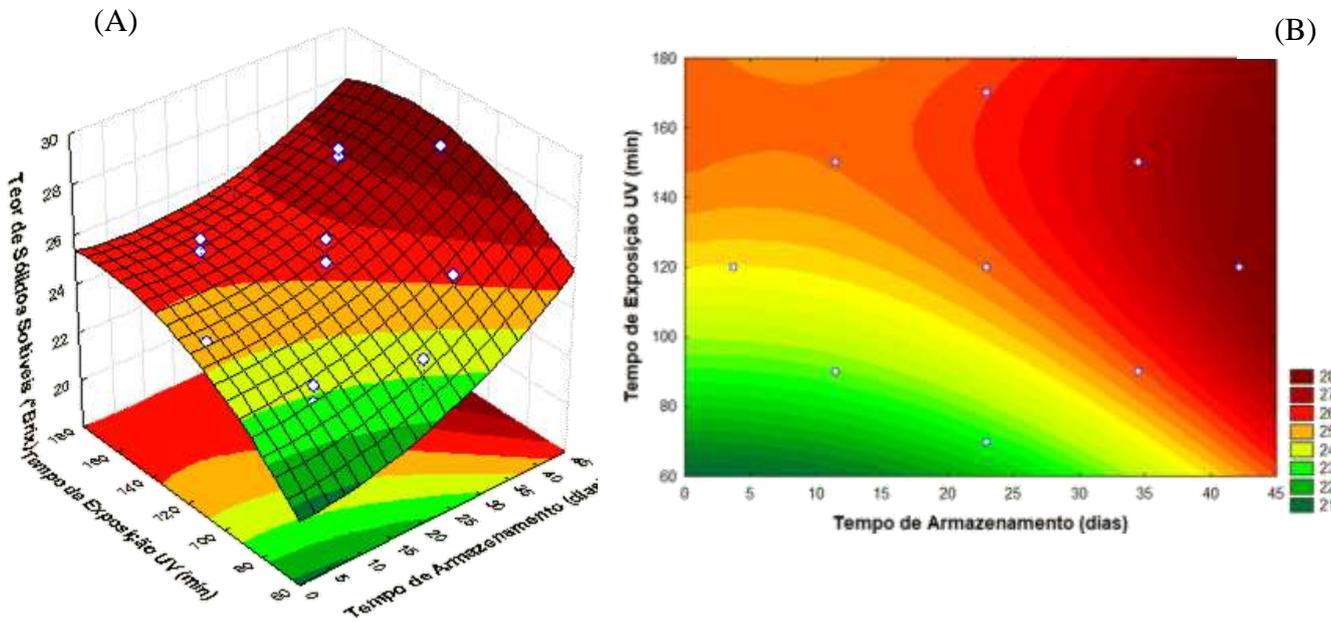
Para avaliação do ajuste tem-se o coeficiente de determinação (R^2), o qual nessa análise demonstrou que 84,90 %. Esse valor pode estar relacionado com as amplas variações microbianas e reações complexas entre os açúcares existentes, no entanto, como pode ser observado pela Tabela 13, não há variação nos pontos centrais, o que indica reprodutibilidade.

Figura 34 - Teor de sólidos solúveis em função do tempo de armazenamento e da temperatura: (A) superfície de resposta e (B) curvas de contorno



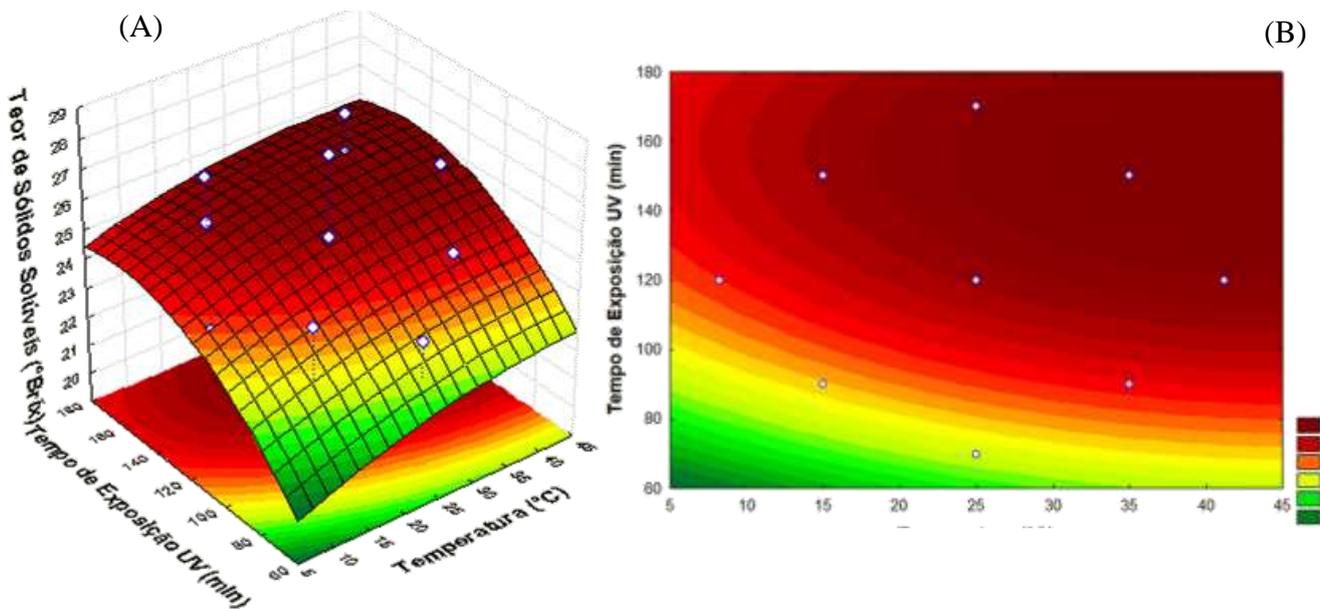
Fonte: Da autora.

Figura 35 - Teor de sólidos solúveis em função do tempo de armazenamento e tempo de Exposição UV: (A) superfície de resposta e (B) curvas de contorno



Fonte: Da autora.

Figura 36 - Teor de sólidos solúveis em função da temperatura e tempo de Exposição UV: (A) superfície de resposta e (B) curvas de contorno



Fonte: Da autora, 2019.

Observando as superfícies de resposta (Figuras 34, 35 e 36) quanto maior a intensidade do vermelho maior foram os valores do teor de sólidos solúveis, que no caso do tempo de armazenamento e temperatura nota-se que o teor de sólidos solúveis indicou alto valor (aproximadamente 28 %) próximo ao final do tempo de armazenamento (42 dias) em temperatura de 25 °C. Em relação ao tempo de armazenamento e exposição UV nota-se que o teor de sólidos solúveis apresentou maiores valores entre 25 % a 28 % na região onde o tempo de armazenamento é 34 dias até o final (45 dias) e o tempo de exposição UV foi na região de 129 min a 150 para elevar a quantidade de sólidos solúveis. Esses resultados apontam essas condições como sendo as responsáveis pela aceleração do processo de deterioração das amostras de sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco. E nas condições de Tempo de Exposição UV e temperatura a elevação do teor de sólidos solúveis (26%) inicia no tempo máximo de exposição à radiação UV (170 min) e temperatura 25 °C.

Diante do exposto, observou-se que o tempo de exposição UV foi determinante para acelerar o alcance do maior valor de teor de sólidos solúveis. Souza (2014) em seu estudo sobre conservação de mangas ressaltou que a irradiação funcionava como um germicida ao destruir de forma parcial ou total os microrganismos. Logo, colocar as amostras em exposição prova alterações internas no produto e com isso, o teor de sólidos solúveis é atingido. Segundo Fellows (2006) teores elevados de sólidos solúveis indica maior taxa de oxidação de gorduras, consequentemente ocorre o escurecimento da amostra.

5.4.2 Efeitos da Temperatura, Tempo de Armazenamento e Tempo de Exposição à Radiação Ultravioleta (UV) sobre a acidez, pH e teor de sólidos solúveis do iogurte sabor morango

Com o intuito de se avaliar os efeitos da temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição à radiação ultravioleta (UV) sobre a acidez, pH e teor de sólidos solúveis do iogurte sabor morango, foi realizado um planejamento experimental do tipo delineado composto central rotacional 2^3 , com seis pontos axiais e três repetições no ponto central, totalizando 17 ensaios. Os experimentos foram conduzidos de acordo com os Tópicos 4.2 e 4.4, visando investigar os pontos de deterioração do produto em estudo. Sendo assim, adotou-se como fatores as variáveis: temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição à radiação ultravioleta (UV) e, como resposta acidez, pH e teor de sólidos solúveis, no qual, os resultados estão dispostos na Tabela 14.

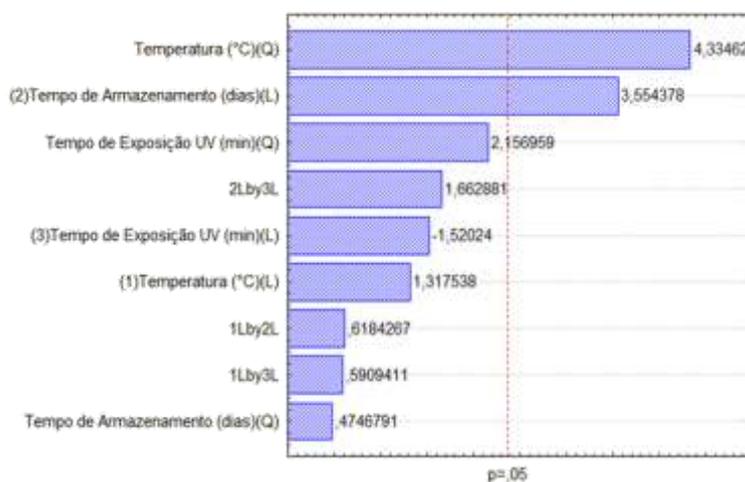
Tabela 14 - Matriz do planejamento experimental e respostas

Iogurte sabor morango	Valores Codificados (Reais)			Resposta		
	Ensaio	Temperatura (°C)	Tempo (dias)	Tempo UV (min)	Acidez	pH
1	-1 (15)	-1 (11)	-1 (90)	0,8158	4,60	12,6
2	1 (35)	-1 (11)	-1 (90)	0,8219	4,37	13,2
3	-1 (15)	1 (34)	-1 (90)	0,8158	4,21	13,5
4	1 (35)	1 (34)	-1 (90)	0,8260	4,27	13,8
5	-1 (15)	-1 (11)	1(150)	0,7876	4,66	13,4
6	1 (35)	-1 (11)	1(150)	0,7968	4,43	13,7
7	-1 (15)	1 (34)	1(150)	0,8297	4,33	14,7
8	1 (35)	1 (34)	1(150)	0,8798	4,47	15,1
9	-1,68 (8)	0 (23)	0(129)	0,8456	4,36	13,6
10	1,68 (41)	0 (23)	0(129)	0,8690	4,53	13,1
11	0 (25)	-1,68 (3)	0(129)	0,7128	4,45	13,4
12	0 (25)	1,68 (42)	0(129)	0,8371	4,39	15,9
13	0 (25)	0 (23)	-1,68(69)	0,8586	4,44	14,3
14	0 (25)	0 (23)	1,68(170)	0,7638	4,67	14,8
15	0 (25)	0 (23)	0(129)	0,7664	4,45	13,9
16	0 (25)	0 (23)	0(129)	0,7664	4,45	13,9
17	0 (25)	0 (23)	0(129)	0,7664	4,45	13,9

Fonte: Da autora.

Após obter as respostas do planejamento experimental, foi feita a análise estatística com o auxílio do software Statistica® versão 7, adotando-se como nível de significância ($\alpha = 5\%$), e, portanto, nível de confiança de 95%. Primeiramente, foi feita a análise para a acidez, gerando diagrama de Pareto (Figura 37), análise de variância - ANOVA (Apêndice B - Tabela 23), superfície de resposta e curvas de contorno (Figuras 38, 39 e 40).

Figura 37 - Diagrama de Pareto para as variáveis temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição UV na acidez do iogurte sabor morango



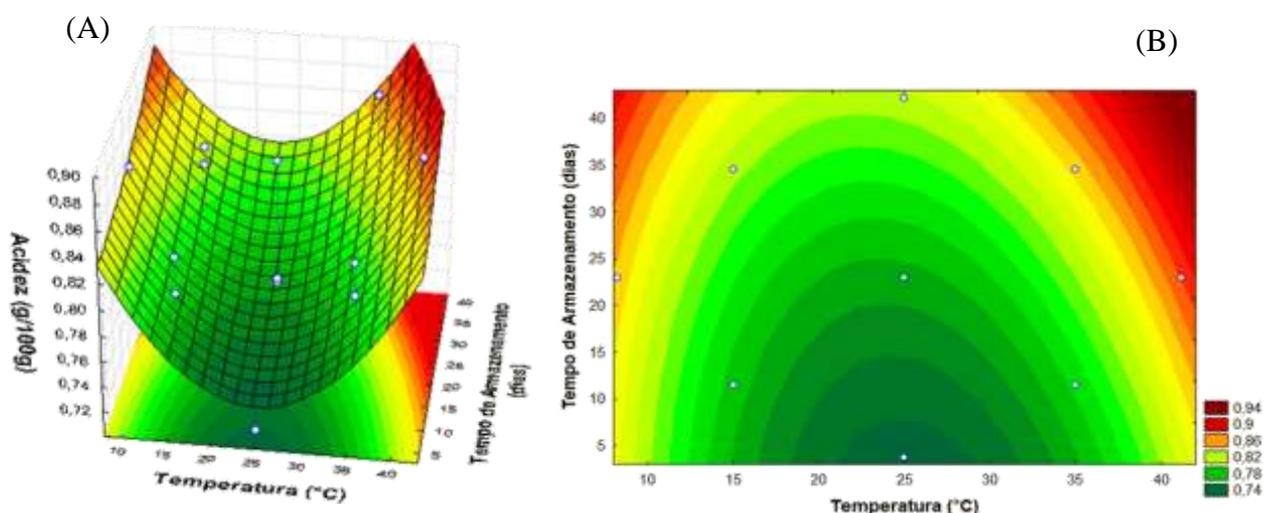
Fonte: Da autora.

De acordo com a Figura 37, é possível notar que dois efeitos foram significativos para a acidez no qual foi a temperatura quadrático e o tempo de armazenamento linear, apresentando p -valor = 0,003 e 0,009 respectivamente. Esse resultado mostra que essas variáveis nas condições experimentais estabelecidas foram as que mais influenciaram na resposta e comprova o que foi reportado na Tabela 14, visto que para alterações do tempo de exposição UV, a acidez sofreu pequenas variações. O tempo de armazenamento e temperatura geraram variações expressivas na variável resposta em questão.

Em seguida, foi realizada a análise de variância – ANOVA (Apêndice B - Tabela 23) para verificar a quantidade significativa da variação dos dados experimentais (RODRIGUES; IEMMA,2009). Para avaliação do ajuste têm-se o coeficiente de determinação (R^2), o qual nessa análise demonstrou que 85,30 % da variabilidade das respostas. Esse valor pode estar relacionado com as amplas variações microbianas, no entanto, como pode ser observado pela Tabela 14, não há variação nos pontos centrais, o que indica reprodutibilidade

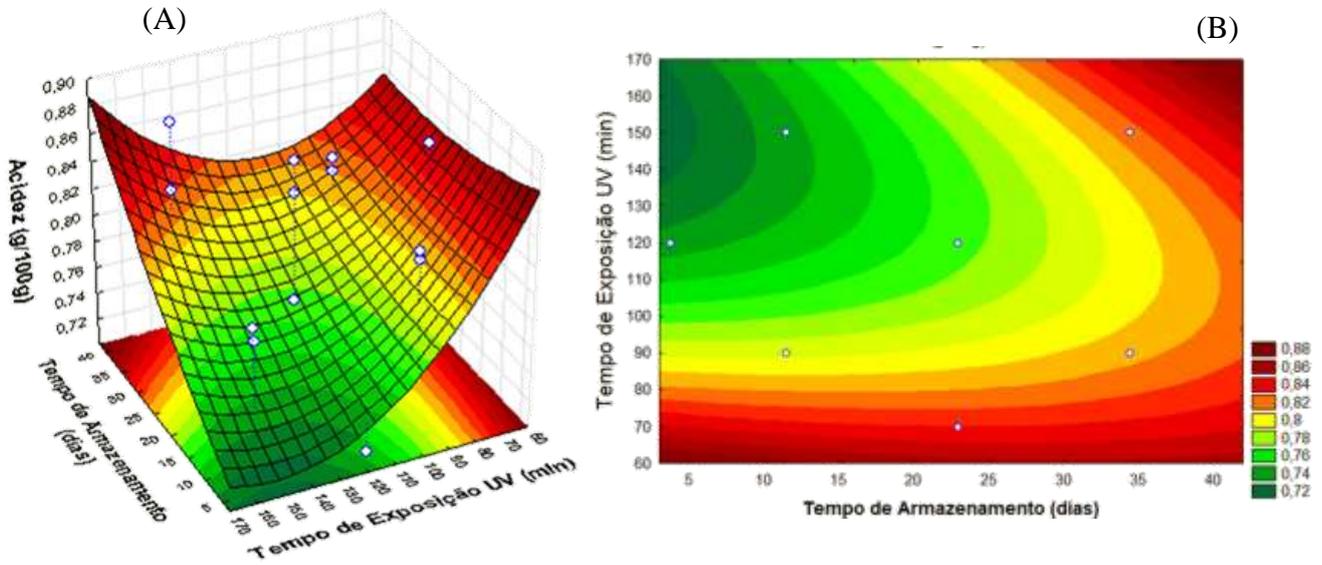
O valor calculado pela Equação 6 foi comparado com o valor tabelado de uma distribuição de frequência de referência ($F_{\text{Graus de liberdade do modelo; Graus de liberdade do desvio; Nível de significância}}$). Sendo assim, o valor de F tabelado para nível de significância de 5 % foi de 3,44, menor do que o valor calculado, ou seja, o modelo pode ser considerado válido e utilizado para a construção das superfícies de resposta e curvas de contorno, as quais foram geradas e podem ser visualizadas nas Figuras 38, 39 e 40.

Figura 38 - Acidez em função do tempo de armazenamento e da temperatura: (A) superfície de resposta e (B) curvas de contorno



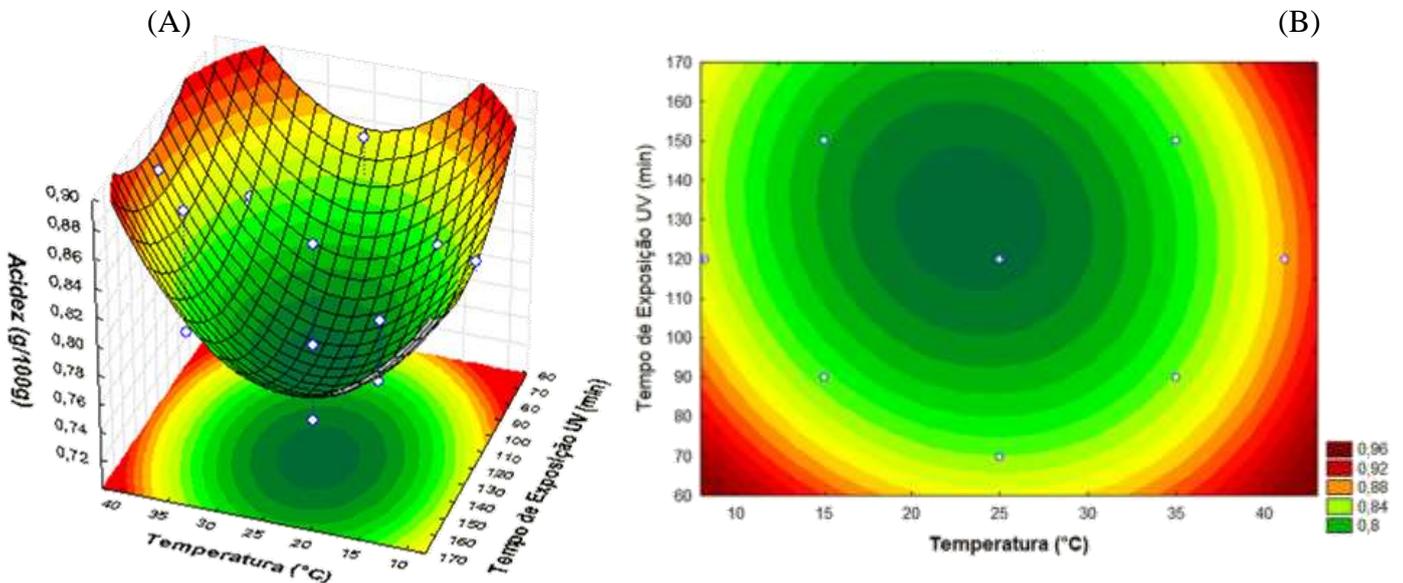
Fonte: Da autora.

Figura 39 - Acidez em função do tempo de armazenamento e tempo de Exposição UV: (A) superfície de resposta e (B) curvas de contorno



Fonte: Da autora.

Figura 40 - Acidez em função da temperatura e tempo de Exposição UV: (A) superfície de resposta e (B) curvas de contorno



Fonte: Da autora.

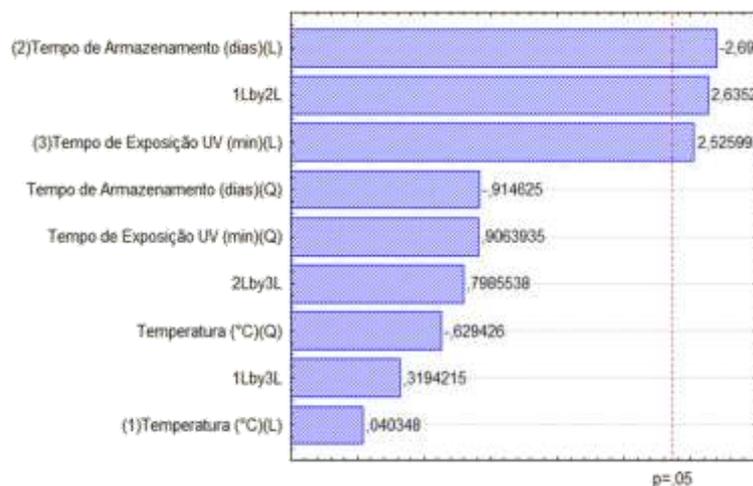
Observando as superfícies de resposta (Figuras 38, 39 e 40) quanto maior a intensidade do vermelho maior foram os valores de acidez e quanto maior a intensidade da cor verde menor foram os valores de acidez. Logo, no caso do tempo de armazenamento e temperatura nota-se que a acidez foi menor no início do armazenamento (3 dias) em temperatura de 25 °C, em

temperatura máxima na faixa de 45 °C no tempo de armazenamento de 25 a 45 dias a acidez apresentou elevação. Em relação ao tempo de armazenamento e exposição UV verifica-se que a faixa mínima de acidez foi no início do armazenamento do produto e em tempo de exposição UV na faixa de 120 min a 170 min e valores máximos de acidez foi quando a amostra ficou exposta por aproximadamente 69 min a radiação UV no tempo de armazenamento 23 dias. E nas condições de Tempo de Exposição UV e temperatura a acidez mínima apresentou no tempo de exposição UV na faixa de 129 min na temperatura 25 °C.

Segundo Peixoto et al, (2016) em seu estudo sobre a influência do tempo de armazenamento do leite e iogurte, ressaltam que os fatores temperatura e forma de armazenamento influenciam na rapidez de multiplicação dos microrganismos no iogurte. A formação de gel segundo este autor é bastante influenciada pela temperatura de armazenamento e essa formação ocorre mais rapidamente a temperatura ambiente (20 °C a 25 °C) que em baixa (4 °C) e alta temperatura (35 °C a 40 °C) e os aditivos, como fosfato de sódio e citrato de sódio, aceleram a gelificação. Quando se considera o fator tempo, sabe-se que quanto maior o tempo de armazenamento à baixa temperatura de um produto lácteo que contém uma alta concentração de microrganismos do tipo psicrotófico (como os do gênero *Pseudomonas spp*), maior é a chance de o produto final apresentar alterações (FAGUNDES, 2006).

Após a estudar as influências das variáveis temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição UV para a resposta acidez, foi realizada também a análise para a resposta pH, gerando o diagrama de Pareto (Figura 41), análise de variância - ANOVA (Apêndice B - Tabela 26), superfície de resposta e curvas de contorno (Figuras 42, 43 e 44).

Figura 41 - Diagrama de Pareto para as variáveis temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição UV no pH do iogurte sabor morango

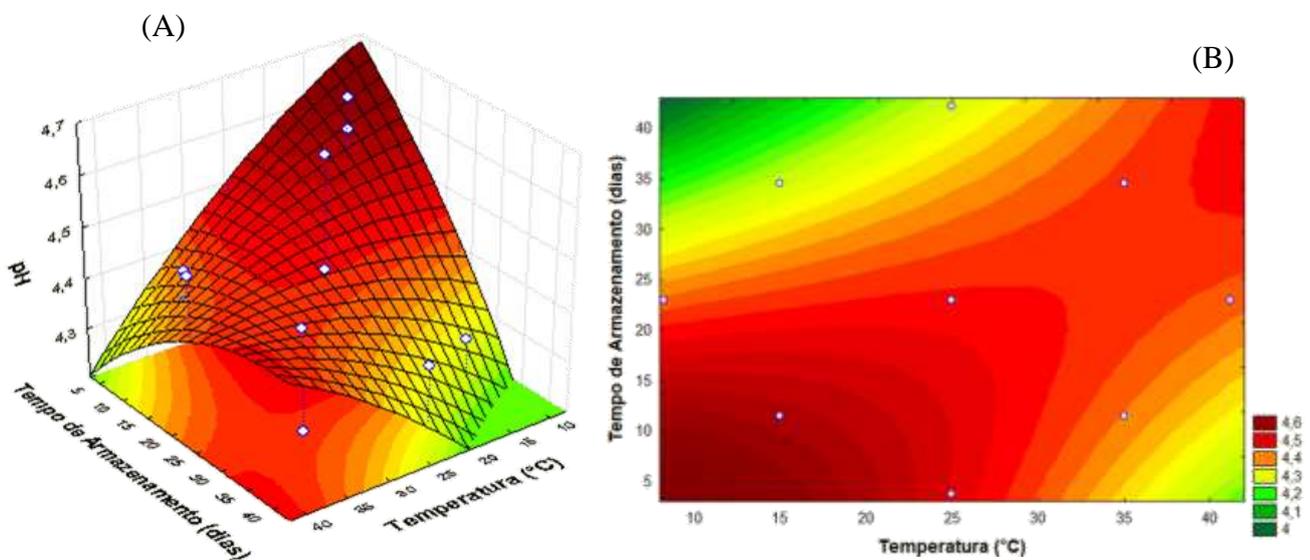


Fonte: Da autora.

De acordo com a Figura 41, é possível notar que três efeitos foram significativos para o pH, o tempo de armazenamento linear, tempo de exposição linear, e a relação entre a temperatura e tempo de armazenamento, no qual, ambos apresentaram valor de p -valor = 0,03 respectivamente, que é menor que 0,05. Portanto, essas variáveis nas condições experimentais estabelecidas foram as que mais influenciaram na resposta e comprova o que foi reportado na Tabela 14.

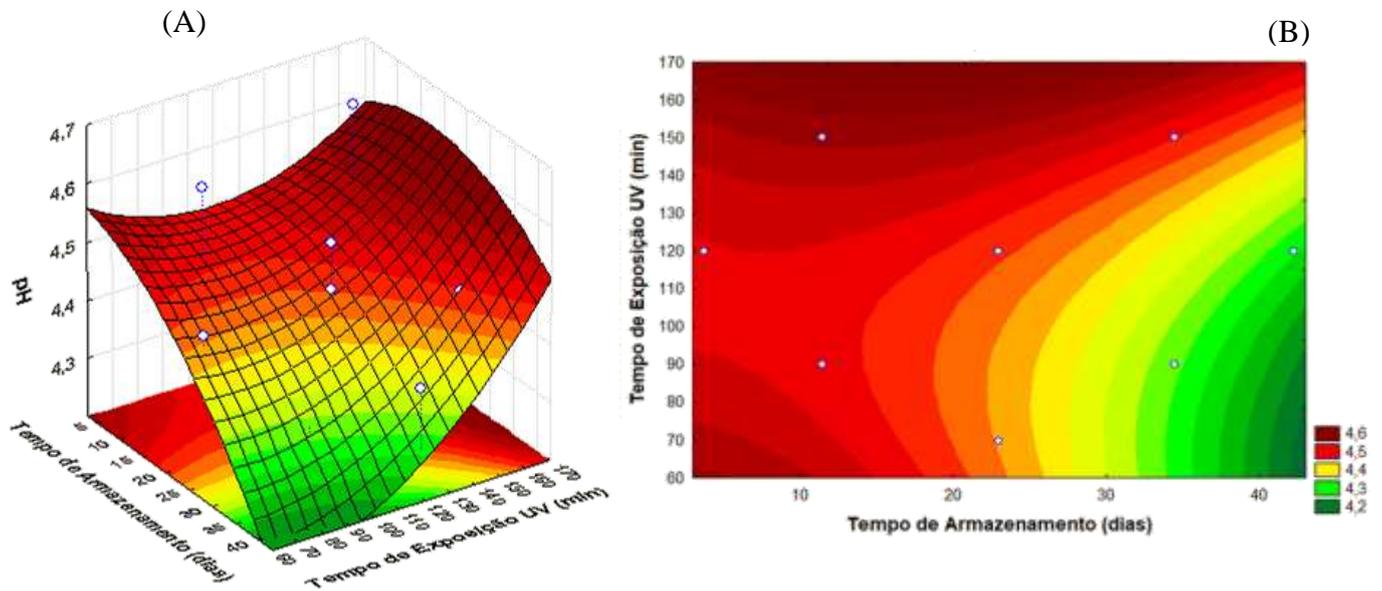
Em seguida, foi realizada a análise de variância – ANOVA (Apêndice B - Tabela 26) para verificar a quantidade significativa da variação dos dados experimentais (RODRIGUES; IEMMA, 2009). Para avaliação do ajuste tem-se o coeficiente de determinação (R^2), o qual nessa análise demonstrou que 77,5 % da variabilidade das respostas. Esse valor pode estar relacionado com as amplas variações microbianas e reações complexas entre os açúcares existentes, no entanto, como pode ser observado pela Tabela 14, não há variação nos pontos centrais, o que indica reprodutibilidade. O valor calculado pela Equação 6 foi comparado com o valor tabelado de uma distribuição de frequência de referência ($F_{\text{Graus de liberdade do modelo; Graus de liberdade do desvio; Nível de significância}}$). Sendo assim, o valor de F tabelado para nível de significância de 5 % foi de 3,44, menor do que o valor calculado, ou seja, o modelo pode ser considerado válido e utilizado para a construção das superfícies de resposta e curvas de contorno, as quais foram geradas e podem ser visualizadas nas Figuras 42, 43 e 44.

Figura 42 - pH em função do tempo de armazenamento e da temperatura: (A) superfície de resposta e (B) curvas de contorno



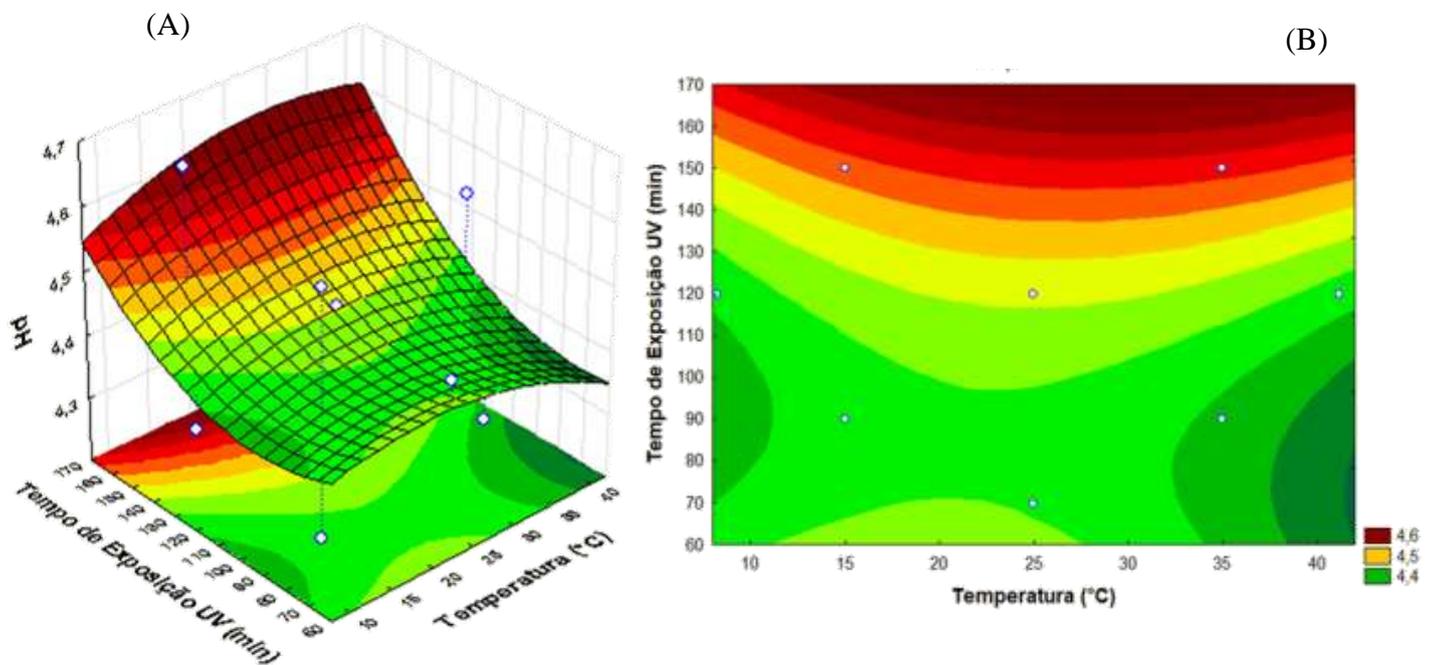
Fonte: Da autora.

Figura 43 - pH em função do tempo de armazenamento e tempo de Exposição UV: (A) superfície de resposta e (B) curvas de contorno



Fonte: Da autora.

Figura 44 - pH em função da temperatura e tempo de Exposição UV: (A) superfície de resposta e (B) curvas de contorno



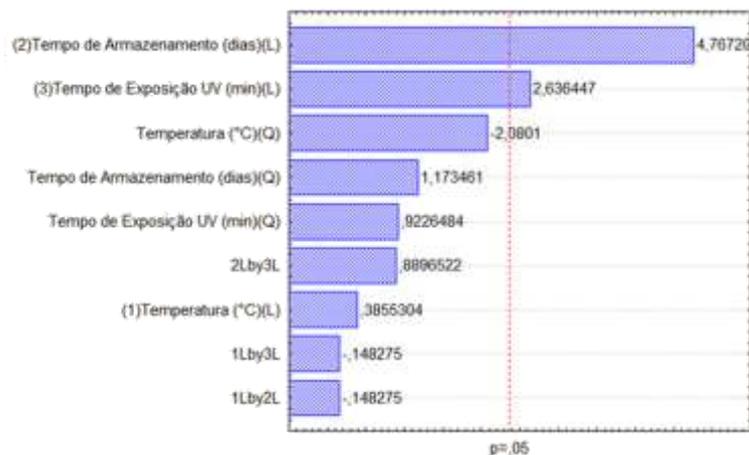
Fonte: Da autora.

Observando as superfícies de resposta (Figuras 42, 43 e 44) quanto maior a intensidade do vermelho maior foram os valores de pH e quanto maior a intensidade da cor verde menor foram os valores de pH. Logo, no caso do tempo de armazenamento e temperatura nota-se que a pH apresentou maior valor nos 10 primeiros dias de armazenamento a uma temperatura de 15 °C, o menor valor de pH na faixa do tempo de armazenamento 30-45 dias a uma temperatura de 15 °C.

Em relação ao tempo de armazenamento e exposição UV verifica-se que a faixa mínima de pH foi nos últimos dias de tempo de armazenamento a um tempo de exposição UV de 90 e 129 minutos, o pH máximo foi nas condições cujo o tempo de armazenamento é de 15 dias a um tempo de exposição UV de 150 minutos. E nas condições de Tempo de Exposição UV e temperatura o pH mínimo apresentou no tempo de exposição UV na faixa de 90 min na temperatura 35 °C.

E por fim após a estudar as influências das variáveis temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição UV para a resposta pH, foi realizada também a análise para a resposta teor de sólidos solúveis, gerando o diagrama de Pareto (Figura 45), análise de variância - ANOVA (Apêndice B - Tabela 28), superfície de resposta e curvas de contorno (Figuras 46, 47 e 48).

Figura 45 - Diagrama de Pareto para as variáveis temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição UV no teor de sólidos solúveis do iogurte sabor morango



Fonte: Da autora.

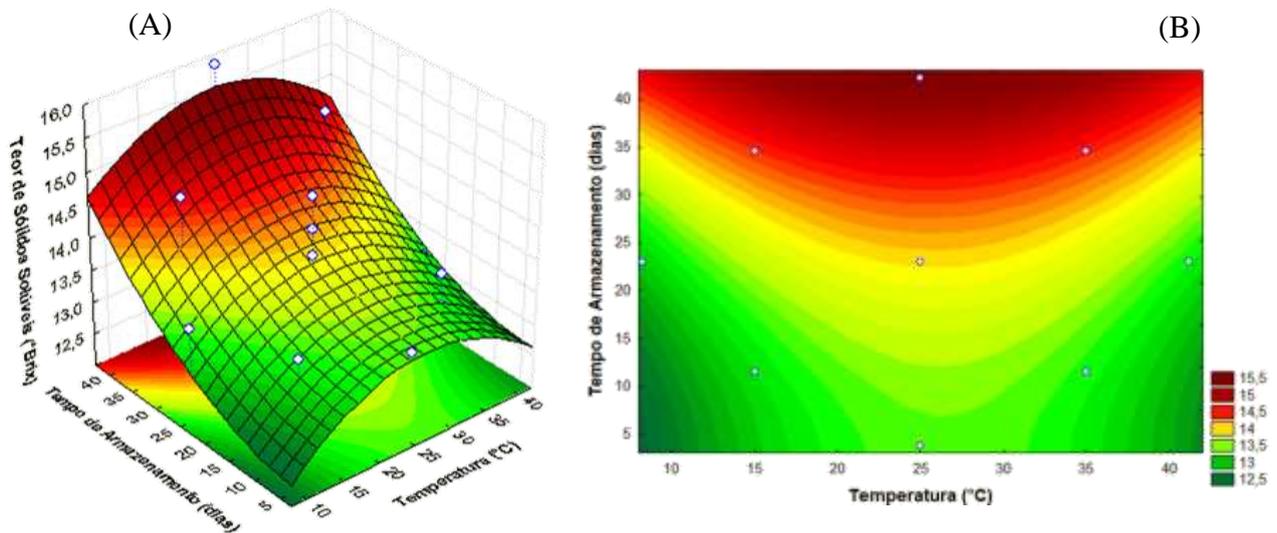
De acordo com a Figura 45, é possível notar que dois efeitos foram significativos para o pH, o tempo de armazenamento linear, tempo de exposição linear, no qual, apresentaram valor de p -valor = 0,002 e 0,03 respectivamente, que é menor que 0,05. Portanto, essas variáveis nas

condições experimentais estabelecidas foram as que mais influenciaram na resposta e comprova o que foi reportado na Tabela 14.

Em seguida, foi realizada a análise de variância – ANOVA (Apêndice B - Tabela 28) para verificar a quantidade significativa da variação dos dados experimentais (RODRIGUES; IEMMA, 2009). Para avaliação do ajuste tem-se o coeficiente de determinação (R^2), o qual nessa análise demonstrou que 85,0 % da variabilidade das respostas. Esse valor pode estar relacionado com as amplas variações microbianas e reações complexas entre os açúcares existentes, no entanto, como pode ser observado pela Tabela 14, não há variação nos pontos centrais, o que indica reprodutibilidade.

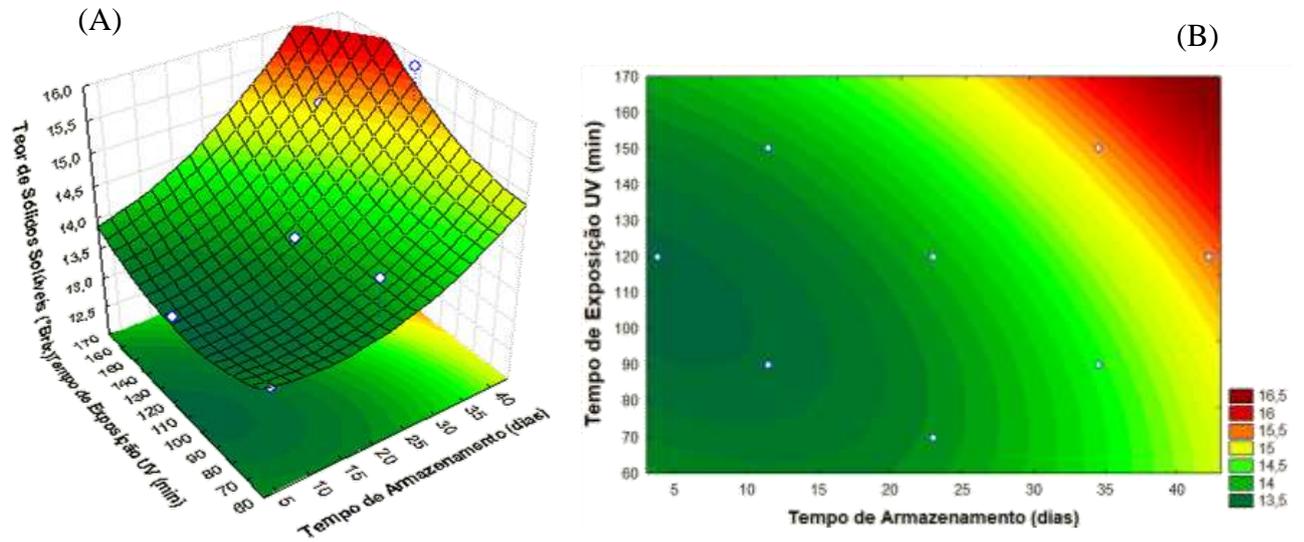
O valor calculado pela Equação 6 foi comparado com o valor tabelado de uma distribuição de frequência de referência ($F_{\text{Graus de liberdade do modelo; Graus de liberdade do desvio; Nível de significância}}$). Sendo assim, o valor de F tabelado para nível de significância de 5 % foi de 3,44, menor do que o valor calculado, ou seja, o modelo pode ser considerado válido e utilizado para a construção das superfícies de resposta e curvas de contorno, as quais foram geradas e podem ser visualizadas nas Figuras 46, 47 e 48.

Figura 46 - Teor de sólidos solúveis em função do tempo de armazenamento e da temperatura: (A) superfície de resposta e (B) curvas de contorno



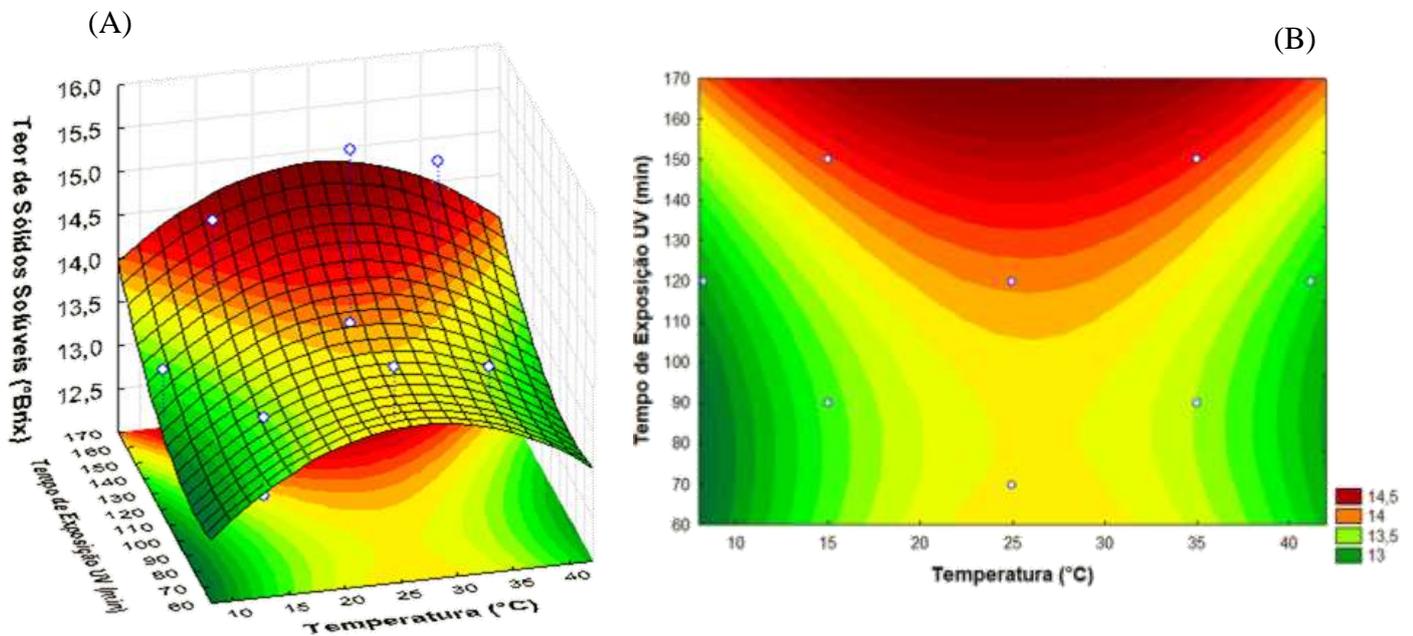
Fonte: Da autora.

Figura 47 - Teor de sólidos solúveis em função do tempo de armazenamento e tempo de Exposição UV: (A) superfície de resposta e (B) curvas de contorno



Fonte: Da autora.

Figura 48 - Teor de sólidos solúveis em função da temperatura e tempo de Exposição UV: (A) superfície de resposta e (B) curvas de contorno



Fonte: Da autora.

Observando as superfícies de resposta (Figuras 46, 47 e 48) quanto maior a intensidade do vermelho maior foram os valores de teor de sólidos solúveis e quanto maior a intensidade

da cor verde menor foram os valores de teor de sólidos solúveis. Logo, no caso do tempo de armazenamento e temperatura o teor de sólidos solúveis foi elevado a partir do vigésimo quinto dia a uma temperatura de 25 °C. Os valores mínimos de sólidos solúveis foram na faixa de 0 a 20 dias em todos os pontos de temperatura. Em relação ao tempo de armazenamento e exposição UV verifica-se que a faixa mínima de sólidos solúveis foi em todos os tempos com exceção o tempo 42 dias. O tempo de exposição UV provocou diminuição da quantidade de sólidos solúveis na maior parte do tempo de armazenamento. Nas condições de tempo de exposição UV e temperatura o teor de sólidos solúveis foi máximo ao empregar faixas de 120 a 150 minutos de exposição UV e temperatura de 15 °C a 30 °C.

6 CONCLUSÕES

As amostras de sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco indicaram mudanças consideráveis de pH e sólidos solúveis totais, em contrapartida não houve mudanças de acidez. A legislação brasileira é escassa em relação a esse tipo de alimento, mas, por meio da literatura conclui-se que as amostras apresentaram concordâncias com os resultados apresentados por pesquisadores da área de alimentos.

Os espectros obtidos por espectroscopia no infravermelho médio apresentaram grupos que caracterizam as amostras, bem como, foi possível visualizar alterações nos picos que correspondem a proteína, carboidratos, dentre outros durante o tempo de armazenamento 0 a 45 dias.

As amostras de iogurte sabor morango também indicaram alterações notórias de pH, acidez, teor de sólidos solúveis, bem como, as bandas obtidas também corresponderam a essas alterações durante o tempo de armazenamento.

As características reologias dos produtos estudados foram determinadas e comprovadas, no qual, corresponderam ao tipo de fluído não newtoniano do tipo tixotrópico, devido à mudança da viscosidade durante o tempo a uma taxa de cisalhamento constante.

Em relação a estabilidade colorimétrica, empregando processamento de imagens digitais em conjunto com análise de componentes principais (PCA) foi possível identificar variações colorimétricas consideráveis nos produtos lácteos estudados, em que, por meio da análise de componentes principais foram identificadas e agrupadas as amostras na primeira PC no qual, as variáveis de cor da sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco apresentaram alterações no tempo 0 e 45 dias em termos dos valores de escores positivos e do iogurte sabor morango no tempo 0 e 15 dias em termos dos valores de escores negativos. A PC2 para a sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco notou-se modificações das variáveis de cor nos tempos 15 e 30 dias em termos dos valores de escores positivos e 0 e 45 dias em termos dos valores de escores negativos, já para o iogurte morango as amostras foram agrupadas de 0 a 15 dias em termos dos valores de escores negativos e 30-45 dias ficaram sobrepostos. Portanto, as PCs obtidas foram compatíveis com as alterações colorimétricas visualmente notadas.

Além disso, observou-se o escurecimento das amostras de sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco, que possivelmente está ligado aos produtos da reação de Maillard. O iogurte sabor morango apresentou a perda da coloração (clareamento) que possivelmente está ligada a degradação do carmim.

Com a investigação das influências das variáveis tempo de armazenamento, temperatura e tempo de exposição UV dos testes de estabilidade em frente aos parâmetros pH, acidez e sólidos solúveis, foi possível apresentar as faixas que promoveram maior e menor deterioração dos produtos, no qual, verificou-se que para as amostras de sobremesa láctea cremosa a exposição UV influenciou estatisticamente nos resultados de pH e sólidos solúveis. Já para as amostras de iogurte sabor morango o tempo de armazenamento e exposição UV foram predominantes nos resultados de pH, acidez e sólidos solúveis. Em alguns parâmetros a temperatura influenciou, mas sutilmente.

Diante disso, as análises físico-químicas e colorimétricas utilizando processamento de imagens digitais em conjunto com ferramentas quimiométricas e testes de estabilidade podem ser considerados ferramentas auxiliares/alternativas no acompanhamento da estabilidade química e colorimétrica de produtos lácteos, apresentando a vantagem de serem não destrutivas, rápidas, de baixo custo e não utilizarem reagentes químicos prejudiciais ao meio ambiente.

7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- I. Aprimorar a metodologia utilizada empregando outros métodos de análise estatística;
- II. Melhorar o sistema de aquisição de imagens digitais;
- III. Criar um sistema de classificação baseado nas variáveis de cor para determinar os estágios de oxidação dos produtos lácteos;
- IV. Por meio das variações colorimétricas buscar determinar o tempo de prateleira.

REFERÊNCIAS

- ALONSO, Vanessa P.P. **Propriedades da água e sua importância na estabilidade de alimentos in-natura e processados**. Ciência dos Alimentos & Tecnologia, 2013. Disponível em: < <https://wp.me/p2lNhc-1P>>, Acesso em: 13 de julho de 2019.
- ALVES, Dorirley Rodrigo. **Avaliação dos modelos de cores RGB e HSV na segmentação de curvas de nível em cartas topográficas coloridas**. 2010. 65f. Dissertação (Mestrado em Engenharia elétrica) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, 2010.
- ALEXANDRE, Fernanda Antunes; FARIA, José de Assis Fonseca; CARDOSO, Claudio Fernandes. Avaliação da eficiência da radiação ultravioleta na esterilização de embalagens plásticas. **Ciência e Agrotecnologia**., Lavras, v. 32, n. 5, p. 1524-1530, set./out., 2008.
- ANTUNES, Veridiana de Carvalho. Use of microfiltration to improve the quality and extend the shelf life of pasteurized milk. **Brazilian Journal of Food Technology**. v. 17, n.1, 2014.
- AQUARONE, Eugênio; BORZANI, Walter; LIMA, Urgel de Almeida. **Biotecnologia industrial: biotecnologia na produção de alimentos**. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda, 2001. v. 4.
- ARCIA, P.L; COSTELL, E; TÁRREGA, A. Thickness suitability of prebiotic dairy desserts: Relations hip with rheological properties. **Food Research International**, v .43, p. 2409-2416, 2010.
- ARES, F et al. Development of functional milk desserts enriched with resistant starch based on consumers perception. **Food Science and Technology International**, v. 18, n. 5, p. 465-475, 2013.
- ARAÚJO, Diego Goyannes. NASCIMENTO, Christine Rabello. Propriedades Reológicas da Polpa de Bauxita – II. Avaliação do rotor tipo vane. **XV Jornada de Iniciação Científica, CETEM**, 2007.
- ATKINS, Peter W.; JONES, Loretta. **Princípios de Química: Questionando a vida moderna e o meio ambiente**. Porto Alegre: Bookman. 2011. 928p.
- BALL, D.W. The electromagnetic spectrum: a history. **Spectroscopy**, v. 3, n. 22, p.14-17, 2007.
- BARBOSA, Maressa Xavier Leite. **Aditivos químicos em alimentos ultraprocessados consumidos por adolescentes: análise dos corantes quanto ao potencial alergênico**. 2016. Trabalho de conclusão (Graduação em Nutrição) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2016.
- BARBIN, Douglas F et al. Digital image analyses as an alternative tool for chicken quality assessment. **Biosystems Engineering**. I 44, 2016.

BASTOS, D.M. et. al. Maillard Reaction Products in Processed Food: Pros and Cons. **Agricultural and Biological Sciences**. 2012.

BATISTA, R. A. B et al. Lactose em alimentos industrializados: avaliação da disponibilidade da informação de quantidade. **Revista Ciência e Saúde Coletiva**, v. 23, p. 4119–4128, 2018.

BERNARDINO, Nathália D'Elboux. **Degradação de corantes e aglutinantes: Efeito da composição do microambiente**. 2011. 175f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade de São Paulo, Instituto de Química, São Paulo, 2011.

BOTELHO, Bruno Gonçalves. **Desenvolvimento e validação de métodos para análise direta de alimentos usando ferramentas quimiométricas, espectroscopia no infravermelho e imagens digitais**. 2014.136f Tese (doutorado em química) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.

BORIN, Alessandra et al. Quantification of lactobacillus in fermented milk by multivariate image analysis with least-squares support-vector machines. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**, v.387. p.1105 – 1112, 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa no 68, de 12 de dezembro de 2006. Oficializa os métodos analíticos oficiais físico-químicos, para controle de leite e produtos lácteos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 14 dez. 2006. Seção 1, p.8.

BRUZZONE, F et al. Consumers` texture perception of milk desserts. II – Comparison with trained assessors` data. **Journal of Texture Studies**, p.1-13, 2011.

BUDAK, S. O.; AKAL, C.; YETISEMIYEN, A. Effect of dried nut fortification on functional, physicochemical, textural, and microbiological properties of yogurt. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n.1, p. 8511-8523, 2016.

CALDEIRA, Luciana Albuquerque et al. Desenvolvimento de bebida láctea sabor morango utilizando diferentes níveis de iogurte e soro lácteo obtidos com leite de búfala. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.40, n.10, p.2193-2198, 2010.

CARDOSO, Djeifry Edmilson Barbosa Fernandes. **Aplicação de imagem digital ao Controle da Qualidade**. 2014.120f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade de Coimbra, 2014.

CARVALHO, Aquileine Mainomy Benício de. **Análise do leite em pó de vaca e cabra por métodos físicos**. 2013. 93f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de leite e derivados), Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora-MG, 2013.

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análises de alimentos**. Campinas: Editora da Unicamp, 2003. v. 2.

CHAUDHARY, Sanjay; PRAJAPATI, Bhavesh. Quality analysis and classification of bananas. **International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering**, v. n. 4. p. 869 – 874, 2014.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K.L.; FENNEMA, O.R. **Química de Alimentos de Fennema**. Porto Alegre: Artmed, 2010. p. 900. v.4.

DENARDIN, Cristiane Casagrande; SILVA, Leila Picolli da. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, nº. 3, Santa Maria-RS, 2009.

DAMASCENO, Deangelis et al. Análise Multivariada de Imagens na Química: um experimento para determinação do pH de águas potáveis. **Revista Química Nova**, v. 38, n. 6, p. 836-841, 2015.

DINIZ, Paulo. H. G. D et al. Using a simple digital camera and SPA-LDA modeling to screen teas. **Analytical Methods**, v.4. p. 2648–2652, 2012.

EGEA, Mariana Buranelo et al. Relação entre as características físico-químicas e reológica e o valor comercial de iogurte integral com sabor morango. **Revista Segurança Alimentar e Nutricional**, Campinas, v. 26, p. 1-11. 2019.

FARIA, Diogo. **Análise e Processamento de Imagem**. 2010. 44f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) - Universidade do Porto, 2010.

FAGUNDES, C. M. Presença de *pseudomonas ssp.* em função de diferentes etapas da ordenha com distintos manejos higiênicos e no leite refrigerado. **Revista Ciência Rural**, v.36, n.2, p. 568-572, abr./2006.

FERNANDES, SS. Monitoramento da Microbiota de Iogurtes Comerciais. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**. v. 66. n. 382, p. 5-11, 2011.

FELLOWS P. J. **Tecnologia do Processamento de Alimentos: princípios e prática**. Tradução: Florencia Cladera Oliveira et al. Porto Alegre: Artmed, 2006.

FERNANDES, David Douglas de Sousa et al. Simultaneous identification of the wood types in aged cachaças and their adulterations with wood extracts using digital images and SPA-LDA. **Food Chemistry**. 2018.

FERNANDES, David Douglas de Sousa et al. Quantification and identification of adulteration in the fat content of chicken hamburgers using digital images and chemometric tools. **LWT - Food Science and Technology**. 2018.

FILHO, Washinton Luiz Gomes dos Santos et al. Características físico-químicas do leite cru comercializado de maneira informal em Redenção, Pará. **Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária**. João Pessoa, v.10, n.5, p.29-34, jul. 2016.

FORATO, Lucimara Aparecida et al. **A Espectroscopia na região do Infravermelho e algumas aplicações**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2010.

FRAGOSO, Andresa Martins et al. **Avaliação da estabilidade de sobremesa láctea cremosa potencialmente probiótica**. 2012. 43f. Trabalho de conclusão de curso (Curso Superior de Tecnologia em Alimentos), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa-PR, 2012.

- FRACASSO, Aline Francielle. **Modificação química de pectina cítrica: implicações estruturais, físicas e reológicas**. 2015. 85f. Tese (Doutorado em Engenharia de alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2015.
- FRANCISQUINI, Júlia d'Almeida et al. Reação de Maillard: Uma Revisão. **Revista Instituto de Laticínios Cândido Tostes**. Juiz de Fora, v. 72, n. 1, p. 48-57, 2017.
- FRANCISQUINI, Júlia d'Almeida et al. Avaliação da intensidade da reação de Maillard, de atributos físico-químicos e análise de textura em doce de leite. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 63. n. 5, 2016.
- GASSEM, M.; FRANK, J. F. Effect of protein degradation of milk on the physical and chemical properties of yogurt. **Journal of Dairy Science**, v.3 n.1 p.114-119, 1990.
- GONDIM, Carina S; JUNQUEIRA, Roberto G; SOUZA, Scheilla V. C. Tendências em validação de métodos de ensaios qualitativos. **Revista Instituto Adolfo Lutz**. v. 70, n. 4, p. 433 - 447, 2011.
- GOFF, D. **Dairy Science and Technology**: University of Guelph education series. Disponível em: < <https://www.uoguelph.ca/foodscience/industry/dairy-education-ebook-series> > 04 abr. 2009. Acesso em: 25 de junho de 2019.
- GRANATO, D. **Emulsão de soja e goiaba: caracterização físico-química, cromática, sensorial e de estabilidade**. 2009. 183f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2009.
- GUERRERO-BELTRÁN, J.A; BARBOSA-CÁNOVAS, G.V. Review: advantages and limitations on processing foods by UV light. **Food Science and Technology International**, v. 3, n. 10, p.137-147, 2004.
- GUNASEKARAN S; MEHMET A.K.M. **Cheese texture**. In: **Cheese Rheology & Texture**. New York: CRC Press, 2003. p. 299-329.
- HENRIQUE, Jessica Ribeiro et al. Development, physicochemical parameters and sensory evaluation of milk-based dessert made with different species of passion fruit with and without addition of whey. **Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, , v. 67. n° 389, p. 27-33, 2012.
- HONGYU, K. **Comparação do GGEbiplot ponderado e AMMI-ponderado com outros modelos de interação genótipo × ambiente**. 2015.154f. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agronômica), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.
- HONGYU, Kuang et al. Principal Component Analysis: theory, interpretations and applications. **E&S - Engineering and Science**, ed 5.v 1, 2016.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. Coordenadores Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea -- São Paulo: **Instituto Adolfo Lutz**, 2008. 1019 p.

JUNIOR, Wilmo E. Francisco. Carboidratos: Estrutura, Propriedades e Funções. **Revista Química Nova na Escola**. N° 29, agosto 2008.

KAREL, M; LUND, D.B. **Physical principles of food preservation**. New York: Marcel Dekker, 2003. Chap. 11.

KOUTCHMA, T. et al. Ultraviolet disinfection of juice products in laminar and turbulent flow reactors. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 5, n. 2, p.179–189, 2004.

KOPPER, A. C. **Bebida simbiótica elaborada com farinha de bocaiúva (*Acrocomia aculeata*) e *Lactobacillus acidophilus*, incorporadas ao extrato hidrossolúvel de soja**. 2009. 79f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2009.

KOMATSU, T. R et al. Nutrition claims for functional guava mousses produced with Milk fat substitution by inulin and/or whey protein concentrate based on heterogeneous food legislations. **LWT – Food Science and Technology**, v. 50, n. 2, p. 755 – 765, 2013.

LEAL, Ketolly Natanne da Silva et al. Análise de imagens digitais para acompanhamento da deterioração de iogurtes cremosos comercializados no sul de Minas. **58º Congresso Brasileiro de Química**, São Luís-MA, 2018.

LEI, Yu et al. Analysis of crystallized lactose in milk powder by Fourier-transform infrared spectroscopy combined with two-dimensional correlation infrared spectroscopy. **Journal of Molecular Structure**, n° 974. p. 88–93. 2010.

LEMES, Gislaine Franco. **Estabilidade da cor e teor de vitamina c do iogurte elaborado com corantes de betalaína microencapsulados em spray dryer**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia de Alimentos), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão-PR, 2013.

LEONHARDT, Maisson. **Estudo de agentes inibidores da reação de Maillard em leite condensado**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Química Industrial), do Centro Universitário UNIVATES, Lajeado-RS, 2015.

LIU, L et al. Extraction of pectins with different degrees of esterification from mulberry branch bark. **Bioresource Technology**, v. 101, p.3268–3273. 2010.

LODHA, Anand et al. A smart and rapid colorimetric method for the detection of codeine sulfate, using unmodified gold nanoprobe. **Royal Society of Chemistry Advances**. v. 4. p. 50443-50448, 2014.

LUPETTI, K. O et al. Análise de imagem em Química Analítica: empregando metodologias simples e didáticas para entender e prevenir o escurecimento de tecidos vegetais. **Revista Química Nova**. v. 28. n. 3, p.548-554, 2005.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa N° 46, adota o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Leites Fermentados. **Diário Oficial da União**. 24 outubro de 2007, Seção 1, Página 5.

MAGALHÃES, Alex Uzêda de. TORRE, Ana Clara Gonçalves Della. Chemical composition and sensory analysis of Greek yogurt traded in the South of the state of Minas Gerais.

Instituto de Laticínios Cândido Tostes, Juiz de Fora, v. 73, n. 1, p. 10-18, jan/mar, 2018.

MARUYAMA., L. Y; CARDARELLI, H. R; BURITI, F. C. A.; SAAD, S. M. I. Textura instrumental de queijo petit suisse potencialmente probiótico de diferentes combinações de gomas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, p.386- 393, 2006.

MATHIAS, T. R. S. et al. Rheological evaluation of different commercial yoghurts. **Brazilian Journal of Food Technology**. Campinas, v. 16, n. 1, p. 12-20, 2013.

MARTIN, A. F. **Armazenamento de iogurte comercial e o efeito na proporção das bactérias lácticas**. 2002. 015f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Escola Superior de Agricultura“Luiz de Queiroz” – USP, Piracicaba, 2002.

MAMEDE, Maria Eugenia de Oliveira et al. Avaliação sensorial e química de café solúvel descafeinado. **Revista Alimentos e Nutrição.**, v. 21, n. 2, p. 311-324, 2010.

MELO, Evelyn Karine Góes de et al. Temperature control and physicochemical parameters of processed yoghurt. **J Health Sci Inst.** v. 36, p. 265-26, 2018.

MILANEZ, Karla Danielle Tavares Melo; PONTES, Marcio Jose Coelho. Classification of edible vegetable oil using digital image and pattern recognition techniques. **Microchemical Journal**, p.1 – 27, 2013.

MILAGRES, Maria Patrícia et al. Análise físico-química e sensorial de doce de leite produzido sem adição de sacarose. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n.4, p. 439-445, 2010.

MIGUEL, Ana Carolina Almeida; ALBERTINI, Silvana; SPOTO, Marta Helena Fillet. Cinética da degradação de geleias de morango. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 29. p. 142-147, jan./mar, 2009.

MORAES, P. C. B. T. **Avaliação de iogurtes líquidos comerciais sabor morango: estudo de consumidor e perfil sensorial**. 2004. 121f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 2004.

MOURA, Sílvia Cristina Sobottka Rolim et al. Determinação da vida-de-prateleira de maçã-passa por testes acelerados. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 27. p. 141-148, jan./mar, 2007.

MOTTA, Jedman Dantas et al. Índice de cor e sua correlação com parâmetros físicos e físico-químicos de goiaba, manga e mamão. **Comunicata Scientiae horticulture journal**. v. 6. p. 74-82, 2015.

MONDARDO, Andrei Antônio. **Estudo dos efeitos da luz ultravioleta para redução microbiológica em amido de mandioca**. 2015. 83f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura.), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel-PR, 2015.

MORAIS, Elisa Carvalho de. **Desenvolvimento de sobremesa láctea cremosa prebiótica sabor chocolate com substituição da sacarose por edulcorantes**. 2014. 233f. Tese (Doutorado em Alimentos e Nutrição), Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2014.

MORAIS, E. C et al. Development of chocolate dairy dessert with addition of prebiotics and replacement of sucrose with different high-intensity sweeteners. **Journal of Dairy Science**, v. 97, n. 5, p. 2600 – 2609, 2014.

NETO, Gerson F. Silva et al. Classificação de águas minerais baseada em imagens digitais obtidas por smartphones. **Revista Química Nova**, São Paulo, v. 39, nº 7, 2016.

NIKAEDO, Patrícia Hideko Lemos et al. Caracterização tecnológica de sobremesas lácteas achocolatadas cremosas elaboradas com concentrado protéico de soro e misturas de gomas carragena e guar. **Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences**. v. 40, n. 3, jul./set., 2004.

NUTRI. Iogurte Saúde e Qualidade de Vida - **Saúde e Nutrição**, (2010). Disponível em: <<http://www.rgnutri.com.br/>>. Acesso em: 23. set. 2018.

NEWTON, A. E. et al. The role of the Maillard reaction in the formation of flavour compounds in dairy products – not only a deleterious reaction but also a rich source of flavour compounds. **Food Funct**, v.3, p.231-1241, 2012.

OBA, Myrna Solís et al. Application of Infrared Spectroscopy to the Monitoring of Lactose and Protein From Whey After Ultra and Nano Filtration Process. **Journal of the Mexican Chemical Society**, v. 55. n. 3, p. 190-193, 2011.

OLIVEIRA, Luciana Fontes de. **Uso de imagens digitais e ferramentas quimiométricas para identificação e determinação de Cr (VI) em solos contaminados**. 2012. 72f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP, 2012.

OLIVEIRA, Jéssica Fernandes et al. Qualidade de iogurtes de coco e morango. **Revista Brasileira de Higiene e Sanidade Animal**, v.11, n.4, p. 416 – 425, 2017.

OLIVEIRA, Fernando Marciano de et al. Avaliação microbiológica e físico-química de iogurtes de morango industrializados e comercializados no município de Linhares – ES. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.15, n.2, p.147-155, 2013.

OLIVEIRA, Luisa Costa de. SOUZA, Sara Oliveira de. MAMEDE, Maria Eugênia de Oliveira. Avaliação das características físico-químicas e colorimétricas de vinhos finos de duas principais regiões vinícolas do Brasil. **Revista Instituto Adolfo Lutz**. v. 70, n. 2, p. 157-166, 2011.

OLIVEIRA, Maria Isabel Sousa et al. Estabilidade da polpa de morango atomizada utilizando diferentes agentes carreadores. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 16, n. 4, p. 310-318, 2013.

OLIVEIRA, Daiana Cardoso de. **Caracterização e potencial tecnológico de amidos de diferentes cultivares de mandioca (*Manihot esculenta Crantz*)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de alimentos), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis- SC, 2011.

PAVIA, Donald L et al. **Introdução à espectroscopia**. 4. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

PASSARETTI FILHO, Juliano. 2015.161f. **Análise de imagens digitais para fins analíticos: Aplicações ambientais e tecnológicas**. Tese (Doutorado em Química) Universidade Estadual Paulista, Araraquara-SP, 2015.

PEIXOTO, Aline Leite et al. Influência do tempo de estocagem do leite nas características físico-químicas do iogurte natural. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.18, n.4, p.395-403, 2016.

PEREIRA, Luiz Fernando Santos et al. Predicting the ripening of papaya fruit with digital imaging and random forests. **An International Journal Computers and Electronics in Agriculture** v. 145. p. 76–82, 2018.

PHILIPS. **Ultraviolet purification application information**. P. 1-30, 2006. Disponível em: <http://www.lighting.philips.com/b-dam/b2b-li/en_AA/products/special-lighting/uvpurification/downloads/Philips%20UV%20Technology%20brochure.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2019.

RAMOS, T. M et al. Perfil de textura de Labneh (iogurte grego). **Revista Instituto de Laticínios Cândido Tostes**. n. 369, p. 64, 2009.

REGAZZI, A.J. **Análise multivariada**, notas de aula INF 766, Departamento de Informática da Universidade Federal de Viçosa, v.2, 2000.

REVISTA, FI. Shelf life: uma pequena introdução. **Food ingredients Brazil**. Nº 18, 2011.

REVISTA, FI. Dossiê Estabilizantes. **Food ingredients Brazil**. Nº 38, 2016.

REVISTA, FI. Pectinas Propriedades e Aplicações, **Food Ingredients Brasil** Nº 29, 2014

RODAS, M. A. de B. Caracterização físico-química, histológica e viabilidade de bactérias lácticas em iogurtes com frutas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 3, p.304-309, 2001.

ROBERT, Noely Forlin. **Fabricação de Iogurtes: Dossiê Técnico**. Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro (REDETEC), 2008.

RODRIGUES, M. I; IEMMA, A. F. **Planejamento de Experimentos e Otimização de Processos**. Campinas: Casa do Espírito Amigo Fraternidade Fé e amor, 2009.

RUSS, John C. Image Analysis of Foods. **Journal of Food Science**. v. 80, n. 9, 2015.

SABNIS, R. W. **Handbook of biological dyes and stains**. John Wiley & Sons, Inc.: New Jersey, 2010; p 544.

SAUNDERS, A.B. Dairy Desserts. In FUQUAY, J.W. **Encyclopedia of Dairy Sciences**. 2nd Ed. Academic Press, 2011. p.905-912.

SAADE, Jamil et al. **Análise de gorduras e proteínas em leite bovino pela espectroscopia Raman no infravermelho próximo**. XI Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação, Universidade do Vale do Paraíba, 2007.

SALGADO, S. M.; GUERRA, N. B.; MELO FILHO, A. B. Polpa de fruta congelada: efeito do processamento sobre o conteúdo de fibra alimentar. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 12, n.3, p. 303-308, 1999.

SANTOS, Geânderson et al. Avaliação das características físico-químicas do iogurte liofilizado e reidratado. **Proceeding of ISTI/SIMTEC**. Aracaju. v. 3. n.1. p.723-728, 2016

SANTOS, P. M.; WENTZELL, P. D.; PEREIRA-FILHO, E. R. “Scanner digital images combined with color parameters: a case study to detect adulterations in liquid cow’s milk”. **Food Anal. Methods**, v.5. p.89, 2012.

SCHLABITZ, Cláudia. **Aplicação de soro de ricota na elaboração de bebida láctea fermentada funcional**. 2014. 145f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia), Centro Universitário UNIVATES, Lajeado-RS, 2014.

SCHUMACHER, A. B. **Desenvolvimento de um chocolate meio amargo com maior percentual de proteína**. 2009. 91f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de alimentos). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS, 2009.

SENAI, Faculdade de Tecnologia SENAI Roberto Mange. Aproveitamento de Resíduos Industriais de Alimentos com Potencial Aplicação em Cosméticos Naturais. **Revista Processos Químicos**. Goiânia, v.10, n.20, ano10, jul/dez 2016.

SHIBAO, Julianna; BASTOS, Deborah Helena Markowicz. Produtos da reação de Maillard em alimentos: implicações para a saúde. **Revista de Nutrição**, Campinas, n.6. 2011.

SILVA, Álvaro Gustavo Ferreira da. BESSA, Marcelino Maia. SILVA, Josefa Rosiane da. Elaboração e caracterização físico-química e sensorial de iogurte light prebiótico adoçado com mel. **Revista Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 72, n. 2, p. 74-84, 2017.

SILVA, Álvaro Gustavo Ferreira da; BESSA, Marcelino Maia; SILVA, Josefa Rosiane da. Elaboração e caracterização físico-química e sensorial de iogurte light prebiótico adoçado com mel. **Revista Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 72, n. 2, p. 74-84, 2017.

SIVIERI, K.; OLIVEIRA, M. N. Avaliação da vida de prateleira de bebidas lácteas preparadas com fat replacers. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 22, n. 1, p.24-31, 2002.

SILVA, Paulo Henrique de Lima. Introdução aos conceitos de mecânica dos fluidos e de reologia em produtos do cotidiano. **Cadernos UniFOA**, n. 37, p. 33-44, 2018.

SILVA, Ariane Bonani Nogarotto da. UENO, Mariko. Evaluation of lactic acid bacteria viability and titratable acidity variation in fruit flavor yogurt. **Revista Instituto de Laticínios Cândido Tostes**. v. 68, n. 390, p. 20-25, 2013.

SILVA, A. I. D et al. **Produção de Iogurte**. Projeto FEUP. p.29, 2010. Disponível: http://paginas.fe.up.pt/~projfeup/cd_2010_11/files/QUI608_relatorio.pdf. Acesso em: 21. set. 2018.

SILVA, D. F. P et al. Caracterização de frutos de 15 cultivares de mangueira na zona da mata mineira. **Revista Ceres**, Viçosa, v.56, n.6, p. 783-789, 2009.

SILVA, A et al. Viability of *Lactobacillus casei* in chocolate flan and its survival to simulated gastrointestinal conditions. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 33, suppl. 2, p. 3163 – 3170, 2012.

SOUTO, Urijatan Teixeira de Carvalho Polari et al. Screening for coffee adulteration using digital images and SPA–LDA. **Food Analytical Methods**, v. 8, p. 1515–1521, 2015.

SOUZA, Thaiza Serrano Pinheiro. **Caracterização físico-química de iogurte e bebida láctea fermentada**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciência e tecnologia de alimentos). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, 2015.

SOUZA, Janaína de et al. SOUZA, Juliana de. SOUZA, Claucia Fernanda Volken de Development, physicochemical parameters and sensory evaluation of dairy dessert prepared with whey cheese and gums. **Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 68, n. 393, p. 16-25, jul/ago., 2013.

SOUZA, Julianna Freire de. **Utilização de luz ultravioleta contínua (UV-C) e luz pulsada para conservação de mangas cv. Tommy Atkins minimamente processadas**. 2014. 116f. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2014.

SPAGNOL, Wigberto Antonio et al. Monitoring the cold chain: new technologies and recent advances. **Brazilian Journal of Food Technology**. Campinas, v. 21, e. 201069, 2018.

STEFFE, J. F. **Rheological Methods in Food Process Engineering**. Freeman Press. 1996. p. 255-291. 2ª Ed.

TAMIME, A.Y.; ROBINSON, R.K. **Tamime and Robinson's yoghurt: science and technology**. New York: Cambridge CRC, 2007. p. 79. v.3.

TORRES, Adamastor Rodrigues et al. A digital image-based method for determining of total acidity in red wines using acid - base titration without indicator. **Talanta**, v. 84. n.3. p.601 – 606, 2011.

TOSCAN, Angelisa. **Espectroscopia no infravermelho e método quimiométrico para a pesquisa de antimicrobianos em leite da microrregião de Pato Branco – PR**. 2016. 106f. Dissertação (Mestrado em Processos Químicos e Bioquímicos), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2016.

VALENCIA, Marcela Sarmiento. **Desenvolvimento de sobremesa láctea cremosa de chocolate adicionada de fruto-oligossacarídeo e *Lactobacillus paracasei* subsp. *paracasei* LBC 81**. 2015. 69f. Dissertação (Mestrado em Nutrição), Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2015.

VIEIRA, Talita Antonucci. **Desenvolvimento de sobremesa láctea simbiótica**. 2011. 90f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, SP, 2011.

VIDIGAL, M. C. T. R et al. Concentrado proteico do soro melhora a qualidade sensorial de sobremesa láctea diet. **Ciência Rural**, v. 42, n. 12, p. 2272-2279, 2012.

VIANA, Arianne Dantas. **Propriedades Termofísicas e Comportamento Reológico da polpa de cupuaçu (*theobroma grandiflorum*) em diferentes concentrações e temperaturas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de alimentos). Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Itapetinga-BA, 2010.

ZICKER, M. C. **Obtenção e utilização do extrato aquoso de jabuticaba (*Myrciaria jabuticaba* (Vell) Berg) em leite fermentado: caracterização físico-química e sensorial**. 2011. 130f. (Dissertação de Mestrado em Ciência de alimentos). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

WALSTRA, P.; WOUTERS, J.T.M.; GEURTS, T.J. **Dairy science and technology**. 2.ed. Boca Raton, London: CRC Taylor & Francis, 2006, p.279-296.

WALSTRA, P et al. Milk for liquid consumption. In: _____. **Dairy Technology: principles of milk properties and processes**. New York: Marcel Dekker Inc., 2005. cap. 14, p. 383-404.

WAITZBERG DI; GALIZIA Ms. Carboidratos. In: Waitzberg DL. **Nutrição Oral, Enteral e Parenteral na Prática Clínica**. 5 ed. São Paulo: Atheneu, 2017.

XU, Z.M.; EMMANOUELIDOU, D.G.; RAPHAELIDES, S.N.; ANTONIOU, K.D. Effects of heating temperature and fat content on the structure development of set yogurt. **Journal of Food Engineering**, v.85, p.590-597, 2008.

APÊNDICE

APÊNDICE A – RESULTADOS FÍSICO-QUÍMICOS DOS PRODUTOS LÁCTEOS

Tabela 15 - Resultados Físico-químicos das amostras de sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco

	Dias	pH	Acidez (Ác. Láctico g/100)	Sólidos solúveis (°Brix)	Umidade %
Lote 1	0	6,6±0,1	0,30±0,0	24,4±0,2	70,9±0,3
	15	6,7±0,0	0,20±0,0	24,4±0,2	70,3±0,1
	30	6,6±0,0	0,20±0,0	23,3±0,3	70,1±0,4
	45	6,7±0,1	0,20±0,0	26,7±0,4	71,5±0,0
Lote 2	0	6,8±0,0	0,30±0,0	25,8±0,4	70,5±0,2
	15	6,8±0,0	0,20±0,0	25,8±0,4	71,7±0,1
	30	6,6±0,0	0,20±0,0	23,5±0,3	69,4±0,0
	45	6,7±0,0	0,20±0,0	26,6±0,9	71,0±0,5
Lote 3	0	6,7±0,0	0,30±0,0	27,4±0,2	70,2±0,2
	15	6,8±0,0	0,20±0,0	26,9±0,2	71,0±0,1
	30	6,7±0,0	0,20±0,0	24,5±0,2	70,0±0,0
	45	6,8±0,0	0,20±0,0	25,1±0,1	71,3±0,5
Lote 4	0	6,7±0,0	0,17±0,0	24,0±0,2	70,2±0,2
	15	6,7±0,0	0,16±0,0	23,5±0,2	71,6±0,1
	30	6,4±0,0	0,16±0,0	24,2±0,2	70,0±0,0
	45	6,5±0,0	0,16±0,0	25,3±0,1	71,4±0,5
Literatura		5,8 a 7,2	2,0	23,3 a 34,0	65,2 a 88,9

± = Desvio padrão de cada parâmetro analisado

Fonte: Da autora.

Tabela 16 - Resultados Físico-químicos das amostras de Iogurte sabor morango

	Dias	pH	Acidez (Ác. Lático g/100)	Sólidos solúveis (°Brix)	Umidade %
Lote 1	0	4,4±0,1	1,00±0,0	13,1±0,2	70,9±0,3
	15	4,2±0,0	1,10±0,0	13,7±0,2	70,3±0,1
	30	4,1±0,0	0,90±0,0	13,0±0,3	70,1±0,4
	45	3,9±0,0	1,20±0,0	14,0±0,4	71,5±0,0
Lote 2	0	4,5±0,0	0,80±0,0	13,2±0,4	70,5±0,2
	15	4,4±0,0	1,2±0,0	13,5±0,4	71,7±0,1
	30	4,2±0,0	0,78±0,0	12,8±0,3	69,4±0,0
	45	4,1±0,0	1,20±0,0	13,6±0,9	71,0±0,5
Lote 3	0	4,5±0,0	1,00±0,0	13,5±0,2	70,2±0,2
	15	4,4±0,0	1,10±0,0	13,7±0,2	71,0±0,1
	30	4,3±0,0	0,90±0,0	13,1±0,2	70,0±0,0
	45	4,2±0,0	1,10±0,0	13,6±0,1	71,3±0,5
Lote 4	0	4,6±0,0	0,74±0,0	13,2±0,2	70,2±0,2
	15	4,4±0,0	0,81±0,0	13,5±0,2	71,6±0,1
	30	4,4±0,0	0,81±0,0	12,9±0,2	70,0±0,0
	45	4,3±0,0	0,84±0,0	13,8±0,1	71,4±0,5
Literatura		3,8 a 4,3	0,6 a 1,5	10,7 a 13,0	78,0 a 91,2

± = Desvio padrão de cada parâmetro analisado

Fonte: Da autora.

Tabela 17 - Dados de Viscosidade da sobremesa láctea cremosa sabor chocolate branco

Tempo (s)	Dia 0				Dia 15				Dia 30				Dia 45			
	Lote1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Lote1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Lote1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Lote1	Lote 2	Lote 3	Lote 4
1	18877	21388	18908	23460	25993	23621	22561	21532	20765	27057	28385	20325	22461	22769	21047	22905
2	18561	20288	18896	22457	24318	23173	21342	21329	20168	26557	27053	19654	21182	22521	20014	22008
3	18235	19789	18807	22114	23336	22779	20181	21096	19956	26421	26032	18935	20049	22270	19941	21329
4	18110	19145	18766	21766	23324	22414	19562	20860	19668	26178	25523	18129	19869	22084	19883	19516
5	18100	19175	18691	21380	23270	22013	18774	20645	19465	25981	24452	17489	19945	21858	19632	19142
6	18083	18840	18615	21022	23209	21532	18166	20499	19302	25574	23809	17006	19902	21461	18947	18690
7	18050	18636	18570	20782	23125	21329	17561	20308	18828	25435	23297	16946	19824	21201	18029	18240
8	18034	18760	18496	20644	23087	21096	17185	20153	18165	25317	22675	16897	19155	20851	17975	17819
9	17858	18538	18362	20472	22769	20860	16666	19926	18107	25220	22423	16774	19107	20460	17801	17407
10	17761	18047	18149	19980	22521	20645	16243	19769	18035	25015	21974	16591	19035	20328	17773	16977
11	17628	17928	18016	19780	22270	20499	15931	19584	18022	24945	21467	16449	19021	20082	17371	16645
12	17511	17919	17865	19567	22084	20308	15671	19584	17601	24725	20928	16214	18909	19870	16789	16318
13	17351	17340	17719	19323	21858	20153	15454	19363	17191	24043	20493	16085	18892	19789	16429	16007
14	17117	17708	17443	19112	21461	19926	15141	19179	17302	23595	20261	15627	17673	19145	16149	15748
15	16902	17592	17388	18908	21201	19769	15364	19034	17086	23395	19837	15214	17346	19175	15639	15457
16	16829	17558	17257	18652	20851	19584	14993	18745	17014	22954	19613	14891	17213	18840	15269	15223
17	16783	17530	17113	18375	20460	19584	14628	18373	16793	21809	18891	14649	17193	18636	14986	14959
18	16487	17503	16979	18113	20328	19363	14417	17991	16612	21401	18545	14423	16942	18760	14542	14715
19	16366	16939	16760	17920	20082	19179	14157	17553	16459	20957	18064	14255	16796	18538	14243	14458
20	16076	16548	16577	17649	19870	19034	13959	17197	16192	19830	17809	14120	16742	18047	14102	14219
21	16030	16457	15273	17389	19142	18373	13437	16859	15679	19403	17086	14049	16579	17843	14049	14012
22	15732	16395	14948	17068	18690	17991	13239	16496	15351	19091	16774	14010	16291	17395	13824	13809
23	15658	16304	14613	16649	18240	17553	12856	16186	15070	18767	16326	13816	16021	17199	13777	13632
24	15450	16176	14271	16289	17819	17197	12568	15866	14819	18471	16032	13543	16004	16976	13679	13402
25	15436	15889	14029	15920	17407	16859	12357	15571	14569	18167	15933	13093	15569	16761	13554	13390
26	15137	15817	13781	15621	16977	16496	12081	15254	14359	17941	15163	12543	15359	16497	13470	13376
27	14933	15742	13579	15309	16645	16186	12014	14933	14243	17692	15237	12535	15243	16098	13290	13236
28	14878	15603	13361	14977	16318	15866	11707	14712	14000	17427	14714	12225	15000	15729	13005	13215
29	14738	15361	13185	14656	16007	15571	11958	14440	13778	17185	14534	12201	14978	15192	12975	13197
30	14670	15301	13021	14357	15748	15254	11853	14171	13511	16815	14669	11907	14681	15097	12651	13105

Fonte: Da autora.

Tabela 18 - Dados de Viscosidade do iogurte sabor morango

Tempo (s)	Dia 0				Dia 15				Dia 30				Dia 45			
	Lote1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Lote1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Lote1	Lote 2	Lote 3	Lote 4	Lote1	Lote 2	Lote 3	Lote 4
1	2734,9	2651,2	2743,1	2780,1	3236,8	3199,6	3290,2	3195,5	2288,0	2294,0	2290,1	2300,0	2190,9	2200,0	2222,2	2199,5
2	2493,7	2650,4	2500,0	2503,2	2931,2	2900,2	3123,1	2900,1	2077,3	2150,0	2080,3	2201,3	1955,9	2140,3	1999,8	2041,2
3	2493,7	2590,7	2493,7	2499,9	2701,8	2778,3	2864,1	2700,5	1967,9	2015,3	1683,3	2010,7	1839,9	1902,5	1892,2	1902,4
4	2345,0	2463,2	2366,2	2405,6	2535,7	2603,2	2751,1	2540,3	1961,3	1956,3	1966,4	1980,5	1767,2	1803,2	1789,9	1842,5
5	2244,7	2401,9	2300,1	2312,3	2400,5	2502,4	2633,6	2398,5	1835,8	1915,3	1837,2	1900,3	1693,7	1760,4	1763,3	1741,3
6	2151,7	2351,3	2231,2	2256,2	2299,3	2400,6	2340,1	2286,3	1774,6	1852,6	1791,2	1802,3	1636,8	1699,1	1700,2	1708,4
7	2105,9	2209,1	2156,2	2198,6	2199,0	2284,3	2260,3	2175,3	1721,5	1754,8	1735,1	1780,1	1589,8	1620,3	1630,2	1648,3
8	2032,5	2170,5	2101,1	2105,6	2116,2	2195,6	2201,1	2105,6	1664,7	1685,7	1682,5	1700,6	1547,7	1574,1	1601,1	1614,3
9	1966,0	2043,8	1970,3	2084,6	1954,0	2040,3	1984,1	1954,0	1625,2	1653,1	1625,2	1690,2	1519,6	1546,2	1574,4	1583,2
10	1934,0	2000,6	1942,8	2012,3	1933,3	1998,6	1953,2	1930,0	1589,8	1599,1	1590,3	1604,5	1491,5	1520,1	1550,2	1496,8
11	1879,6	1960,4	1899,3	1942,4	1879,9	1926,5	1899,6	1877,5	1560,6	1582,4	1564,3	1580,3	1459,5	1485,3	1500,2	1458,6
12	1834,5	1898,6	1840,3	1856,9	1909,9	1980,3	1902,4	1876,9	1531,4	1562,1	1540,6	1532,6	1434,8	1467,5	1486,6	1430,5
13	1793,7	1860,1	1799,3	1800,2	1826,7	1896,4	1865,2	1812,7	1502,7	1522,2	1512,2	1502,6	1411,5	1430,0	1430,2	1401,5
14	1756,2	1805,7	1762,3	1765,0	1781,8	1804,3	1802,5	1783,6	1477,8	1497,3	1488,2	1481,3	1390,4	1402,1	1399,9	1387,6
15	1720,6	1771,5	1753,1	1721,1	1736,4	1790,0	1795,2	1725,8	1452,3	1468,2	1452,3	1463,3	1377,4	1395,1	1380,1	1376,8
16	1689,5	1720,4	1701,1	1706,3	1648,3	1711,5	1705,6	1649,3	1435,7	1445,7	1440,3	1450,2	1369,0	1380,2	1370,3	1366,5
17	1664,4	1700,3	1682,1	1684,5	1600,4	1648,9	1680,1	1615,2	1416,1	1432,1	1422,2	1428,9	1341,1	1370,1	1345,0	1338,9
18	1637,5	1690,5	1642,3	1637,2	1542,4	1608,9	1604,1	1529,9	1408,1	1410,2	1410,1	1407,8	1333,8	1350,2	1338,0	1320,5
19	1617,3	1599,6	1620,0	1620,1	1505,9	1576,5	1568,9	1500,2	1395,2	1399,2	1396,5	1390,2	1312,5	1320,1	1320,5	1310,5
20	1592,7	1561,3	1603,2	1590,3	1471,2	1512,3	1520,1	1465,2	1380,8	1384,6	1381,2	1382,6	1295,7	1302,6	1300,1	1290,7
21	1572,9	1520,3	1580,2	1570,6	1437,6	1460,3	1500,7	1402,2	1364,6	1372,3	1370,5	1371,1	1270,6	1290,2	1290,4	1280,6
22	1535,5	1499,7	1546,2	1534,9	1409,4	1442,3	1480,6	1400,3	1337,8	1352,2	1340,3	1335,6	1236,7	1250,3	1243,2	1235,9
23	1497,4	1457,8	1500,3	1499,6	1379,7	1402,3	1408,9	1370,0	1320,1	1320,0	1330,2	1325,6	1217,8	1220,3	1225,6	1218,4
24	1467,4	1432,6	1485,6	1463,2	1357,2	1376,4	1383,3	1340,2	1296,1	1299,3	1300,2	1295,8	1206,6	1204,6	1210,0	1200,4
25	1443,7	1404,4	1470,3	1450,3	1314,7	1362,8	1320,6	1300,2	1305,9	1284,6	1301,2	1298,6	1190,6	1180,6	1201,3	1196,5
26	1421,0	1385,6	1450,9	1420,0	1308,7	1322,6	1305,9	1298,6	1284,8	1275,6	1296,4	1290,6	1182,0	1170,0	1195,6	1183,5
27	1402,5	1356,4	1450,9	1409,2	1277,1	1294,6	1277,1	1270,1	1280,2	1270,2	1281,3	1284,7	1172,1	1160,3	1180,5	1170,4
28	1386,3	1330,0	1425,6	1402,0	1257,9	1280,3	1260,5	1250,3	1262,8	1260,5	1261,0	1266,3	1149,8	1149,8	1163,2	1140,9
29	1368,2	1301,6	1405,8	1389,9	1226,2	1252,4	1240,1	1200,8	1243,0	1250,9	1241,0	1240,2	1132,0	1130,5	1150,4	1126,4
30	1349,4	1298,5	1390,5	1380,2	1222,3	1239,9	1235,9	1196,3	1230,9	1242,3	1225,9	1225,8	1128,2	1129,9	1137,7	1120,8

Fonte: Da autora, 2019.

APÊNDICE B – RESULTADOS DOS TESTES DE ESTABILIDADE

Tabela 19 - Efeitos estimados, erro padrão e p-valor para avaliação dos efeitos da temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição UV no pH da sobremesa láctea cremosa chocolate branco

Variáveis	Efeitos estimados	Erro padrão	p-valor
Média	6,711478	0,074058	0,000000
Temperatura (L)*	0,032252	0,070312	0,660354
Temperatura (Q)**	-0,165665	0,079055	0,074357
Tempo de armazenamento (L)*	0,068360	0,069824	0,360180
Tempo de estoque (Q)**	0,084184	0,077019	0,310563
Tempo de Exposição UV (L)*	0,194205	0,069826	0,027249
Tempo de Exposição UV (Q)*	-0,005083	0,077030	0,949235
Temperatura x Tempo de armazenamento	-0,087500	0,091043	0,368522
Temperatura x Tempo de Exposição UV	0,002500	0,091043	0,978860
Tempo armazenamento x Tempo de Exposição UV	0,117500	0,091043	0,237831

* L refere-se ao termo linear do modelo estatístico

**Q refere-se ao termo quadrático do modelo estatístico

Fonte: Da autora.

Tabela 20 - Análise de variância para a avaliação dos efeitos da temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição UV no pH da sobremesa láctea cremosa chocolate branco

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado	p-valor
Regressão	0,4157285	1	0,4157285	376,19	4,91943E ⁻¹²
Resíduos	0,0165775	15	0,0011051		
-Falta de ajuste	0,0165775				
-Erro puro	0,0000				
Total	0,432306	16			

R²=0,731 **F_{5%} = 245,90**

Fonte: Da autora.

Tabela 21 - Efeitos estimados, erro padrão e p-valor para avaliação dos efeitos da temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição UV no teor de sólidos solúveis da sobremesa láctea cremosa chocolate branco

Variáveis	Efeitos estimados	Erro padrão	p-valor
Média	25,31007	0,499465	0,000000
Temperatura (L)*	0,88167	0,474199	0,105322
Temperatura (Q)**	-0,23020	0,533170	0,678905
Tempo de Armazenamento (L)*	1,93523	0,470910	0,004518
Tempo de armazenamento (Q)**	0,56506	0,519436	0,312699
Tempo de Exposição UV (L)*	1,76048	0,470926	0,007279
Tempo de Exposição UV (Q)*	-0,75645	0,519512	0,188712
Temperatura x Tempo de armazenamento	-0,10000	0,614015	0,875229
Temperatura x Tempo de Exposição UV	-0,10000	0,614015	0,875229
Tempo Armazenamento x Tempo de Exposição UV	-0,30000	0,614015	0,640068

* L refere-se ao termo linear do modelo estatístico

**Q refere-se ao termo quadrático do modelo estatístico

Fonte: Da autora.

Tabela 22 - Análise de variância para a avaliação dos efeitos da temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição UV no teor de sólidos solúveis da sobremesa láctea cremosa chocolate branco

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado	p-valor
Regressão	0,3422709	2	17,113547	317,74	2,1624E ⁻¹²
Resíduos	0,7540286	14	0,0538591		
-Falta de ajuste	0,7540286				
-Erro puro	0,0000				
Total	34,98118	16			

R² = 0,849 **F_{5%} = 19,43**

Fonte: Da autora.

Tabela 23 - Efeitos estimados, erro padrão e p-valor para avaliação dos efeitos da temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição UV na acidez do iogurte sabor morango

Variáveis	Efeitos estimados	Erro padrão	p-valor
Média	0,766172	0,014798	0,000000
Temperatura (L)*	0,018510	0,014049	0,229142
Temperatura (Q)**	0,068470	0,015796	0,003418
Tempo de Armazenamento (L)*	0,049589	0,013952	0,009289
Tempo de armazenamento (Q)**	0,007305	0,015389	0,649468
Tempo de Exposição UV (L)*	-0,021210	0,013952	0,172255
Tempo de Exposição UV (Q)*	0,033199	0,015391	0,067912
Temperatura x Tempo de armazenamento	0,011250	0,018191	0,555874
Temperatura x Tempo de Exposição UV	0,010750	0,018191	0,573138
Tempo Armazenamento x Tempo de Exposição UV	0,030250	0,018191	0,140287

* L refere-se ao termo linear do modelo estatístico

**Q refere-se ao termo quadrático do modelo estatístico

Fonte: Da autora.

Tabela 24 - Análise de variância para a avaliação dos efeitos da temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição UV na acidez do iogurte sabor morango

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado	p-valor
Regressão	0,0308622	2	0,0154311	326	1,81375E ⁻¹²
Resíduos	0,0006618	14	0,0000472		
-Falta de ajuste	0,0006618				
-Erro puro	0,0000				
Total	0,031524	16			
R² = 0,853		F_{5%} = 19,43			

Fonte: Da autora.

Tabela 25 - Efeitos estimados, erro padrão e p-valor para avaliação dos efeitos da temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição UV no pH do iogurte sabor morango

Variáveis	Efeitos estimados	Erro padrão	p-valor
Média	4,456628	0,050932	0,000000
Temperatura (L)*	0,001951	0,048356	0,968942
Temperatura (Q)**	-0,034221	0,054369	0,549054
Tempo de Armazenamento (L)*	-0,129483	0,048020	0,030798
Tempo de armazenamento (Q)**	-0,048447	0,052969	0,390805
Tempo de Exposição UV (L)*	0,121303	0,048022	0,039463
Tempo de Exposição UV (Q)*	0,048017	0,052976	0,394856
Temperatura x Tempo de armazenamento	0,165000	0,062613	0,033656
Temperatura x Tempo de Exposição UV	0,020000	0,062613	0,758728
Tempo Armazenamento x Tempo de Exposição UV	0,050000	0,062613	0,450788

* L refere-se ao termo linear do modelo estatístico

**Q refere-se ao termo quadrático do modelo estatístico

Fonte: Da autora.

Tabela 26 - Análise de variância para a avaliação dos efeitos da temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição UV no pH do iogurte sabor morango

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado	p-valor
Regressão	0,2361122	3	0,0154311	25,58	1,13364E ⁻⁰⁵
Resíduos	0,0078408	13	0,0006031		
-Falta de ajuste	0,0078408				
-Erro puro	0,0000				
Total	0,243953	16			

R² = 0,775 **F_{5%} = 8,74**

Fonte: Da autora.

Tabela 27 - Efeitos estimados, erro padrão e p-valor para avaliação dos efeitos da temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição UV no teor de sólidos solúveis do iogurte sabor morango

Variáveis	Efeitos estimados	Erro padrão	p-valor
Média	13,93092	0,274301	0,000000
Temperatura (L)*	0,10040	0,260425	0,711293
Temperatura (Q)**	-0,60908	0,292811	0,076074
Tempo de Armazenamento (L)*	1,23289	0,258619	0,002042
Tempo de armazenamento (Q)**	0,33475	0,285269	0,278988
Tempo de Exposição UV (L)*	0,68186	0,258628	0,033596
Tempo de Exposição UV (Q)*	0,26324	0,285310	0,386887
Temperatura x Tempo de armazenamento	-0,05000	0,337210	0,886306
Temperatura x Tempo de Exposição UV	-0,05000	0,337210	0,886306
Tempo Armazenamento x Tempo de Exposição UV	0,30000	0,337210	0,403190

* L refere-se ao termo linear do modelo estatístico

**Q refere-se ao termo quadrático do modelo estatístico

Fonte: Da autora.

Tabela 28 - Análise de variância para a avaliação dos efeitos da temperatura, tempo de armazenamento e tempo de exposição UV no teor de sólidos solúveis do iogurte sabor morango

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F calculado	p-valor
Regressão	10,42786	2	5,213934	320,97	2,05993E ⁻¹²
Resíduos	0,2274218	14	0,016244		
-Falta de ajuste	0,2274218				
-Erro puro	0,0000				
Total	10,65529	16			

R²=0,850 **F_{5%}= 19,43**

Fonte: Da autora.