

Shigeno de Paiva Kuriya

**APLICAÇÃO DO AQUECIMENTO ÔHMICO NO
PROCESSAMENTO DE SOBREMESA LÁCTEA
FUNCIONAL ADICIONADA DE MIRTILO (*VACCINIUM
MYRTILLUS*): AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS
FÍSICO-QUÍMICAS E FUNCIONAIS**

Rio de Janeiro

2019

Shigeno de Paiva Kuriya

**APLICAÇÃO DO AQUECIMENTO ÔHMICO NO PROCESSAMENTO
DE SOBREMESA LÁCTEA FUNCIONAL ADICIONADA DE MIRTILO
(*VACCINIUM MYRTILLUS*): AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS
FÍSICO-QUÍMICAS E FUNCIONAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciência e Tecnologia de Alimentos, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de mestra em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientadores: Prof. Dr. Erick Almeida Esmerino

Prof^ª. Dr^ª Márcia Cristina Da Silva

Rio de Janeiro
2019

Ficha catalográfica elaborada por
Sergio Pinheiro Rodrigues
CRB7-3684

- K96a Kuriya, Shigeno de Paiva.
Aplicação do aquecimento ôhmico no processamento de sobremesa láctea funcional adicionada de mirtilo (*vaccinium myrtillus*): avaliação das características físico-químicas e funcionais. / Shigeno de Paiva Kuriya. – Rio de Janeiro, 2019.
76f. ; 21 cm.
- Dissertação (Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, 2019.
- Orientadoras: Prof. Dr. Erick Almeida Esmerino
Prof.^a. Dr.^a. Márcia Cristina da Silva
1. Aquecimento ôhmico. 2. Sobremesa láctea. 3. Mirtilo. I. Esmerino, Erick Almeida. II. Silva, Márcia Cristina da. III. Título.
- IFRJ/CMAR/CoBib CDU 641.521

Shigeno de Paiva Kuriya

**APLICAÇÃO DO AQUECIMENTO ÔHMICO NO PROCESSAMENTO
DE SOBREMESA LÁCTEA FUNCIONAL ADICIONADA DE MIRTILO
(*VACCINIUM MYRTILLUS*): AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS
FÍSICO-QUÍMICAS E FUNCIONAIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciência e Tecnologia de Alimentos, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de mestra em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Data da aprovação: 14/06/2019

Prof Dr Erick Almeida Esmerino– UFRRJ/IFRJ

Prof Dr Adriano Gomes da Cruz – IFRJ

Prof^a Dr^a Mônica Marques Pagani – UFRRJ

Prof Dr Leandro Pereira Cappato - IFGoiano

Dr. Jonas de Toledo Guimarães - UFF

Rio de Janeiro

2019

AGRADECIMENTOS

Dedico esta, assim como todas as minhas demais conquistas, a Deus, por ser essencial em minha vida, autor do meu destino e meu socorro em todas as horas; aos meus pais e irmão, por todo carinho, apoio e incentivo; e aos meus dois preciosos sobrinhos, meus melhores e maiores presentes.

Agradeço a todos os meus amigos, especialmente a minha amiga/irmã Viviani Ruffo, que foi fundamental para a minha formação, por isso merece o meu eterno agradecimento; agradeço por todo carinho, força, incentivo e apoio incondicional.

Agradeço também ao meu amigo Jaeser Campos, que de forma especial e carinhosa me deu força e coragem, apoiando nos momentos de dificuldades, embora não tivesse conhecimento disto, iluminou de maneira especial os meus pensamentos, me ajudando a buscar novos conhecimentos.

Não poderia deixar de agradecer a minha amiga Caroline Cardoso, que me incentivou desde o início dessa caminhada, uma luz no meu caminho. Agradeço as pessoas com quem convivi durante este período e a todos que contribuíram para que este trabalho fosse realizado; em especial aos colegas Roberto Pessanha, Marcus Vinícius Ferreira, a minha turma de mestrado e a todos aqueles que de alguma forma estiveram e estão próximos de mim.

Sou grata a todos os professores que contribuíram na minha trajetória acadêmica, especialmente ao orientador Erick Almeida Esmerino, obrigada pelo esclarecimento das dúvidas, pela atenção e paciência; obrigada por exigir de mim muito mais do que eu imaginava ser capaz de realizar; a você, Erick, minha gratidão por compartilhar sua sabedoria, seu tempo e experiência comigo. Agradeço a Deus a oportunidade de conhecer um ser humano muito especial como você.

Agradeço a todos os meus amigos do trabalho, pelo apoio e incentivo, deixo aqui minha gratidão à professora Vera Magalhães, que desde o início me ajudou e incentivou na realização e concretização de mais essa etapa na minha vida.

Por fim, agradeço a instituição IFRJ que ao longo da minha formação ofereceu um ambiente de estudo agradável, motivador e repleto de oportunidades.

KURIYA, S. P. Aplicação do aquecimento ôhmico no processamento de sobremesa láctea funcional adicionada de mirtilo (*Vaccinium Myrtillus*): avaliação das características físico-químicas e funcionais. Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação *Stricto Sensu* em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), Campus Maracanã, Rio de Janeiro, RJ, 2019.

RESUMO

Dentre os produtos lácteos, o mercado de sobremesas lácteas vem crescendo rapidamente, trazendo novos produtos e conceitos. As sobremesas lácteas se apresentam como nova tendência por serem produtos em porções individuais prontas para consumo, o que favorece a praticidade, podendo ser aromatizadas para todos os gostos, adicionadas ou não de frutas, que agregam características funcionais ao produto. O emprego de métodos de processamento térmicos alternativos, como o aquecimento ôhmico, utiliza a passagem de energia elétrica através do alimento, visando à preservação da qualidade do produto e dos compostos termolábeis que são degradados por processos convencionais. Neste contexto, foi desenvolvida uma sobremesa láctea adicionada de mirtilo e submetida ao aquecimento ôhmico, utilizando cinco gradientes de campo elétrico (1.82; 3.64; 5.45; 7.30 e 9.1V/cm) sob a frequência de 60 Hz, utilizando o mesmo perfil de tempo e temperatura (90°C/3min) adotado no tratamento convencional. Comparou-se os aspectos de preservação de compostos bioativos, composição nutricional, compostos voláteis, perfil de ácidos graxos, características reológicas e cor. Os resultados apontam que a amostra submetida ao aquecimento ôhmico em baixo campo elétrico (1.82 V/cm) foi a que mais preservou os compostos bioativos (compostos fenólicos, capacidade antioxidante, antocianinas, inibição das enzimas alfa-glicosidade, alfa-amilase e enzima conversora da angiotensina), porém foi a que apresentou um maior tempo de processamento. A maior intensidade de campo elétrico (9.10 V/cm) apresentou menor tempo de processamento e resultados satisfatórios quando comparados ao tratamento convencional, tornando o processamento mais viável. Todas as amostras de sobremesas lácteas adicionadas de mirtilo, submetidas a ambos os processos, exibiram comportamento reológico pseudoplástico ($n < 1$) e as amostras submetidas ao aquecimento ôhmico apresentaram danos mínimos nas características reológicas, onde as características elásticas predominaram sobre as viscosas. As amostras em ambos os processos não apresentaram diferenças em relação ao perfil dos ácidos graxos. Os resultados sugerem que o processamento da sobremesa láctea através do aquecimento ôhmico em maior gradiente de campo elétrico é uma alternativa interessante ao desenvolvimento do produto como forma de preservar sua funcionalidade.

Palavras-chave: Aquecimento ôhmico; sobremesa láctea; mirtilo; compostos bioativos.

KURIYA, S. P. Aplicação do aquecimento ôhmico no processamento de sobremesa láctea funcional adicionada de mirtilo (*Vaccinium Myrtillus*): avaliação das características físico-químicas e funcionais. Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação *Stricto Sensu* em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), Campus Maracanã, Rio de Janeiro, RJ, 2019.

ABSTRACT

Among dairy products, the market for dairy desserts has been growing rapidly, bringing new products and concepts. The dairy desserts are as a new trend because they are products offered in single portions ready to eat, which focus on practicality, being able to be flavored for all the tastes, added or not of fruits, that add functional characteristics to the product. The use of alternative thermal processing methods, such as ohmic heating, which uses the passage of electrical energy through the food, aiming at preserving the quality of the product and thermolabile compounds that are degraded by conventional processes. In this context, a blueberry-added milk dessert was developed and subjected to ohmic heating using five electric field gradients (1.82; 3.64; 5.45; 7.30 and 9.1V / cm) at the frequency of 60 Hz using the same time profile. and temperature (90 ° C / 3min) adopted in the conventional treatment. Preservation aspects of bioactive compounds, nutritional composition, volatile compounds, fatty acid profile, rheological characteristics and color were compared. The results indicate that the sample submitted to the ohmic heating in low electric field (1.82 V / cm) was the one that most preserved the bioactive compounds (phenolic compounds, antioxidant capacity, anthocyanins, inhibition of alpha-glucosidase enzymes, alpha-amylase and converting enzyme). angiotensin), but was the one with the longest processing time. The higher electric field intensity (9.10 V / cm) presented shorter processing time and satisfactory results when compared to conventional treatment, making processing more viable. All samples of blueberry added milk desserts submitted to both processes exhibited pseudoplastic rheological behavior ($n < 1$) and the samples submitted to ohmic heating showed minimal damage to the rheological characteristics, where the elastic characteristics predominated over the viscous ones. The samples in both processes showed no differences regarding the fatty acid profile. The results suggest that the processing of milk dessert through the ohmic heating in a higher electric field gradient is an interesting alternative to the product development as a way to preserve its functionality.

Keywords: Ohmic heating; dairy dessert; blueberry; bioactive compounds.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Mirtilheiro	18
Figura 2 Crescimento de novos produtos com mirtilo no mundo ao longo dos anos....	19
Figura 3 Novos produtos elaborados com mirtilo no mundo no ano de 2018	20
Figura 4 Esquema simples do processo de aquecimento ôhmico.....	25
Figura 5 Etapas do preparo do fruto batido	29
Figura 6 Etapas do processamento da sobremesa láctea pelo método convencional e aquecimento ôhmico.....	31
Figura 7 Perfil térmico das amostras submetidas ao aquecimento ôhmico e ao tratamento convencional (TC)	42
Figura 8 Mudança da condutividade elétrica com relação à temperatura no aquecimento ôhmico	43
Figura 9 Curva de fluxo de escoamento em estado estacionário das sobremesas lácteas.....	56
Figura 10 Módulo elástico (G') das amostras de sobremesas lácteas submetidas ao tratamento convencional e ao aquecimento ôhmico.....	58
Figura 11 Módulo viscoso (G'') das amostras de sobremesas lácteas submetidas ao tratamento convencional e ao aquecimento ôhmico.....	58
Figura 12 Ângulo de fase ($\tan \delta$) das amostras de sobremesas lácteas submetidas ao tratamento convencional e ao aquecimento ôhmico.....	59
Figura 13 Viscosidade dinâmica complexa das sobremesas lácteas submetidas ao tratamento convencional e ao aquecimento ôhmico.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Informação nutricional do mirtilo em 100g da fruta.....	21
Tabela 2 Proporção de ingredientes da sobremesa láctea adicionada de mirtilo.....	29
Tabela 3 Percentual da composição centesimal e valor calórico das sobremesas lácteas submetidas ao aquecimento ôhmico e ao tratamento convencional.....	44
Tabela 4 Teor de compostos fenólicos totais (CFT), percentual de sequestro do radical livre (DPPH) e quantificação antocianinas monoméricas presente na sobremesa láctea submetida aos tratamentos.....	45
Tabela 5 Percentual de inibição das enzimas, alfa-amilase, alfa-glicosidase e enzima conversora da angiotensina (ECA) na sobremesa láctea.....	47
Tabela 6 Coordenadas de cor (L*, a*,b*), tonalidade (h°) e saturação (C*) das amostras de sobremesa láctea.....	48
Tabela 7 Compostos orgânicos voláteis de sobremesas lácteas adicionada de mirtilo submetidas ao aquecimento ôhmico e tratamento convencional (TC).....	52
Tabela 8 Perfil de ácidos graxos (ug/g da amostra) de sobremesa láctea adicionada de mirtilo submetida a aquecimento ôhmico e tratamento convencional (TC).....	55
Tabela 9 Parâmetros reológicos das sobremesas lácteas após o tratamento convencional e aquecimento ôhmico	57

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 ALIMENTOS FUNCIONAIS.....	14
2.2 SOBREMESA LÁCTEA.....	15
2.2.1 Tipos de sobremesas lácteas.....	17
2.2.2 Métodos de fabricação e tratamento térmico	17
2.3 MIRTILO	18
2.3.1 Produção de mirtilo no Brasil e no mundo.....	18
2.3.2 Composição química	20
2.3.2.1 Compostos fenólicos	21
2.3.3 Relação entre mirtilo e saúde	23
2.4 TECNOLOGIAS EMERGENTES	24
2.4.1 Aquecimento ôhmico.....	24
3 OBJETIVOS	27
3.1 GERAL	27
3.2 ESPECÍFICOS	27
4 MATERIAL E MÉTODOS	28
4.1 MATERIAL	28
4.2 MÉTODOS	28
4.2.1 Preparo da polpa de mirtilo	28
4.2.2 Formulação da sobremesa láctea	29
4.2.3 Processamento da sobremesa láctea	29
4.2.3.1 Método convencional	29
4.2.3.2 Método aquecimento ôhmico.....	30
4.3 COMPOSIÇÃO CENTESIMAL	31
4.4 COMPOSTOS BIOATIVOS	32
4.4.1 Extração	32
4.4.2 Determinação da atividade antioxidante pelo método DPPH	33
4.4.3 Determinação de compostos fenólicos totais.....	33
4.4.4 Atividade inibitória de enzimas do metabolismo dos carboidratos	33

4.4.4.1 Atividade inibitória da alfa-glicosidase: preparo dos reagentes (enzima e substrato) e determinação da atividade inibitória da enzima.....	33
4.4.4.1 Atividade inibitória da alfa-amilase: preparo dos reagentes (enzima e substrato) e determinação da atividade inibitória da enzima.....	34
4.4.5 Atividade inibitória da enzima conversora da angiotensina (ECA).....	35
4.4.6 Análise das antocianinas monoméricas.....	35
4.5 COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS.....	36
4.6 PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS	37
4.7 ANÁLISE COLORIMÉTRICA	38
4.8 PROPRIEDADES REOLÓGICAS	39
4.8.1 Curvas de fluxo	39
4.8.2 Ensaio oscilatório	39
4.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA	40
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
5.1 AQUECIMENTO ÔHMICO	41
5.1.1 Perfil térmico das amostras de sobremesa láctea	41
5.1.2 Condutividade elétrica	42
5.2 COMPOSIÇÃO CENTESIMAL	43
5.3 COMPOSTOS BIOATIVOS.....	44
5.3.1 Compostos fenólicos totais (CFT), atividade antioxidante (DPPH) e quantificação e quantificação de antocianinas monoméricas.....	44
5.3.2 Inibição enzimática da alfa-glicosidase, alfa-amilase e enzima conversora de angiotensina (ECA).....	45
5.4 ANÁLISE COLORIMÉTRICA	47
5.5 COMPOSTOS VOLÁTEIS	49
5.6 PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS	53
5.7 PROPRIEDADES REOLÓGICAS	55
5.7.1 Curva de fluxo.....	55
5.7.2 Ensaio oscilatório	58
6. CONCLUSÃO	61
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

1. INTRODUÇÃO

Uma realidade cada vez mais presente na vida da população é a conscientização de que a longevidade está associada a uma dieta balanceada e práticas mais saudáveis, alterando de maneira expressiva o comportamento dos consumidores nos últimos anos (XAVIER; MERCADANTE, 2019). Neste sentido, o ímpeto do consumidor pela relação entre alimentação e bem-estar aumentou significativamente, associado ainda a características de interesse como qualidade, praticidade, confiabilidade e sustentabilidade (GUIMARÃES *et al.*, 2018). Esta exigência cada vez maior dos consumidores impôs às indústrias o desafio de diferenciar seus produtos com base em funcionalidades superiores, levando a estratégias criativas de inserção de produtos funcionais e tecnologias inovadoras como forma de conquistar o consumidor.

Essa tendência do consumidor na adoção de um estilo de vida saudável, associada ao aumento da expectativa de vida da população, o acúmulo de multitarefa na vida diária e a falta de tempo, tem estimulado indústrias a pesquisar e desenvolver alimentos mais saudáveis, nutritivos e práticos (SANTOS-BUELGA *et al.*, 2019). Desta forma, ficam em evidência os alimentos funcionais, conhecidos por possuírem componentes fisiologicamente ativos, que proporcionam um benefício à saúde, além da nutrição básica (XAVIER; MERCADANTE, 2019).

Ensaio clínicos e estudos epidemiológicos relacionados à nutrição demonstram que a alimentação tem efeito potencial sobre a manutenção e desenvolvimento da saúde; e que o consumo de vegetais, tem uma relação inversa com a incidência de doenças cardiovasculares, câncer e outras doenças crônicas, causando efeitos biológicos positivos. Esses alimentos possuem compostos bioativos que desempenham atividade antioxidante acentuada e são capazes de prevenir o estresse oxidativo associado a estas doenças (ISTEK, GURBUZ, 2017).

Os derivados lácteos se tornaram, no setor industrial, os gêneros alimentícios com maior potencial de fabricação de produtos funcionais, sendo veículos para adição de ingredientes agregando valor ao produto final. Simultaneamente, cresce as pesquisas que utilizam novas tecnologias, na fabricação destes alimentos, como uma forma de beneficiar e preservar a funcionalidade do produto (GUIMARÃES *et al.*, 2018).

Dentre os produtos lácteos, as sobremesas lácteas são opções atrativas para incorporação dos ingredientes funcionais, visto que são amplamente consumidas por todas as faixas etárias; possuem disponibilidade de aquisição em porções individuais prontas para

consumo; são produtos fáceis de preparar; e podem ser adicionadas ou não de frutas, sendo apreciadas como um alimento perfeito para todas as ocasiões do dia a dia. Na atualidade se observa um crescimento rápido do consumo dessas sobremesas prontas e uma multiplicação de tipos e suas variantes (SAUNDERS, 2016).

Entre os vegetais, o mirtilo (*Vaccinium myrtillus*) é considerado uma fruta com grande potencial de processamento para novos produtos funcionais, pois possui um elevado perfil antioxidante, devido à presença de compostos fenólicos como os polifenóis, flavonoides e antocianinas, e segundo estudos, a fruta age como antibacteriana, anti-inflamatória, anti-alérgica, anticancerígena e promove resistência às doenças cardiovasculares (ELADWY *et al.*, 2018; HOU *et al.*, 2019). A fruta ganhou muita atenção nos últimos anos, devido o trabalho de Prior (1998) que relatou que o mirtilo tinha a maior capacidade antioxidante dentre 42 frutas e hortaliças avaliadas no estudo (KONDA, 2014).

O tratamento térmico aplicado aos alimentos durante o processamento, que envolve a aplicação de energia térmica para fins de cocção, extração, inativação enzimática e descontaminação microbiana (GAVAHIAN *et al.*, 2018), deve ser cuidadosamente avaliado durante a adição e incorporação de compostos bioativos, normalmente com uma termossensibilidade mais acentuada que outros ingredientes inerentes (MERCALI *et al.*, 2014). O método de aquecimento convencional se baseia em modos de transferência de calor por condução e convecção, e atualmente ainda é a técnica de aquecimento mais utilizada na indústria alimentícia. Entretanto, técnicas emergentes, como o aquecimento ôhmico, têm sido propostas como alternativas potenciais de economia de energia, tempo, atenuação de degradação de compostos e preservação da qualidade funcional e nutricional (MERCALI *et al.*, 2014; GAVAHIAN *et al.*, 2018).

O aquecimento ôhmico é uma tecnologia emergente que consiste na passagem da corrente elétrica alternada através dos alimentos com o principal objetivo de aquecê-lo através da geração da energia interna. Neste tratamento, o alimento atua como uma resistência e a energia elétrica é transformada em energia térmica (SILVA *et al.*, 2019). Desta forma, o processamento por este tipo de tecnologia permite desenvolver processos mais rápidos e eficazes proporcionando uma maior qualidade sensorial, concentração de nutrientes e a redução de danos térmicos nas substâncias lábeis (CAPPATO *et al.*, 2017). A aplicação do aquecimento ôhmico, quando empregados parâmetros de campos elétricos e frequência baixos, desempenha um papel importante na manutenção da qualidade de alguns produtos,

promovendo a melhoria das características reológicas e microestruturais, e a redução da degradação de compostos (CAPPATO *et al.*, 2018).

Neste contexto, e fundamentado nas necessidades do mercado atual, o presente trabalho teve por objetivo desenvolver amostras de sobremesa láctea adicionadas de mirtilo, através do processamento térmico por aquecimento ôhmico utilizando diferentes parâmetros, avaliando as características físico-químicas e seus impactos sobre a funcionalidade das amostras.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ALIMENTOS FUNCIONAIS

O conceito de alimento funcional surgiu na década de 80 no Japão, como alimentos que contêm ingredientes que auxiliam em determinadas funções do corpo, e que não somente satisfazem as necessidades gastronômicas e nutricionais. Em virtude dos vários estudos, o Japão passou a ser o país com o maior número de alimentos funcionais veiculados no mercado e o primeiro a elaborar uma legislação específica para esses tipos de alimentos (GALANAKIS, 2017).

No Brasil, a regulamentação dos alimentos funcionais foi executada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) em 1999 através de duas resoluções. A Resolução nº 18, de 30/04/1999, aprovou o regulamento técnico estabelecendo as diretrizes básicas para análise e comprovação de propriedades funcionais e/ou de saúde alegadas em rotulagem de alimentos; e a Resolução nº19, de 30/04/1999 aprovou o regulamento técnico de procedimentos para registro de alimentos com alegação de propriedades funcionais e/ ou de saúde em sua rotulagem.

As alegações de propriedades funcionais não são aprovadas para ingredientes ou componentes dos alimentos; e sim para o produto final que contenha esses ingredientes, e se refere à função metabólica ou fisiológica que o nutriente ou não nutriente exerce no crescimento, desenvolvimento, manutenção ou em outras funções do organismo. A alegação de propriedade de saúde se refere aquela que afirma ou sugere a existência de relação entre o alimento e uma doença ou outra condição associada à saúde (COSTA; ROSA, 2016).

Uma característica importante do alimento funcional é que os seus benefícios devem ser adquiridos quando consumidos em quantidades normais na alimentação diária e não deve ser confundido como medicamento. Por serem ricos em compostos bioativos, as hortaliças e as frutas são os alimentos mais comuns associados aos alimentos funcionais (GALANAKIS, 2017).

A Resolução nº2, de 07/01/2002, que aprovou o regulamento técnico de substâncias bioativas e probióticos isolados com alegação de propriedades funcionais e/ou saúde, define substâncias bioativas como “substâncias além dos nutrientes, que possuem ação metabólica ou fisiológica específica, entre eles os carotenoides; fitoesteróis; flavonoides; fosfolipídios; organosulfurados e polifenóis”. A resolução também destaca que a substância bioativa deve

estar presente em fontes alimentares, podendo ser de origem natural ou sintética, desde que comprovada a segurança para o consumo humano.

Segundo a ANVISA (BRASIL, 2016), as alegações de propriedade funcional e de saúde devem estar baseadas em ensaios clínicos conduzidos com metodologia adequada ou em estudos epidemiológicos. Os resultados dos estudos devem mostrar, de forma consistente, a relação entre o alimento ou seu constituinte e o efeito benéfico à saúde, com pouca ou nenhuma evidência em contrário. É fundamental que a substância ou constituinte para o qual é feita a solicitação de alegação, comprovadamente possua a mesma especificação daquela utilizada nos estudos apresentados. Dentre as alegações de propriedades funcionais, de compostos bioativos, temos aprovados, os polifenóis, com destaque aos flavonoides e antocianinas que possuem ação antioxidante que protege as células contra os radicais livres e os fitoesteróis que auxiliam a redução da absorção de colesterol (KONDA, 2014).

O aumento da expectativa de vida, principalmente entre os idosos, e o desejo dos consumidores de possuir uma melhor qualidade de vida, são fatores que influenciam na grande preocupação do consumidor pela aquisição de alimentos funcionais (BULTOSA, 2016). Entretanto, não deve ser somente baseado na função nutricional e funcional, mas deve englobar aspectos e propriedades sensoriais, como a aparência, aroma, sabor e textura que atraiam os consumidores (GALANAKIS, 2017).

No Brasil, o mercado de alimentos funcionais atinge cerca de 15% do mercado de alimentos, com crescimento anual de 20%. Embora esse crescimento seja promissor, o mercado de alimentos funcionais tem um grande desafio que é adquirir a credibilidade do consumidor com relação às alegações funcionais, garantindo que não é somente uma estratégia de mercado para elevar o valor do produto. A comunidade científica e as agências reguladoras possuem o papel fundamental na busca e transmissão das informações acerca das propriedades funcionais. Essas informações podem garantir a credibilidade ao consumidor e esclarecer a importância dos alimentos funcionais, inserindo-os no contexto de alimentação saudável e melhoria da qualidade de vida (COSTA; ROSA, 2016).

2.2 SOBREMESA LÁCTEA

Com a crescente procura dos consumidores atuais pela prática da alimentação saudável, prazerosa e equilibrada, visando uma melhor saúde e envelhecimento saudável, associada ao panorama mundial atual de redução no número de integrantes na família; o consumo de alimentos de conveniência surge como alternativa para a substituição das

sobremesas clássicas preparadas nos lares dos consumidores (SOUSA, 2016), e tem impulsionado a comercialização de sobremesas lácteas prontas para consumo, conduzindo as indústrias de produtos lácteos a desenvolver versões de seus produtos com características funcionais (MAGALHÃES, 2008; HENRIQUE *et al.*, 2009).

As sobremesas lácteas possuem algumas vantagens do ponto de vista funcional, nutritivo e sensorial (MANTOVANI *et al.*, 2014; BURITI; SAAD, 2014; BURITI *et al.*, 2016) e se destacam pelo fato de serem comercializadas em porções individuais, podendo ser elaboradas com frutas e que se ajustam às várias ocasiões do dia a dia do consumidor (MORAIS *et al.*, 2014).

No Brasil, através da RDC n° 273 de 22 de setembro de 2005, as sobremesas lácteas são consideradas alimentos prontos para consumo, definidos como os alimentos preparados; pré-cozidos ou cozidos, que para o seu consumo não necessitam da adição de outros ingredientes e que podem necessitar de aquecimento ou cozimento complementar. Não existe uma legislação específica de padrões de identidade e qualidade para as sobremesas lácteas, levando-as a diferirem entre si de acordo com sua formulação (relação de ingredientes e concentrações) e modo de preparo. As sobremesas lácteas são produtos complexos e sua estabilidade depende da tecnologia de fabricação, das características intrínsecas de cada ingrediente utilizado e do armazenamento em temperaturas refrigeradas adequadas (ARAGON-ALEGRO *et al.*, 2007; ARES *et al.*, 2013; SALVIANO *et al.*, 2012). Usualmente, apresentam consistência semissólida e seus ingredientes básicos são: o leite, hidrocolóides, aroma e corantes.

O leite bovino é a matéria-prima predominante nos produtos lácteos, e uns dos principais ingredientes da sobremesa láctea. Contém aproximadamente 3,4% de proteína, cuja principal função nutricional é atuar como fonte de nitrogênio e aminoácidos, necessário para o crescimento e manutenção da síntese proteica. Além disso, as proteínas do leite têm um alto valor biológico, pois todos os aminoácidos essenciais (histidina, lisina, fenilalanina, leucina, treonina, valina, triptofano, metionina e isoleucina) estão presentes em níveis relativamente altos (HAZLETT *et al.*, 2019).

Além de exercerem diversas funções básicas de nutrição, as proteínas do leite possuem sequências de peptídeos, denominados peptídeos bioativos (PBA), que desempenham funções, por exemplo, anti-hipertensivas, atuando sobre a conversão da enzima angiotensina,

através do mecanismo de conversão da angiotensina I em angiotensina II, incluindo a disfunção da bradicinina, definida como um peptídeo vasodilatador (HASSANI *et al.*, 2019).

Na preparação das sobremesas lácteas, as condições de processamento são importantes e devem ser estabelecidas conforme a formulação e o tipo de leite. O processo de fabricação envolve as etapas de preparo da mistura, tratamento térmico, homogeneização, resfriamento parcial e armazenamento sob refrigeração (SOUSA, 2016). Os tipos de ingredientes, equipamentos e processos são fatores importantes que influenciam nas características nutricionais, físico-químicas e sensoriais, influenciando diretamente na aceitabilidade dos consumidores (ARCIA *et al.*; 2011; SOUSA, 2016).

Com o aumento do consumo de sobremesas lácteas, ocorreu concomitantemente a expansão e desenvolvimentos tecnológicos referentes a esta matriz alimentícia e inclusão de novos ingredientes contribuindo para um acréscimo no valor nutricional e melhor digestibilidade (ARCIA *et al.*, 2011; MERCER *et al.*, 2008). O mercado passou a desenvolver sobremesas lácteas com ingredientes funcionais; com modificadores de textura, visando o espessamento e a geleificação, sendo criados sistemas de processamento asséptico utilizando altas temperaturas (SAUNDERS, 2011).

2.2.1 Tipos de sobremesas lácteas

Atualmente existem alguns tipos e formatos de sobremesas lácteas, dentre eles destacam-se: as sobremesas cremosas e gelificadas; os cremes/pudins, os mousses e as misturas para sobremesas. Em todas as formas, o produto é fabricado transformando o leite em uma textura semissólida, utilizando produtos concentrados e/ou ingredientes de texturização (SAUNDERS, 2016).

2.2.2 Métodos de fabricação e tratamento térmico

As sobremesas lácteas são desenvolvidas utilizando a homogeneização a seco dos vários ingredientes. O ideal é que o tamanho das partículas seja uniforme para que se garanta uma mistura homogênea e se reduza as chances de deformações durante o manuseio. Após a homogeneização dos ingredientes secos, esses são adicionados aos líquidos (SAUNDERS, 2011). Os tratamentos térmicos aplicados as sobremesas lácteas têm como objetivos garantir a segurança do produto, prolongar a vida de prateleira por redução e destruição de microrganismos e conservar as propriedades sensoriais e o valor nutricional (SAUNDERS, 2016).

A pasteurização é um dos tratamentos térmicos do qual as sobremesas lácteas são submetidas, onde as combinações de tempo-temperatura variam de 63°C por 30 minutos a 72°C por 15 s. Nas sobremesas lácteas, o prazo de validade varia de cerca de 3 a 21 dias a 7°C (SAUNDERS, 2011).

2.3 MIRTILO

2.3.1 Produção de mirtilo no Brasil e no mundo

O mirtilo (Figura 1), pertencente à família *Ericaceae*, subfamília *Vaccinoideae* e gênero *Vaccinium*, é uma pequena baga que cresce em um arbusto baixo, com cerca de 1 a 2 metros de altura, originária da América do Norte, Europa e conhecido como *blueberry* (VRHOVSEK *et al.*, 2012). Possui sabor agridoce, coloração variando de avermelhada a azulada, quando maduros, e são cobertos por uma cera denominada pruína, que constitui uma barreira importante à perda de água (SOUTINHO, 2012). É uma fruta rica em vitaminas e minerais, conhecida por suas propriedades funcionais, atribuídas a grande diversidade e alto teor de antioxidantes naturais como os polifenóis, que ultrapassa outras frutas funcionais. São conhecidos por pertencer a três grupos principais: *Highbush*, *Lowbush* e o *Rabbiteye*, onde a diferença entre os grupos está relacionada às horas necessárias de exposição ao frio durante o cultivo e às práticas agronômicas (irrigação, sistema de cultivo) utilizadas entre os cultivares e as espécies, que acarretam considerável variação nos perfis fenólicos e na capacidade antioxidante da fruta (CANTUARIAS-AVILÉS *et al.*, 2014; STRIK *et al.*, 2014; CARDENOSA *et al.*, 2016).



Figura 1. Mirtilheiro
Fonte: Google Imagens, 2019

Com relação ao consumo mundial, os Estados Unidos possuem os maiores percentuais de utilização do mirtilo, visto que nos últimos quinze anos o aumento per capita foi de 50% (DEMCHAK *et al.*, 2014). No Brasil, a comercialização do mirtilo começou na década de 1990, e na atualidade dois grupos principais desta fruta são produzidos e comercializados: o

rabbiteye (*Vaccinium ashei* Reade) e o *highbush* (*Vaccinium corymbosum* L.) (PERTUZATTI *et al.*, 2016).

Impulsionado pela crescente demanda mundial e pelos altos preços da fruta fresca no mercado europeu, a produção de mirtilo tem se destacado nos últimos anos no Brasil. O país passou a ser um ponto estratégico na comercialização da fruta, visto que consegue produzir durante a entressafra da fruta no Hemisfério Norte; possui proximidade com os mercados europeus; além de disponibilidade de água e terras férteis para o cultivo. As plantações de mirtilo, no Brasil, estão mais localizadas nos estados do Rio Grande de Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Minas Gerais. A maior parte dos mirtilheiros plantados no Sul do Brasil ainda corresponde a variedades do tipo *Rabbiteye* ou olho de coelho (CANTUARIAS-AVILÉS *et al.*, 2014).

De acordo com o conselho americano de mirtilos *highbush* (*United States Highbush Blueberry Council, USBCH*), no ano de 2018, mais de 4.000 novos produtos adicionados de mirtilo foram lançados em todo o mundo. A Europa e a Ásia ocupam a liderança com mais de 1.000 novos produtos (Figura 2). Os setores mais representativos são os de produtos lácteos (531 novos produtos), seguido pelos snacks (481) e em terceiro lugar a indústria de cosméticos com 430 produtos (Figura 3).

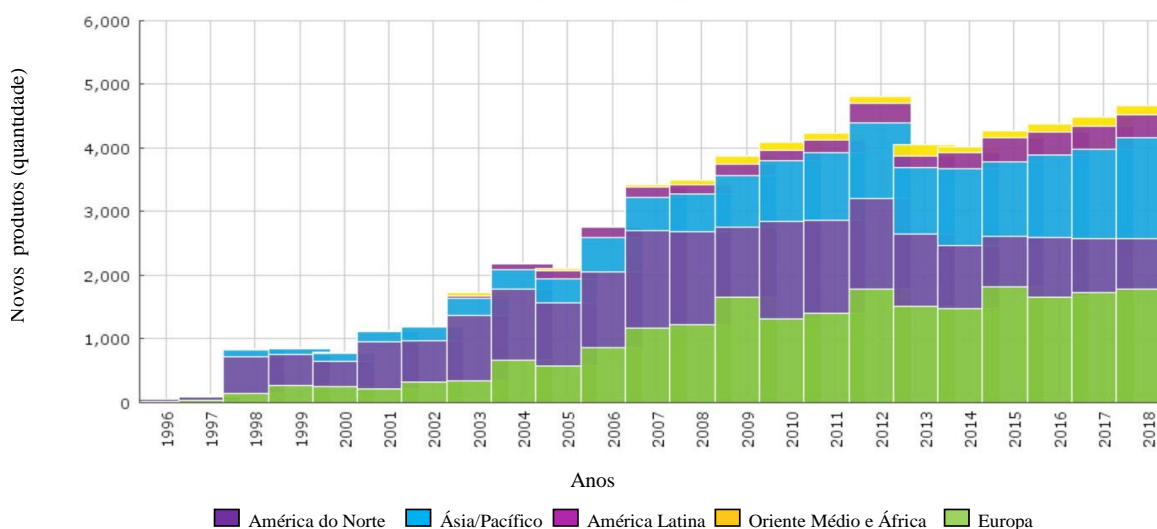


Figura 2. Crescimento de novos produtos com mirtilo no mundo ao longo dos anos.

Fonte: U.S. Highbush Blueberry Council, 2019.

A América Latina ainda representa uma porcentagem pequena, contudo este número está aumentando, com o Brasil ocupando o segundo lugar. No mercado brasileiro já é

possível encontrar uma variedade de produtos que utilizam o mirtilo na sua composição; entre eles os iogurtes tradicionais, iogurte vegano, sorvetes, picolés, cervejas, kombucha, balas, barras de chocolate com mirtilo liofilizado, gelatina, geleia, sucos, blueberry em cápsulas, chá, cereais, calda para sobremesa, muffin e até cosméticos (sabonetes, hidratantes) (U.S. Highbush Blueberry Council, 2019), entretanto, não há relatos de sobremesas lácteas prontas para o consumo.

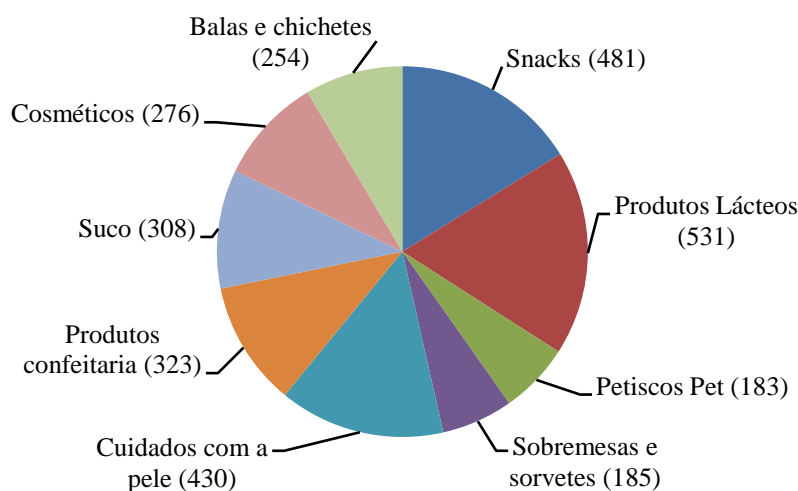


Figura 3. Unidades de novos produtos elaborados com mirtilo no mundo no ano de 2018.

Fonte: U.S. Highbush Blueberry Council, 2019.

2.3.2 Composição Química

O mirtilo *in natura* possui em sua composição 84% de água, 9,7 % de carboidratos, 0,6 % proteínas e 0,4 % de lipídios. O valor energético médio de uma porção de 100 g de mirtilo *in natura* é estimado em 57 Kcal. Os mirtilos também são uma boa fonte de fibra alimentar que constitui 3% a 3,5% da fruta e possuem um teor moderado de vitamina C, 100 g de mirtilos fornecem, em média, 10 mg de ácido ascórbico (MICHALSKA e LYSIAK, 2015).

Além do ácido ascórbico, outras vitaminas hidrossolúveis estão presentes no mirtilo, a tiamina, a riboflavina, a niacina, o ácido pantotênico, a piridoxina e os folatos, enquanto as lipossolúveis são a vitamina A, K e os tocoferóis (KONDA, 2014; NILE; PARK, 2014). Os minerais encontrados no mirtilo são o cálcio, cobre, ferro, magnésio, manganês, fósforo, potássio, selênio, sódio e zinco (NILE; PARK, 2014).

Zhao e colaboradores (2017) relataram que o mirtilo apresenta elevadas concentrações de compostos bioativos, constituintes extras nutricionais, que possuem atividades biológicas

que beneficiam a saúde do indivíduo. Entre esses compostos bioativos, encontramos os flavonoides (quercetina, catequina e antocianinas), os carotenoides (licopeno, luteína, betacaroteno), os ácidos fenólicos (ácido gálico, ácido clorogênico e caféico), os fitoesteróis e ácidos graxos (SOUZA, 2017) A Tabela 1 apresenta a informação nutricional do mirtilo em 100g da fruta.

Tabela 1. Informação nutricional do mirtilo em 100g da fruta.

Informação Nutricional	
Porção 100g mirtilo	
Valor calórico	57 Kcal
Umidade	84 %
Proteínas	0,74 g
Lipídios	0,33 g
Carboidrato	14,49 g
Fibra alimentar	2,4 g
Cálcio	6 mg
Ferro	0,28 mg
Magnésio	6 mg
Fósforo	12 mg
Potássio	77 mg
Sódio	1,0 mg
Zinco	0,16 mg
Vitamina C	10 mg

Fonte: USDA National Nutrient Database for Standard Reference Legacy Release (2019)

2.3.2.1 Compostos fenólicos

Os compostos fenólicos compreendem uma diversificada gama de metabólitos secundários que estão naturalmente presentes nos vegetais. Pesquisas científicas sugerem que o consumo em longo prazo de dietas ricas em polifenóis vegetais oferece proteção relacionada a doenças não transmissíveis, como cânceres, doenças cardiovasculares, diabetes, osteoporose e doenças neurodegenerativas (GRACE *et al.*, 2019).

O mirtilo contém várias classes de componentes fenólicos bioativos, destacando-se entre eles, os flavonoides (quercetina, catequina e antocianinas), ácidos fenólicos (ácido gálico, ácido clorogênico), igninas, fenóis simples, cumarinas, taninos e os tocoferóis (ZHAO *et al.*, 2017).

Os principais flavonoides encontrados no mirtilo são a quercetina, catequina, miricertina, epicatequina, campoferol, antocianidina (KONDA, 2014). O mirtilo possui níveis mais elevados de flavonoides em comparação com outras frutas vermelhas, como a framboesa e morango (HOWARD; HAGER, 2007).

Dentre os ácidos fenólicos, o grupo dos ácidos hidroxicinâmicos são os principais encontrados no mirtilo e estão presentes em todos os estágios de maturação. Neste grupo predomina o ácido clorogênico, que engloba quase que 96,5% dos ácidos fenólicos, sendo rapidamente degradado e transformado em ácido caféico (YOUSEF *et al.*, 2013).

As antocianinas são os principais compostos fenólicos encontrados no mirtilo (NILE; PARK, 2014). As moléculas de antocianina consistem em uma antocianidina, um grupo de ácido orgânico e um grupo açúcar (SOUZA, 2017). Dentre as antocianidinas, apenas seis estão presentes em alimentos: pelargonidina, cianidina, delphinidina, peonidina, petunidina e malvidina, que se distinguem entre si pelo número de hidroxilas (WANG *et al.*, 2012). As frações de malvidina e delphinidina são as de maior valor encontradas em mirtilos (YOUSEF *et al.*, 2013).

O mirtilo possui o perfil mais complexo de antocianinas entre as frutas vermelhas, contendo 25 antocianinas individuais, e é o único com três unidades de açúcar (glicose, galactose e arabinose) que se encontram ligados a cinco antocianidinas (delphinidina, cianidina, petunidina, peonidina e malvidina) (SOUZA, 2017).

As antocianinas são encontradas principalmente nas camadas externas da hipoderme (pele), enquanto o restante da fruta contém pouca ou nenhuma antocianina (VRHOUSEK *et al.*, 2012). Essa quantidade de antocianinas presente no mirtilo é um marcador para avaliar a qualidade da fruta e de seus derivados, e é a antocianina, a principal substância responsável pela função antioxidante (NICOLETTI *et al.*, 2015).

Estudos demonstram a influência direta dos compostos fenólicos sobre a atividade de algumas enzimas, entre elas a inibição das enzimas alfa-amilase e alfa-glicosidase, como uma forma eficaz de monitorar os estágios iniciais da diabetes (DJERIDANE *et al.*, 2015). A Diabetes *Mellitus* é causada por deficiência na secreção de insulina, resultando na elevação dos níveis da glicose, podendo a vir causar danos ao corpo. A inibição de enzimas como a alfa-amilase e alfa-glicosidase, pode levar a uma melhora nas complicações relacionadas ao diabetes, diminuindo a hiperglicemia pós-prandial (VADIVELAN *et al.*, 2019).

O estudo de Persson *et al.* (2009) demonstra os efeitos benéficos do mirtilo sobre a hipertensão. A pesquisa foi realizada utilizando um extrato do *Vaccinium Myrtillus* e investigado o efeito da fruta e dos seus polifenóis sobre a atividade da enzima conversora da angiotensina em células endoteliais humanas, demonstrando que o extrato do mirtilo apresentou um efeito inibitório sobre a atividade da enzima conversora da angiotensina, podendo ser uma explicação para os efeitos anti-hipertensivos do mirtilo.

2.3.3 Relação entre mirtilo e saúde

Os mirtilos contêm diversos fitoquímicos que podem ser responsáveis por suas propriedades preventivas de doenças. Pesquisas relacionam a elevada capacidade antioxidante do mirtilo com esses fitoquímicos, entre eles os de maior incidência, as antocianinas (VAN BREDA *et al.*, 2018).

Estudo recente mostra que o resveratrol, um composto polifenólico, presente no mirtilo, pode ser usado como um radiosensibilizador para o carcinoma de próstata, assim como também, pode inibir a sensibilização de algumas células tumorais e promover a apoptose, sugerindo que o mirtilo possa ser também, usado como um potencial radiosensibilizador para tratar neoplasia de colo de útero (DAVIDSON *et al.*, 2019).

O consumo regular do mirtilo tem beneficiado também a saúde dos olhos. O estudo realizado por Huang *et al* (2018), com a indução do aumento da glicose em células capilares da retina juntamente com o consumo do mirtilo, mostrou que as antocianinas presentes no mirtilo são capazes de proteger as células da retina via mecanismos antioxidantes e anti-inflamatórios, o que pode ser uma forma promissora para o desenvolvimento de nutracêuticos para prevenir a retinopatia diabética.

Os resultados de uma pesquisa realizada com pacientes adultos com osteoartrite de joelho sugeriram que a incorporação diária na alimentação de mirtilos pode reduzir a dor, a rigidez e a dificuldade de realizar atividades diárias, melhorando o desempenho da caminhada e, portanto, melhorando a qualidade de vida nos indivíduos (DU *et al.*, 2019).

Um estudo realizado por Rodrigues-Mateos *et al* (2019) encontrou mudanças na função dos vasos sanguíneos e diminuição da pressão arterial em pessoas que consomem mirtilo diariamente. Os pesquisadores conseguiram identificar que a antocianina foi a principal mediadora das atividades vasculares e concluíram que se as mudanças observadas na função dos vasos sanguíneos após a ingestão diária de mirtilos for implementada durante toda

a vida de uma pessoa, isso poderá reduzir o risco de desenvolvimento de doença cardiovascular em até 20%.

2.4 TECNOLOGIAS EMERGENTES

O processamento térmico é uma tecnologia amplamente aplicada na indústria de alimentos, sendo utilizada para inativação enzimática e de microrganismos (SARKIS *et al.*, 2013). Nos tratamentos térmicos convencionais a inativação de microrganismos é realizada por meio do binômio tempo-temperatura específico a cada alimento, contudo as elevadas temperaturas empregadas levam a perda de nutrientes, mudanças sensoriais, como alterações no sabor, no aroma e na textura modificando desta forma a apresentação dos alimentos (GUIMARÃES *et al.*, 2018).

A crescente demanda do consumidor por alimentos frescos, saudáveis, convenientes, seguros e sustentáveis ambientalmente, tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias emergentes, não térmicas, na área de alimentos (PEÑA *et al.*, 2019).

Inúmeras investigações envolvendo alta pressão hidrostática (PARRÓN *et al.*, 2018), campo elétrico pulsado (SIMONES *et al.*, 2019), ultrassom (ABESINGHE *et al.*, 2019), plasma frio (COUTINHO *et al.*, 2018), irradiação (ODUEKE, *et al.*, 2018), dióxido de carbono supercrítico (AMARAL *et al.*, 2018) e aquecimento ôhmico (CAPPATO *et al.*, 2017), demonstraram eficácia para obter produtos seguros com padrões de alta qualidade, em comparação aos processos convencionais, benefício das características físicas, nutricionais e sensoriais; preservação de compostos bioativos, e também atuação positiva sobre as atividades enzimáticas, satisfazendo as demandas atuais dos consumidores de obter produtos mais saudáveis (COUTINHO *et al.*, 2018).

2.4.1 Aquecimento Ôhmico

O aquecimento ôhmico é uma tecnologia onde a corrente elétrica alternada passa através do alimento (condutor), resultando no aumento da temperatura de acordo com a lei de Joule, havendo uma conversão de energia elétrica em térmica, resultando numa maior rapidez e aquecimento uniforme do alimento garantindo maior capacidade de retenção de nutrientes e atributos sensoriais (GAVAHIAN *et al.*, 2018).

No aquecimento ôhmico, a fonte de alimentação fornece a energia elétrica, que se aplica através de dois eletrodos que são localizados em ambos os lados do sistema de aquecimento e estão em contato direto com o alimento (GAVAHIAN *et al.*, 2018). Os

eletrodos que utilizam a configuração da placa paralela são os mais adequados para fluidos de baixa condutividade e quando existe um número maior de partículas sólidas com uma menor força de cisalhamento. Nesta configuração ocorre uma maior uniformidade do campo elétrico acarretando um aquecimento uniforme do fluido (SAKR; LIU, 2014). A taxa de aquecimento é afetada por diversos parâmetros, como as configurações do equipamento, o produto alimentar utilizado, a área de contato dos eletrodos com esse produto e a distância entre esses eletrodos (JAEGER *et al.*, 2016). A Figura 4 mostra um esquema simples do processo de aquecimento ôhmico.

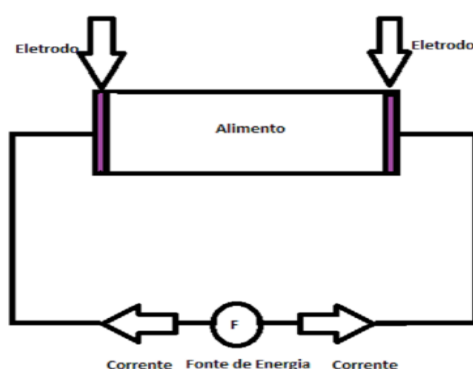


Figura 4. Esquema simples do processo de aquecimento ôhmico.

Neste tipo de tratamento, as variáveis mais importantes são a intensidade do campo elétrico, que modifica conforme a voltagem aplicada, e a condutividade elétrica, que depende de diversos fatores, entre eles, a temperatura, um fator significativo, uma vez que afeta a mobilidade dos íons no produto. Outro importante parâmetro a ser controlado durante o aquecimento ôhmico é o perfil tempo-temperatura (CAPPATO *et al.*, 2017).

A intensidade do campo elétrico (E) pode variar através da alteração da tensão aplicada ou da distância entre os eletrodos. No processo, a condutividade elétrica efetiva (σ) é função da temperatura, da frequência e da composição do produto, podendo ser aumentada mediante a adição de constituintes iônicos, tais como ácidos e sais, que facilitam a condução da corrente elétrica. Em contrapartida, os lipídios, produtos cristalizados, água destilada e gases atuam como excepcionais isolantes de corrente elétrica acarretando a redução da condutividade elétrica do material (SASTRY *et al.*, 2014; ZAREIFARD *et al.*, 2014).

A condutividade elétrica dos alimentos, principalmente os líquidos, aumenta com a temperatura, essa conduta é provocada pelo aumento da mobilidade dos íons em elevadas

temperaturas, provando que o aquecimento ôhmico é mais efetivo quando aplicado nessas condições. Para alimentos sólidos, em particular aqueles em que a estrutura celular está íntegra, a condutividade elétrica não aumenta de forma linear com a temperatura, ficando dependente também da força do campo elétrico. Esse processo ocorre porque a estrutura da célula pode ser rompida devido a eletropermeabilização quando exposta a uma diferença de potencial elétrico (SASTRY *et al.*, 2014).

A condutividade elétrica de cada alimento determina o aquecimento uniforme de todo o sistema. A diferença entre a condutividade elétrica e os componentes resulta em variação na taxa de aquecimento e não-uniformidade do processo (ZAREIFARD *et al.*, 2014).

Entre as aplicações de aquecimento ôhmico na indústria alimentícia estão o branqueamento (GOMES *et al.*, 2018), extração (GAVAHIAN *et al.*, 2018), pasteurização (CHO *et al.*, 2016), esterilização (PARK *et al.*, 2014), a cocção de alimentos (JITTANIT *et al.*, 2017) e secagem (MORENO *et al.*, 2016). Atualmente, os equipamentos de aquecimento ôhmico são operados visando o processamento térmico de vários alimentos, podendo ser utilizado num modo de fluxo contínuo para cocção e esterilização, sendo possível iniciar ou parar o processo quase que instantaneamente (PATARO *et al.*, 2014).

Vários trabalhos já foram desenvolvidos, contribuindo assim, para a validação deste método para aplicação em alimentos, entre eles, melhor inativação de *Listeria monocytogenes* após a pasteurização em embalagens de salsicha (INMANNEE *et al.*, 2019); redução significativa no número total de bactérias aeróbias mesófilas, bolores, leveduras e *Staphylococcus aureus* em almôndegas semicozidas (SEGUN *et al.*, 2014); eficácia no controle de patógenos veiculados por alimentos na indústria de suco (KIM *et al.*, 2018); resultados satisfatórios com relação a reologia, cor, microscopia óptica e ressonância magnética nuclear no processamento de bebida láctea de framboesa (FERREIRA *et al.*, 2019b); maior preservação de compostos fenólicos em farinhas de milho processadas (RAMÍREZ-JIMÉNEZ *et al.*, 2019).

O processamento através do ôhmico proporciona um aquecimento no alimento de forma uniforme. Outra vantagem deste tipo de processamento é que o alimento não entra em contato com superfícies quentes, além de ser um método de economia de energia e tempo de aquecimento reduzido (GAVAHIAN *et al.*, 2018).

3.OBJETIVOS

3.1 GERAL

O presente trabalho teve por objetivo desenvolver amostras de sobremesa láctea adicionada de mirtilo, através do processamento térmico por aquecimento ôhmico sob diferentes parâmetros, investigando seu efeito sobre as características físico-químicas, e avaliando, desta forma seus impactos sobre a funcionalidade do produto.

3.2 ESPECÍFICOS

- Elaborar formulações da sobremesa láctea utilizando cinco gradientes de campos elétricos: 1.82, 3.64, 5.45, 7.30 e 9.1V/cm a frequência de 60 Hz no aquecimento ôhmico, além de uma formulação produzida de forma convencional ($90 \pm 2^{\circ}\text{C}$ durante 3 minutos);
- Analisar as alterações dos compostos bioativos (compostos fenólicos; DPPH; atividade inibitória da enzima alfa-amilase, alfa-glicosidase, enzima conversora de angiotensina e quantificação das antocianinas);
- Determinar a composição centesimal das amostras produzidas;
- Identificar o perfil de compostos voláteis das amostras submetidas ao processamento térmico convencional e por aquecimento ôhmico;
- Realizar a análise colorimétrica das amostras;
- Realizar análise reológica das amostras produzidas sob os diferentes tratamentos.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O processamento e análises das sobremesas lácteas foram realizados no complexo de laboratórios de alimentos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ), nos laboratórios da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) e Universidade Federal Fluminense (UFF).

4.1 MATERIAL

Os critérios para aquisição do mirtilo *in natura* foram baseados na facilidade de aquisição, dando preferência à mesma variedade, e adquiridos do mesmo fornecedor, de modo que pudessem ser utilizados durante todo o período de desenvolvimento da pesquisa. Os demais ingredientes utilizados na elaboração da sobremesa láctea foram adquiridos em mercados varejistas do Estado do Rio de Janeiro.

Os ingredientes utilizados na elaboração da sobremesa láctea foram: leite pasteurizado integral (Clarice, Conceição de Macabu, Rio de Janeiro); creme de leite fresco, com 35% de gordura (Verde Campo, Lavras, Minas Gerais); leite em pó integral (Nestlé Ninho, Ituiutaba, Minas Gerais), mirtilo *in natura* (Beta, Lima, Peru), goma guar (Doremus Alimentos Ltda, Guarulhos, São Paulo), goma xantana (Leve Crock, Piraí do Sul, Paraná) e sacarose (União, Sertãozinho, São Paulo), na forma de açúcar refinado.

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Preparo do fruto batido

O mirtilo foi obtido *in natura*, em embalagens de 125 g, armazenado em temperatura de refrigeração, até o momento de sua utilização. A fruta foi higienizada em água corrente, para retirada das sujidades, e posteriormente imersa em solução sanitizante (Clorin, Sampaio, Rio de Janeiro) - diluição de uma pastilha de 100 mg para 02 litros de água filtrada - permanecendo na solução sanitizante por 15 minutos, não sendo necessário enxágue. Após a sanitização, a fruta foi imersa em solução de ácido cítrico 1%, como forma de reduzir a alteração da cor, permanecendo por 15 minutos. Posteriormente, foi triturada em liquidificador industrial até a sua completa dissolução e peneirada, obtendo o fruto batido, conforme observado na Figura 5.

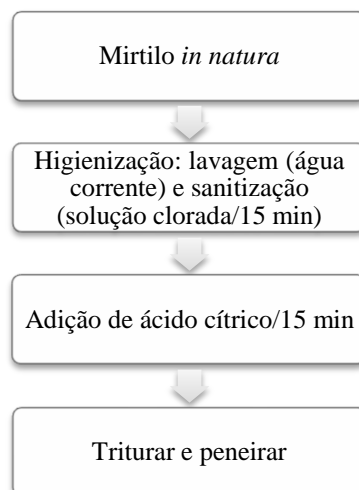


Figura 5. Etapas do preparo do fruto batido.

4.2.2 Formulação da sobremesa láctea

A formulação foi desenvolvida de acordo com o estudo de Morais *et al.* (2014), com modificações. No modo de preparo, os ingredientes foram todos misturados e levados ao tratamento térmico, a mudança na forma de preparo aconteceu para que toda a sobremesa láctea fosse preparada e submetida ao sistema de aquecimento ôhmico. Na pasteurização convencional também foi utilizado o mesmo modo de preparo. A concentração utilizada de goma guar e xantana na formulação da sobremesa láctea foi na proporção de 2:1. A Tabela 2 descreve a concentração de ingredientes que foram utilizadas na sobremesa láctea.

Tabela 2. Proporção de ingredientes da sobremesa láctea adicionada de mirtilo.

Ingredientes	Formulação (%)	Fornecedores
Leite pasteurizado integral	53,0	Clarice
Leite em pó integral	4,82	Nestlé
Creme de leite fresco	10,0	Verde Campo
Sacarose	7,0	União
Mirtilo in natura	25,0	Beta
Gomas	0,18	Doremus Alimentos Ltda e LeveCrock

4.2.3 Processamento da sobremesa láctea

4.2.3.1 Método convencional

Os ingredientes sólidos foram pesados e misturados, enquanto os ingredientes líquidos foram misturados e posteriormente adicionados aos sólidos e homogeneizados. O resultado desta adição foi transferido para uma panela sob agitação constante e aquecido até atingir a temperatura de $90 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 3 minutos (MORAIS *et al.*, 2014), esta temperatura e tempo

foram utilizados como forma de garantir a segurança do produto durante o processo de pasteurização. Após este período a temperatura foi reduzida para 40°C, sendo as amostras em seguida acondicionadas sob refrigeração (8 ± 2°C).

4.2.3.2 Método aquecimento ôhmico

O sistema de aquecimento ôhmico foi composto de uma fonte de tensão associada a uma aquisição de dados (volts) e um polímero revestido com um material isolante (isopor) com a função de proteção contra a perda de calor. Os eletrodos, com distância entre eles de 11 cm, foram feitos de material inerte (aço inoxidável) acoplado a um suporte de Teflon, juntamente com os termopares. A fonte de tensão (T), em Volts, e um medidor de corrente (A) foram preparados para a captura de dados, tanto na saída do transformador variável (VT) quanto no sistema todo (CAPPATO *et al.*, 2017). Um orifício com diâmetro de 1 cm foi criado na superfície da célula ôhmica para observar a formação de bolhas, a saída de vapor da célula, e para ser utilizado como suporte do termopar que foi inserido e montado no centro geométrico da amostra para que a temperatura fosse medida continuamente. Os dados foram obtidos usando um multímetro digital, e para melhor distribuição de calor foi utilizada uma barra magnética (peixinho) para promover a agitação na célula ôhmica (COSTA *et al.*, 2018).

As amostras foram submetidas ao aquecimento ôhmico em cinco gradientes de campos elétricos (1.82, 3.64, 5.45, 7.30 e 9.1V/cm) a 60 Hz até atingir a temperatura de 90°C e tempo de retenção de 3 minutos para efeitos de pasteurização. Após este período, a amostra foi imediatamente resfriada até atingir a temperatura de 40°C, sendo armazenadas posteriormente sob refrigeração. A Figura 6 demonstra as etapas do processamento da sobremesa láctea no tratamento convencional e no aquecimento ôhmico.

A determinação da condutividade elétrica foi caracterizada conforme Equação 1, onde σ é a condutividade elétrica (S/m); L é o espaço entre os eletrodos (m); A é a área da seção transversal da amostra (m²); I é a corrente através da amostra (A) e V a voltagem através da amostra (V).

$$\sigma = \frac{L}{A} \times \frac{I}{V} \quad (\text{Eq. 1})$$

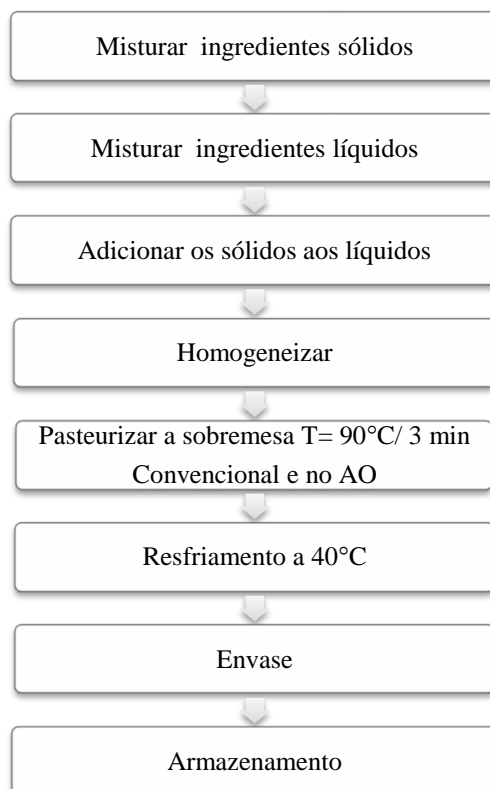


Figura 6. Etapas do processamento da sobremesa láctea pelo método convencional e aquecimento ôhmico.

4.3 COMPOSIÇÃO CENTESIMAL

As análises da composição centesimal de umidade, proteína, lipídio e carboidratos das sobremesas lácteas foram realizadas em triplicata, segundo metodologias oficiais e normas do Instituto Adolf Lutz (2008). O teor de carboidratos foi calculado por diferença. Segue abaixo descrito os métodos utilizados:

- Umidade: foram pesadas 2g da amostra e posteriormente colocada em uma estufa aquecida por uma hora a 105°C, para secagem; após este período a amostra foi resfriada em dessecador até a temperatura ambiente, retornando a estufa a 105°C por três horas. Após este período a amostra foi resfriada em dessecador até a temperatura ambiente por aproximadamente 15 min, as operações de aquecimento foram repetidas (durante 1 hora). A amostra foi resfriada até a massa constante e pesada para a determinação da umidade. A equação 2 mostra o cálculo da umidade em % m/m, onde m_{H_2O} é a massa de água da amostra (g) e $M_{amostra}$ é a massa inicial da amostra (g).

$$\text{Umidade} \left(\% \frac{m}{m} \right) = \frac{m_{H_2O} \times 100}{M_{amostra}} \quad (\text{Eq. 2})$$

- **Lipídios totais:** a determinação do teor de lipídios foi realizada por meio da metodologia de *Soxhlet*. Foram pesadas aproximadamente 5g das amostras e transferidas para o cartucho extrator. Os balões de fundo chato foram previamente secos em estufa a 105° C por uma hora e mantidos em dessecador. Foram adicionados 150 ml de solução de éter etílico ao extrator e conectado o balão ao extrator. Iniciou-se o aquecimento e procedeu-se a extração contínua por seis horas. O solvente foi completamente eliminado da amostra por destilação e a evaporação da umidade ocorreu em estufa a 105°C por cerca de uma hora. Procedeu-se o resfriamento em dessecador a temperatura ambiente e realização da pesagem. A equação 3 mostra o cálculo do % de lipídios na amostra, onde A é a massa do balão, B é a massa do balão mais os lipídios e M a massa da amostra.

$$\% \text{ de lipídios} = \frac{(B-A) \times 100}{M} \quad (\text{Eq.3})$$

- **Proteínas:** a determinação da proteína bruta foi realizada pelo método de *Kjeldahl*, usando o fator de conversão de 6,38, para produtos lácteos (AOAC INTERNATIONAL, 2003). Foram pesadas aproximadamente 0,5g da amostra e homogeneizada em papel celofane, transferido para o balão *Kjeldahl* e acrescentado uma mistura catalítica de 1g e 20 ml de ácido sulfúrico concentrado. A solução foi aquecida em manta elétrica até que o líquido tornasse límpido, e deixado por mais 30 minutos para conclusão da digestão, após este período foi acrescentado 30 ml de água destilada e procedido a destilação e posteriormente realizada a quantificação por titulação com ácido sulfúrico a 0,1 N. A equação 4 mostra o cálculo do % de proteína na amostra, onde %N é o percentual de nitrogênio da amostra e F é o fator de conversão.

$$\% \text{ Proteína} = \% \text{ N} \times F \quad (\text{Eq.4})$$

- **Carboidratos totais:** calculado por diferença para se obter 100% da composição total (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2003).

4.4 COMPOSTOS BIOATIVOS

4.4.1 Extração

Os extratos para análise de atividade antioxidante, compostos fenólicos, atividade inibitória da alfa-amilase, alfa-glicosidase e da ECA foram obtidos em triplicata, como descrito por RUFINO *et al.* (2010), com algumas modificações. Aproximadamente 2 g das amostras foram pesadas em béqueres (50 ml), adicionando-se 40 ml de uma mistura de água e

etanol (numa proporção em volume 50:50, respectivamente) e agitada a 200 rpm numa mesa orbital (SL180/D, Solab, Piracicaba, SP, Brasil) durante 1 hora a temperatura ambiente (25 °C). Após este período o extrato foi filtrado em filtro de papel, avolumado a 50 ml, com a mesma mistura e acondicionado sob refrigeração para posteriores análises.

4.4.2 Determinação da atividade antioxidante pelo método DPPH.

A capacidade antioxidante foi determinada *in vitro* utilizando os ensaios DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo), segundo Brand-Williams *et al.* (1995).

Para a determinação da atividade antioxidante pelo método DPPH foram utilizados 2800 µL de uma solução metanólica do radical DPPH (0,06 mM, cuja absorbância é próxima a 680 a 510 nm) sendo adicionado a 150 µL de cada extrato. Em seguida, essa solução foi homogeneizada em um tubo vedado e mantido em repouso ao abrigo da luz, em temperatura ambiente por 60 minutos. Os resultados foram expressos em percentual de sequestro de radical livre.

4.4.3 Determinação de compostos fenólicos totais

A determinação de compostos fenólicos totais (CFT) foi realizada de acordo Swain e Hillis (1959) com modificações. Adicionou-se 1ml da solução de Folin-Ciocalteu diluída em água destilada (1:10) a 1 ml do extrato e agitou-se vigorosamente por 1 minuto. Em seguida, deixou-se em repouso por 3 minutos para reagir, e 1,5ml de uma solução de Na₂CO₃ (10% p/p) foi adicionado, agitando-se novamente. Por fim, manteve-se o sistema ao abrigo da luz por 2 horas, fazendo-se a leitura no espectrofotômetro a 725 nm. Os resultados foram expressos em µg Ac gálico/ml. Esses dados permitiram expressar a quantidade de compostos com capacidade antioxidante por grama de amostra inicial.

4.4.4 - Atividade inibitória de enzimas do metabolismo dos carboidratos

Como forma de avaliar se os compostos bioativos, provenientes do leite e do mirtilo, foram capazes de inibir enzimas correlacionadas ao metabolismo dos carboidratos, realizou-se a avaliação da atividade inibitória da alfa-glicosidase e da alfa-amilase segundo Adisakwattana *et al.* (2010) e Lavelli *et al.* (2016).

4.4.4.1 Atividade inibitória da alfa-glicosidase: preparo dos reagentes (enzima e substrato) e determinação da atividade inibitória da enzima.

Para preparo dos reagentes foram pesados 2 mg da enzima (alfa-glicosidase) e avolumado para balão de 50 ml e 2 mg de 2-4 nitrophenyl alfa-D glucopyranoside (PNPG) e

avolumado para balão de 50 ml, após este preparo a enzima e o substrato foram deixados em repouso por 05 minutos antes da utilização.

Durante o ensaio foram preparados três tubos, um da amostra, um tubo controle e terceiro com o branco. A enzima (100 uL) foi adicionada nos tubos da amostra e no controle enquanto o extrato (50 uL) foi adicionado nos tubos da amostra e no branco. Após a adição, as soluções foram deixadas em repouso por cinco minutos, e em seguida adicionadas aos tubos a solução tampão de fosfato de pH 6,8 -7,0, assim como o substrato em todos os tubos, sendo homogeneizados por 30 segundos no vórtex, e em seguida deixados em repouso por 30 minutos em banho a 37°C. Após este tempo a reação foi paralisada com a adição da glicina (1000 uL) e a atividade da alfa-glicosidase foi determinada medindo a absorbância a 540 nm. Todos os resultados foram obtidos em triplicata e expressos como média e desvio padrão. A taxa de inibição da enzima foi calculada utilizando a Equação 5.

$$\text{Inibição (\%)} = 1 - \frac{A_{\text{bsamostra}} - A_{\text{bsbranco}}}{A_{\text{bscontrole}}} \times 100 \quad (\text{Eq.5})$$

4.4.4.2 Atividade inibitória da alfa-amilase: preparo dos reagentes (enzima e substrato) e determinação da atividade inibitória da enzima.

Para preparo dos reagentes foram pesados 100 mg da enzima (alfa-amilase) e avolumado para balão de 100 ml com solução tampão de fosfato de potássio de pH 6,8, o mesmo procedimento foi utilizado com 1g de amido, na mesma solução tampão, após este preparo a enzima e o substrato foram deixados em repouso por 05 minutos antes da utilização.

Durante o ensaio foram preparados dois tubos, um da amostra e outro controle. A enzima (100µL) foi adicionada nos dois tubos, enquanto o extrato (100µL) foi adicionado somente nos tubos da amostra. Após a adição, as soluções foram homogeneizadas por 30 segundos no vórtex e adicionadas à solução de amido (250µL) em cada tubo. As soluções foram colocadas em banho-maria por cinco minutos a 37°C e adicionadas de 250µL de 3,5 dinitrossalicílico (DNS), retornando ao banho-maria a 100°C por 15 minutos. Após este período, os tubos foram levados ao banho de gelo por 2 minutos e adicionado 2ml de água destilada. A atividade da alfa-amilase foi determinada medindo a absorbância a 540 nm.

Todos os resultados foram obtidos em triplicata e expressos como média e desvio padrão. A taxa de inibição da enzima foi calculada utilizando a Equação 6, enquanto a acarbose, fármaco utilizado como hipoglicemiante, foi usada como controle positivo.

$$\text{Inibição (\%)} = \left(\frac{A_{\text{amostra}} - A_{\text{bscontrola}}}{A_{\text{bscontrola}}} \right) \times 100 \quad (\text{Eq.6})$$

4.4.5 Atividade inibitória da enzima conversora da angiotensina (ECA)

A inibição da enzima conversora de angiotensina (ECA) foi determinada conforme Cushman e Cheug (1971), com modificações.

Para preparo dos reagentes e substratos foram utilizados 200µL de Hip-His-Leu (5nmolL⁻¹ em tampão de borato 0,1molL⁻¹) adicionado a 60µL de tampão borato (pH 8,3). Posteriormente, 30 µL do filtrado foi incubado a 37°C por 30 minutos. Após este tempo, 20 µL da ECA (0,1 unidade mL⁻¹) foram adicionados à mistura e os frascos colocados a 37°C por 30 minutos, após este período 200 µL de HCL a 1molL⁻¹ foram adicionados a solução, como forma de inativar a enzima. O ácido hipúrico foi recolhido utilizando 1,7 mL de acetato de etila para a diluição. Os frascos foram colocados para secar e suspensos em água deionizada para posterior medição da absorbância a 228nm.

A porcentagem de inibição da ECA foi determinada utilizando a Equação 7, onde: A corresponde a absorbância com a enzima e nenhuma amostra, B sem a enzima e a amostra, C tanto com a enzima quanto com a amostra e D representa a absorbância sem a enzima, mas com a amostra.

$$\text{Inibição da ECA (\%)} = \left[1 - \frac{C-D}{A-B} \right] \times 100 \quad (\text{Eq. 7})$$

4.4.6 Análise das antocianinas monoméricas

O conteúdo de antocianinas monoméricas foi determinado pelo método do pH diferencial descrito por Giusti e Wrolstad (2001).

No preparo das soluções reagentes, o tampão de cloreto de potássio (KCl) de 0,025 M e pH 1,0 foi preparado pesando 1,86 g de KCl e diluindo em 980 ml de água destilada. Foi verificado o pH e ajustado com solução de ácido clorídrico (HCl) concentrado até a solução atingir o pH 1,0, depois foi transferido para um frasco de 500 ml e completado o volume com água destilada.

O tampão de acetato de sódio (C₂H₃NaO₂) de 0,4M e pH 4,5 foi preparado pesando 54,43 g de C₂H₃NaO₂ e diluindo em 960 ml de água destilada. Foi verificado o pH e ajustado com solução de ácido clorídrico (HCl) concentrado até a solução atingir o pH 4,5, depois foi transferido para um frasco de 500 ml e completado o volume com água destilada.

Para a análise das antocianinas monoméricas por método pH diferencial foi pesado 1g de cada amostra e completado com 10 ml de etanol acidificado (0,01% de HCl). As amostras

foram agitadas na incubadora skaker por uma hora e foram centrifugadas em 3500 rpm por 15 minutos. Após este procedimento, foram preparados duas diluições iguais, uma com o pH 1,0 e outra com o pH 4,5, nesse processo foram utilizados 1ml da amostra para cada 4ml das respectivas soluções tampões e deixado estabilizar por 15 minutos. O espectrofotômetro foi zerado com água destilada e medido a absorvância de cada solução nos dois comprimentos de onda (520nm e 700nm). A absorvância resultante (A) foi determinada pela Equação 8, a partir das leituras obtidas.

$$A = (A_{520} - A_{700})_{\text{pH } 1,0} - (A_{520} - A_{700})_{\text{pH } 4,5} \quad (\text{Eq.8})$$

O cálculo da concentração das antocianinas foi realizado de acordo com a equação 8, para tal foram utilizados os valores de peso molecular ($449,2\text{g mol}^{-1}$) e coeficiente de extração molar ($26,9\text{L mol}^{-1}\text{cm}^{-1}$) da cianidina-3-glucosídeo, por ser a antocianina de ocorrência mais comum na natureza. Na Equação 9, o A corresponde a absorvância, o MM é massa molar do padrão em g/mol; ϵ é o coeficiente de extração molar da antocianina predominante, FD é o fator de diluição da amostra e b é o comprimento da cubeta na direção de passagem de luz (cm).

$$\text{Antocianinas (mg/L)} = \frac{(A \times \text{FD} \times \text{MM} \times 1000)}{(\epsilon \times b)} \quad (\text{Eq.9})$$

4.5 COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS

Os compostos voláteis foram extraídos por microextração em fase sólida seguida de cromatografia gasosa acoplada à espectrofotometria de massa (MEFS-CG-EM) conforme descrito na metodologia proposta por Costa *et al* (2018). A MEFS foi processada com o injetor automático CTC PAL Sampler, um amostrador automático tipo XYZ com compartimento para promover o controle da temperatura e da agitação para ativação da fibra e extração no *headspace*.

Aproximadamente 3g da amostra foram transferidos para os frascos de 20ml de *headspace*, e posteriormente adicionados a 3ml da solução saturada de NaCl. Os frascos foram tampados com septo de PTFE/silicone e tampa de rosca de alumínio. As extrações foram realizadas utilizando fibra com 50/30 μm de espessura com Divinilbenzeno/ Carboxen/ Polidimetilsiloxano (DVB/CAR/PDMS) (SUPELCO, BELLEFONTE, PA, EUA). Após o tempo de equilíbrio de 20 minutos a $40 \pm 1,0^\circ\text{C}$ com agitação de 750 rpm, o septo que recobre o frasco de *headspace* foi perfurado com a fibra retraída na agulha e então a fibra foi exposta

à amostra por 30 minutos, extraindo os voláteis do *headspace* por 30 minutos, nas mesmas condições.

A análise de identificação dos compostos orgânicos voláteis foi realizada a partir do CG-EM (Agilent Technologies, 7890A-5975C), como amostrador do tipo CTC PAL (Amostrador CTC PAL Sampler 120, Agilent Technologies) e com *liner* apropriado para análises de MEFS. Foram adotadas as seguintes condições cromatográficas: injeção por fibra, sem razão da divisão de fluxo da fase móvel no injetor (*splitless*); temperatura do injetor de 240°C; fluxo da fase móvel de 2 ml min⁻¹; velocidade linear da fase móvel 36,35cm seg⁻¹; programação do forno cromatográfico de 45 °C por 5 minutos, com rampa de temperatura de 10°C min⁻¹ até 80°C, seguido de nova rampa a 5°C min⁻¹ até 240°C, segurando por 15 minutos; coluna tipo CP-Wax 52 CB 60m x 0,25mm x 0,25 e detector EM (espectrômetro de massas) com intervalo de massa 40-400 m/z. A composição das amostras foi determinada a partir dos espectros de massas das amostras com auxílio do software *Agilent Mass Hunter Qualitative Analysis* utilizando como referência a biblioteca de espectros NIST 11.

Os componentes foram identificados de acordo com índice de retenção linear de cada substância, calculado a partir de um padrão de calibração de alcanos de 8 a 40 carbonos (padrão Sigma, 40147-U) por meio da equação de *Van der Dool and Kratz*.

4.6 PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS

Uma importante limitação do tratamento térmico nos produtos lácteos é o aumento no conteúdo de ácidos graxos, o que pode prejudicar a qualidade do sabor e o prazo de validade dos produtos. Os ácidos graxos são classificados em relação ao comprimento da cadeia: em ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), ácidos graxos de cadeia média (AGCM) e ácidos graxos de cadeia longa (AGCL). Em relação ao grau de ligações entre os átomos de carbonos eles podem ser classificados como ácidos graxos saturados (AGS), ácidos graxos monoinsaturados (MUFA) e ácidos graxos poliinsaturados (PUFA) (PEREIRA *et al.* 2008)

No presente estudo a identificação e quantificação dos ácidos graxos foi realizada de acordo com Batista *et al.* (2017) usando GC-MS (Agilent Technologies, 7890A-5975 C, Santa Clara, Califórnia, EUA) acoplado a um amostrador CTC PAL (SPME 120, Agilent Technologies). A temperatura da coluna (DB-FFAP CG 15 mx 0,10 mm, 0,10 µm) foi programada para 70 °C por 1 min, seguida por uma rampa de temperatura variando de 45°C/min a 115 °C, posteriormente uma nova rampa de 40°C min⁻¹ a 175 °C, e finalmente uma rampa de temperatura foi ajustada para 30°C min⁻¹ a 240°C mantendo-a por 4 min. Para fins de identificação, o detector MS foi ajustado para cobrir a faixa de massa entre 40 e 400

m/z. A identificação dos ácidos graxos foi realizada comparando os tempos de retenção dos picos cromatográficos com os padrões de referência (Sigma FAME 37 18919-1AMP) e os espectros de massa foram comparados com a biblioteca de espectros do NIST 11. A quantificação foi realizada de acordo com a norma ISO 5508: 1990, utilizando uma massa *Agilent Software Quantitative Analysis da Hunter*. Índices aterogênicos (IA) e trombogênicos (IT) foram calculados, conforme Equação 10 e 11, de acordo com Batista *et al.* 2017.

$$AI = (C12:0 + 4 \times C14:0 + C16:0) / [\Sigma MUFA + \Sigma PUFA(n-6) + (n-3)] \quad (\text{Eq. 10})$$

$$TI = (C14:0 + C16:0 + C18:0) / [0.5 \times \Sigma MUFA + 0.5 \times \Sigma PUFA(n-6) + 3 \times \Sigma PUFA(n-3) + (n-3)/(n-6)] \quad (\text{Eq. 11})$$

4.7 ANÁLISE COLORIMÉTRICA

Os parâmetros colorimétricos das amostras foram determinados no sistema CIELAB, de acordo com Alves *et al.* (2008) utilizando colorímetro portátil Konica Minolta (CR/400/410 - Sensing, INC- Japão), o qual foi calibrado com placa de porcelana branca. As amostras foram colocadas em placa de Petri, em quantidade suficiente para cobrir a base da placa, sendo realizada a leitura direta do sistema de cores, expressa em termos de classificação em: tonalidade (intervalo de longitude da onda em que se descreve a cor), brilho (luminosidade) e saturação (grau de pureza). Na medição da cor foram utilizadas três coordenadas retangulares:

- L^* = a variação da luminosidade entre o preto (0) e o branco (100) correspondendo ao claro e ao escuro.
- a^* = coordenadas da cromaticidade, que define a cor vermelha para valores positivos e a cor verde para valores negativos.
- b^* = coordenadas da cromaticidade, que define a cor amarela para valores positivos e a cor azul para valores negativos.

Além das coordenadas de cores retangulares, também foram realizadas leituras dos parâmetros de cores com coordenadas cilíndricas, onde:

- C^* = corresponde à pureza (quanto mais forte e brilhante é a cor, mais afastado se encontra da origem das coordenadas (Chroma), sendo C^* calculado conforme Equação 12.

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad (\text{Eq. 12})$$

- h° = corresponde à tonalidade (Hue). A diferença de cor total foi calculada pela Equação 13.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad (\text{Eq.13})$$

4.8 PROPRIEDADES REOLÓGICAS

As amostras de sobremesa láctea adicionadas de mirtilo foram analisadas em reômetro de tensão controlada Paar PHysica MCR 302 (Anton Paar Gmb H, Graz, Áustria), em triplicata, com auxílio da geometria de cone-placa (4 cm, 2°) e gap de 1mm (COSTA *et al.*, 2019). Foram realizados ensaios de fluxo, com taxas de deformação de 0 a 300s^{-1} , com rampa de subida.

As medidas reológicas das formulações foram determinadas através de ensaios de escoamento em estado estacionário (curvas de fluxo) e dinâmico (ensaios oscilatórios). As amostras foram colocadas no prato e deixadas para descansar a $10 \pm 0,1^\circ\text{C}$ durante 10 minutos para recuperação da estrutura. A temperatura dos ensaios foi mantida com auxílio de sistema de controle de temperatura PHysica TEK 150P.

4.8.1 Curvas de fluxo

Para o comportamento reológico estacionário foram determinadas as curvas de fluxo das amostras realizando uma varredura de tensão de cisalhamento com taxa de deformação crescente (0 a 300 s^{-1}). Os dados da primeira curva foram ajustados ao modelo da lei da potência, Equação 14, através de análise de regressão não-linear usando software STATISTICA 5.0 (Statsoft, Tulsa, OK, EUA), onde σ é a tensão de cisalhamento (Pa), k é o índice de consistência ($\text{Pa} \cdot \text{s}^n$), γ é a taxa de cisalhamento (s^{-1}), e n é o índice de comportamento (adimensional).

$$\sigma = k \gamma^n \quad (\text{Eq. 14})$$

4.8.2. Ensaios oscilatórios

Pelo comportamento reológico dinâmico, as propriedades viscoelásticas foram determinadas por ensaios oscilatórios, de baixa amplitude nos quais foram mensurados os módulos elástico (G'), viscoso (G'') e a viscosidade complexa (η^*), na frequência entre 0,1 e 10 Hz, com um valor de tensão constante igual a 0,3 Pa, dentro do intervalo de viscoelasticidade linear, a qual foi determinada através de ensaios preliminares de varrimento de amplitude de deformação (0,01 - 10%), com uma frequência fixa de 1 Hz. A tangente do

ângulo de fase representa a razão entre as propriedades viscosas e elásticas das amostras e foi determinada de acordo com a Equação 15.

$$\text{Tan } \delta = \frac{G''}{G'} \quad (\text{Eq.15})$$

O módulo elástico (G') e viscoso (G'') foram utilizados para o cálculo do módulo complexo (G^*) de acordo com a Equação 16.

$$G^* = \sqrt{G' + G''} \quad (\text{Eq.16})$$

O modelo do gel crítico de Winter e Chambon (1986) foi utilizado para a avaliação das mudanças nas propriedades viscoelásticas das amostras em função da frequência, equação 14, onde AF ($\text{Pa.s}^{\frac{1}{z}}$) representa a força do gel, ω a frequência em Hz e z (adimensional) corresponde ao fator de interação, o qual é definido como o número de unidades estruturais interagindo entre si em uma rede tridimensional (MACKU *et al.*, 2009). Os dados foram ajustados através de análise de regressão não-linear usando *software* STATISTICA 5.0 (Statsoft, Tulsa, OK, EUA).

$$G^* = AF\omega^{\frac{1}{z}} \quad (\text{Eq.17})$$

4.9 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todos os dados obtidos foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) e teste de Médias de Tukey ($p < 0,05$) utilizando o *software* XLSTAT versão 2018.1.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 AQUECIMENTO ÔHMICO

5.1.1 Perfil térmico das amostras de sobremesa láctea

O principal fator a ser controlado em qualquer processo de aquecimento de produtos, é o perfil tempo x temperatura. No aquecimento ôhmico esses fatores estão relacionados à intensidade do campo elétrico e à condutividade elétrica do produto, que depende da temperatura, sendo o fator que mais influencia a mobilidade dos íons no produto (CAPPATO *et al.*, 2017).

A Figura 7 mostra os perfis de tempo e temperatura durante o tratamento térmico das amostras de sobremesa láctea através da pasteurização e aquecimento ôhmico. Os resultados obtidos nas diferentes amostras mostram que quando aplicado alta intensidade de campo elétrico (9.1 V/cm), o aquecimento foi mais rápido, levando 5 min e 15 s para atingir a temperatura de 90°C, enquanto o aquecimento convencional levou 9 min e 12 s, e sob o menor gradiente de campo elétrico (1.82 V/cm) este período foi de 94 min e 17 s. Estes resultados demonstram que o tempo de tratamento foi diretamente afetado pela intensidade do campo elétrico aplicada durante o aquecimento ôhmico.

Resultados semelhantes foram encontrados no estudo de Costa *et al.* (2018), onde foi avaliado a intensidade dos campos elétricos no processamento de pasteurização do soro de leite submetido ao aquecimento ôhmico em cinco gradientes de campos elétricos diferentes, constatando que quando utilizadas baixos gradientes as amostras levaram um tempo maior para atingir a temperatura desejada. Segundo Darvishi *et al.* (2013), o resultado da aplicação do aquecimento ôhmico na pasteurização de amostras de suco de romã demonstrou similarmente uma correlação inversa entre a intensidade do campo elétrico e o tempo de processamento. Esses resultados se mostram relevantes para estudos a nível industrial, uma vez que o aquecimento ôhmico pode economizar tempo e energia durante o processo, além de evitar maiores perdas nutricionais durante o processamento do alimento.

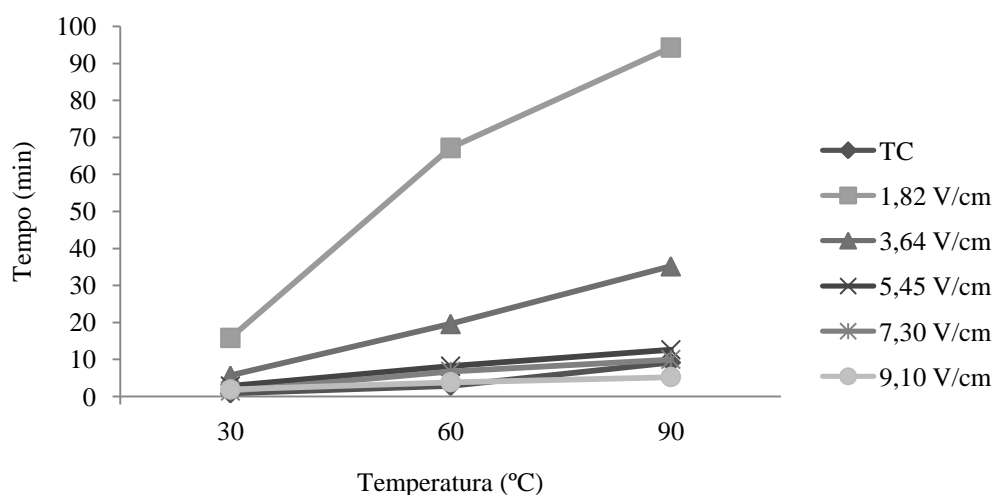


Figura 7. Perfil térmico das amostras submetidas ao aquecimento ôhmico e ao tratamento convencional (TC).

5.1.2 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica depende da temperatura, rapidamente modificada durante o processo de aquecimento ôhmico, por isso a importância de se ajustar a potência aplicada durante o aquecimento e monitorar a temperatura, através de termopares ajustados (SAKR; LIU, 2014). No presente estudo, a determinação da condutividade elétrica foi caracterizada como descrito no subitem 4.2.3.2. A Figura 8 apresenta as mudanças da condutividade elétrica da sobremesa láctea em relação à temperatura nos diferentes gradientes de tensões durante o aquecimento ôhmico.

Consonante aos resultados apresentados em estudos anteriores (ICIER *et al.*, 2008, DARVISHI *et al.*, 2011), a condutividade elétrica aumentou com a temperatura devido à redução no deslocamento do movimento de íons, conforme evidenciado por Icier e Ilicali (2005). No presente estudo, o maior valor encontrado para a condutividade elétrica nas amostras de sobremesa láctea adicionada de mirtilo foi de 0,49 S/m quando atingiu a temperatura de 90°C na menor intensidade de campo elétrico aplicada (1.82 V/cm).

Segundo Mercali *et al.* (2014), condutividades elétricas entre 0,01 e 10 S/m a 25°C são consideradas adequadas no aquecimento ôhmico. Zhang (2009) pesquisou valores de condutividade elétrica para produtos lácteos em diferentes temperaturas e observou que a faixa adequada para o processamento destes produtos através do aquecimento ôhmico, variou entre 0,328 S/m a 4°C a 1,089 S/m a 60°C. No presente estudo todos os tratamentos apresentaram valores de condutividade elétrica dentro dos parâmetros adequados ao

aquecimento ôhmico para produtos lácteos. Entretanto, ressalta-se que ainda são poucos os estudos relacionando o efeito do aquecimento ôhmico em produtos lácteos e os fatores que influenciam na condutividade elétrica destes produtos.

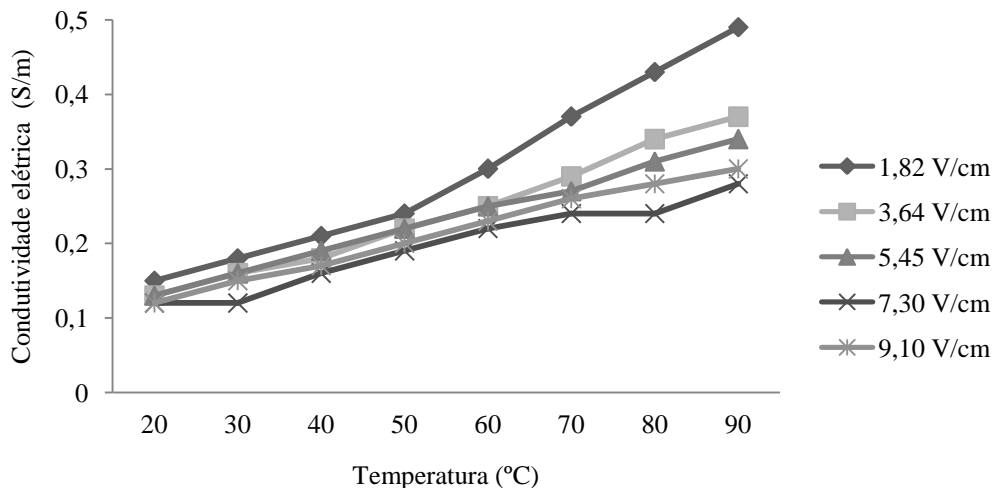


Figura 8. Mudança da condutividade elétrica com relação à temperatura no aquecimento ôhmico.

5.2 COMPOSIÇÃO CENTESIMAL

Na Tabela 3 é apresentado o percentual da composição centesimal e o valor calórico das sobremesas lácteas adicionada de mirtilo submetida ao aquecimento ôhmico e pasteurização convencional. Com relação ao teor de umidade, em todos os tratamentos, observou-se uma variação de 63,07% (1.82 V/cm) a 64,43% (5.45 V/cm), resultados estes semelhantes aos encontrados por Henrique *et al.* (2012), cujo estudo obteve teores entre 65,28 a 70,25% de umidade em sobremesas lácteas com soro de leite e maracujá.

Os teores de lipídios das formulações da sobremesa láctea adicionada de mirtilo não apresentaram diferença estatística significativa ($p > 0,05$) Embora os percentuais de carboidratos e proteínas tenham apresentado diferenças significativas ($p < 0,05$), os valores foram muito próximos, demonstrando não haver diferenças em termos nutricionais entre os tratamentos.

Tabela 3. Percentual da composição centesimal e valor calórico das sobremesas lácteas submetidas ao aquecimento ôhmico e ao tratamento convencional.

Tratamentos	Umidade (%)	Proteínas (%)	Lipídios (%)	Carboidratos (%)
Convencional	64,23 ± 0,15 ^a	4,92 ± 0,01 ^b	5,20 ± 0,02 ^a	25,68 ± 0,17 ^b
1.82 V/cm	63,07 ± 0,15 ^b	4,93 ± 0,01 ^b	5,14 ± 0,02 ^a	26,86 ± 0,15 ^a
3.64 V/cm	63,30 ± 0,20 ^b	4,94 ± 0,01 ^{ab}	5,14 ± 0,04 ^a	26,62 ± 0,19 ^a
5.45 V/cm	64,43 ± 0,21 ^a	4,97 ± 0,01 ^a	5,18 ± 0,01 ^a	25,42 ± 0,22 ^b
7.30 V/cm	64,27 ± 0,21 ^a	4,92 ± 0,02 ^b	5,14 ± 0,01 ^a	25,67 ± 0,18 ^b
9.1 V/cm	64,30 ± 0,06 ^a	4,94 ± 0,02 ^{ab}	5,14 ± 0,02 ^a	25,66 ± 0,04 ^b

* Os dados são expressos como média ± desvio padrão de 3 análises. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entre as amostras (p < 0,05) de sobremesa láctea, de acordo com o teste de Tukey.

5.3 COMPOSTOS BIOATIVOS

5.3.1 Compostos fenólicos totais (CFT), atividade antioxidante (DPPH) e quantificação de antocianinas monoméricas.

A Tabela 4 apresenta os resultados dos compostos fenólicos totais, atividade antioxidante (DPPH) e quantificação das antocianinas das amostras de sobremesa láctea submetidas ao tratamento térmico convencional e ao aquecimento ôhmico.

Em relação aos compostos fenólicos totais, a amostra submetida ao tratamento ôhmico a 7.30 V/cm (23,26 µg Ác gálico/ml) foi significativamente diferente (p < 0,05) das demais amostras, seguida pelo tratamento submetido a 5.45 V/cm (31,77 µg Ác gálico/ml). A amostra tratada a 1.82 V/cm (40,57 µg Ác gálico/ml) apresentou resultado superior (p < 0,05) a pasteurização convencional (35,09 µg Ác gálico/ml).

No estudo de Cappato *et al.* (2018), de forma similar, observou-se que o aquecimento ôhmico na frequência de 60Hz também apresentou maior preservação dos compostos fenólicos quando aplicado baixos gradientes de campo elétrico. Ferreira *et al.* (2019b) encontraram uma maior preservação dos compostos fenólicos, durante o processamento de bebida láctea de framboesa através do aquecimento ôhmico na frequência de 60HZ, em intensidades de campo elétrico baixos.

Os valores relacionados à atividade antioxidante pelo método de captura do radical livre (DPPH) mostraram que a sobremesa láctea submetida ao campo elétrico de 1.82 V/cm apresentou melhor resultado entre o tratamento ôhmico, e não foi observada diferença estatística (p > 0,05) quando comparado a pasteurização convencional. O aumento do campo

elétrico aplicado resultou na maior redução da capacidade antioxidante em relação ao tratamento convencional, exceto pelo aquecimento ôhmico em 9.1 V/cm, onde não foi observada diferença significativa quando comparado ao convencional ($p > 0,05$), semelhantemente ao encontrado por Costa *et al.* (2018) no processamento de soro de queijo através do AO.

Os resultados da quantificação das antocianinas demonstraram que a amostra que apresentou o maior valor de média foi à amostra convencional, diferindo estatisticamente ($p < 0,05$) das demais. Entre os tratamentos submetidos ao aquecimento ôhmico, houve uma degradação crescente e significativa entre os tratamentos, sendo a amostra submetida à tensão de 1.82 V/cm a amostra com maior preservação do teor das antocianinas.

Segundo Ferreira *et al.* (2019b), o teor de antocianinas em bebida láctea de framboesa, tratadas através do aquecimento ôhmico, também apresentou valores mais baixos em comparação à amostra convencional. Segundo Sarkis *et al.* (2013), no estudo da degradação de antocianina na polpa de mirtilo, quando aplicado baixos campos elétricos, a degradação foi semelhante ou até menor do que a obtida com o aquecimento convencional. Quando aplicadas maiores intensidades de campo elétrico, o nível de degradação é maior, possivelmente devido ao aumento das reações eletrolíticas que podem acelerar a oxidação das antocianinas.

Tabela 4. Teor de compostos fenólicos totais (CFT), percentual de sequestro do radical livre (DPPH) e quantificação antocianinas monoméricas presente na sobremesa láctea submetida aos tratamentos.

Tratamentos	CFT	DPPH	Antocianinas monoméricas
	$\mu\text{g Ác gálico/ml}$	% de sequestro de radical livre	mg/g
Convencional	$35,09 \pm 0,69^{bc}$	$45,99 \pm 0,70^a$	$23,28 \pm 2,02^a$
1.82 V/cm	$40,57 \pm 0,41^a$	$43,03 \pm 2,07^{ab}$	$18,38 \pm 1,24^b$
3.64 V/cm	$32,92 \pm 1,09^{cd}$	$19,10 \pm 6,86^d$	$13,17 \pm 1,43^d$
5.45 V/cm	$31,77 \pm 0,90^d$	$37,03 \pm 0,44^b$	$15,82 \pm 1,69^c$
7.30 V/cm	$23,26 \pm 1,00^e$	$28,77 \pm 2,55^c$	$8,55 \pm 0,80^e$
9.1 V/cm	$33,97 \pm 1,82^{cd}$	$41,67 \pm 3,33^{ab}$	$11,25 \pm 0,50^d$

* Os dados são expressos como média \pm desvio padrão de 3 análises. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entre as amostras ($p < 0,05$) de sobremesa láctea, de acordo com o teste de Tukey.

5.3.2 Inibição enzimática da alfa-glicosidase, alfa-amilase e enzima conversora de angiotensina (ECA)

A Tabela 5 mostra o percentual de inibição das enzimas nos tratamentos térmicos. O processamento pelo aquecimento ôhmico, em todos os campos elétricos aplicados contribuíram para um aumento da inibição enzimática da alfa-glicosidase, atingindo 90,12% de inibição a 1.82 V/cm, quando comparado ao tratamento convencional, que atingiu 54,69%.

O processamento através do aquecimento ôhmico também favoreceu a inibição da alfa-amilase, onde no campo elétrico de 1.82 V/cm a inibição foi de aproximadamente 61,93% enquanto sob a pasteurização convencional atingiu a inibição de 57,92% ($p < 0,05$).

No estudo de Apostolidis *et al.* (2006), avaliou-se a atividade inibitória da alfa-glicosidase e da alfa-amilase em iogurtes enriquecidos com frutas e se encontrou alta relação entre a inibição das enzimas e a presença de compostos fenólicos totais. No caso da alfa-glicosidase e da alfa-amilase, os iogurtes mais funcionalmente eficazes foram os enriquecidos com mirtilos, onde apresentaram também o maior teor de compostos fenólicos totais. Em outro estudo, Spínola *et al.* (2018) avaliaram a atividade inibitória das enzimas com relação a duas espécies da fruta mirtilo *in natura*, e observou-se que as atividades inibitórias foram altas para a alfa-glicosidase, mas os extratos mostraram inibição moderada de alfa-amilase, mesmo com a presença elevada de compostos fenólicos totais.

O resultado do presente trabalho mostrou uma melhor inibição das enzimas quando a sobremesa láctea foi processada pelo aquecimento ôhmico. A maior inibição dessas enzimas ocorreu no campo elétrico de 1.82 V/cm, onde preservou a maior quantidade de compostos fenólicos e também maior inibição da alfa-glicosidase em relação à alfa-amilase. Segundo Cheplick *et al.* (2010), a atividade moderada da alfa-amilase e a potente inibição da alfa-glicosidase tem sido considerada a melhor associação antienzimática, uma vez que elas podem evitar o desconforto abdominal, provocado por hidratos de carbono não digeríveis.

Com relação ao percentual de inibição da Enzima Conversora de Angiotensina (ECA), baixos campos elétricos utilizados no aquecimento ôhmico apresentaram maior inibição da ECA. O melhor resultado de inibição foi apresentada sob o campo elétrico de 1.82 V/cm (70,63%), enquanto o tratamento convencional foi o que apresentou o menor valor em relação a inibição da ECA (28,33%). De acordo com Costa *et al.* (2018), a maior inibição da ECA foi observada em amostras soro de queijo submetidas o aquecimento ôhmico em baixos campos elétricos (93,19% a 2 V/cm e 97,31% a 4 V/cm) em relação ao tratamento térmico convencional (33,7%).

No presente estudo duas importantes matérias-primas com compostos inibidores da ECA foram utilizados no desenvolvimento da sobremesa láctea, o leite e a fruta (mirtilo), desta forma, estudos alternativos de tratamento térmicos, como o aquecimento ôhmico, são relevantes na fabricação de produtos lácteos funcionais anti-hipertensivos.

Tabela 5. Percentual de inibição das enzimas, alfa-amilase, alfa-glicosidase e enzima conversora da angiotensina (ECA) na sobremesa láctea.

Tratamentos	Alfa-amilase % de inibição	Alfa-glicosidase % de inibição	ECA % de inibição
Convencional	57,92 ± 0,44 ^b	54,70 ± 11,46 ^c	28,33 ± 0,51 ^f
1.82 V/cm	61,93 ± 2,83 ^a	90,12 ± 0,60 ^a	70,63 ± 0,49 ^a
3.64 V/cm	42,25 ± 0,93 ^d	81,23 ± 5,14 ^{ab}	68,80 ± 0,64 ^b
5.45 V/cm	48,82 ± 1,57 ^c	75,23 ± 1,36 ^b	57,20 ± 0,10 ^c
7.30 V/cm	51,91 ± 1,18 ^c	77,53 ± 2,42 ^b	48,70 ± 0,46 ^d
9.1 V/cm	56,10 ± 1,57 ^b	80,49 ± 2,11 ^{ab}	44,17 ± 1,80 ^e

* Os dados são expressos como média ± desvio padrão de 3 análises. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entre as amostras ($p < 0,05$) de sobremesa láctea, de acordo com o teste de Tukey

5.4 ANÁLISE COLORIMÉTRICA

A cor é um indicador de qualidade importante para avaliar a extensão da deterioração devido ao processamento térmico, e no mirtilo está diretamente relacionada ao teor de antocianinas existente na fruta. Na Tabela 6 são apresentados os valores médios e desvio padrão da análise colorimétrica dos seis tratamentos da sobremesa láctea, segundo descrito no item 4.8. Nos resultados utilizando os espaços de cor $L^* a^* b^*$, a amostra do aquecimento ôhmico a 7,3 V/cm apresentou o maior parâmetro de luminosidade (L^*) e as amostras de 1.82 V/cm e 5.45 V/cm não apresentaram diferenças estatísticas significativas ($p > 0,05$), assim como também o tratamento convencional não apresentou diferença significativa ($p > 0,05$) em relação ao aquecimento ôhmico a 3.64 V/cm.

Em relação à coordenada de cromaticidade a^* , todas as amostras apresentaram valores dentro da faixa positiva, mostrando que as amostras processadas pelos diferentes métodos apresentaram pigmentos avermelhados; dentre as amostras, a que apresentou o pigmento mais avermelhado foi à processada pelo tratamento convencional.

Conforme relatado por Mercali *et al* (2014), o parâmetro a^* é um bom indicador da degradação de antocianina, que podem ocorrer de maneira espontânea e fácil durante o processamento de alimentos, resultando em mudanças de cor no produto final. Segundo os

autores, a polpa de acerola submetida ao aquecimento ôhmico, os valores do parâmetro de a^* diminuiram conforme diminuição no teor de compostos bioativos.

Em relação aos valores da coordenada de cromaticidade b^* , no presente estudo, todos os tratamentos apresentaram-se na faixa dos valores negativos, indicando assim, que todas as amostras apresentaram pigmentos azulados, sendo o tratamento convencional o que mais se aproximou da cor azul. Neste sentido, o tratamento convencional apresentou a maior preservação das antocianinas resultando, conseqüentemente, em maiores resultados relacionados à coordenada de cromaticidade a^* e b^* .

Nos resultados utilizando os espaços de cor $L^* C^* h^\circ$, a pasteurização convencional apresentou significativamente maior valor de saturação (C^*) e menor ângulo de tonalidade (h°), enquanto a amostra submetida ao tratamento através do aquecimento ôhmico a 5.45 V/cm apresentou a melhor condição com índice de saturação e maior ângulo de tonalidade.

Como forma de verificar efetivamente qual tratamento processado pelo aquecimento ôhmico apresentou diferença de cor, comparado ao convencional, foram calculadas as diferenças de cor (ΔE). Em termos globais e considerando todos os parâmetros de cor, o processamento pelo aquecimento ôhmico a 9.1 V/cm foi o que menos se diferenciou do tratamento controle e o tratamento a 5.45 V/cm foi o que apresentou a maior diferença. Segundo Chakrabortya e Athmaselvi (2014), as maiores alterações nos parâmetros de cor no aquecimento ôhmico podem ser causadas por reações que ocorrem entre o alimento e o eletrodo, onde o aumento na intensidade do campo elétrico pode provocar reações eletroquímicas que aceleram a taxa de degradação dos pigmentos dos frutos.

Tabela 6. Coordenadas de cor (L^* , a^* , b^*), tonalidade (h°) e saturação (C^*) das amostras de sobremesa láctea.

Tratamentos	Coordenadas de cor			C^*	Saturação	Tonalidade
	L^*	a^*	b^*		h°	ΔE
Convencional	45,31 ± 0,18 ^c	13,08 ± 0,19 ^a	-9,55 ± 0,05 ^e	16,19 ± 0,18 ^a	323,87 ± 0,31 ^g	-
1.82 V/cm	46,83 ± 0,69 ^b	11,12 ± 0,29 ^c	-3,56 ± 0,14 ^b	11,68 ± 0,31 ^e	342,24 ± 0,50 ^b	6,50 ± 0,11 ^c
3.64 V/cm	44,94 ± 0,32 ^{cd}	11,61 ± 0,26 ^b	-4,52 ± 0,13 ^d	12,46 ± 0,29 ^d	338,87 ± 0,41 ^d	5,25 ± 0,98 ^d
5.45 V/cm	46,98 ± 0,52 ^b	10,41 ± 0,11 ^d	-2,63 ± 0,16 ^a	10,74 ± 0,07 ^f	345,84 ± 0,98 ^a	7,61 ± 0,21 ^a
7.30 V/cm	49,46 ± 0,36 ^a	11,60 ± 0,08 ^b	-4,10 ± 0,03 ^a	12,31 ± 0,07 ^d	340,52 ± 0,16 ^c	7,01 ± 0,26 ^b
9.1 V/cm	44,33 ± 0,35 ^d	11,80 ± 0,33 ^b	-5,99 ± 0,20 ^e	13,23 ± 0,38 ^c	333,05 ± 0,17 ^e	3,90 ± 0,30 ^e

* Os dados são expressos como média ± desvio padrão de 3 análises. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entre as amostras ($p < 0,05$) de sobremesa láctea, de acordo com o teste de Tukey.

5.5 COMPOSTOS VOLÁTEIS

A composição dos sabores é uma propriedade complexa de qualidade, onde a mistura de açúcares, ácidos e voláteis tem um papel primordial. Além dos quatro sabores básicos (doce, azedo, salgado e amargo) que podem ser encontrados nos vegetais, o aroma tem uma relevante influência na aceitação final do produto pelo consumidor (DEFILIPPI *et al.*, 2009).

Nem todos os compostos voláteis têm aromas detectáveis nos alimentos, é possível identificar milhares de compostos voláteis, porém, apenas alguns (cerca de 3%) contribuem para o aroma ou sabor do produto (DUNKEL *et al.*, 2014). Assim, quando falamos de substâncias aromáticas, geralmente nos referimos apenas àqueles compostos voláteis que possuem aromas perceptíveis em concentrações relativamente baixas (CADWALLADER, 2019).

Os tratamentos térmicos possuem algumas desvantagens, pois os mecanismos de transferência de calor podem provocar nos alimentos um superaquecimento, perda de compostos nutricionais e alterações sensoriais, como sabores desagradáveis, causados pela mudança na concentração de compostos voláteis (CAPPATO *et al.*, 2017). Nos alimentos tratados termicamente, a reação de *Maillard* que ocorre entre os aminoácidos e os açúcares desempenha um papel predominante na formação do aroma, levando a formação de muitos compostos voláteis que são agrupados em várias classes (MOTTRAM, 2007). Por isso, a identificação dos compostos voláteis nos produtos é de grande importância para o conhecimento das características próprias relacionadas ao aroma e sabor dos alimentos. A Tabela 7 mostra os compostos voláteis identificados nas sobremesas lácteas submetida ao tratamento ôhmico e convencional e o índice de retenção linear (LRI) dos compostos.

Os alcoóis foram à classe de compostos mais identificados entre os tratamentos (5 compostos), seguidos por ésteres (4 compostos), hidrocarbonetos (4 compostos), aldeídos (2 compostos), outros compostos (2) e cetona (1 composto). Os compostos presentes em todas as amostras foram: o aldeído hexanal e os álcoois 1-hexanol e o 2-hexen-1-ol (E).

O processamento da sobremesa láctea no aquecimento ôhmico a 9.10 V/cm apresentou o maior número de compostos voláteis (11 compostos), sendo 4 álcoois, 2 ésteres, 02 aldeídos, 1 cetona, 1 hidrocarboneto e 1 3-metilfurano. A sobremesa láctea submetida ao campo elétrico de 7.30 V/cm apresentou 10 compostos voláteis, sendo 3 álcoois, 2 aldeídos, 2 hidrocarbonetos, 2 ésteres e 1 acetoína, seguida da intensidade de 1.82 V/cm que apresentou 8 compostos, sendo 3 ésteres, 2 álcoois, 1 aldeído, 1 hidrocarboneto e 1 acetoína. Os campos

elétricos de 3.64 V/cm e 5.45 V/cm apresentaram 4 compostos voláteis cada, sendo 2 aldeídos e 2 álcoois, apresentando assim, perfis de compostos voláteis bem semelhantes. O tratamento convencional apresentou 7 compostos voláteis sendo: 3 álcoois, 1 éster, 2 aldeídos, 1 hidrocarboneto.

O percentual volátil da sobremesa láctea no aquecimento ôhmico a 9.10 V/cm foi de 64,57% de aldeídos, 26,32% de álcoois, 4,57% de ésteres, 2,66% de cetona, 1,22% de hidrocarboneto e 0,66% de 3-metilfurano. O campo elétrico de 7.30 V/cm apresentou 73% de aldeídos, 19,4% de álcoois, 4,1% de acetoína, 2,38% de ésteres 1,12% de hidrocarbonetos. A 1.82 V/cm o percentual volátil se apresentou com 41,7% de álcoois, 28,9% de aldeídos, 16,6% de acetoína, 12,3% de ésteres e 0,5% de hidrocarbonetos. O percentual volátil dos campos elétricos de 3.64 V/cm e 5.45 V/cm foram bem semelhantes, sendo 78% e 70,8% para aldeídos e 22% e 29,2% para álcoois, respectivamente. No tratamento convencional os percentuais voláteis foram de 87,5% para aldeídos, 7,6% para álcoois, 2,7% para hidrocarbonetos e 2,2% para ésteres. Em todas as amostras processadas os aldeídos e álcoois foram os compostos mais abundantes identificados.

No estudo realizado por Rohloff *et al.* (2009), foram detectados 132 potenciais compostos voláteis em mirtilos, dentre estes, 99 estruturas foram identificadas e relacionadas a compostos de relevante impacto ao sabor. Essas estruturas detectadas pertenciam a diferentes grupos como os alcanos, ácidos, álcoois, ésteres, cetonas, mono e sesquiterpenos.

Eichholz *et al.* (2011) identificaram 12 diferentes compostos orgânicos voláteis no mirtilo, que foram identificados em cinco classes, sendo os aldeídos (hexanal, (Z)-3-hexenal e (E)-2-hexenal; os monoterpênicos (D-limoneno e o eucaliptol); os álcoois terpenos (linalol, alfa-terpineol e geraniol); os álcoois (1-hexanol, (Z)-3-hexenol, (E)-2-hexenol e a cetona (metil-isohexenil-cetona). Alguns estudos identificaram os compostos voláteis do mirtilo, como forma de identificar o sabor típico da fruta, os resultados diferiram, mas em todos os estudos o aldeído (E)-2-hexenal foi dominante, provocando um impacto considerável no sabor da fruta (PARLIMENT; KOLOR, 1975; HORVAT; SENTER, 1985; ISHIMOTO *et al.*, 2000).

Com relação a presença do aldeído (E)-2-hexenal, o presente estudo não identificou o aldeído no tratamento utilizando o aquecimento ôhmico no campo elétrico de 1.82 V/cm, sugerindo assim que a baixa intensidade de campo elétrico elimina a formação deste composto. O campo elétrico de 3.64 V/cm foi a que apresentou um maior percentual de área

(37%) para esse aldeído, seguido da intensidade de 5.45 V/cm (36,7%), demonstrando uma tendência destes tratamentos em promover a formação e preservação destes compostos.

Tabela7. Compostos orgânicos voláteis de sobremesas lácteas adicionada de mirtilo submetidas ao aquecimento ôhmico e tratamento convencional (TC).

Grupos	Compostos	LRI	TC	1.82 V/cm	3.64 V/cm	5.45 V/cm	7.30 V/cm	9.10 V/cm
	Total de compostos identificados		07	08	04	04	10	11
Cetonas	Heptanona	1183	-	-	-	-	-	173931
	Total de cetonas		0	0	0	0	0	01(2,66%)
Aldeídos	Hexanal	1100	3398635	934100	1150683	761597	4478668	3400633
	(E) 2- hexenal	1223	356505	-	1040313	820816	944402	823418
	Total de aldeídos		02(87,5%)	01(28,9%)	02(78%)	02(70,8%)	02(73%)	02(64,57%)
Alcoóis	1-hexanol	1340	121837	650510	297457	314418	519512	810011
	2-hexen-1-ol (E)	1393	128004	693456	319577	338366	842303	675828
	1-Pentanol	1240	-	-	-	-	73033	110677
	Álcool feniletílico	1905	-	-	-	-	-	125738
	1-propen-2-ol,	1076	79119	-	-	-	-	-
	Total de álcoois		03(7,6%)	02(41,7%)	02(22%)	02(29,2%)	03(19,4%)	04(26,32%)
Hidrocarbonetos	2,2,4-trimetilpentano	1145	-	17677	-	-	-	-
	2-metil-1-nitropropano	1054	-	-	-	-	73824	-
	2,2-dimetil - butano	1055	-	-	-	-	9263	-
	n-hexano	1054	115218	-	-	-	-	79672
	Total de hidrocarbonetos		01(2,7%)	01(0,5%)	0	0	02(1,12%)	01(1,22%)
Ésteres	Acetato de etila	1065	93610	151716	-	-	99608	77495
	Ácido oxálico, éster butilpropílico	1131	-	9192	-	-	-	-
	Ácido butanóico, metil éster	1076	-	236242	-	-	-	220754
	Ácido acético, éster etenil	1075	-	-	-	-	77626	-
	Total de ésteres		01(2,2%)	03(12,3%)	0	0	02(2,38%)	02(4,57%)
Outros	Acetoína	1287	-	535009	-	-	306526	-
	3-metilfurano	1066	-	-	-	-	-	43419
	Total de outros		0	01(16,6%)	0	0	01(4,1%)	01(0,66%)

* LRI - Índice de Retenção Linear, - (ausência).

5.6 PERFIL DE ÁCIDOS GRAXOS

A Tabela 8 mostra o perfil de ácidos graxos da sobremesa láctea adicionada de mirtilo após a pasteurização com aquecimento ôhmico e convencional.

Em relação aos ácidos graxos de cadeia curta (AGCC), somente o ácido butanóico (C4) foi identificado em todas as amostras. Os ácidos graxos de cadeia média (AGCM), identificados nas amostras foram o ácido hexanóico (C6), octanóico (C8), decanóico (C10) e o dodecanoico (C12), e os ácidos graxos de cadeia longa (AGCL) identificados foram o mirístico (C14), miristoleico (C14N9), palmítico (C16), palmitoleico (C16N9), esteárico (C18), oleico (W9) e linoleico (W6). Os ácidos graxos (cadeia curta, média e longa) identificados não apresentaram diferenças significativas ($p > 0,05$) entre as amostras, demonstrando que em relação ao tratamento convencional, diferentes campos elétricos aplicados durante o aquecimento ôhmico não acarretaram em mudanças na composição dos ácidos graxos.

Níveis elevados de ácidos graxos saturados (AGS) foram observados em todas as amostras (82,13-117,68 ug/g da amostra), sendo o ácido palmítico (30,35 -36,35 ug/g da amostra) a maioria em todas as amostras, seguido pelo ácido mirístico (15,99–12,59 ug/g da amostra) e o ácido esteárico (14,69-11,66 ug/g da amostra). O consumo contínuo de ácidos graxos saturados afeta diretamente o metabolismo do colesterol estando associado ao aumento de células adiposas e de triglicerídeos (RODRÍGUEZ *et al.*, 2019).

Os níveis de ácidos monoinsaturados (MUFA) das amostras apresentaram-se entre os valores de 5,14 e 8,57 ug/g da amostra, sendo o ácido oléico o de maior presença entre as amostras (4,62 - 7,79 ug/g da amostra). O consumo de dietas ricas em ácido graxo monoinsaturado (MUFA) tem sido associado à melhora do sistema imunológico, recuperação de processos inflamatórios e redução de doenças cardiovasculares, onde a maioria dos estudos de MUFA relacionados a essas doenças cardiovasculares têm se concentrado no ácido oléico (YANG *et al.*, 2017).

Os ácidos graxos poliinsaturados de cadeia longa (PUFAs) são classificados segundo a posição da dupla ligação, em ômega-6 e ômega-3, sendo considerados ácidos graxos essenciais porque não são sintetizados pelos seres humanos, a ausência desses compostos na alimentação pode ocasionar problemas fisiológicos, como distúrbios neurológicos, doenças crônicas e condições inflamatórias não desejadas (MEESAPYODSUK *et al.*, 2018). Neste estudo, somente o ácido linoleico (W6) foi identificado entre os PUFAs e sua variação foi de

0,39 a 0,68g/g da amostra, não apresentando diferenças significativas entre todas as amostras ($p > 0,05$).

Em relação ao índice aterogênico (IA) a variação entre as amostras foi de 11,52 a 17,67 g/g da amostra, e o índice trombogênico (IT) a variação foi de 13,52 a 20,83 g/g da amostra. Quanto menores os valores de IA e IT maior é a quantidade de ácidos graxos anti-aterogênicos e anti-trombogênicos presentes na amostra, conseqüentemente, maior é o potencial de prevenção ao aparecimento de doenças coronarianas (TONIAL *et al.*,2010)

Os resultados mostram que a pasteurização da sobremesa láctea adicionada de mirtilo através do aquecimento ôhmico não promoveu modificação nos teores de ácidos graxos quando comparada ao tratamento convencional, indicando que a tecnologia por aquecimento ôhmico pode ser introduzida na pasteurização sem afetar negativamente a qualidade e o sabor, quando relacionada aos ácidos graxos.

Tabela 8. Perfil de ácidos graxos (ug/g da amostra) de sobremesa láctea adicionada de mirtilo submetida a aquecimento ôhmico e tratamento convencional (TC).

Ácidos Graxos	TC	1.82 V/cm	3.64 V/cm	5.45 V/cm	7.30 V/cm	9.10 V/cm
Ácidos graxos de cadeia curta	12,08	9,90	10,09	9,26	20,39	14,19
Butanoico (C4:0)	12,08±0,65 ^a	9,90±2,25 ^a	10,09±0,98 ^a	9,26±0,58 ^a	20,39±11,69 ^a	14,19±2,85 ^a
Ácidos graxos de cadeia média	22,61	19,77	20,89	18,27	30,6	24,77
Hexanóico (C6:0)	8,17 ±0,65 ^a	6,45±1,15 ^a	6,98±0,67 ^a	6,45±0,31 ^a	12,35±5,88 ^a	9,29±1,46 ^a
Octanóico (C8:0)	3,04±0,21 ^a	2,52±0,10 ^a	2,84±0,34 ^a	2,53±0,06 ^a	4,06±1,43 ^a	3,36±0,36 ^a
Decanóico (C10:0)	7,08±1,04 ^a	6,94±0,28 ^a	6,95±0,01 ^a	5,94±0,20 ^a	9,40±2,36 ^a	7,79±0,70 ^a
Dodecanoico (C12:0)	4,32±0,94 ^a	3,86±0,40 ^a	4,12±0,58 ^a	3,35±0,04 ^a	4,79±0,56 ^a	4,33±0,01 ^a
Ácidos graxos de cadeia longa	73,00	63,85	71,57	61,66	75,50	63,93
Mirístico (C14:0)	14,28±3,61 ^a	12,6±0,34 ^a	14,63±1,13 ^a	12,59±1,51 ^a	15,99±0,20 ^a	13,54±0,03 ^a
Miristoleico (C14:1N9)	0,26±0,06 ^a	0,25±0,06 ^a	0,29±0,05 ^a	0,21±0,05 ^a	0,25±0,14 ^a	0,16±0,04 ^a
Palmitico (C16:0)	36,35±8,84 ^a	31,40±1,01 ^a	34,47±2,29 ^a	30,35±3,18 ^a	36,01±3,21 ^a	32,03±0,17 ^a
Palmitoleico (C16:1N9)	0,56±8,84 ^a	0,55±0,17 ^a	0,49±0,27 ^a	0,28±0,06 ^a	0,54±0,23 ^a	0,36±0,01 ^a
Esteárico (C18:0)	13,32±3,88 ^a	11,84±0,51 ^a	13,24±0,89 ^a	11,66±1,58 ^a	14,69±0,78 ^a	12,75±0,43 ^a
Oleico (C18:1)	7,55±3,38 ^a	6,61±1,02 ^a	7,79±1,58 ^a	6,17±0,71 ^a	7,42±4,15 ^a	4,62±0,80 ^a
Linoleico (C18:2)	0,68±0,28 ^a	0,59±0,08 ^a	0,65±0,09 ^a	0,39±0,05 ^a	0,61±0,34 ^a	0,46±0,07 ^a
AGS	98,64	85,51	93,32	82,13	117,68	97,28
MUFA	8,37	7,41	8,57	6,66	8,21	5,14
PUFA	0,68	0,59	0,65	0,39	0,61	0,46
Índice aterogênico (IA)	11,80	11,71	11,52	13,10	13,00	17,67
Índice trombogênico (IT)	14,13	13,96	13,52	15,49	15,12	20,83

*Os dados são expressos como média ± desvio padrão de 2 análises. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entre as amostras (p <0,05) de sobremesa láctea, de acordo com o teste de Tukey.

5.7 PROPRIEDADES REOLÓGICAS

5.7.1 Curva de fluxo

A Figura 9 mostra as curvas típicas de escoamento em estado estacionário ($\sigma = k \gamma^n$) obtidas para a primeira varredura de tensão de cisalhamento das amostras de sobremesas lácteas adicionada de mirtilo. Todas as amostras apresentaram comportamento similar, não apresentando diferenças significativas (p>0,05) em relação ao tratamento controle e aos campos elétricos aplicados durante o aquecimento ôhmico, assim como também,

apresentaram um pico em baixas taxas de deformação ($0-40 \text{ s}^{-1}$), denominado *overshoot*. Segundo Steffe (1996) este fator ocorre quando uma taxa de deformação é subitamente imposta a um fluido viscoelástico em repouso, assim, a tensão de cisalhamento antes de atingir o estado estacionário apresenta um pico inicial, que representa o rompimento da estrutura elástica do material viscoelástico.

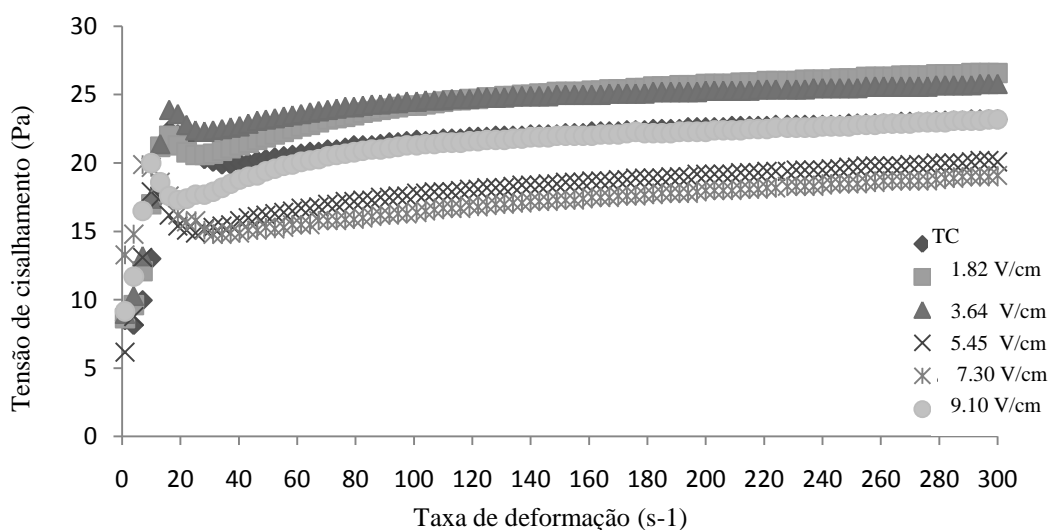


Figura 9. Curva de fluxo de escoamento em estado estacionário das sobremesas lácteas.

Os dados de tensão de cisalhamento (σ) em função da taxa de deformação (γ) foram ajustados ao modelo da Lei da Potência. A Tabela 9 apresenta os valores médios dos índices de comportamento, de consistência e o coeficiente de determinação das amostras. O índice de consistência (k) está relacionado à viscosidade, que em produtos lácteos é atribuída principalmente às interações e forças de atração intermoleculares entre as moléculas de proteína, assim, quanto mais água houver entre as moléculas de proteína, maior a distância entre elas e menor o índice de consistência (DIMITRELI *et al.* 2005; DIMITRELI; THOMAREIS, 2007).

No presente estudo observou-se que a amostra submetida ao aquecimento ôhmico a 5.45 V/cm ($10,30 \text{ Pa.s}^n$) apresentou um índice de consistência (k) significativamente menor do que a amostra submetida ao tratamento convencional ($13,04 \text{ Pa.s}^n$), indicando perda de viscosidade. O tratamento a 3.64 V/cm ($15,23 \text{ Pa.s}^n$) foi o que apresentou o maior índice de consistência. Em relação ao índice de comportamento do fluxo (n), todas as amostras apresentaram comportamento pseudoplástico ($n < 1$), onde a viscosidade aparente diminuiu com o aumento da taxa de deformação aplicada. Esse comportamento pode estar relacionado ao fato de que as macromoléculas, como as moléculas de proteína e gordura, tendem a se orientar na direção do movimento do fluido, diminuindo, portanto, a resistência ao

escoamento com o aumento da taxa de deformação (DAMODARAN, 1997). A amostra a 7.30 V/cm apresentou valor de n significativamente menor que às demais amostras, indicando um aumento no seu caráter pseudoplástico, a amostra tratada a 1.82 V/cm apresentou valor de n superior às demais amostras.

Nos estudos de Arcia *et al.* (2010), e Fúrlan e Campderrós (2017) em sobremesas lácteas foram encontrados valores de índice de comportamento menor que 1, demonstrando um comportamento pseudoplástico das sobremesas. No estudo de Tárrega e Costell (2006), com dados reológicos das curvas de fluxo analisadas, foram encontrados valores de k variando de 0,4 a 12,9 Pa.sⁿ, resultados próximos aos observados no presente trabalho.

Os resultados mostraram que o aquecimento ôhmico no campo elétrico de 3.64 V/cm afetou significativamente, de forma positiva, a viscosidade com relação a pasteurização convencional. O tempo de processamento da sobremesa láctea em baixo campo elétrico pode ter influenciado neste resultado, uma vez que, pode ter ocorrido uma maior ruptura na estrutura celular, levando a uma maior liberação do material intracelular para o meio, o que pode ter aumentado a consistência da sobremesa. Não existem dados disponíveis na literatura que comparem o efeito do aquecimento convencional e ôhmico com o comportamento reológico de sobremesas lácteas. No estudo de Cappato *et al.* (2018) com bebida láctea sabor acerola, o aumento do campo elétrico e da frequência, na pasteurização, aumentou a viscosidade da bebida, porém no estudo de Ferreira (2019a), com bebida láctea de framboesa, o campo elétrico baixo influenciou no aumento da viscosidade. Essa diferença encontrada entre os estudos revela a importância de entender melhor os parâmetros para as configurações do aquecimento ôhmico em diferentes produtos.

Tabela 9. Parâmetros reológicos das sobremesas lácteas após o tratamento convencional e aquecimento ôhmico.

Tratamentos	k (Pa.s ⁿ)	$n(-)$	R^2
Convencional	13,04 ± 0,51 ^b	0,1054 ± 0,008 ^{cd}	0,6995
1.82 V/cm	13,03 ± 0,37 ^b	0,1296 ± 0,006 ^{ab}	0,8751
3.64 V/cm	15,23 ± 0,51 ^a	0,0976 ± 0,009 ^d	0,7312
5.45 V/cm	10,30 ± 0,28 ^c	0,1177 ± 0,005 ^{bc}	0,8546
7.30 V/cm	13,38 ± 0,43 ^b	0,0535 ± 0,007 ^e	0,4115
9.1 V/cm	12,77 ± 0,25 ^b	0,1066 ± 0,004 ^{cd}	0,9038

* Os dados são expressos como média ± desvio padrão. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferenças significativas entre as amostras ($p < 0,05$) de acordo com o teste de Tukey. k = índice de consistência(Pa.sⁿ); n = índice de comportamento do fluxo (sem dimensão), R^2 (coeficiente de determinação).

5.7.2 Ensaios oscilatórios

As Figuras 10 e 11 mostram os espectros mecânicos das amostras com relação a G' e G'' , respectivamente. A amostra submetida ao aquecimento ôhmico a 9.10 V/cm foi a que apresentou os maiores valores de G' e G'' . O aumento da frequência acarretou aumento dos valores de G' e G'' para todas as amostras. A pasteurização convencional e o aquecimento ôhmico a 80V apresentaram os valores de G' e G'' bem inferiores às demais amostras, apresentando inclinação da reta levemente inferior as demais, indicando que estas possuem propriedades reológicas menos suscetíveis à variação da frequência.

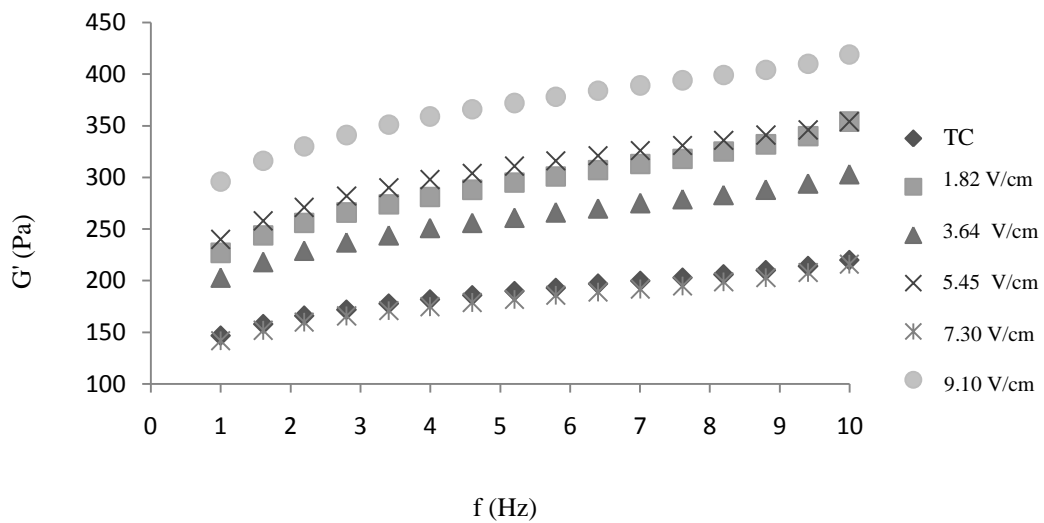


Figura 10. Módulo elástico (G') das amostras de sobremesas lácteas submetidas ao tratamento convencional (TC) e ao aquecimento ôhmico.

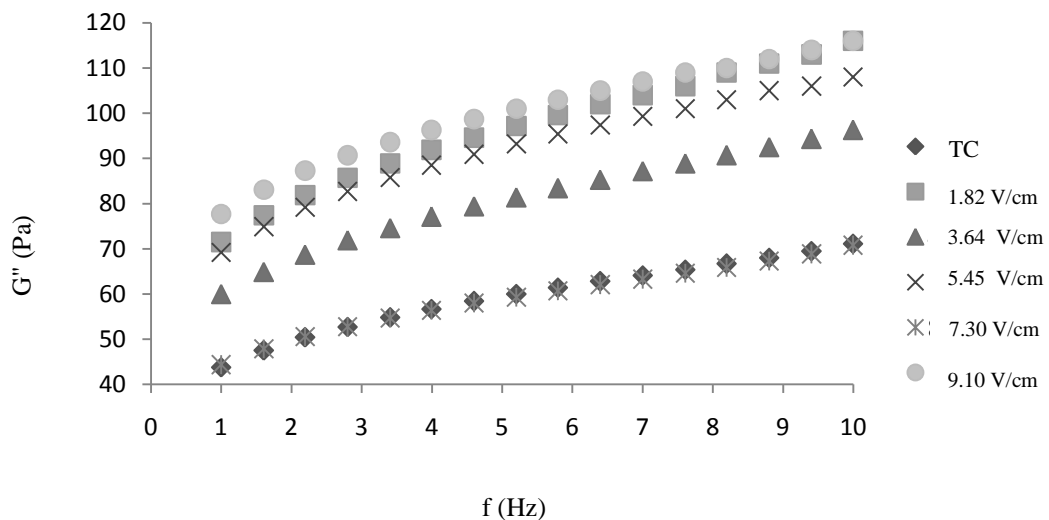


Figura 11. Módulo viscoso (G'') das amostras de sobremesas lácteas submetidas ao tratamento convencional (TC) e ao aquecimento ôhmico

A Figura 12 apresenta a tangente do ângulo de fase ($\tan\delta = G''/G'$) que indica a razão entre as propriedades viscosas (G'') e elásticas (G'). Todas as amostras apresentaram valores relativamente baixos ($0,26 < \tan\delta < 0,34$), ou seja, o G' foi pelo menos, maior do que o dobro do G'' em toda a faixa de frequência estudada. Este resultado indica que as sobremesas lácteas apresentaram características mais tipicamente de sólido do que de líquido, com menor mobilidade das moléculas da rede proteica, ou seja, a resposta elástica predominou sobre a viscosa. Tais resultados são similares aos observados por Arancibia *et al.* (2015) que avaliaram as propriedades reológicas de sobremesas lácteas. Os valores da tangente do ângulo de fase tendem a aumentar com o aumento da frequência o que indica comportamento típico de um gel fraco, neste estudo não foi possível observar nenhuma tendência com relação as voltagens aplicadas durante os tratamentos. A amostra que mais se assemelhou ao tratamento controle foi a submetida ao aquecimento ôhmico a 3.64 V/cm. As amostras submetidas a 5.45 V/cm e 9.10 V/cm apresentaram curvas inferiores ao controle, indicando comportamento mais similar ao de um sólido. Tal comportamento também pôde ser observado na Figura 13 que apresenta os valores de viscosidade dinâmica complexa das amostras, onde não foi observada tendência clara diante das voltagens aplicadas durante os tratamentos. A amostra do tratamento convencional foi a que apresentou os valores mais baixos de viscosidade seguida pelas amostras tratadas a 7.30; 3.64; 1.82; 5.45 e 9.10 V/cm.

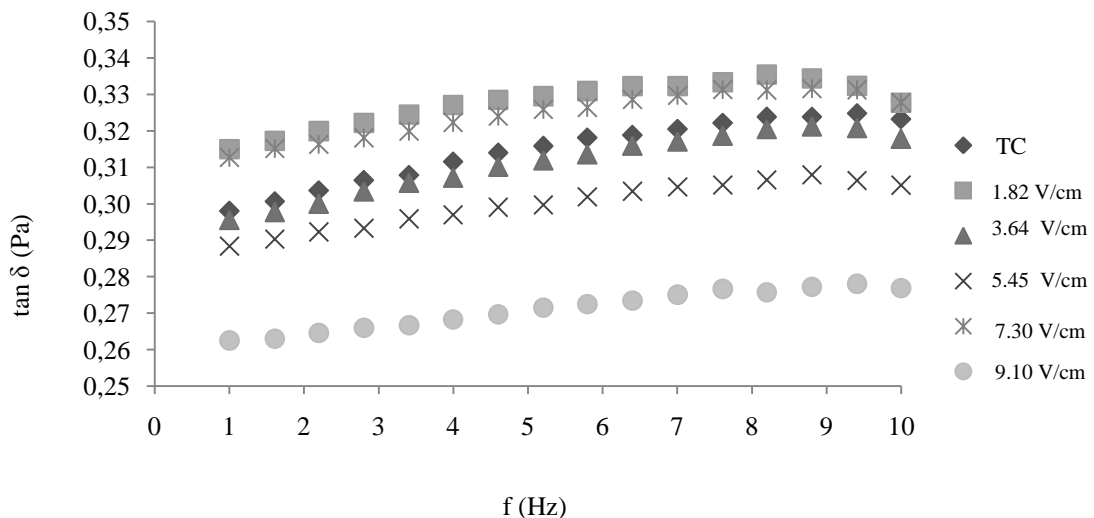


Figura 12. Ângulo de fase ($\tan \delta$) das amostras de sobremesas lácteas submetidas ao tratamento convencional (TC) e ao aquecimento ôhmico.

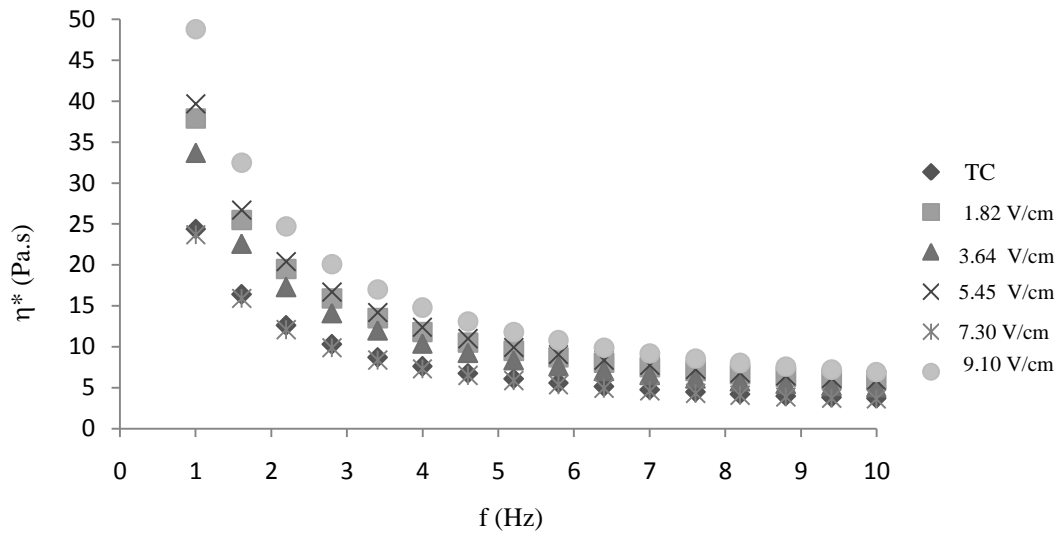


Figura 13. Viscosidade dinâmica complexa das amostras de sobremesas lácteas submetidas ao tratamento convencional (TC) e ao aquecimento ôhmico.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho avaliou o efeito do tratamento térmico através do aquecimento ôhmico, em diferentes gradientes de campo elétrico, sobre as características físico-químicas da sobremesa láctea adicionada de mirtilo. Apesar da baixa intensidade de campo elétrico ter apresentado uma maior preservação dos compostos bioativos (inibição de enzimas, preservação de compostos fenólicos, capacidade antioxidante e teor de antocianinas), o tempo de processamento foi muito longo, tornando o processo inviável a nível comercial, visto que a vantagem desta tecnologia é o rápido aquecimento.

A aplicação de maior intensidade de campo elétrico ocasionou um rápido aquecimento da amostra, não modificando os aspectos nutricionais, as características reológicas, a composição de ácidos graxos e apresentando uma menor variação de cor quando comparadas ao tratamento convencional. O campo elétrico elevado apresentou valores superiores ou similares de inibição de enzimas e de percentual de sequestro de radical livre quando comparado ao tratamento convencional. Portanto, a maior intensidade de campo elétrico mostra-se uma forma alternativa para o processamento da sobremesa láctea adicionada de mirtilo, visto também que preservou uma maior quantidade de compostos voláteis.

Considerando o crescente consumo de sobremesas lácteas nos últimos anos associado à busca do consumidor moderno pela saudabilidade no seu cotidiano, os resultados obtidos são importantes para a indústria de produtos lácteos, podendo servir de orientação para a implementação do processamento de sobremesas lácteas adicionadas de frutas através do aquecimento ôhmico. Propõem-se outros estudos relacionando o aquecimento ôhmico, produtos lácteos e vegetais, para que se possa contribuir para um melhor entendimento dos efeitos desta tecnologia no produto final, visando agregar valor aos produtos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABESINGHE, A.M.N.L; ISLAM, N; VIDANARACHCHI, J. K; PRAKASH, S; SILVA, K.F.S.T; KARIM, M.A. Effects of ultrasound on the fermentation profile of fermented milk products incorporated with lactic acid bacteria. **International Dairy Journal**, v.90, p. 1-14, 2019.

ADISAKWATTANA, S; JIPHIMAI, P; PRUTANOPAJAI, P; CHANATHONG, B; SAPWAROBOL, S; ARIYAPITIPAN, T. Evaluation of α -glucosidase, α -amylase and protein glycation inhibitory activities of edible plants. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 61, p. 295-305, 2010.

ALVES, C.C.O; RESENDE, J.V; CRUVINEL, R.S.R; PRADO, M.E.T. Estabilidade da microestrutura e do teor de carotenóides de pós obtidos da polpa de pequi (Caryocar brasiliense Camb.) liofilizada. **Ciências e Tecnologia de Alimentos**, v.28, p.830- 839, 2008.

AMARAL, G.V; SILVA, E. K; CAVALCANTI, R. N; MARTINS, C. P. C; ANDRADE, L. G. Z. S; MORAES, J; ALVARENGA, V.O; GUIMARÃES, J.T; ESMERINO, E. A; FREITAS, M. Q; SILVA, M. C; RAICES, R. S.L; SANT'ANA, A. S; MEIRELES, A.A; CRUZ, A.G. Whey-grape juice drink processed by supercritical carbon dioxide technology: Physicochemical characteristics, bioactive compounds and volatile profile. **Food Chemistry**, v. 239, p. 697-703, 2018.

AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS). **Official methods of analysis**, 17 ed, 2 rev, Gaithersburg, 2003.

APOSTOLIDIS, E; KWON, Y.I; SHETTY,K. Potential of select yogurts for diabetes and hypertension management. **Journal of food Biochemistry**, v30, p.699-717, 2006.

ARANCIBIA, C; CASTRO, C; JUBLOT, L; COSTELL, E; BAYARRI, S. Colour, rheology, flavour release and sensory perception of dairy desserts. Influence of thickener and fat content. **LWT - Food Science and Technology**, v. 62, p. 408-416, 2015.

ARAGON-ALEGRO, L. C; ALEGRO, J. H.A; CARDELLI, H. R; CHIU, M. C; SAAD, S. M. I. Probiotic and synbiotic chocolate mousse. **Food Science and Technology**, v. 40, n. 4, p.669-675, 2007.

ARCIA, P.L; COSTELL, E; TÁRREGA, A. Thickness suitability of prebiotic dairy desserts: relationship with rheological properties. **Food Research International**, v.43, n.10, p.2409-2416, 2010.

ARCIA, P.L; COSTELL, E; TÁRREGA, A. Inulin blend as prebiotic and fat replacer in dairy desserts: Optimization by response surface methodology. **Journal of Dairy Science**, v.94, n.5, p.2192-2200, 2011.

ARES, F; ARRARTE, E; LEÓN, T; ARES, G; GÁMBARO, A. Development of functional milk desserts enriched with resistant starch based on consumers perception. **Food Science and Technology International**, v. 8, n.5, p.465-475, 2013.

BATISTA, A.L.D; SILVA, R; CAPPATO, L.P; FERREIRA, M.V.S; NASCIMENTO, K.O; SCHMIELE, M; ESMERINO, E.A; BALTHAZARM, C.F; SILVA, H.L.A; MORAES, J; PIMENTEL, T.C; FREITAS, M.Q; RAICES, R.S.L; SILVA, M.C; CRUZ, A.G. Developing a synbiotic fermented milk using probiotic bacteria and organic green banana flour. **Journal of Functional Foods**, v.38, p. 242- 250, 2017.

BRAND-WILLIAMS, W; CUVELIER, M.E; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Food Science and Technology**, v. 28, p. 25-30, 1995.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 18, de 30 de Abril de 1999. Aprova o Regulamento Técnico que estabelece as diretrizes básicas para análise e comprovação de propriedades funcionais e ou de saúde alegadas em rotulagem de alimentos. Brasília, 1999.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 19, de 30 de Abril de 1999. Aprova o Regulamento Técnico de procedimentos para registro de alimento com alegação de propriedades funcionais e ou de saúde em sua rotulagem. Brasília, 1999.

BRASIL, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 2, de 07 de Janeiro de 2002. Aprova o Regulamento Técnico de substâncias bioativas e probióticos isolados, com alegação de propriedades funcional e/ou de saúde. Brasília, 2002.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 273, de 22 de Setembro de 2005. Aprova o Regulamento Técnico para Misturas para o Preparo de Alimentos e Alimentos Prontos para o Consumo. Brasília, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/alimentos/alegacoes/2016>> Acesso em Fevereiro 2019.

BULTOSA, G. Functional Foods: Overview. **Reference Module in Food Science**, 2016

BURITI, F. C. A; SAAD, S. M. I. Chilled milk-based desserts as emerging probiotic and prebiotic products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v.54, p.139-150, 2014.

BURITI, F.C.A; BEDANI, R; SAAD, S. M.I. **Probiotic and Prebiotic Dairy Desserts**. In: Watson, R.R; Preddy, V.R. (Org.). *Probiotics, Prebiotics, and Synbiotics*. Elsevier, p. 345-360, 2016.

CANTUARIAS-AVILÉS, T; SILVA, S.R; MEDINA, R.B; MORAES, A. F. G; ALBERTI, M. F. Cultivo do mirtilo: atualizações e desempenho inicial de variedades de baixa exigência em frio no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.36, n.1, p.139-147, 2014.

CAPPATO, L.P; FERREIRA, M.V.S; GUIMARAES, J.T; PORTELA, J.B; COSTA, A.L.R; FREITAS, M.Q; CUNHA, R.L; OLIVEIRA, C.A.F.; MERCALI, G.D; MARZACK, L.D.F; CRUZ, A.G. Ohmic heating in dairy processing: Relevant aspects for safety and quality. **Trends in Food Science and Technology**, v.62, p.104-112, 2017.

CAPPATO, L.P; FERREIRA, M.V.S; PIRES, R.P; CAVALCANTI, R.N; BISSAGIO, R.C, FREITAS, M.Q; SILVA, M.C; CRUZ, A.G. Whey acerola-flavoured drink submitted Ohmic Heating processing: Is there an optimal combination of the operational parameters? **Food Chemistry**, v.245, p.22-28, 2018.

CADWALLADER, K.R. Aromas. **Food Chemistry**, p.22-29, 2019.

CARDENOSA, V; GIRONES-VILAPLANA, A; MURIEL, J.L; MORENO, D.A; MORENO-ROJAS, J.M. Influence of genotype, cultivation system and irrigation regime on antioxidant capacity and selected phenolics of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). **Food Chemistry**, v.202, p. 276-283, 2016.

CHAKRABORTYA, I; ATHMASELVI, K.Changes in physicochemical properties of guava juice during Ohmic heating. **Journal of Ready Eat Food**, v.1, p.152-157, 2014.

CHEPLICK, S; KWON,Y; BHOWMIK, P; SHETTY, K. Phenolic-linked variation in strawberry cultivars for potential dietary management of hyperglycemia and related complications of hypertension. **Bioresource Technology**, v. 101, p.404-413, 2010.

CHO, W. I; YI, J. Y; CHUNG, M. S. Pasteurization of fermented red pepper paste by ohmic heating. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 34, p. 180-186, 2016.

COSTA, N.M.B; ROSA, C.O.B. **Alimentos Funcionais: Componentes bioativos e efeitos fisiológicos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Rubio, 2016.504p.

COSTA, N.R;CAPPATO,L.P; FERREIRA,M.V.S; PIRES, R.P.S; MORAES, J; ESMERINO, E.A; SILVA,R; NETO,R.P.C, TAVARES,M.I.B; FREITAS; M.Q;JÚNIORR.N,S; RODRIGUES, F.N; BISAGGIO, R.C; CAVALCANTI, R.N; RAICES, R.S.L; SILVA, M.C; CRUZ, A.G. Ohmic Heating: A potential technology for sweet whey processing. **Food Research International**, v.106, p.771-779, 2018.

COSTA, M. F; PIMENTEL, T. C; GUIMARÃES, J.T; BALTHAZAR, C. F; ROCHA, R.S; CAVALCANTI, R. N; ESMERINO, E. A; FREITAS, M. Q; RAICES, R.S.L; SILVA, M.C; CRUZ, A.G. Impact of prebiotics on the rheological characteristics and volatile compounds of Greek yogurt. **LWT - Food Science and Technology**, 2019.

COUTINHO, N. M; SILVEIRA, M. R; ROCHA, R. S; MORAES, J; FERREIRA, M. V. S; PIMENTEL, T.C; FREITAS, M. Q; SILVA, M. C; RAICES, R. S. L; RANADHEERA, C. S; BORGES, F.O; MATHIAS, S. P; FERNANDES, F. A. N; RODRIGUES, S; CRUZ, A. G. Cold plasma processing of milk and dairy products. **Trends in Food Science and Technology**, v.74, p. 56-68, 2018.

CUSHMAN, D.W; CHEUNG, H.S. Spectrophotometric assay and properties of the angiotensin-converting enzyme of rabbit lung. **Biochemical Pharmacology**, v.20, p. 1637-1648, 1971.

DAMODARAN, S. Food proteins: An overview. A. Food proteins and their applications. **New York**, Basel, Hong Kong: Marcel Dekker, Inc, p. 1-24, 1997.

DARVISHI, H; HOSAINPOUR, A; NARGESI, F; KHOSHTAGHZA, M.H; TORANG. H. Ohmic processing: temperature dependent electrical conductivities of lemon juice. **Modern Applied Science**, v. 5.p. 210-216, 2011.

DARVISHI, H; KHOSTAGHAZA, M.H; NAJAFI, G. Ohmic heating of pomegranate juice: Electrical conductivity and pH change. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v.12, p.101-108, 2013.

DAVIDSON, K. T; ZHU, Z; BAI, Q; XIAO,H. WAKEFIELD, M.R; FANG, Y.Blueberry as a Potential Radiosensitizer for Treating Cervical Cancer. **Pathology and Oncology Research**, v.25, p. 81-88, 2019.

DEFILIPPI, B.G; MANRÍQUEZ, D; LUENGWILAI, K; A; GONZÁLEZ-AGUERO. Aroma Volatiles: Biosynthesis and Mechanisms of Modulation During FruitRipening. **Advances in Botanical Research**, v.50, p.1-37, 2009.

DEMCHAK, K; HARPER, J. K; KIME, L. Highbush blueberry production. AgriculturalAlternatives.**Penn State Cooperative Extension**, 2014.

DIMITRELI, G; THOMAREIS, A.S; SMITH, P.G. Effect of emulsifying salts on casein peptization and apparent viscosity of processed cheese. **Journal of Food Engineering**, v.1, n.4, p.1-15, 2005.

DIMITRELI, G; THOMAREIS, A.S. Texture evaluation of block-type processed cheese as a function of chemical composition and in relation to its apparent viscosity. **Journal of Food Engineering**, v.79, p.1364-1373, 2007.

DJERIDANE, A; HAMDY, A; BENSANIA, W; CHEIFA, K; LAKHDARI, I; YOUSFI, M. The in vitro evaluation of antioxidative activity, α -glucosidase and α -amylase enzyme inhibitory of natural phenolic extracts. **Diabetes and Metabolic Syndrome: Clinical Research and Reviews**, v.9, p. 324-331, 2015.

DU, C; SMITH, A; AVALOS, M; SOUTH, S; CRABTREE, K; WANG, W; KWON,Y; VIJAYAGOPAL, P; JUMA, S. Blueberries Improve Pain, Gait Performance, and Inflammation in Individuals with Symptomatic Knee Osteoarthritis. **Nutrients**, 2019.

DUNKEL, A; STEINHAUS,M; KOTTHOFF, M; NOWAK, B; KRAUTWURST, D; SCHIEBERLE, P; HOFMANN, T. Nature's chemical signatures in human olfaction: a foodborne perspective for future biotechnology. **Ange wanted Chemie International Edition**, v. 5, p. 2-22, 2014.

EICHHOLZ, I; HUTSKENS-KEIL, S; KELLER, A; ULRICH, D; KROH, L.W; ROHN, S. UV-B-induced changes of volatile metabolites and phenolic compounds in blueberries (*Vaccinium corymbosum L.*). **Food Chemistry**, v.126, p.60-64, 2011.

ELAWY, R.A; MANTAWY. E; EL-BAKLY, W.M; FARES, M; RAMADAN, L. A; AZAB, S.S. Mechanistic insights to the cardioprotective effect of blueberry nutraceutical extract in isoprenaline-induced cardiac hypertrophy. **Phytomedicine**, v.51, p.84-93, 2018.

FERREIRA, M.V.S; CAPPATO, L.P; SILVA, R; ROCHA, R.S; NETO, R.P.C; TAVARES, M.I.B; ESMERINO, E.A; FREITAS, M.Q; BISSAGIO, R.C; RANADHEERA, S; RAICES, R.S.L; SILVA, M.C; CRUZ, A.G. Processing raspberry-flavored whey drink using ohmic heating: Physical, thermal and microstructural considerations. **Food Research International**, v. 123, p. 20-16, 2019b.

FERREIRA, M.V.S. Processamento de bebida láctea de framboesa por aquecimento ôhmico. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 79f, 2019a.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS; WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for the evaluation of probiotics in food**. London, Ontario, Canadá, 2002.

FURLÁN, L.T.R; CAMPDERRÓS, M.E. The combined effects of Stevia and sucralose as sugar substitute and inulin as fat mimetic on the physicochemical properties of sugar-free reduced-fat dairy dessert. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v.10, p.16-23, 2017.

GALANAKIS, C.M. **Nutraceutical and Functional Foods Components**. Elsevier 2017. 384p.

GAVAHIAN, M; LEE, Y-T; CHU, Y-H. Ohmic-assisted hydrodistillation of citronella oil from Taiwanese citronella grass: Impacts on the essential oil and extraction medium. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.48, p. 33-41, 2018.

GIUSTI, M.M; WORSLTAD, R.E. Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy: Current Protocols in **Food Analytical Chemistry**. John Willey, New York, NY, USA. 2001.

GOMES, C. F; SARKIS, J. R; MARCZAK, L. D. F. Ohmic blanching of tetsukabuto pumpkin: effects on peroxidase inactivation kinetics and color changes. **Journal of Food Engineering**, v.233, p. 74-80, 2018.

GRACE, M. H; XIONG, J; ESPOSITI, D; EHLENFELDT, M; LILA, M. A. Simultaneous LC-MS quantification of anthocyanins and non-anthocyanin phenolics from blueberries with widely divergent profiles and biological activities. **Food Chemistry**, v.277, p.336-346, 2019.

GUIMARÃES, J.T; SILVA, E.K; FREITAS,M.Q; MEIRELES, M.A A; CRUZ, A.G. Non-thermal emerging technologies and their effects on the functional properties of dairy products. **Current Opinion in Food Science**, v. 22, p. 62-66, 2018.

HASSANI, A; HUSSAIN, S. A; ABDULLAH, N; KAMARUDIN, S; ROSLI, R. Antioxidant Potential and Angiotensin-Converting Enzyme (ACE) Inhibitory Activity of Orotic Acid-Loaded Gum Arabic Nanoparticles. **AAPS PharmSciTech**, 20 (2), 53, 2019.

HAZLETT; R; SCHMIDMEIER, C; O'MAHONY, J.O. Milk Proteins. **Encyclopedia of Food Chemistry**, p. 138-147, 2019.

HENRIQUE, J.R; PEREIRA, B.G; CARDOSO, F.F; LIMA, H.C; MADALENA, J.O.M. Caracterização físico-química e avaliação sensorial de sobremesa láctea tipo mousse enriquecida com casca de maracujá do cerrado. II Semana de Ciência e Tecnologia do IFMG Campus Bambuí, p.1-5, 2009.

HORVAT, R. J; SENTER, S. D. Comparison of the volatile constituents from rabbiteye blueberries (*Vaccinium ashei*) during ripening. **Journal of Food Science**, v. 50, p.429–431, 1985.

HOU, Y; WANG, R. GAN, Z; SHAO, T; ZHANG, X; HE, M; SUN, A. Effect of cold plasma on blueberry juice quality. **Food Chemistry**, v. 290, p. 79-86, 2019.

HOWARD, L. R; HAGER, T. J. Berry fruit phytochemicals. In: Zhao, Y. Berry Fruit: Value Added Products for Health Promotion; **CRC PRESS**, 2007.

HUANG, W; YAN, Z; LI, D, MA, Y; ZHOU, J; SUI, Zhongquan. Antioxidant and Anti-Inflammatory Effects of Blueberry Anthocyanins on High Glucose-Induced Human Retinal Capillary Endothelial Cells. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, 10 p, 2018.

ICIER F; ILICALI, C. Temperature dependent electrical conductivities of fruit purees during ohmic heating. **Food Research International**, v.38, p.1135 -1142, 2005.

ICIER, F; YILDIZ, H; BAYSAL, T. Polyphenoloxidase deactivation kinetics during ohmic heating of grape juice. **Journal Food Engineering**, v.85, p. 410-417, 2008.

INMANEE, P; KAMONPATANA, P; PIRAK, T. Ohmic heating effects on *Listeria monocytogenes* inactivation, and chemical, physical, and sensory characteristic alterations for vacuum packaged sausage during post pasteurization. **LWT**, v. 108, p. 183-189, 2019.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4^o ed. 1^o ed. digital. São Paulo. Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020p.

ISHIMOTO, K; FUJIMORI, T; ICHIMURA, N; FUKUSHIMA, M. Volatile compounds of Blueberries. **Koryo, Terupeno yobi Seiyu Kaga kunikansuru Toronkai Koen Yoshishu**, v. 44, p. 22–24, 2000.

ISTEK, N; GURBUZ, O. Investigation of the impact of blueberries on metabolic factors influencing health. **Journal of Functional Foods**, v.38, p.298–307, 2017.

JAEGER, H; ROTH, A; TOEPFL, S; HOLZHAUSER, T; ENGEL, K; KNORR, D; VOGEL, R.F; BANDICK, N; KULLING, S; HEINZ, V; STEINBERG, P. Opinion on the use of ohmic heating for the treatment of foods. **Trends in Food Science and Technology**, v. 55, p. 84-97, 2016.

JITTANIT, W;KHUENPET, K; KAEWSRI, P; DUMRONGPONGPAIBOON, N; HAYAMIN, P;JANTARANGSRI, K. Ohmic heating for cooking rice: Electrical conductivity measurements, textural quality determination and energy analysis. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 42, p. 16-24, 2017.

KIM, SS; PARK, S.H; KANG, DH. Application of continuous-type pulsed ohmic heating system for inactivation of foodborne pathogens in buffered peptone ater and tomate juice. **LWT**, v.93, p.316-322, 2018.

KONDA, P. B. P. Compostos fenólicos e capacidade antioxidante em espécies de mirtilo produzidas no Brasil. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 146 f, 2014.

LAVELLI, V; SRI HARSHA, P. S. C; FERRANTI, P; SCARAFONI, A; IAMETTI, S. Grape skin phenolics as inhibitors of mammalian α -glucosidase and α -amylase - effect of food matrix and processing on efficacy. **Food and Function**, v.7, p.1655-1663, 2016.

MAGALHÃES, H. Oportunidade para o mercado de bebidas. **Food Ingredients Brazil**, p.3, 2008.

MANTOVANI, F. D; KIMURA, A. B. LIMA, K. C; SOUZA, C. H. B; SANTANA, E. H. W; ARAGON-ALEGRO, L. N. Bebida e sobremesas lácteas probióticas: viabilidade de *Lactobacillus casei* nos produtos e sua resistência em condições simuladas do trato gastrointestinal humano. Congresso Latino Americano de Microbiologia e Higiene de Alimentos. **Blucher Food Science Proceedings**, v.1, n 1, p.447-448, 2014.

MEESAPYODSUK, D; YE, S; CHEN, Y; CHEN, Y.I; CHAPMAN, R.G; QIU, X. An engineered oilseed crop produces oil enriched in two very long chain polyunsaturated fatty acids with potential health-promoting properties. **Metabolic Engineering**, v.49, p. 192-200, 2018.

MERCALI, G.D; SCHWARTZ, S; MARCZAK, L.D.F; TESSARO, I.C; SASTRY, S. Ascorbic acid degradation and color changes in acerola pulp during ohmic heating: effect of electric field frequency. **Journal of Food Engineering**, v.123, p.1-7, 2014.

MERCER, E. N; NASCIMENTO, G; CORREIA, V.A; SOARES, V.L. Desenvolvimento e produção de mousse de goiaba com posterior avaliação sensorial. In: VI Semana de Tecnologia em Alimentos. Universidade Tecnológica do Paraná – UTFPR Campus Ponta Grossa, Paraná, v.02, n.01, 2008.

MICHALSKA, A; LYSIAK, G. Bioactive Compounds of Blueberries: Post-Harvest Factors Influencing the Nutritional Value of Products. **International Journal of Molecular Sciences**, v.16, p. 18642-18663, 2015.

MORAIS, E. C; MORAIS, A. R; CRUZ, A. G; BOLINI, H. M. A. Development of chocolate dairy dessert with addition of prebiotics and replacement of sucrose with different high-intensity sweeteners. **American Dairy Science Association**, v.97, p.1-10, 2014.

MORENO, J; ESPINOZA, C; SIMPSON, R; PETZOLD, G; NUÑEZ, H; GIANELLI, M. P. Application of ohmic heating/vacuum impregnation treatments and air drying to develop an apple snack enriched in folic acid. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 33, p. 381- 386, 2016.

MOTTRAM, D.S. The Maillard Reaction: Source of Flavour in Thermally Processed Foods. **Flavours and Fragrances: chemistry, bioprocessing and sustainability**. Alemanha: Berger p. 269-284, 2007.

MUNIZAGA, G.T; CÁNOVAS, G.V.B. Rheology for the food industry. **Journal of Food Engineering**, v.67, p.147-156, 2005.

NICOLETTI, A.M; GULARTE, M. A; ELIAS, M.C; SANTOS, M. S; ÁVILA, B.P; MONKS, J.L.F; PERES,W. Blueberry Bioactive Properties and Their Benefits for Health: A Review. **Journal of New Technology and Research**, v.1, p.51-57, 2015.

NILE, S. H; PARK, S. W. Edibleberries: Bioactive components and their effect on human health. **Nutrition**, v.30, n.2, p.134-144, 2014.

ODUEKE, O.B; CHADD, S.A; BAINES, R.N; FARAG, K.W; JANSSON, J.Effects of gamma irradiation on the shelf-life of a dairy-like product. **Radition Physics and Chemistry**, v.143, p. 63-71, 2018.

PARK, S. H; BALASUBRAMANIAM, V. M; SASTRY, S. K. Quality of shelf-stable low-acid vegetables processed using pressure–ohmic–thermal sterilization. **LWT-Food Science and Technology**, v. 57, p. 243-252, 2014.

PARLIAMENT, T. H; KOLOR, M. G. Identification of the major volatile components of blueberry. **Journal of Food Science**, v. 40, p. 762–763, 1975.

PARRÓN, J. A; RIPOLLÉS, D; NAVARRO, F; RAMOS. S.J; PÉREZ. M. D; CALVO, M; SÁNCHEZ. L. Effect of high pressure treatment on the antirotaviral activity of bovine and ovine dairy by-products and bioactive milk proteins. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.18, p.265-273, 2018.

PATARO, G; BARCA, G.M.J; PEREIRA, R.N; VICENTE, A.A; TEIXEIRA, J.A; FERRARI, G. Quantification of metal release from stainless steel electrodes during conventional and pulsed ohmic heating. **InnovatTechnologies. Food Science and Emerging Technologies**, v.21, p.66-73, 2014.

PEÑA, M; WELTI-CHANES, J; BELLOSO, O. M. Novel technologies to improve food safety and quality. **Current Opinion in Food Science**, v.30, p. 1-7, 2019.

PEREIRA, R.N; MARTINS, R.C; VICENTE,A.A. Goat Milk Free Fatty Acid Characterization During Conventional and Ohmic Heating Pasteurization. **Journal Dairy Science**, v.91, p.2925–2937, 2007.

PERSSON, I. A.L; PERSSON, K; ANDRESSON, R. G. G. Effect of Vaccinium myrtillus and its polyphenols on angiotensin-converting enzyme activity in human endothelial cells. **Journal Agricultural Food Chemistry**, v. 57, p. 4626-4629, 2009.

PERTUZATTI,P.B; BARCIA, M. T; REBELLO, L.P.G; GÓMEZ-ALONSO, S; DUARTE, R.M. T; DUARTE, M.C.T; GODOY,H.T; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ,I. Antimicrobial activity and differentiation of anthocyanin profiles of rabbiteye and highbush blueberries using HPLC–DAD–ESI–MSn and multivariate analysis. **Journal of Functional Foods**, v. 26, p. 506–516, 2016.

PRIOR, R. L; CAO, G. H; MARTIN, A; SOFIC, E; MCEWEN, J; O'BRIEN, C; LISCHNER, N; EHLENFELDT, M; KALT, W. KREWER, G; MAINLAND, C. M. Antioxidant capacity as influenced by total phenolic and anthocyanin content, maturity, and variety of Vaccinium species. **Journal of the Agricultural and Food Chemistry**, v.46, p.2686- 2693, 1998.

PRIPP, A.H; SORENSEN, R; STEPANIAK, L; SORHAUG, T. Relationship between proteolyses and angiotensin-I-converting enzyme inhibition in different cheeses. **Food Science and Technology**, v.39, n.6, p.677-683, 2006.

RAMÍREZ-JIMÉNEZ, A.K; RANGEL-HERNÁNDEZ, J; MORALES-SÁNCHEZ, E; LOARCA-PINÃ, G; GAYTÁN-MARTÍNEZ, M. Changes on the phytochemicals profile of instant corn flours obtained by traditional nixtamalization and ohmic heating process. **Food Chemistry**, v.276, p. 57-62, 2019.

RODRÍGUEZ, J.L.F. DYNAROWICZ-LATKA, P; CONDE, J.M. Effects of saturated and polyunsaturated fatty acids on interactions with cholesterol versus 7-ketocholesterol in Langmuir monolayers and their potential biological implications. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v.174, p. 189-198, 2019.

RODRIGUEZ-MATEOS, A;ISTAS, G.BOSCHEK, L; FELICIOANO,R.P; MILLS, C.E; BOBY,C; GOMEZ-ALONSO, S; MILENKOVIC, D; HEISS, C. Circulating anthocyanin metabolites mediate vascular benefits of blueberries: insights from randomized controlled trials, metabolomics, and nutrigenomics. **The Journals of Gerontology**, 34 p, 2019.

ROHLOFF, J; NESTBY, R; NES, A; MARTINUSSEN, I. Volatile profiles of European blueberry: few major players, but complex aroma patterns. **Latvian Journal of Agronomy/Agronomija Vestis**, v.12, p.98-103, 2009.

RUFINO, M.S.M; ALVES, R.E; BRITO, E.S; PÉREZ-JIMÉNEZ, J; SAURA CALIXTO, F; MANCINI-FILHO, J. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v.121, p. 996-1002, 2010.

SALVIANO, A. T. M; SANTOS, E. P; GARCIA, R. V; MEDEIROS JÚNIOR, F. C. Desenvolvimento e aceitabilidade de sobremesa fermentada caprina sabor manga. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.14, n.2, p.185-190, 2012.

SANTOS-BUELGA, C; GONZÁLEZ-PARAMÁS, A. M; OLUDEMI, T; AYUDA-DURÁN, B; GONZÁLEZ-MANZANO, S. Plant phenolics as functional food ingredients. **Advances in Food and Nutrition Research**, 2019.

SARKIS, J.R; JAESCHKEL, D. P; TESSARO, I.C; MARCZAK, L. D.F.Effects of ohmic and conventional heating on anthocyanin degradation during the processing of blueberry pulp. **Food Science Technology**.v.51, p.79-85, 2013.

SAKR, M; LIU, S.A comprehensive review on applications of ohmic heating (OH). **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.39, p 262–269, 2014.

SASTRY, S. K; HESKITT, B. F; SARANG, S. S; SOMAVAT, R; AYOTTE, K. Why OhmicHeating? Advantages, Applications, Technology, and Limitations. In: RAMASWAMY, H. S.; MARCOTTE, M.; SASTRY, S.; ABDELHARIM, K. Ohmic Heating in Food Processing. Boca Raton: **CRC Press**. p.7-14, 2014.

SAUNDERS, A.B. Ice Cream and Desserts/Dairy Desserts. **Encyclopedia of Dairy Sciences**, p. 905–912, 2011.

SAUNDERS, A.B. Dairy Desserts. **Reference Module in Food Science**, 2016.

SENGUN, I.Y; YILDIZ TURP, G; ICIER, F; KENDIRCI, P; KOR,G. Effects of ohmic heating for pre-cooking of meatballs on some quality and safety attributes. **LWT-Food Science and Technology**, v.55, p.232-239, 2014.

SILVA, A.M; SCHERER, L.G; DAUDT, M, R; SPADA, J. C; CARDOZO, N.S.M; MARCZAK, L. D. F. Effects of starch source and treatment type - Conventional and ohmic heating - On stability and rheological properties of gels. **LWT**, v. 109, p. 7-12, 2019.

SILVA, S.V; MALCATA, F.X. Caseins as source of bioactive peptides. **International Dairy Journal**, v.15, n.1, p.1-15, 2005.

SIMONIS, P; KERSULIS, S; STANKEVICH, V; SINKEVICA, K;STRIGUNIENE, K; RAGOZA, G; STIRKE, A. Pulsed electric field effects on inactivation of microorganisms in acid whey. **International Journal of Food Microbiology**, v. 291, p.128-134, 2019.

SOUSA, M.C. Obtenção de sobremesa láctea de jabuticaba (*Myrciaria cauliflora* Berg) com potencial funcional utilizando cepas nativas de *Lactobacillus* ssp. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 110f, 2016.

SOUTINHO, S. Avaliação dos compostos fenólicos e da atividade antioxidante de frutos vermelhos produzidos em modo biológico. Escola Superior Agrária de Viseu, 2012.

SOUZA, V.R.D. Tratamento térmico com vapor e adição de xantana para preservação de compostos bioativos fenólicos e da atividade antioxidante de polpas de mirtilo. Dissertação (Mestrado Ciências e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Pelotas, 87 p, 2017.

SPÍNOLA, V; PINTO, J; CASTILHO, P. C. Hypoglycemic, anti-glycation and antioxidant in vitro properties of two *Vaccinium* species from Macaronesia: A relation to their phenolic composition. **Journal of Functional Foods**, v.40, p.595-605, 2018.

STANCL J, ZITNY R. Milk fouling at direct ohmic heating. **Journal of Food Process Engineering**, v.99, p.437-444, 2010.

STEFFE, J. F. Rheological methods in food process engineering. Michigan: **Freeman Press**, 418 p, 1996.

STRIK, B. C; FINN, C. E; MOORE, P. Blueberry cultivars for the Pacific Northwest. **A Pacific Northwest Extension Publication**, 2014.

SWAIN, T; HILLIS, W.E. The phenolics constituents of *Prunus domestica*. The quantitative analysis of phenolic constituents. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.10, p. 63-68, 1959.

TÁRREGA, A; COSTELL, E. Effect of inulin addition on rheological and sensory properties of fat-free starch-based dairy desserts. **International Dairy Journal**, v.16, p.1104-1112, 2006.

TONIAL, I.B; OLIVEIRA, D.F; BRAVO, C.E.C; SOUZA, N.E; MATSUSHITA, M; VISENTAINER, J.V. Caracterização físico-química e perfil lipídico do salmão (*Salmo salar* L.). **Alimentos e Nutrição**, v. 21, p. 93-98, 2010.

United States Department of Agriculture. Agricultural Research Service. National Nutrient Database for Standard Reference Legacy Release. <<https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/09050?fgcd=&manu=&format=&count=&max=25&offset=&sort=default&order=asc&qlookup=blueberry&ds=&qt=&qp=&qa=&qn=&q=&ing>> Acesso em: 24 de Abr. 2019.

U.S. Highbush Blueberry Council, Tudo sobre Blueberries. Disponível em <http://ushbc.com.br/?wysijapage=1&controller=email&action=view&email_id=34&wysijap=subscriptions&user_id=161> Acesso em: 28 de jan. 2019.

VADIVELAN, R; KRISHNAN, R. G; KANNAN, R. Antidiabetic potential of *Asparagus racemosus* Willd leaf extracts through inhibition of α -amylase and α -glucosidase. **Journal of Traditional and Complementary Medicine**, v.9, p.1-4, 2019.

VAN BREDA, S.G. J; BRIEDÉ, J. J; KOK, T.M.C.M. Improved Preventive Effects of Combined Bioactive Compounds Present in Different Blueberry Varieties as Compared to Single Phytochemicals. **Nutrients**, v.29, p. 61, 2018.

VRHOVSEK, U; MASUERO, D; PALMIERI, L; MATTIVI, F. Identification and quantification of flavonol glycosides in cultivated blue berry cultivars. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 5, p.9-16, 2012.

WANG, S. Y; CHEN, H; CAMP, M. J; EHLENFELDT, M. K. Flavonoid constituents and their contribution to antioxidant activity in cultivars and hybrids of rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei*). **Food Chemistry**, v.132, p.855-864, 2012.

YANG, ZH, GORDON,S. M;SVIRIDOV, D; WANG,S; DANNER, R.L; PRYOR, M; VAISMAN, B; SCHICHIJO, Y; DOISAKI, N; REMALEY, A.T. Dietary supplementation with long-chain monounsaturated fatty acid isomers decreases atherosclerosis and alters lipoprotein proteomes in *LDLr^{-/-}* mice. **Atherosclerosis**, v.262, p. 31-18, 2017.

YOUSEF, G. G; BROWN, A. F; FUNAKOSHI, Y; MBEUNKUI, F; GRACE, M. H; BALLINGTON, J. R; LORAINE, A; LILA, M. A. Efficient quantification of the health relevant anthocyanin and phenolic acid profiles in commercial cultivars and breeding selections of blueberries (*Vaccinium* spp.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.61, p. 4806- 4815, 2013.

XAVIER, A.A.O; MERCADANTE, S.Z. The bioaccessibility of carotenoids impacts the design of functional foods. **Current Opinion in Food Science**, v.26, p. 1-8, 2019.

ZAREIFARD, M. R; MARCOTTE, M; RAMASWAMY, H. S; KARIMI, Y. Electrical Conductivity – Importance and Methods of Measurement. In: RAMASWAMY, H. S; MARCOTTE, M; SASTRY, S; ABDELHARIM, K. **Ohmic Heating in Food Processing**. Boca Raton: **CRC Press**, p.17- 36, 2014.

ZHANG, H. Electrical Properties of Foods. **Food Engineering**, v. 1, p. 115-125, 2009.

ZHAO, Y; WU, X; YU, L; CHEN, P. Retention of polyphenols in blueberries (*Vaccinium corymbosum*) after different cooking methods, using UHPLC–DAD–MS based metabolomics. **Journal of Food Composition and Analysis**, v.56, p.5, 2017.