



FACULDADE DE VETERINÁRIA

Departamento de Produção Animal e Tecnologia de Alimentos

Secção de Tecnologia de Alimentos

Curso de Licenciatura em Ciência e Tecnologia de Alimentos

TRABALHO DE CULMINAÇÃO DE ESTUDOS

Influência do congelamento sobre a estabilidade microbiológica e físico-química de polpas de frutas: Mapfilua (*Vangueria infausta*) e Maracujá amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa Degenerer*)

Estudante:

Caleb Ribeiro Namanda

Supervisora:

Profa. Doutora Telma Magaia

Co-Supervisoras:

Profa. Doutora Custódia Macuamule

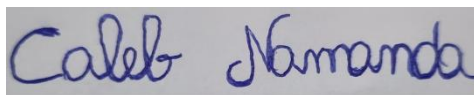
Lic. Eunice Chivale

Maputo, Outubro 2025

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Caleb Ribeiro Namanda declaro por minha honra que o presente trabalho de culminação de estudos é fruto de investigação por mim realizado para obtenção do grau de licenciatura em Ciência e Tecnologia de Alimentos sob as orientações dos meus supervisores, e o seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente referidas no texto e nas referências bibliográficas. Da mesma forma, declaro que este trabalho de pesquisa nunca não foi apresentado parcial ou totalmente em nenhuma instituição para obtenção de qualquer grau académico

Maputo, Outubro de 2025



(Caleb Ribeiro Namanda)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, rendo graças a Deus, fonte de toda sabedoria e vida, pela graça derramada em cada etapa desta jornada. Foi Ele quem me sustentou nos momentos de dificuldade, renovou as minhas forças quando precisei e me concedeu vitórias maiores do que eu poderia imaginar. Toda honra e toda glória pertencem a Ti, Senhor.

Aos meus avós, Daniel Muhiteque e Celeste Muhiteque, exemplos de fé, amor e dedicação. Obrigado pelas orações constantes, por acreditarem em mim e por me ensinarem a caminhar com coragem e confiança em Deus. À minha família, irmãos e irmãs, em especial Isac Namanda, Ester Muhiteque, Shalon Mondlane, Osvaldo Muhiteque, Shammah Mondlane e tia Clara Celeste, pelo apoio espiritual, material e pelas orações que me acompanharam ao longo desta caminhada. Aos servos de Deus e irmãos em Cristo, em especial o Pastor Arlindo Banze, o irmão Teófilo e o irmão João Alberto, pela ajuda espiritual e material em momentos específicos.

À minha supervisora, Profa. Doutora Telma Magaia, e co-supervisoras, Profa. Doutora Custódia Macuamule e dra. Eunice Chivale, expresso a minha profunda gratidão pela confiança em mim depositada e por permitirem que Deus através de vós torna-se possível a realização deste trabalho. Agradeço pelo apoio material, financeiro e intelectual, pela paciência mesmo diante das dificuldades e pela dedicação com que acompanharam cada etapa da minha formação e deste trabalho.

À Universidade Eduardo Mondlane (UEM), pela concessão da bolsa de estudos ao longo destes quatro anos formação. Aos professores que compartilharam não apenas conhecimento técnico, mas também valores para o meu crescimento académico e pessoal, em especial o Prof. Doutor Belisário Moiane, Mestre Charmila Mussagy, Mestre Agnaldo Manhiça e Mestre Felizardo Paulo. Aos técnicos de laboratório de Tecnologia de Alimentos, Lic. Joaquim Manguele e Sr. António Guambe, pela colaboração e conhecimento partilhado. À Agro-Serviços, na pessoa do Doutor Tomo, pela colaboração para realização deste trabalho e ao Centro de Biotecnologia da UEM por permitir realizar parte das análises naquele local, em especial ao Sr. Jussá pelo suporte técnico.

A todos meus colegas de turma e da faculdade, em especial Jasmim Buque, Aurora Cutane, Dilsa Fumane, Lerrisse Jozine, Sílvio Cumba, Edna Siteo, Amarilda Licumbe, Eugénio Macuacua, Nuno Mujoi, Atália Maluvele, Yuran Chamango e Joana da Graça, o meu muito obrigado por terem feito parte desta jornada e contribuído na elaboração deste trabalho.

Por fim, a todos que, de forma directa ou indirecta, contribuíram nesta caminhada, expresso minha sincera gratidão. Que Deus recompense grandemente cada um de vocês.

ABREVIATURAS E ACRÔNIMOS

% - Percentagem

ANOVA - Análise de Variância

AT - Acidez Titulável

BAM - Bactérias aeróbicas mesófilas

°Brix – Graus Brix

° C - Graus celsius

ex. - exemplo

g - Gramas

mg – Miligrama

mL – Mililitro

pH - Potencial de Hidrogênio

SST - Sólidos solúveis totais

UFC – Unidade Formadora de Colônias

LISTA DE TABELAS

Tabela I - Composição da polpa de fruta <i>Vangueria infausta</i>	5
Tabela II - Composição da polpa de fruta <i>Passiflora edulis var. flavicarpa Degenerer</i>	7

LISTA DE FIGURAS

Figura I – Fruta e Sementes incorporadas na polpa da fruta de <i>Vangueria infausta</i>	5
Figura II – Fruta e polpa de <i>Passiflora edulis var. flavicarpa Degenerer</i>	6
Figura III - Delineamento Experimental.....	15

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico I - Contagens de bactérias aeróbicas mesófilas (log UFC/g) na polpa de mapfilua armazenada durante 90 dias a -18°C , com ajuste polinomial do segundo grau.....	18
Gráfico II - Contagens de bactérias aeróbicas mesófilas (log UFC/g) na polpa de maracujá armazenada durante 90 dias a -18°C , com ajuste polinomial do segundo grau.....	19
Gráfico III - Contagens de bolores e leveduras (log UFC/g) na polpa de mapfilua armazenada durante 90 dias a -18°C , com ajuste polinomial do segundo grau.....	19
Gráfico IV - Contagens de bolores e leveduras (log UFC/g) na polpa de maracujá armazenada durante 90 dias a -18°C , com ajuste polinomial do segundo grau.....	20
Gráfico V - Valores de pH na polpa de mapfilua armazenada durante 90 dias a -18°C , com ajuste polinomial de terceiro grau.	21
Gráfico VI - Valores de pH na polpa de maracujá armazenada durante 90 dias a -18°C , com ajuste polinomial de terceiro grau.....	21
Gráfico VII - Acidez titulável (g ácido cítrico/100 g) na polpa de mapfilua armazenada durante 90 dias a -18°C , com ajuste polinomial do segundo grau.	22
Gráfico VIII - Acidez titulável (g ácido cítrico/100 g) na polpa de maracujá armazenada durante 90 dias a -18°C , com ajuste polinomial do segundo grau.	23
Gráfico IX - Sólidos solúveis totais ($^{\circ}\text{Brix}$) na polpa de mapfilua armazenada durante 90 dias a -18°C	23
Gráfico X - Sólidos solúveis totais ($^{\circ}\text{Brix}$) na polpa de maracujá armazenada durante 90 dias a -18°C	24
Gráfico XI - Relação sólidos solúveis/acidez titulável na polpa de mapfilua armazenada durante 90 dias a -18°C , com ajuste polinomial do segundo grau.....	24

Gráfico XII - Relação sólidos solúveis/acidez titulável na polpa de maracujá armazenada durante 90 dias a -18°C , com ajuste polinomial do segundo grau.	25
Gráfico XIII - Teor de vitamina C (mg/100 g) na polpa de maracujá armazenada durante 90 dias a -18°C , com ajuste linear.	25
Gráfico XIV – Teor de vitamina C (mg/100 g) na polpa de maracujá armazenada durante 90 dias a -18°C , com ajuste linear.	26

ÍNDICE

RESUMO.....	1
1. INTRODUÇÃO.....	2
2. OBJECTIVOS.....	4
2.1. Geral	4
2.2. Específicos.....	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1. Considerações sobre as frutas e sua contribuição na segurança nutricional	5
3.1.1. <i>Vangueria infausta</i>	5
3.1.2. <i>Passiflora edulis f. flavicarpa Degenerer</i>	7
3.2. Polpas de Frutas	8
3.3. Princípios do congelamento	9
3.4. Factores que influenciam a estabilidade e qualidade de polpas de frutas sob congelamento.....	9
3.5. Efeito do congelamento, armazenamento e descongelamento nas polpas de frutas	10
3.5.1. Alterações físicas	10
3.5.2. Alterações químicas	11
3.5.3. Estabilidade Microbiológica	12
3.5.4. Descongelamento	12
3.6. Controlo da Estabilidade das Polpas de frutas congeladas	13
4. MATERIAL E MÉTODOS	15
4.1. Local de estudo	15
4.2. Obtenção das polpas de frutas	15
4.3. Definição de tratamento e delineamento experimental	15
4.4. Análises microbiológicas.....	16
4.4.1. Preparação de amostras.....	16
4.4.2. Contagens de bactérias aeróbicas mesófilas (BAM)	17
4.4.3. Bolores e Leveduras	17
4.5. Análises físico-químicas das polpas de frutas.....	17
4.5.1. Potencial de Hidrogénio (pH)	17
4.5.2. Acidez titulável	17

4.5.3. Sólidos solúveis totais (°Brix)	18
4.5.4. Relação °Brix/Acidez Titulável (Ratio)	18
4.5.5. Vitamina C (ácido ascórbico).....	18
4.6. Análise de dados	18
5. RESULTADOS	19
5.1. Estabilidade microbiológica das polpas de frutas congeladas	19
5.1.1 Bactérias Aeróbicas Mesófilas	19
5.1.2. Bolores e Leveduras	20
5.2. Estabilidade físico-química das polpas de frutas congeladas	21
5.2.1. pH.....	21
5.2.2. Acidez titulável em ácido orgânico	23
5.2.3. Sólidos solúveis totais (°Brix).....	24
5.2.4. Relação brix/acidez (ratio).....	25
5.2.5 Vitamina C (ácido ascórbico)	26
6. DISCUSSÃO.....	28
6.1. Estabilidade físico-química das polpas de frutas congeladas	28
6.1.1. pH.....	28
6.1.2. Acidez titulável (AT, em ácido cítrico)	28
6.1.3. Sólidos solúveis totais (°Brix)	29
6.1.4. Relação Sólidos Solúveis/Acidez Titulável (Ratio).....	30
6.1.5. Vitamina C (ácido ascórbico).....	30
6.2. Estabilidade microbiológica das polpas de frutas congeladas	31
6.2.1. Bactérias aeróbicas mesófilas.....	31
6.1.2. Bolores e leveduras	31
7. CONCLUSÃO	33
8. RECOMENDAÇÕES	34
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

RESUMO

O congelamento de polpas de frutas representa uma alternativa tecnológica para reduzir perdas pós-colheita, prolongar a vida útil e garantir maior acesso a nutrientes essenciais fora da época de colheita. Apesar disso, o processo pode ocasionar alterações na estabilidade do produto, tornando importante compreender essas variações para garantir a qualidade e a segurança do produto. O presente estudo avaliou o efeito do congelamento a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ sobre a estabilidade microbiológica e físico-química de polpas de mapfilua (*Vangueria infausta*) e maracujá amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa* Degenerer) durante 90 dias, de modo a determinar a influência do congelamento sobre esses parâmetros. Foram coletados 1200 g de polpas frescas comerciais de cada fruta, distribuídas em embalagens de 150 g. Parte das polpas frescas foram analisadas como referência e as restantes foram congeladas e armazenadas a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, sendo analisadas a cada 15 dias até completar 90 dias. Análises de contagens microbiológicas (bactérias aeróbicas mesófilas, bolores e leveduras) e determinações físico-químicas (pH, acidez titulável, sólidos solúveis totais ($^{\circ}\text{Brix}$), relação $^{\circ}\text{Brix}$ /Acidez e teor de vitamina C), foram realizadas com 2 repetições para microbiologia e 3 para físico-química, após descongelamento lento a $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 10 a 15 horas. Os resultados foram submetidos a ANOVA, teste de Tukey e regressão. Os resultados microbiológicos indicaram uma tendência de redução das contagens ao longo dos 90 dias: as bactérias aeróbicas mesófilas variaram aproximadamente entre 3,02–2,42 log UFC/g na mapfilua e 2,86–2,01 log UFC/g no maracujá; bolores e leveduras apresentaram comportamento semelhante, variando de 2,75–2,09 log UFC/g na mapfilua e 2,97–2,43 log UFC/g no maracujá. Quanto aos parâmetros físico-químicos, os sólidos solúveis permaneceram estáveis (11 $^{\circ}\text{Brix}$ na mapfilua e 20 $^{\circ}\text{Brix}$ no maracujá). O pH oscilou entre 3,12–3,19 na mapfilua e 2,70–2,78 no maracujá, enquanto a acidez titulável variou entre 0,93–1,23 g ácido cítrico/100 g na mapfilua e 2,85–3,32 g ácido cítrico/100 g no maracujá, reflectindo flutuações na relação $^{\circ}\text{Brix}$ /Acidez (11,84–8,95 na mapfilua e 7,02–6,02 no maracujá). O teor de vitamina C apresentou decréscimo contínuo, reduzindo de 35,23 para 29,87 mg/100 g na mapfilua e de 29,35 para 25,97 mg/100 g no maracujá ao longo dos 90 dias. O congelamento a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 90 dias preserva a estabilidade microbiológica das polpas de mapfilua e maracujá; resulta em alterações físico-químicas sem comprometer expressivamente as características do produto. As variáveis apresentam tendências distintas ao longo dos 90 dias, conforme a sensibilidade de cada parâmetro ao processo de congelamento e tempo de armazenamento.

Palavras-chave: Polpas de frutas congeladas; Estabilidade microbiológica; Estabilidade físico-químicas; Mapfilua; Maracujá amarelo; Moçambique.

1. INTRODUÇÃO

As frutas desempenham papel essencial na segurança alimentar e nutricional, especialmente em países tropicais como Moçambique, onde constituem importantes fontes de vitaminas, minerais, fibras e compostos bioativos (Dique, 2022; Ngigi *et al.*, 2023). A diversidade de espécies nativas e exóticas presente no território oferece oportunidades não só para o consumo *in natura*, mas também para o desenvolvimento de produtos processados capazes de agregar valor e dinamizar cadeias produtivas locais. Entre essas espécies destacam-se *Vangueria infausta* (mapilua), nativa da África Austral, e *Passiflora edulis f. flavicarpa* Degenerer (maracujá amarelo), exótica, ambas com relevante potencial nutricional e tecnológico (Chiau, 2015; Sandoval *et al.*, 2014).

Apesar desse potencial, a elevada perecibilidade das frutas limita a sua disponibilidade ao longo do ano, favorece perdas pós-colheita e dificulta o aproveitamento económico e nutricional. Nesse contexto, o processamento em forma de polpas congeladas surge como alternativa eficiente, prolonga a vida útil, permite o consumo fora da época de colheita e reduz desperdícios, enquanto facilita a comercialização e a integração das cadeias produtivas. O congelamento destaca-se como um dos métodos mais naturais e eficazes para conservar frutas e polpas, mantendo o perfil de qualidade próximas ao estado *in natura* (Castro *et al.*, 2015; Nthabiseng *et al.*, 2023).

Contudo, a eficácia do congelamento não é absoluta. Durante o processo e o armazenamento podem ocorrer alterações físico-químicas e microbiológicas que afectam a qualidade final do produto. A formação de cristais de gelo, a concentração da fase não congelada, a ruptura de compartimentos celulares e a actividade enzimática residual podem provocar variações de pH, acidez, relação °Brix/acidez e perdas de compostos sensíveis como a vitamina C, para além de influenciar a viabilidade microbiana do produto. Esses mecanismos têm sido descritos em trabalhos sobre frutas e indicam a necessidade de avaliar a influência do congelamento durante o armazenamento (Celli *et al.*, 2016; Vicent *et al.*, 2018; Araújo *et al.*, 2017).

Embora exista literatura sobre efeitos do tempo e das condições de armazenamento em polpas de diferentes frutos, os estudos específicos sobre a estabilidade microbiológica e alterações físico-químicas em polpas de espécies locais ou pouco estudadas continuam limitados. Trabalhos como os de Araújo *et al.* (2017) e Damiani *et al.* (2013a, 2013b) ilustram como parâmetros como pH, acidez titulável e vitamina C variam durante o armazenamento congelado, mas faltam dados aplicáveis a espécies como *V. infausta* e *P. edulis f. flavicarpa* no contexto moçambicano. Essa lacuna dificulta a definição de parâmetros tecnológicos e práticos para conservação e comercialização de polpas, prejudicando a valorização de recursos frutícolas.

Diante deste quadro, este estudo propõe gerar evidências experimentais sobre as respostas microbiana e físico-química de polpas de *Vangueria infausta* e *Passiflora edulis f. flavicarpa* ao armazenamento por congelamento. Ao caracterizar as tendências e identificar parâmetros críticos durante o armazenamento a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, pretende-se fornecer subsídios técnicos que orientem práticas de processamento, embalagem e definição de prazos de conservação, contribuindo assim para a segurança alimentar e a valorização das espécies estudadas.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

- Avaliar a influência do congelamento sobre a estabilidade microbiológica e físico-química de polpas de maracujá amarelo (*Vangueria infausta*) e maracujá amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa* Degenerer) armazenadas à -18°C por 90 dias.

2.2. Específicos

- Monitorar a evolução microbiológica das bactérias aeróbicas mesófilas, bolores e leveduras durante o congelamento;
- Identificar variações nos parâmetros físico-químicos (pH, acidez titulável, sólidos solúveis totais (°Brix), relação °Brix/Acidez e teor de vitamina C) das polpas ao longo do armazenamento;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Considerações sobre as frutas e sua contribuição na segurança nutricional

As frutas ocupam um papel central na segurança alimentar e nutricional em diversas regiões do mundo, especialmente na África Subsaariana (Ngigi *et al.*, 2023; Zaca *et al.*, 2025). Em Moçambique, a diversidade de frutas disponíveis ao longo do território contribui para o fornecimento de vitaminas, minerais, fibras e compostos bioactivos essenciais à saúde (Dique, 2022; Magaia, 2015). Entre essas frutas, destacam-se diferentes espécies desde as nativas, como a *Vangueria infausta*, quanto espécies introduzidas e adaptadas, como a *Passiflora edulis f. flavicarpa Degener*, com usos que vão desde o consumo como fruta fresca até o aproveitamento artesanal e comercial em produtos alimentares.

A *Vangueria infausta* e a *Passiflora edulis f. flavicarpa Degener* apresentam características que as tornam relevantes para a alimentação e para o processamento. Estas frutas representam não apenas fontes de vitaminas, minerais e compostos bioactivos, mas também oportunidades para diversificar a dieta e fomentar cadeias de valor locais ligadas ao processamento de polpas e outros derivados (Chiau, 2015; Sandoval *et al.*, 2014). A sua valorização, portanto, alia-se à busca por sistemas alimentares mais resilientes e sustentáveis, especialmente diante dos desafios colocados pelas mudanças climáticas e pela insegurança alimentar (Goulão e Santo-Antonio 2015; Ngubane *et al.*, 2025).

3.1.1. *Vangueria infausta*

3.1.1.1. Descrição e Caracterização

Vangueria infausta localmente conhecida por mapfliua, é uma planta de pequeno a médio porte nativa da África Austral, que cresce em várias zonas ecológicas, a planta é reconhecida por sua resiliência e adaptabilidade, tornando-a um recurso importante para a segurança alimentar e resiliência climática em comunidades rurais, sendo integrada em dietas tradicionais e práticas medicinais (Mothapo *et al.*, 2014; Ngubane *et al.*, 2025; Ráice, 2014).

Trata-se de frutas (Figura I-a) carnudas, macias e possuem 3 a 5 sementes rígidas embebidas na polpa. A polpa é fibrosa de coloração castanha-avermelhada (Figura I-b) com sabor doce e azedo, podendo ser consumida fresca ou seca e usada na preparação de produtos de valor agregado, como geleias, sumos e bebidas tradicionais (Magaia, 2015; Maússe, 2015; Orwa *et al.*, 2009). A comercialização e o agroprocessamento da *Vangueria infausta* são vistos como um caminho para melhorar os meios de subsistência rurais e abordar metas de segurança alimentar, redução da pobreza e a sua integração contínua à indústria alimentícia poderia impulsionar economias rurais e criar oportunidades de empreendedorismo (Maluleke *et al.*, 2024).

Apesar dos seus benefícios, a *Vangueria infausta* continua a ser subutilizada devido à documentação científica limitada, havendo assim necessidade de realização de mais pesquisas para caracterizar completamente suas propriedades bioquímicas e medicinais, otimizar o manejo e processamento pós-colheita de forma a agregar valor, promover a comercialização e a preservação do conhecimento, especialmente entre as gerações mais jovens (Maluleke *et al.*, 2024; Ngubane *et al.*, 2025).

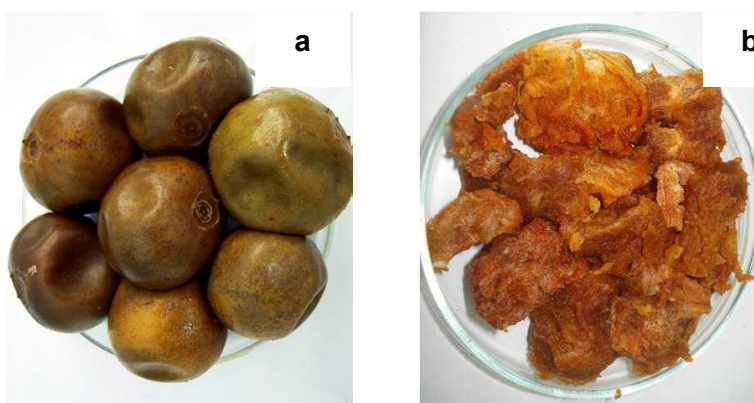


Figura 1 – a) Fruta; b) Polpa da fruta de *Vangueria infausta*. Fonte: Magaia (2015).

3.1.1.2. Composição nutricional da *Vangueria infausta*

A composição nutricional da *Vangueria infausta* tem sido objecto de investigação em diferentes estudos conduzidos em países da África Austral, incluindo Moçambique. Diferentes autores relataram níveis expressivos de nutrientes, conforme apresentado na Tabela I.

Tabela I - Composição da polpa de fruta *Vangueria infausta*.

Nutriente	Valores	Referências
Humidade (%)	4,16 – 89,9	Dique, (2022); Emmanuel <i>et al.</i> (2011); Mothapo <i>et al.</i> (2014).
Fibra (g/100g)	7,95 – 10,29	Dique, (2022); Emmanuel <i>et al.</i> (2011).
Carboidratos	77,07	Emmanuel <i>et al.</i> (2011).
Proteína (g/100g)	2,20 – 5,40	Amarteifio e Mosase (2006); Dique, (2022); Emmanuel <i>et al.</i> (2011); Mothapo <i>et al.</i> (2014); Magaia <i>et al.</i> (2013).
Lipídeos (g/100g)	0,20 – 0,70	Dique, (2022); Magaia <i>et al.</i> (2013).
Cinzas (g/100g)	1,15 – 7,77	Amarteifio e Mosase (2006); Dique, (2022); Emmanuel <i>et al.</i> (2011). Magaia <i>et al.</i> (2013); Mustafa (2012).
Vitamina C (mg/100g)	7,50 – 67,70	Amarteifio e Mosase (2006); Mustafa (2012).
Cálcio (mg/100g)	0,16 – 230,84	Amarteifio e Mosase (2006); Emmanuel <i>et al.</i> (2011); Magaia <i>et al.</i> (2013); Mothapo <i>et al.</i> (2014); Mustafa (2012).
Ferro (mg/100g)	2,88 – 24,43	Amarteifio e Mosase (2006); Dique, (2022); Emmanuel <i>et al.</i> (2011); Mothapo <i>et al.</i> (2014); Mustafa (2012).
Potássio (mg/100g)	340,75 - 1683	Amarteifio e Mosase (2006); Dique, (2022); Emmanuel <i>et al.</i> (2011); Mustafa (2012).
Sódio (mg/100g)	13,70 – 160,81	Amarteifio e Mosase (2006); Dique, (2022); Emmanuel <i>et al.</i> (2011); Mustafa (2012).

3.1.2. *Passiflora edulis f. flavicarpa* Degenerer

3.1.2.1. Descrição e Caracterização

Passiflora edulis f. flavicarpa Degenerer, conhecida popularmente como maracujá amarelo ou simplesmente maracujá, é uma planta trepadeira amplamente cultivada em regiões tropicais e subtropicais, originária da América do Sul e foi introduzida em África por meio de práticas agrícolas, onde encontrou condições favoráveis para o seu cultivo (Sandoval *et al.*, 2014).

Os frutos (Figura 2) apresentam uma forma arredondada a oval, variando entre 5,5 e 6 centímetros de diâmetro. Possuem uma casca lisa de coloração amarelada quando maduros que protege uma cavidade interna preenchida por uma polpa amarela-alaranjada de aroma intenso e sabor característico, que envolve numerosas sementes pretas, que representam parte significativa da massa do fruto (Castro *et al.*, 2015). A polpa é valorizada por seu sabor equilibrado, doce e ácido, aliado ao seu potencial de transformação industrial e valor nutritivo, sendo amplamente utilizada em sumos, néctares, sobremesas e como fruta fresca, representando uma oportunidade para dinamizar cadeias de valor e agregar renda aos produtores locais (Sandoval *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2015).



Figura II – Fruta e polpa de *Passiflora edulis f. flavicarpa* Degenerer. **Fonte:** Roy (2018)

3.1.2.2. Composição nutricional da *Passiflora edulis f. flavicarpa* Degenerer

A fruta apresenta teores elevados de nutrientes, com destaque para a presença de vitamina C, potássio, ferro e fibras alimentares, tais dados, no entanto, podem variar significativamente conforme a origem do fruto e as condições de cultivo. A Tabela II, apresenta a composição nutricional da polpa de maracujá reportados por dois autores distintos.

Tabela II - Composição da polpa de fruta *Passiflora edulis f. flavicarpa Degenerer*

Nutriente	Valores	Referências
Humidade (%)	78,64 – 84,21	Hoang e Le (2024); Ramaiya <i>et al.</i> (2018).
Fibra (g/100g)	0,29 – 0,20	Hoang e Le (2024); Ramaiya <i>et al.</i> (2018).
Carboidratos	12,35 – 14,25	Hoang e Le (2024); Ramaiya <i>et al.</i> (2018).
Proteína (g/100g)	0,67 – 1,80	Hoang e Le (2024); Ramaiya <i>et al.</i> (2018).
Lipídeos (g/100g)	0,18 – 0,26	Hoang e Le (2024); Ramaiya <i>et al.</i> (2018).
Cinzas (g/100g)	0,70 – 3,82	Hoang e Le (2024); Ramaiya <i>et al.</i> (2018).
Vitamina C (mg/100g)	17,85-31,01	Hoang e Le (2024); Ramaiya <i>et al.</i> (2018).
Cálcio (mg/100g)	3,46 – 4,00	Hoang e Le (2024); Ramaiya <i>et al.</i> (2018).
Ferro (mg/100g)	0,53 – 0,36	Hoang e Le (2024); Ramaiya <i>et al.</i> (2018).
Potássio (mg/100g)	278 - 386	Hoang e Le (2024); Ramaiya <i>et al.</i> (2018).
Sódio (mg/100g)	4,27 – 6	Hoang e Le (2024); Ramaiya <i>et al.</i> (2018).

3.2. Polpas de Frutas

As polpas de frutas são produtos homogêneos, não fermentados obtidos a partir de frutas polposas por meio de processos tecnológicos apropriados, utilizando frutas íntegras, limpas, livres de impureza, e dependendo da espécie da fruta e do método de processamento podem ou não conter sementes (Castro *et al.*, 2015; Orqueda *et al.*, 2020; Silva e Caron, 2022). O processamento envolve etapas gerais que vão desde a seleção, higienização das frutas, despulpamento, embalagem, congelamento e armazenamento. As polpas de frutas são utilizadas para o consumo humano, podendo substituir as frutas frescas na preparação e produção de sumos, refrigerantes, néctares, geleias, laticínios como iogurtes entre outros produtos (Orqueda *et al.*, 2020; Silva e Abud, 2017).

A produção e o consumo de polpas de frutas têm aumentado a nível global, impulsionados por factores como a sazonalidade das frutas, sua elevada perecibilidade e as perdas pós-colheita frequentemente relacionadas ao transporte e ao armazenamento inadequado (Castro *et al.*, 2015; Santos *et al.*, 2019). No contexto moçambicano, essa tendência reflecte-se no crescimento do sector de processamento de frutas, com o surgimento de vários empreendimentos que buscam aproveitar a abundância das frutas locais e agregar valor por meio de diferentes produtos processados (Maússe, 2015), incluindo as polpas de frutas.

As polpas oferecem vantagens como maior praticidade, facilidade de transporte e conservação permitindo o consumo de frutas ao longo de todo o ano (Araújo *et al.*, 2017). Por outro lado, a industrialização de polpas de frutas possibilita o consumo de frutas locais de diferentes regiões do país, algumas delas bastante valorizadas no mercado internacional (Silva e Abud, 2017).

A produção de polpa a partir das frutas nativas e exóticas apresenta múltiplas vantagens para o contexto moçambicano; facilita o acesso ao seu elevado valor nutricional (Dique, 2022; Magaia, 2015; Maússe, 2015), valoriza recursos locais, preservando a biodiversidade e o conhecimento local, cria oportunidades para renda rural e estimula cadeias de valor locais sendo uma forma alternativa de comercialização de frutas.

3.3. Princípios do congelamento

O congelamento é um método de conservação de alimentos que consiste em reduzir a temperatura do alimento a um nível abaixo do seu ponto de congelamento; a água presente se solidifica, formando cristais de gelo. Durante esse processo, as substâncias dissolvidas permanecem nas regiões não congeladas, aumentando a sua concentração e consequentemente, reduzindo a actividade de água (*aw*) do produto (Fadiji *et al.*, 2021; Zhu *et al.*, 2019). Esse conjunto de alterações é o que permite a inibição do crescimento de microrganismos e a desaceleração de reações bioquímicas e enzimáticas (Chaves e Zaritzky, 2018; De Ancos *et al.*, 2006; Primacella, 2023).

O congelamento destaca-se como um dos métodos mais naturais e eficientes de conservação de polpas de frutas, permitindo o armazenamento a longo prazo sem a necessidade de conservantes químicos e preservando atributos nutricionais e sensoriais próximos aos do produto fresco (Li *et al.*, 2018; Nthabiseng *et al.*, 2023; Sutariya e Sunkesula, 2020). Além disso, possibilita o fornecimento regular de frutas fora da época de colheita e facilita o acesso urbano a produtos nativos, exóticos e nutritivos (Araújo *et al.*, 2017).

3.4. Factores que influenciam a estabilidade e qualidade de polpas de frutas sob congelamento

A qualidade das polpas de frutas congeladas está directamente relacionada a diversos factores que actuam desde a selecção da fruta até o momento do consumo. A matéria-prima é um dos primeiros elementos a serem considerados, frutas colhidas no ponto ideal de maturação tendem a resistir melhor ao congelamento, enquanto frutos colhidos verdes ou muito maduros são mais frágeis e susceptíveis a alterações durante e após o congelamento, principalmente devido à instabilidade celular e à maior actividade enzimática (Evans, 2009; Zhang *et al.*, 2022). Além disso, cada variedade de fruta apresenta características próprias, como teor de água, açúcar e acidez, que interferem na formação de cristais de gelo e na estabilidade celular durante o congelamento (Hagiwara, 2018; Zhang *et al.*, 2022). Ademais, somente matéria-prima limpa e sadia deve ser seleccionada para congelamento (Silva e Abud, 2017).

Outro aspecto fundamental é a velocidade com que o congelamento ocorre. O congelamento rápido é geralmente mais eficaz na preservação da qualidade porque forma cristais de gelo menores, que causam menos danos às paredes celulares, resultando em uma melhor conservação da textura e menor perda de líquidos durante o descongelamento (Aydın *et al.*, 2023; Zhu *et al.*, 2019), por outro

lado o congelamento lento favorece a formação de cristais maiores e irregulares, que podem romper as células e comprometer a integridade da polpa (Fadiji *et al.*, 2021; Vicent *et al.*, 2018).

A temperatura e a estabilidade térmica durante o armazenamento também são determinantes para manter a qualidade do produto, variações de temperatura, podem ampliar os danos estruturais, acelerando a deterioração da qualidade, nisto, recomenda-se que as polpas congeladas sejam armazenadas constantemente a temperaturas menores ou iguais a -18 °C, evitando oscilações que favoreçam a degradação da qualidade (Chaves e Zaritzky, 2018; Grover e Negi, 2023). Além disso, a embalagem tem papel fundamental na conservação, ela deve ser ideal para proteger contra a entrada de oxigénio e humidade, evitar a perda de água e nutrientes. Outro aspecto é que embalagens com boa condutividade térmica contribuem para um congelamento mais eficiente e uniforme (Celli *et al.*, 2016; Leitão *et al.*, 2021).

A observância desses factores contribui significativamente para minimizar os impactos indesejáveis do congelamento sobre as propriedades sensoriais, nutricionais e tecnológicas das polpas, favorecendo a obtenção de um produto de qualidade e mais estável.

3.5. Efeito do congelamento, armazenamento e descongelamento nas polpas de frutas

Tecidos de frutas são muito sensíveis a danos causados pelo congelamento. O congelamento de frutas e produtos de frutas desacelera, mas não interrompe as reações químicas e bioquímicas que produzem a sua deterioração, há uma mudança lenta e progressiva na qualidade sensorial e nutricional que se torna perceptível após um período (Ando *et al.*, 2017; Chaves e Zaritzky, 2018).

Polpas de frutas congeladas podem sofrer alterações na cor, sabor, gosto, degradação da textura, colapso estrutural durante a cadeia de frio que afectam a estabilidade e limitam consequentemente o prazo de validade. Essas mudanças estão relacionadas às alterações físicas e químicas induzidas pela formação de gelo durante o congelamento, o armazenamento e subsequente descongelamento (Bulut *et al.*, 2018; Primacella, 2023; Sutariya e Sunkesula, 2020).

3.5.1. Alterações físicas

O congelamento pode causar alterações físicas nas polpas de frutas que ocorrem principalmente devido à formação de cristais de gelo, à expansão da água durante o congelamento e às variações de temperatura durante o armazenamento. Quando a polpa de fruta é congelada, a água presente dentro e entre as células vegetais se transforma em gelo, e como a água se expande ao congelar, esse processo pode romper as membranas celulares e enfraquecer a estrutura dos tecidos da fruta (Evans, 2009; Zaritzky, 2010).

O tamanho dos cristais de gelo formados durante o congelamento está directamente relacionado à velocidade com que esse processo ocorre, como anteriormente mencionado. Durante esse processo,

dois mecanismos distintos de dano celular podem ocorrer, o primeiro é o dano por solução, que tende a acontecer em velocidades de arrefecimento mais moderadas, nessa condição, a célula permanece próxima do equilíbrio osmótico e o arrefecimento lento favorece a desidratação gradual, o que dá mais tempo para desencadear danos irreversíveis à estrutura celular, e o segundo tipo é o dano por gelo intracelular, nesse caso, quando as células são resfriadas muito rápido, elas retêm água, que se expande durante o congelamento, causando danos a célula (Koç *et al.*, 2025; James *et al.*, 2015; Zhu *et al.*, 2019).

Durante o armazenamento, também pode ocorrer a recristalização, onde a forma, o tamanho, o número, a orientação de um cristal de gelo muda ao longo do tempo, especialmente se a temperatura não for mantida estável podendo causar ainda mais danos, como a perda de textura e a estrutura celular (Li *et al.*, 2018; Vicent *et al.*, 2018). Outro problema é a queimadura por congelamento, que acontece quando a polpa não está bem embalada e a humidade escapa da superfície, isso resulta em áreas secas, descoloridas e alteração no sabor (Ando *et al.*, 2017; Chaves e Zaritzky, 2018).

3.5.2. Alterações químicas

As alterações químicas provocadas pelo congelamento afectam directamente a estabilidade nutricional e a qualidade sensorial das polpas, e entre os compostos mais sensíveis estão a vitamina C (ácido ascórbico) e os compostos fenólicos, como as antocianinas. A vitamina C pode ser oxidada durante o congelamento e o descongelamento, principalmente devido à ruptura celular provocada pelos cristais de gelo, permitindo o contacto do ácido ascórbico com enzimas oxidativas e oxigénio residual (Gonçalves *et al.*, 2017; Khattab *et al.*, 2015; Quevedo *et al.*, 2020).

As antocianinas e outros compostos fenólicos também são degradados por enzimas como a polifenoloxidase, resultando em escurecimento da polpa e perda do valor nutricional e antioxidante (Neri *et al.*, 2020). Os pigmentos naturais, como os carotenoides, podem sofrer oxidação e perda de cor, especialmente em presença de oxigénio e variações de temperatura (Celli *et al.*, 2016; Khattab *et al.*, 2015).

O congelamento também afecta parâmetros como o pH, a acidez e os sólidos solúveis totais. A concentração da fase líquida não congelada provoca variações no pH, que pode tanto aumentar quanto diminuir, dependendo da composição da fruta e da intensidade da concentração. Em muitos casos, observa-se um aumento inicial da acidez titulável, seguido de estabilização ou leve redução ao longo do tempo de armazenamento, já os sólidos solúveis tendem a se concentrar logo após o congelamento, sem grandes perdas subsequentes, desde que as condições de armazenamento sejam adequadas (Celli *et al.*, 2016; Chaves e Zaritzky, 2018; De Ancos *et al.*, 2006; Zaritzky, 2010).

3.5.3. Estabilidade Microbiológica

A deterioração microbiana não representa um problema em polpas de frutas congeladas, pois o armazenamento é realizado em temperaturas suficientemente baixas, iguais ou inferiores à -18°C , que inibem o crescimento dos microrganismos (Zaritzky, 2010). No entanto, variações na temperatura durante o armazenamento e distribuição podem comprometer essa estabilidade, favorecendo a sobrevivência e eventual multiplicação de microrganismos previamente inactivos (Chaves e Zaritzky, 2018; Zaritzky, 2010).

O congelamento pode ainda ser letal para alguns microrganismos, mas esse processo é lento e variável, dependendo do tipo de alimento. A redução da viabilidade microbiana no congelamento ocorre principalmente por mecanismos físicos e fisiológicos, a formação de cristais de gelo especialmente dentro das células microbianas, causa danos às membranas e paredes celulares, ao mesmo tempo, há desidratação provocada pela migração da água para fora da célula, aumento da concentração de solutos no meio intracelular e consequente desequilíbrio osmótico (Chaves e Zaritzky, 2018; De Ancos *et al.*, 2006; Evans, 2009; Kataoka *et al.*, 2017).

A recristalização aumenta os danos às células dos microrganismos, porém, se a temperatura subir acima do limite em que eles conseguem crescer, pode favorecer o desenvolvimento dos microrganismos que sobreviveram ao congelamento (Chaves e Zaritzky, 2018; Kataoka *et al.*, 2017).

Esses factores contribuem para a desnaturação de proteínas e enzimas, levando à inactivação ou morte de microrganismos, contudo, esses efeitos variam conforme o tipo de microrganismo: bactérias tendem a ser mais sensíveis, enquanto leveduras e bolores apresentam maior resistência (Buyanova, 2021; Chaves e Zaritzky, 2018; Kataoka *et al.*, 2017).

A composição da matriz também influencia a sobrevivência, polpas com alto teor de açúcares e baixa actividade de água (aw) dificultam o crescimento microbiano, mas podem proteger microrganismos contra os efeitos do congelamento (Evans, 2009; Kataoka *et al.*, 2017).

Embora o congelamento represente uma barreira eficaz contra a deterioração microbiológica de polpas de frutas, sua eficiência está directamente condicionada ao controlo das etapas de processamento e armazenamento.

3.5.4. Descongelamento

O descongelamento é a etapa final no ciclo de vida de um alimento congelado. Ainda que o congelamento seja eficaz na retenção da qualidade dos frutos, os resultados desse processo podem ser comprometidos quando o descongelamento não é conduzido de forma controlada (Aydin *et al.*, 2023).

Durante o descongelamento, há o derretimento dos cristais de gelo formados no interior dos tecidos celulares e quando esse processo ocorre de maneira inapropriada, pode favorecer o crescimento de microrganismos nas regiões em que a temperatura já ultrapassou 0 °C, especialmente se o alimento for mantido em condições ambientais inadequadas por longos períodos (Celli *et al.*, 2016; Koç *et al.*, 2025). Além disso, a fusão dos cristais de gelo pode ocasionar a ruptura das estruturas celulares, resultando em perda de firmeza, textura amolecida e liberação de líquidos, fenómeno conhecido como "drip loss" ou exsudação, sendo os métodos de descongelamento factores de impacto directo na extensão desses efeitos (Celli *et al.*, 2016; Sutariya e Sunkesula, 2020).

Métodos como o descongelamento lento em refrigeração (entre 0 e 4 °C) são mais seguros do ponto de vista microbiológico, porém podem intensificar a exsudação em algumas frutas (De Ancos *et al.*, 2006). Técnicas mais rápidas, como o uso de micro-ondas ou banho-maria, exigem maior controlo, pois podem promover aquecimento desigual, causando a degradação de nutrientes sensíveis ao calor, como a vitamina C, além de acelerar reações oxidativas (Aydın *et al.*, 2023; Zaritzky, 2010).

Por outro lado, o método de descongelamento em água apesar de ser caracterizado por sua rapidez, apresenta duas desvantagens significativas, primeiro, o descongelamento em água resulta em uma maior perda de substâncias solúveis, o que afecta negativamente a qualidade do processamento, particularmente a capacidade de retenção de água e a coesão. Segundo, a imersão prolongada em água aumenta o risco de contaminação microbiana, pois pode ficar exposto a microrganismos presentes na água (Koç *et al.*, 2025). Portanto, a escolha do método ideal depende do tipo de fruta, da finalidade do uso e das condições disponíveis.

3.6. Controlo da Estabilidade das Polpas de frutas congeladas

A avaliação da estabilidade de polpas de frutas congeladas exige o acompanhamento de parâmetros microbiológicos e físico-químicos que refletem de forma directa a qualidade e segurança do produto ao longo do armazenamento (Chaves e Zaritzky, 2018; De Ancos *et al.*, 2006; Zaritzky, 2010).

O controlo microbiológico constitui um dos aspectos mais relevantes para assegurar a qualidade e a estabilidade de polpas de frutas congeladas. As bactérias aeróbicas mesófilas, bolores e leveduras estão entre os microrganismos frequentemente monitorados, e servem como indicadores da eficácia do processo de conservação (deterioração) e qualidade higiénico-sanitária. A presença desses microrganismos em níveis elevados pode indicar falhas no processamento, má qualidade da matéria-prima ou armazenamento inadequado, podendo comprometer a qualidade e segurança do produto (Araújo, 2016; Sebastiany e Rego, 2009).

Entre os indicadores físico-químicos mais relevantes está o pH, cuja variação pode afectar a estabilidade da polpa e a actividade de enzimas, além de exercer influência sobre a sobrevivência e

crescimento microbiano (Celli *et al.*, 2016; De Ancos *et al.*, 2006). A acidez é outro parâmetro crucial, quantificando a concentração de ácidos orgânicos presentes nas polpas de frutas, fornecendo informações complementares sobre o estado de maturação da fruta, o equilíbrio de sabor e o impacto de processos de degradação durante o armazenamento (Lima *et al.*, 2015).

Outro parâmetro amplamente utilizado é o teor de sólidos solúveis totais (°Brix), relacionado principalmente à concentração de açúcares, que constitui um indicador sensorial fundamental e também auxilia na compreensão de alterações metabólicas e fermentativas que possam ocorrer durante o congelamento e descongelamento (Carvalho *et al.*, 2017; Rinaldi e Costa, 2021).

O ratio é um índice que expressa a relação entre a sólidos solúveis totais e a acidez da fruta, sendo fundamental para avaliar o equilíbrio de sabor e a maturidade da fruta (Silva e Abud, 2017). Para polpas de frutas congeladas, a manutenção da relação sólidos solúveis/acidez é um indicativo da preservação do perfil de sabor original. Uma vez que tanto os SST quanto a acidez tendem a ser estáveis sob congelamento, espera-se que o ratio também se mantenha estável (Araújo *et al.*, 2017).

A vitamina C é um nutriente essencial e um importante antioxidante presente em muitas frutas, sua estabilidade é um indicador da qualidade nutricional da polpa, sendo sensível a factores como temperatura, luz e oxigénio (Quevedo *et al.*, 2020). O congelamento é um dos métodos mais eficazes para preservar a vitamina C, pois a baixa temperatura contribui para redução da taxa de degradação. Nisso, perdas podem ocorrer durante o processamento e armazenamento, dependendo da espécie da fruta, do método de congelamento e do tempo de armazenamento (Quevedo *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2015).

Assim, o acompanhamento conjunto desses e mais parâmetros permitem compreender como o congelamento e posterior armazenamento afectam a qualidade global das polpas, contribuindo para estimar a sua vida útil e orientar boas práticas de processamento e conservação.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Local de estudo

O estudo foi realizado no Laboratório de Tecnologia de Alimentos e no Centro de Biotecnologia da Universidade Eduardo Mondlane, localizados na Faculdade de Veterinária da Universidade Eduardo Mondlane, situada na Avenida de Moçambique, km 15, bairro Luís Cabral, Maputo, Moçambique.

4.2. Obtenção das polpas de frutas

As polpas de frutas foram fornecidas pela Agro Serviços, Lda, empresa localizada na localidade de Cumbana, distrito de Jangamo, província de Inhambane, que produz e comercializa diversos produtos a partir de frutas locais. As frutas foram colhidas durante o primeiro semestre do ano 2025.

Foram obtidas 1200 gramas de polpas frescas de cada fruta, embaladas em recipientes plásticos de polietileno de 150 gramas cada. Em seguida, foram colocadas em uma caixa isotérmica contendo gelo, a fim de garantir o transporte em baixas temperaturas e manter as características das polpas até a chegada ao Laboratório de Tecnologia de Alimentos.

4.3. Definição de tratamento e delineamento experimental

Foi realizado um estudo de abordagem quantitativa. Após a recepção das polpas de frutas, uma quantidade de 150 g de cada polpa foi submetida a análises microbiológicas e físico-químicas correspondentes ao dia zero (amostras de referência, condições iniciais das polpas de frutas) e a quantidade restante foi congelada e armazenada à -18 °C (correspondentes as condições em as polpas são congeladas e armazenadas na Agro Serviços, empresa que forneceu as polpas de frutas). As análises microbiológicas e físico-químicas foram realizadas ao longo de 90 dias, onde eram retiradas quantidades de 150 g de cada uma das polpas em intervalos de 15 dias, com 2 repetições para as análises microbiológicas e 3 repetições para as análises físico-químicas. Antes de cada análise, procedeu-se ao descongelamento lento em temperatura de refrigeração de cerca de 2 °C, por 10 a 15 horas, de forma a minimizar os efeitos sobre as características do produto.

O estudo seguiu o Delineamento Completamente Causalizado (DCC), representado na Figura III.

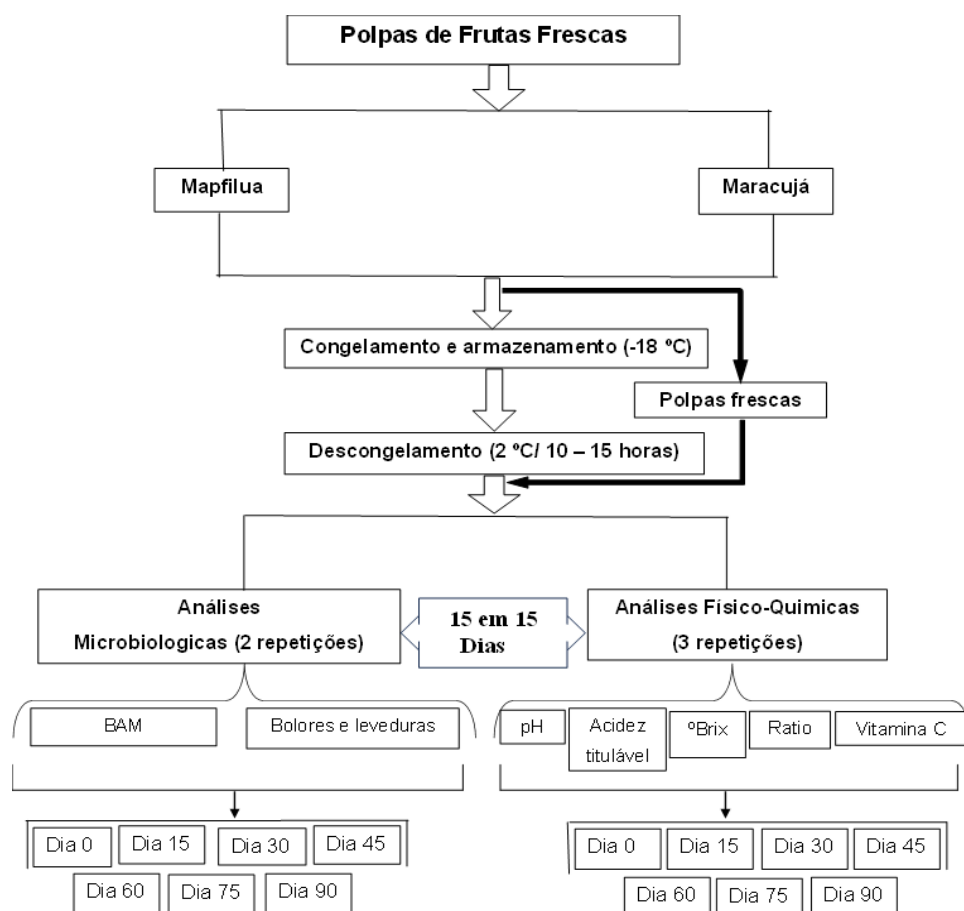


Figura III. Delineamento Experimental

Onde: Dia 0, Dia 15, Dia 30, Dia 45, Dia 60, Dia 75 e Dia 90 corresponderam aos dias em que as análises foram realizadas, obedecendo ao intervalo de 15 dias.

4.4. Análises microbiológicas

Para avaliar a estabilidade microbiológica das polpas de frutas foi feita contagens de bactérias aeróbicas mesófilas, bolores e leveduras, segundo o Manual de microbiologia alimentar do Laboratório Nacional de Higiene de Alimentos e Água (1997):

4.4.1. Preparação de amostras

Foram pesados 10 g de polpa da fruta em um saco contendo 90 ml de água peptonada tamponada, e em seguida a mistura foi homogeneizada para obtenção da diluição 10^{-1} (diluição-mãe). A partir desta diluição, foram preparadas as demais diluições seriadas. Em cada análise foram realizadas 2 repetições para garantir maior confiabilidade dos resultados.

4.4.2. Contagens de bactérias aeróbicas mesófilas (BAM)

Foram preparadas as diluições 10^{-2} e 10^{-3} a partir da diluição 10^{-1} . De forma asséptica, 1 ml do inóculo foi transferido para placas de Petri, às quais foram adicionados cerca de 15 ml de meio Nutriente Agar fundido e resfriado a 45 °C. As placas foram homogeneizadas rotativamente para dispersão do inóculo, solidificadas e incubadas a 37 °C por 48 horas. Após a incubação, foi realizada a contagem das colónias com auxílio de um contador de colónias.

4.4.3. Bolores e Leveduras

A partir das diluições 10^{-1} , 10^{-2} e 10^{-3} , 1 ml de inóculo foi transferido para placas de Petri. Foi utilizado o meio de cultura Agar Sabourand Dextrose, fundido e resfriado a 45 °C. O inóculo foi misturado ao meio através de movimentos circulares em forma de oito. Após a solidificação, as placas foram incubadas a 25 °C durante 72 horas. Em seguida, foi realizada a contagem das colónias com auxílio de um contador de colónias.

4.5. Análises físico-químicas das polpas de frutas

Nas análises físico-químicas foram determinados o potencial hidrogeniónico (pH), acidez titulável, sólidos solúveis totais (°Brix), relação Brix/acidez e vitamina C, com o objectivo de avaliar as propriedades físico-químicas das amostras. Os parâmetros foram determinados conforme as técnicas descritas pelo Instituto Adolfo Lutz (2008):

4.5.1. Potencial de Hidrogénio (pH)

Foram pesados 10 g da amostra em um copo de precipitação, seguida por adição de 100 mL de água e agitação até homogeneização completa. Após a dissolução, fez-se a leitura do valor do pH através de um pHmetro (Crison pH-Meter Basic 20+) previamente calibrado.

4.5.2. Acidez titulável

Foram pesados 5 g da amostra, homogeneizados e transferidos para um Erlenmeyer de 125 ml contendo 50 ml de água. Após a homogeneização completa, adicionaram-se 4 gotas de solução de fenolftaleína a 1%, e fez-se a titulação com solução de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 M até o aparecimento da coloração rosada. A acidez titulável foi determinada em função do ácido cítrico, usando a Equação 1.

$$\text{Acidez titulável (g ácido orgânico/100 g)} = \frac{V \times F \times M \times PM}{10 \times P \times n} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

V = volume da solução de hidróxido de sódio gasto na titulação em ml; M = molaridade da solução de hidróxido de sódio; P = massa da amostra em g ou volume pipetado em ml; PM = peso molecular do ácido correspondente em g; n = número de hidrogénios ionizáveis; F = factor de correcção da solução de hidróxido de sódio.

4.5.3. Sólidos solúveis totais (°Brix)

Com auxílio da pipeta de Pasteur, foram retiradas 3 a 4 gotas da amostra homogeneizada, foram transferidas para o prisma do refractômetro portátil (Biobase, modelo BK-PR60). A leitura foi feita a 20 °C, após estabilização da temperatura, sendo registados os valores de sólidos solúveis em °Brix.

4.5.4. Relação °Brix/Acidez Titulável (Ratio)

A razão °Brix/acidez titulável foi obtida por cálculo, dividindo-se o valor de sólidos solúveis totais (°Brix) pelo valor de acidez titulável (g de ácido cítrico/100 g de polpa), calculado usando a equação 2. O resultado foi expresso como índice adimensional.

$$\text{Ratio} = \frac{^{\circ}\text{Brix}}{\text{Acidez}} \quad (\text{Equação 2})$$

4.5.5. Vitamina C (ácido ascórbico)

Foram pesados 10 g da amostra homogeneizados e transferidos para um Erlenmeyer de 125 ml, adicionando-se 50 ml de água até a homogeneização completa. Em seguida, foram adicionados 10 ml de ácido sulfúrico (H₂SO₄) a 20%, 1 ml de solução de iodeto de potássio (KI) a 10% e 1 ml de solução de amido a 1%. A mistura foi titulada com iodato de potássio (KIO₃) até a obtenção de coloração azul. O teor de vitamina C foi calculado de acordo com a Equação 3.

$$\text{Vitamina C} \left(\frac{\text{mg}}{100\text{g}} \right) = \frac{100 * V * F}{P} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

V – volume gasto na titulação; F – factor de correcção de KIO₃, 8.806 ou 0.8806 para 0.02M ou 0.002M, respectivamente; P – peso da amostra em gramas (g)

4.6. Análise de dados

A análise dos dados foi realizada no programa Statix 8.0, utilizando-se a análise de variância (ANOVA *one-way*), e quando identificada diferença significativa, aplicou-se o teste Tukey ao nível de significância de 5% ($p < 0,05$). Os dados foram também submetidos à análise de regressão por meio do *Microsoft Excel 2019*, adotando-se modelos lineares e polinomiais, de acordo com o melhor ajuste. A escolha das equações considerou a significância do modelo e o coeficiente de determinação (R^2). Os resultados foram apresentados em forma de gráficos para facilitar a interpretação do comportamento das variáveis ao longo do armazenamento.

5. RESULTADOS

5.1. Estabilidade microbiológica das polpas de frutas congeladas

5.1.1 Bactérias Aeróbicas Mesófilas

Na polpa de mapfilua, os resultados da ANOVA indicaram que não houve diferenças estatisticamente significativas entre os diferentes períodos de armazenamento ($p > 0,05$), sugerindo estabilidade do parâmetro durante os 90 dias (Gráfico I). Os valores oscilaram entre 3,02 log UFC/g e 2,42 log UFC/g, com correlação muito forte na regressão quadrática ($R^2 = 0,9653$), sugerindo uma tendência de redução com algumas pequenas oscilações ao longo do tempo.

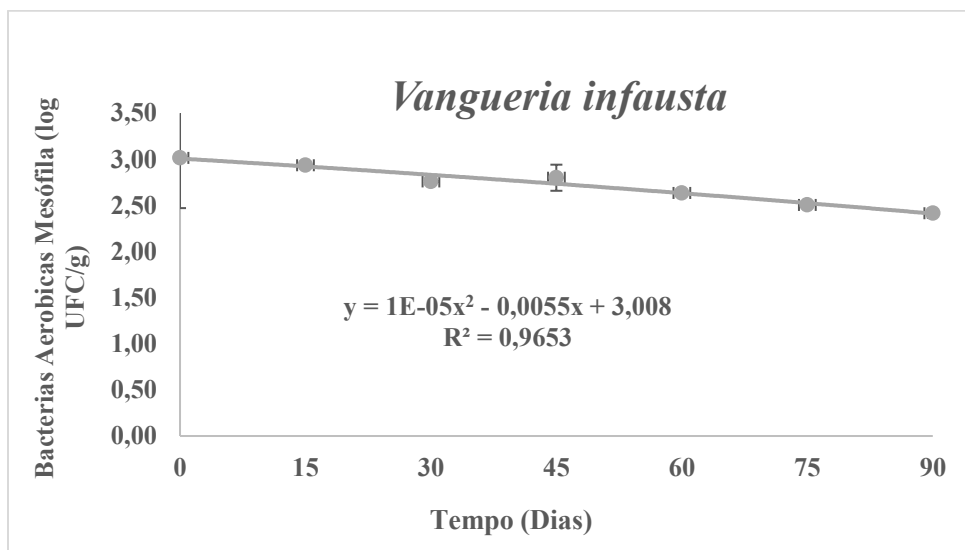


Gráfico I - Contagens de bactérias aeróbicas mesófilas (log UFC/g) na polpa de mapfilua armazenada durante 90 dias a -18°C , com ajuste polinomial do segundo grau. As barras de erro correspondem ao desvio padrão das repetições.

Para a polpa de maracujá, a ANOVA indicou diferenças significativas entre os períodos de armazenamento ($p < 0,05$). O teste de Tukey mostrou que os tempos iniciais (0 e 15 dias) apresentaram maiores contagens, enquanto aos 90 dias observou-se a menor média. Embora tenha ocorrido um ligeiro aumento aos 60 dias, a tendência geral foi de decréscimo gradual. A regressão polinomial de segundo grau mostrou bom ajuste ($R^2 = 0,9222$, Gráfico II), descrevendo a diminuição progressiva da contagem microbiana ao longo do armazenamento, com uma variação entre 2,86 log UFC/g e 2,01 log UFC/g.

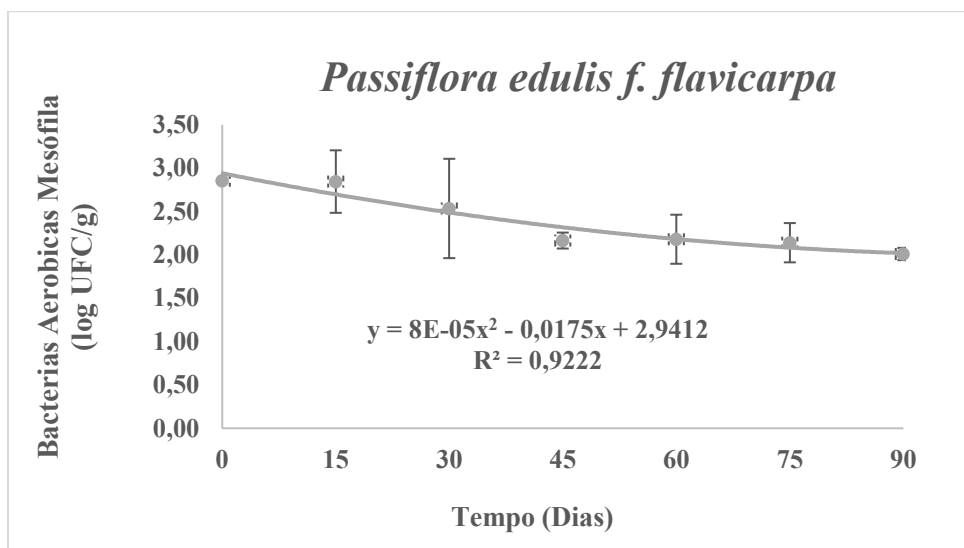


Gráfico II - Contagens de bactérias aeróbicas mesófilas (log UFC/g) na polpa de maracujá armazenada durante 90 dias a -18°C , com ajuste polinomial do segundo grau. As barras de erro correspondem ao desvio padrão das repetições.

5.1.2. Bolores e Leveduras

Na polpa de mapilua, os resultados da ANOVA indicaram ausência de diferenças significativas entre os períodos de armazenamento ($p > 0,05$), sugerindo estabilidade do parâmetro durante os 90 dias (Gráfico III). Os valores oscilaram entre 2,75 log UFC/g e 2,09 log UFC/g, com correlação muito forte na regressão quadrática ($R^2 = 0,9096$), sugerindo uma tendência de redução ao longo do tempo com algumas pequenas oscilações.

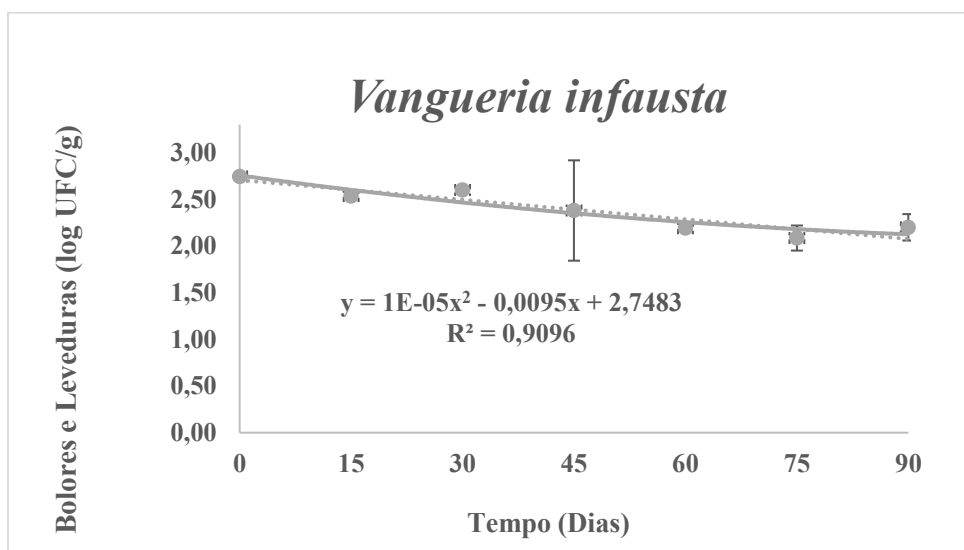


Gráfico III - Contagens de bolores e leveduras (log UFC/g) na polpa de mapilua armazenada durante 90 dias a -18°C , com ajuste polinomial do segundo grau. As barras de erro correspondem ao desvio padrão das repetições.

Na polpa de maracujá a ANOVA indicou diferenças significativas ($p < 0,05$) nas contagens de bolores e leveduras entre os diferentes tempos, com os valores variando entre 2,97 log UFC/g e 2,43 log UFC/g. O teste de Tukey revelou maiores valores aos 0 e 30 dias, enquanto aos 60 e 90 dias foram observadas as menores contagens. A regressão polinomial de segundo grau apresentou um ajuste forte ($R^2 = 0,8023$, Gráfico IV), acompanhando a tendência de declínio gradual ao longo do armazenamento.

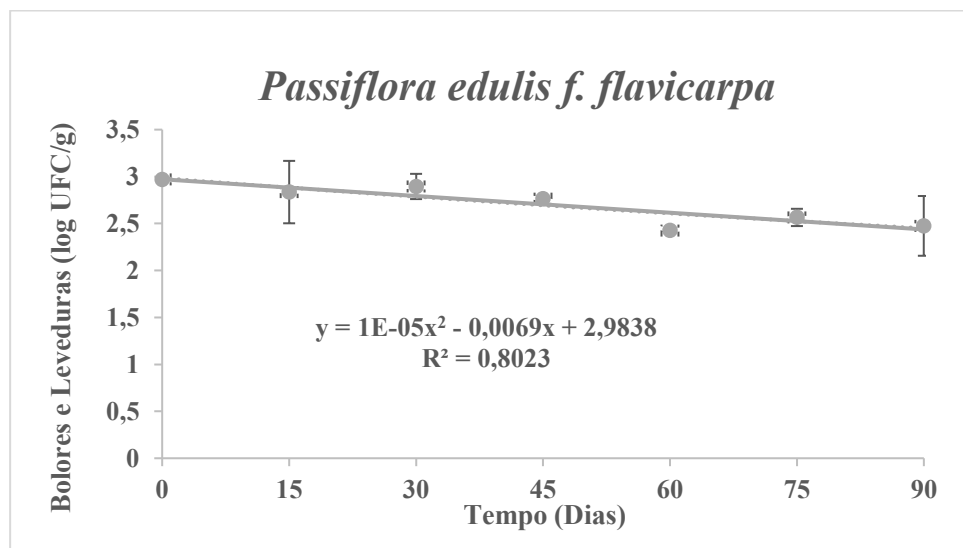


Gráfico IV - Contagens de bolores e leveduras (log UFC/g) na polpa de maracujá armazenada durante 90 dias a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, com ajuste polinomial do segundo grau. As barras de erro correspondem ao desvio padrão das repetições.

5.2. Estabilidade físico-química das polpas de frutas congeladas

5.2.1. pH

Os valores de pH da polpa de maracujá apresentaram oscilação significativa durante o período de armazenamento ($p < 0,05$). O teste de Tukey indicou que os tempos de 15 e 30 dias apresentaram a maior alteração, com o tempo de 30 dias atingindo o maior valor de pH. Os valores variaram entre 3,12 e 3,19. A regressão polinomial do terceiro grau indicou correlação positiva com o tempo ($R^2 = 0,7487$), caracterizando tendência de aumento e posterior diminuição até retornar próximo ao valor inicial no final do período (Gráfico V).

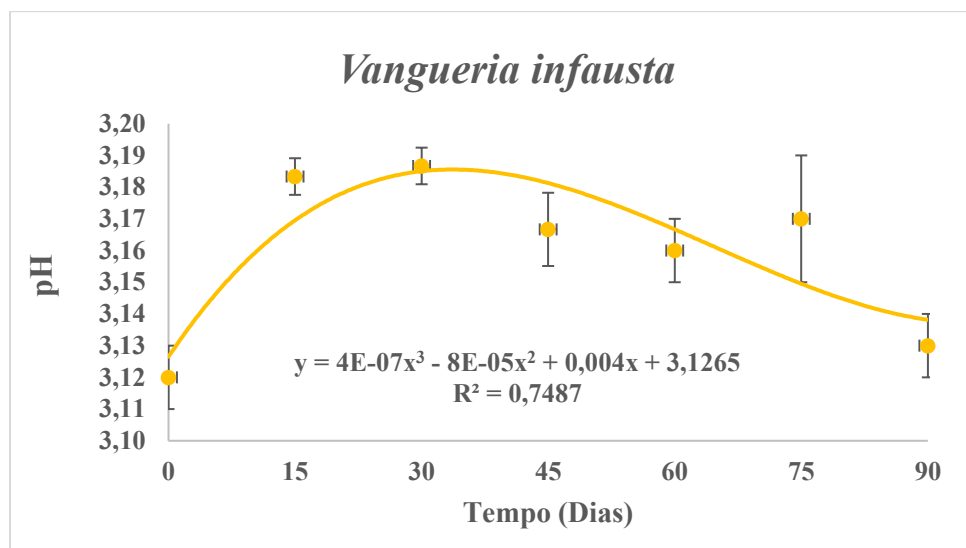


Gráfico V - Valores de pH na polpa de mapilua armazenada durante 90 dias a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, com ajuste polinomial de terceiro grau. As barras de erro correspondem ao desvio padrão das repetições.

Para a polpa de maracujá, o pH também apresentou diferenças significativas ($p < 0,05$) com variações entre 2,70 e 2,78. O teste de Tukey mostrou que os tempos de 15 e 30 dias tiveram maiores valores, tendo o tempo de 15 dias atingindo o maior valor de pH. Os tempos de 90, 60 e 45 dias tiveram menor alteração no pH, mantendo o pH próximo do inicial. A regressão polinomial de terceira ordem apresentou $R^2 = 0,4913$, caracterizando pequenas oscilações, sem relação consistente com o tempo de armazenamento (Gráfico VI).

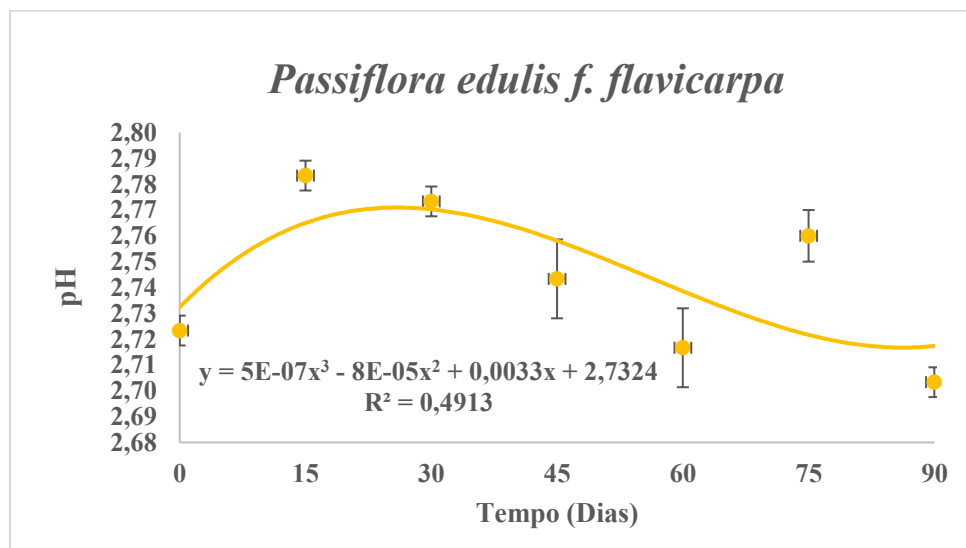


Gráfico VI- Valores de pH na polpa de maracujá armazenada durante 90 dias a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, com ajuste polinomial de terceiro grau. As barras de erro correspondem ao desvio padrão das repetições.

5.2.2. Acidez titulável em ácido orgânico

Na polpa de mapfilua, a acidez titulável apresentou variação significativa ($p < 0,05$), oscilando entre 0,93 e 1,23 g de ácido cítrico/100 g. O teste de Tukey revelou que o tempo de 30 dias teve maior alteração na acidez titulável do produto. A regressão polinomial apresentou um $R^2 = 0,8352$ conforme ilustrado no Gráfico VII, indicando uma forte relação entre o tempo de armazenamento e as alterações na acidez da polpa de mapfilua.

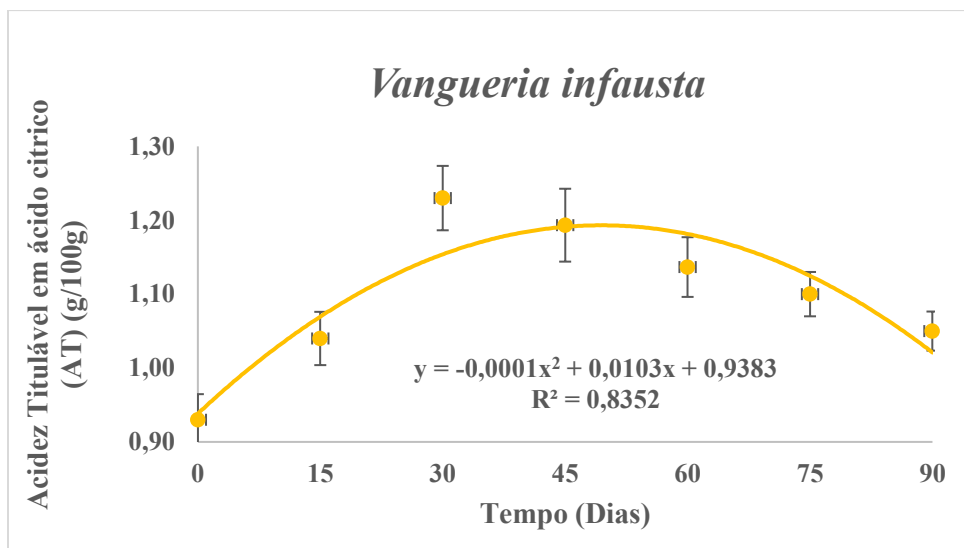


Gráfico VII - Acidez titulável (g ácido cítrico/100 g) na polpa de mapfilua armazenada durante 90 dias a -18°C , com ajuste polinomial do segundo grau. As barras de erro correspondem ao desvio padrão das repetições.

A polpa de maracujá, de forma similar, apresentou diferenças significativas ($p < 0,05$), com valores variando entre 2,85 e 3,32 g/100 g. O teste de Tukey revelou que o tempo de 45 dias teve maior alteração na acidez titulável do produto. A regressão polinomial de segunda ordem apresentou $R^2 = 0,7535$, indicou uma correlação positiva com o tempo, reflectindo o aumento até o tempo de 45 dias de armazenamento e diminuição posterior (Gráfico VIII).

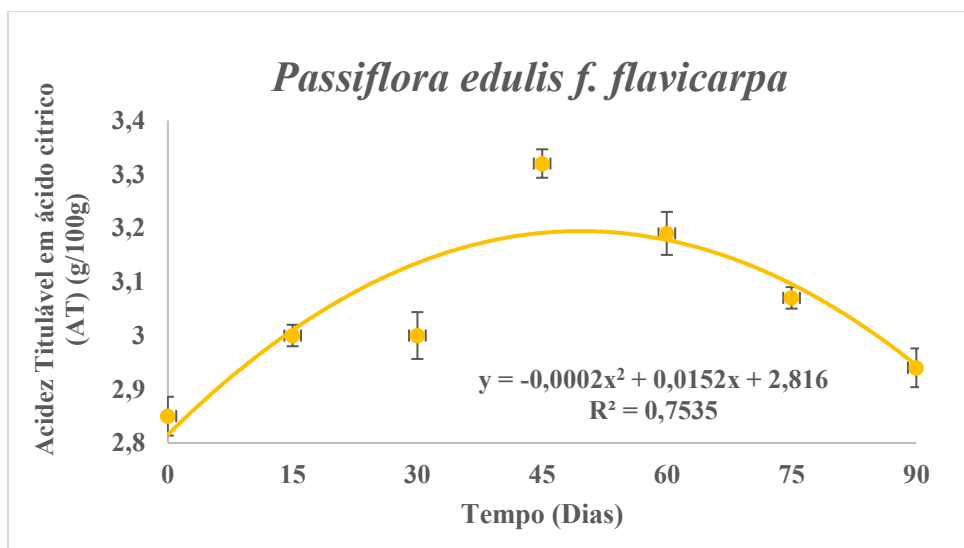


Gráfico VIII - Acidez titulável (g ácido cítrico/100 g) na polpa de maracujá armazenada durante 90 dias a -18 °C, com ajuste polinomial do segundo grau. As barras de erro correspondem ao desvio padrão das repetições.

5.2.3. Sólidos solúveis totais (°Brix)

Os sólidos solúveis totais da polpa de maracujá não apresentaram variação significativa entre os tempos ($p > 0,05$, ANOVA), mantendo-se estável durante todo período em 11 °Brix (Gráfico IX).

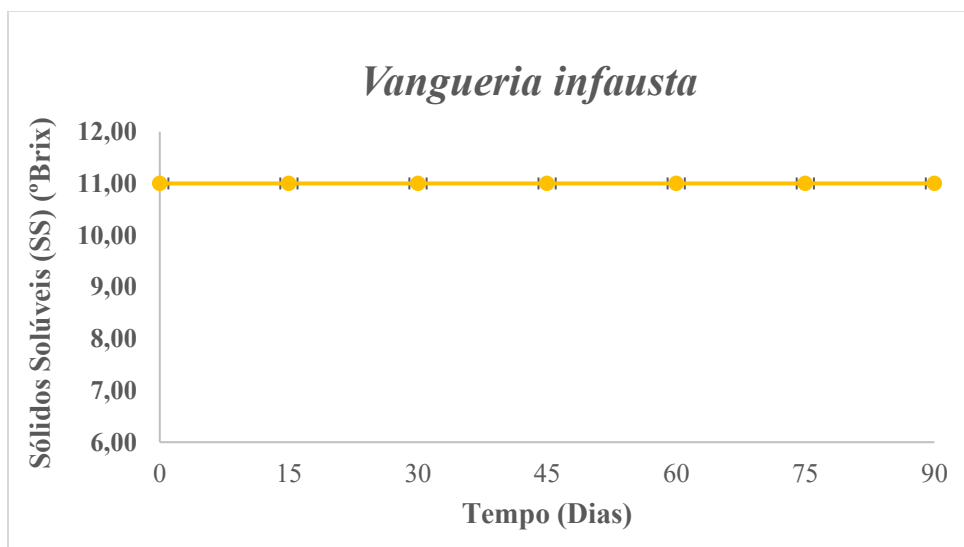


Gráfico IX - Sólidos solúveis totais (°Brix) na polpa de maracujá armazenada durante 90 dias a -18 °C.

A polpa de maracujá, apresentou um comportamento semelhante, com valores estáveis de 20 °Brix (Gráfico X), sem diferenças significativas ($p > 0,05$), reforçando a estabilidade deste parâmetro.

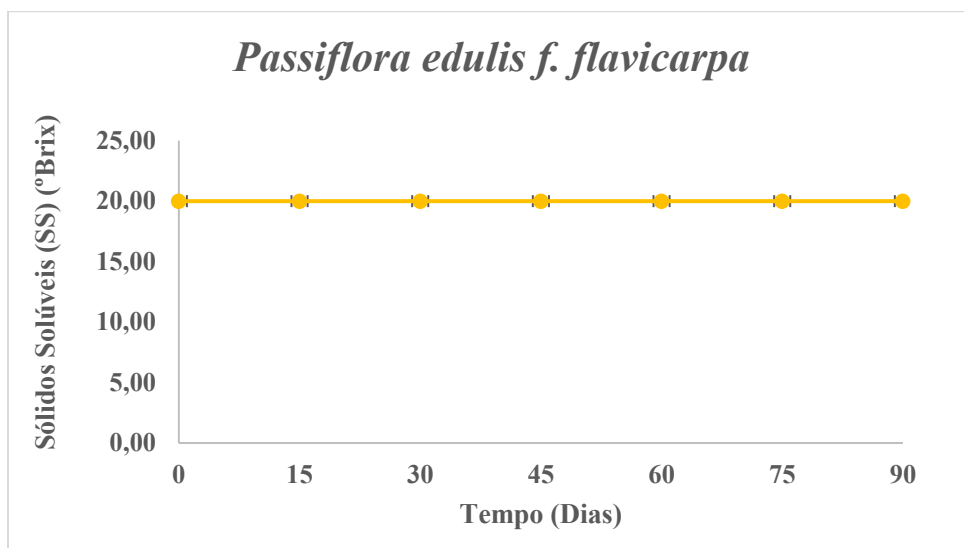


Gráfico X - Sólidos solúveis totais (°Brix) na polpa de maracujá armazenada durante 90 dias a -18°C

5.2.4. Relação brix/acidez (ratio)

O ratio total na polpa de maracujá apresentou variação significativa ao longo do armazenamento ($p < 0,05$), com valores mais baixos aos 30 e 45 dias (Tukey). Os valores oscilaram de 11,84 antes do congelamento para 8,95 aos 30 dias, aumentando para 10,48 aos 90 dias. A regressão quadrática evidenciou correlação muito forte ($R^2 = 0,8685$) refletindo a tendência de diminuição e aumento subsequente (Gráfico XI).

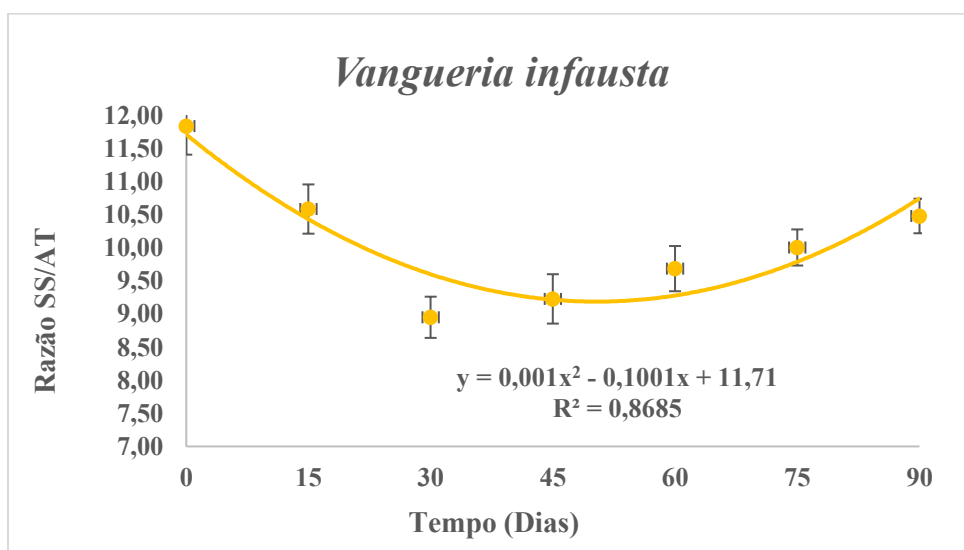


Gráfico XI - Relação sólidos solúveis/acidez titulável na polpa de maracujá armazenada durante 90 dias a -18°C , com ajuste polinomial do segundo grau. As barras de erro correspondem ao desvio padrão das repetições.

Na polpa de maracujá, o ratio variou significativamente ($p < 0,05$), com menor valor aos 45 dias (Tukey), de 7,02 para 6,02, subindo para 6,80 no final. O modelo quadrático apresentou correlação forte ($R^2 = 0,7850$), descrevendo variação moderada ao longo do período (Gráfico XII).

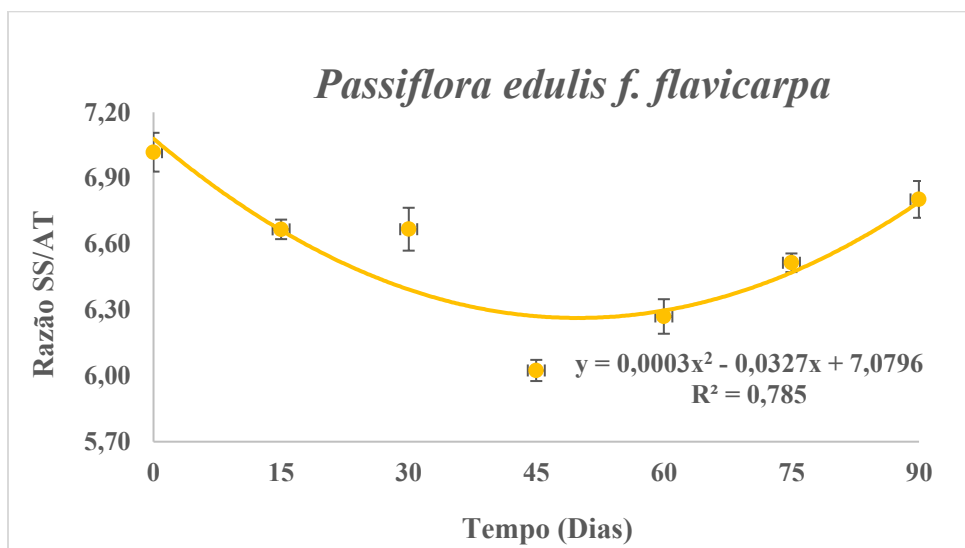


Gráfico XII - Relação sólidos solúveis/ácidez titulável na polpa de maracujá armazenada durante 90 dias a -18°C , com ajuste polinomial do segundo grau. As barras de erro correspondem ao desvio padrão das repetições.

5.2.5 Vitamina C (ácido ascórbico)

O teor de vitamina C na polpa de maracujá apresentou diferenças significativas ao longo do tempo ($p < 0,05$). Os valores reduziram-se de 35,23 mg/100 g no início para 29,87 mg/100 g aos 90 dias (redução de 15,21%), com reduções mais evidentes a partir dos 60 dias, conforme indicado pelo teste de Tukey. A regressão linear mostrou correlação muito forte com o tempo ($R^2 = 0,9559$), indicando tendência de decréscimo contínuo (Gráfico XIII).

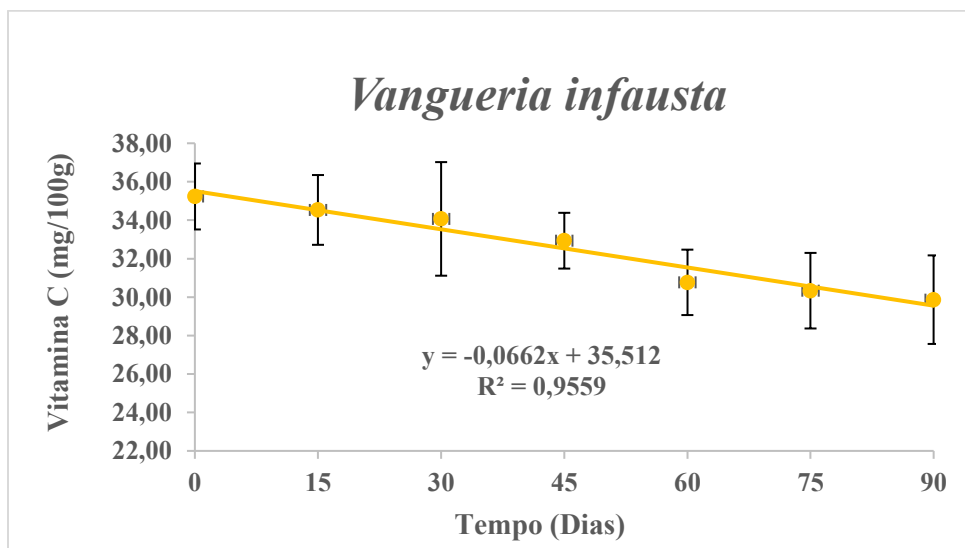


Gráfico XIII - Teor de vitamina C (mg/100 g) na polpa de maracujá armazenada durante 90 dias a -18°C , com ajuste linear. As barras de erro correspondem ao desvio padrão das repetições.

Na polpa de maracujá, observaram-se igualmente reduções no teor de vitamina C, 29,35 para 25,97 mg/100 g (redução de 11,52%), sem diferenças significativas ($p > 0,05$, ANOVA). Contudo, a regressão linear evidenciou uma correlação muito elevada ($R^2 = 0,9987$), com decréscimo praticamente constante ao longo do tempo (Gráfico XIV).

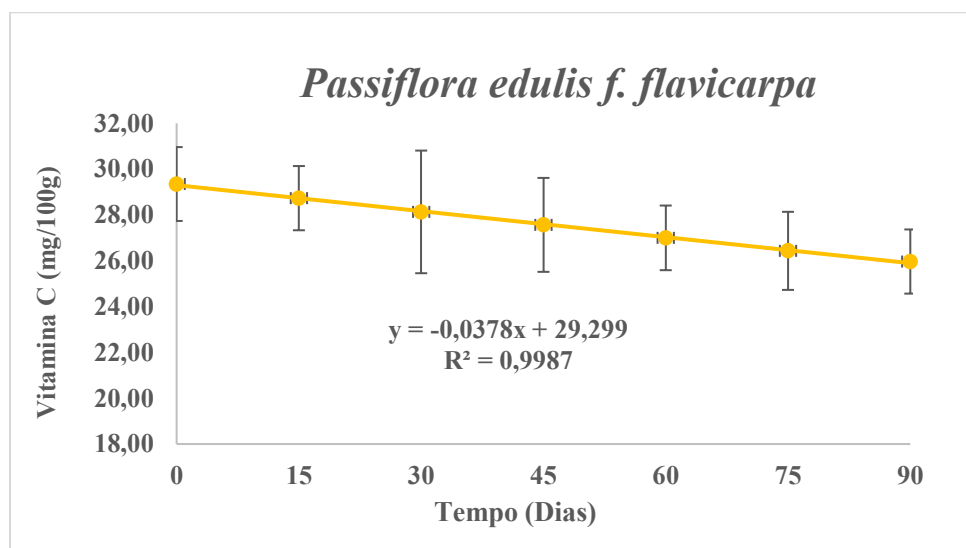


Gráfico XIV – Teor de vitamina C (mg/100 g) na polpa de maracujá armazenada durante 90 dias a -18°C , com ajuste linear. As barras de erro correspondem ao desvio padrão das repetições.

6. DISCUSSÃO

6.1. Estabilidade físico-química das polpas de frutas congeladas

6.1.1. pH

O comportamento do pH nas polpas de maracujá e maracujá durante 90 dias de congelamento mostrou um aumento transitório seguido de estabilização, conforme indicado pelas regressões polinomiais obtidas, embora que na polpa de maracujá a correlação com o tempo tenha sido mais fraca. Essas oscilações podem estar relacionadas à concentração de solutos e à formação de cristais de gelo, que alteram a compartimentalização celular e a estabilidade de compostos ácidos, afectando a força iónica e o pH aparente da amostra. Além disso, reações químicas lentas e a actividade enzimática residual podem degradar ácidos orgânicos, elevando o pH

Nos estudos realizados por Araújo *et al.* (2017) e Rinaldi e Costa (2021), observaram em polpas de maracujá de diferentes espécies (*Passiflora spp.*) armazenadas a -18°C e -30°C , oscilações do pH entre 2,74 e 2,98, atribuídas a factores intrínsecos, como diferenças na capacidade tampão e ao perfil ácido da fruta. Resultados semelhantes foram observados por Damiani *et al.* (2013b) e Machado *et al.* (2019), em polpas de marolo e fisalis congeladas a -18°C , nas quais variações iniciais de pH foram associadas à desconstrução celular e à concentração de fracções líquidas, seguidas de reequilíbrio ao longo do armazenamento.

Embora a actividade microbiana residual possa alterar o pH (produção de ácidos), os dados microbiológicos associados (bactérias aeróbicas mesófilas, bolores e leveduras) não indicaram relação clara com a variação do pH, o que reforça a interpretação da predominância de mecanismos físicos e bioquímicos intrínsecos à matriz.

A correlação relativamente baixa entre pH e tempo observada para a polpa de maracujá sugere que apenas parte da variação do pH é explicada pelo armazenamento temporal. Essa baixa correlação aponta para influência de factores adicionais como, heterogeneidade da matéria-prima, características intrínsecas das polpas e variabilidade experimental que podem ter contribuído para baixa correlação da matriz do maracujá com o tempo.

6.1.2. Acidez titulável (AT, em ácido cítrico)

As variações significativas na acidez titulável observadas nas polpas de maracujá e maracujá ao longo do armazenamento indicam que transformações bioquímicas continuam a ocorrer mesmo sob congelamento.

As variações na acidez titulável são comuns em produtos de frutas e podem ser influenciadas por múltiplos factores, incluindo actividade enzimática e degradação de ácidos orgânicos. Resultados semelhantes foram relatados por Rinaldi e Costa (2021) em polpas de maracujá (*Passiflora cincinnata*

cv.) a -18 °C por 24 meses, que apresentaram oscilações em torno de 1 g ácido cítrico/100 g, atribuídas à degradação de ácidos. Rinaldi e Costa (2021) destacaram ainda a importância da acidez titulável para a qualidade sensorial e para a estabilidade microbiológica, ressaltando que suas variações podem sinalizar processos de deterioração. De forma consistente, Rincon e Kerr (2010) também observaram que a acidez titulável de polpas de manga pode variar durante o armazenamento congelado, especialmente em frutas tratadas osmoticamente, devido à perda de ácidos orgânicos.

O comportamento não linear da acidez, descrito pelas correlações quadráticas, sugere que a degradação e transformação dos ácidos está directamente relacionada à composição intrínseca de cada fruta e à forma como seus ácidos orgânicos respondem ao congelamento e ao tempo de armazenamento. Na polpa de maracujá, a acidez atingiu o valor máximo aos 30 dias, seguido de declínio, possivelmente associado a uma fase inicial de maior actividade enzimática residual ou liberação de ácidos. Já na polpa de manga, a alteração mais acentuada ocorreu aos 45 dias, reflectindo a sensibilidade particular de sua matriz a esses processos.

6.1.3. Sólidos solúveis totais (°Brix)

Os sólidos solúveis totais mostraram forte estabilidade nas duas matrizes ao longo de 90 dias de armazenamento, o que indica preservação dos açúcares e outros solutos solúveis essenciais para o perfil sensorial das frutas.

Embora o congelamento possa provocar certas alterações estruturais, como a ruptura parcial das células e a redistribuição de líquidos intracelulares, a concentração de sólidos solúveis tende a permanecer estável durante o armazenamento. Esses compostos permanecem predominantemente na fracção não cristalizada, e na ausência de desidratação superficial ou de actividade microbiana expressiva, não há variações significativas em seu teor. Estudos realizados por Ando *et al.* (2017), Celli *et al.* (2016) e Van der Sman (2020), apontam ainda que em situações de exsudação ou de degradação enzimática acentuada pode ocorrer redução perceptível, reforçando que de modo geral, frutas e polpas congeladas preservam satisfatoriamente seus sólidos solúveis se bem conservados, o que explica a constância observada.

Em estudos conduzidos com polpas de maracujá, açaí e ananás a -18 °C por até 24 meses, verificou-se que o °Brix se mantém estável ou com variações não significativas, menores que 0,9 °Brix durante o armazenamento congelado (Khang *et al.*, 2022; Oliveira *et al.*, 2020; Rinaldi e Costa, 2021), sendo que alterações substanciais ocorrem principalmente quando há adição de açúcares ou perdas de água que modifiquem o teor total da amostra (Bezerra *et al.*, 2015; Chassagne-Berces *et al.*, 2010).

6.1.4. Relação Sólidos Solúveis/Acidez Titulável (Ratio)

As diferenças observadas nesta relação ao longo do tempo para ambas as polpas de maracujá e maracujá indicam que esse balanço está em constante evolução durante o armazenamento congelado.

A relação °Brix/Acidez acompanhou as variações observadas na acidez, uma vez que os sólidos solúveis permaneceram estáveis. Assim, verificou-se uma tendência de declínio quando a acidez aumentou e de estabilização quando a acidez tendeu a recuperar-se. A natureza não linear dessas transformações, reforçada pelas correlações quadráticas, indica que a qualidade sensorial pode passar por fases de maior ou menor alteração, tendo uma forte influência do tempo de armazenamento.

Em matrizes ácidas, variações mesmo pequenas da acidez dominam o ratio. Estudos mostram o mesmo efeito, do ratio sensível às mudanças da acidez, com pouca contribuição dos sólidos solúveis no congelamento (Nascimento *et al.*, 2019). Araújo *et al.* (2017) em um estudo com polpas de maracujá (*Passiflora spp.*), obteve resultados similares, onde as variações nesse parâmetro foram fortemente influenciadas pela variação da acidez.

É importante notar que, embora as variações na acidez e consequentemente na relação °Brix/Acidez sejam estatisticamente significativas, a magnitude do efeito, avaliada pelas diferenças das médias e pelas regressões, é moderada.

6.1.5. Vitamina C (ácido ascórbico)

A vitamina C destacou-se como um dos parâmetros mais sensíveis durante o armazenamento das polpas. Embora ambas as frutas tenham apresentado tendência de redução ao longo dos 90 dias, a polpa de maracujá registou perdas estatisticamente significativas, enquanto no maracujá a variação não foi significativa. A análise de regressão confirma esta tendência linear de degradação em ambas as polpas ao longo do tempo, indicando que as perdas seguem uma tendência previsível, um aspecto importante para estimar a vida útil nutricional.

Essa tendência foi também evidenciada por Rinaldi e Costa (2021) em polpas de maracujá, onde se verificaram perdas de 10-20% no teor de vitamina C após três meses a -18 °C. Padrão semelhante foi relatado por Khang *et al.* (2022) e Machado *et al.* (2019) em polpas de ananás e fisalis, com reduções lineares nos teores de vitamina C, embora com menor efeito se comparado com métodos de conservação térmicos.

A relativa estabilidade da polpa de maracujá pode estar ligada ao seu perfil fitoquímico. Estudos recentes identificaram que frutas da família *Passifloraceae* possuem antioxidantes e compostos fenólicos que conferem proteção a compostos sensíveis como a vitamina C (Monteiro *et al.*, 2020).

Estudos realizados por Quevedo *et al.*, 2020, Vicent *et al.*, 2018 e Wang *et al.*, 2025 sobre o congelamento de frutas e polpas demonstram que a degradação da vitamina C prossegue mesmo a baixas temperaturas, embora em ritmo reduzido, sendo fortemente influenciada por factores como luz, oxigénio e actividade enzimática residual, degradação essa que inicia ainda no processamento.

6.2. Estabilidade microbiológica das polpas de frutas congeladas

6.2.1. Bactérias aeróbicas mesófilas

A evolução da microbiota de bactérias aeróbicas mesófilas nas polpas de mapilua e maracujá ao longo dos 90 dias de armazenamento a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ evidenciou a eficácia do congelamento na inibição do crescimento microbiano, observando-se uma tendência geral de redução em ambas as matrizes.

A manutenção de contagens baixas ou reduções das bactérias aeróbicas mesófilas durante o congelamento é coerente com a literatura (Sandes *et al.*, 2024; Zaritzky, 2010) em que em frutas e polpas tropicais o armazenamento em temperaturas menores ou iguais à $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ resulta em decréscimos graduais ou estabilidade microbiana). Resultados semelhantes foram obtidos por Orqueda *et al.* (2020), que observaram reduções em torno de 1,0 log UFC/g de BAM em polpas de tamarilho armazenadas à $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 180 dias, atribuídas à redução da actividade de água e injúria celular resultantes do congelamento.

As diferenças estatísticas entre as duas polpas de frutas refletem diferenças quantitativas na resposta microbiana ao congelamento e podem ser explicadas pela composição e factores intrínsecos da matriz das frutas. O maracujá, com pH mais baixo e maior acidez, cria um ambiente menos favorável à sobrevivência bacteriana, em comparação com a mapilua.

A combinação de baixas temperaturas, redução da actividade de água, factores intrínsecos como pH das polpas suportam a estabilidade e declínio observados nas contagens mesófilas. Além disso, as pequenas oscilações observadas ao longo do armazenamento podem estar relacionadas à resistência diferencial de subpopulações bacterianas, resultado este em conformidade com o sugerido por Shao *et al.* (2023).

6.1.2. Bolores e leveduras

As contagens de bolores e leveduras também mostraram comportamento favorável ao armazenamento congelado, embora com dinâmicas distintas entre as polpas, apesar de ambas as polpas apresentarem uma tendência de redução ao longo dos 90 dias de armazenamento.

A redução nas contagens de bolores e leveduras em ambas as polpas ao longo do armazenamento resulta da acção combinada do congelamento, que promove danos estruturais por cristais de gelo e reduz a actividade de água, associada à acidez natural das matrizes que intensifica o estresse osmótico e limita a capacidade adaptativa desses microrganismos.

De forma comparável, Damiani *et al.* (2013a, 2013b), Orqueda *et al.* (2020) e Sandes *et al.* (2025) reportaram reduções entre de 0,5 e 1,5 log UFC/g ou manutenção da estabilidade de bolores e leveduras em polpas de araçá, marolo, tamarilho e açaí armazenadas a -18 °C e -20 °C por até 12 meses, sendo as flutuações pontuais dependentes da espécie dominante e das condições de amostragem.

De igual modo, a diferença entre as duas frutas neste parâmetro reforça que a composição e as características físico-químicas específicas desempenham papel central neste processo. O maracujá, além de mais ácido, apresenta maior teor de açúcares simples, o que cria condições osmóticas que, em combinação com a baixa temperatura, dificultam a sobrevivência a longo prazo. Já a mapilua, com composição distinta e rica composição fitoquímica, pode oferecer pequenas “zonas de proteção” para os microrganismos mesmo sob frio, o que pode explicar a menor variação observada e a leve recuperação no final do período.

No conjunto, verifica-se que a congelação constitui uma estratégia eficaz para a preservação microbiológica de polpas de fruta, ainda que a resposta dependa da composição intrínseca de cada espécie. Esses resultados reforçam que a escolha da fruta e as suas características químicas devem ser consideradas na definição de protocolos de processamento e armazenamento.

7. CONCLUSÃO

O congelamento mostrou-se eficaz na manutenção da estabilidade microbiológica das polpas de maracujá e maracujá a -18 °C durante os 90 dias de armazenamento.

O congelamento a -18 °C por 90 dias resultou em oscilações moderadas no pH, acidez titulável, relação °Brix/Acidez e nenhuma alteração nos sólidos solúveis totais em ambas polpas de frutas. A vitamina C degradou-se em menos de dezasseis porcentos do seu valor inicial em ambas polpas durante os 90 dias de armazenamento.

8. RECOMENDAÇÕES

Para a Comunidade Académica recomendo a realização de estudos para:

- Avaliar períodos de armazenamento superiores a 90 dias (ex.: 6 e 12 meses), incluindo análises sensoriais, fitoquímicas, e parâmetros microbiológicos e físico-químicos adicionais;
- Avaliar o efeito das diferentes velocidades de congelamento, temperaturas de armazenamento e métodos de descongelação em frutas nativas e exóticas.

Para Governo e Instituições Competentes:

- Criar legislação e padrões específicos para polpas de frutas congeladas;
- Investir em infraestrutura de processamento e cadeia de frio de modo a valorizar os recursos frutícolas e dinamizar as cadeias produtivas locais.

Para Consumidores:

- Realizar o descongelamento das polpas em condições seguras (ex: refrigeração 0 – 4 °C);
- Evitar ciclos repetidos de congelação e descongelação.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amarteifio, J. O., Mosase, M. O. (2006). The Chemical Composition of Selected Indigenous Fruits of Botswana. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 10(2). <https://doi.org/10.4314/JASEM.V10I2.43659>.
- Ando, Y., Nei, D., Kono, S., Nabetani, H. (2017). Current state and future issues of technology development concerned with freezing and thawing of foods. *Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi*, 64(8), 391–428. <https://doi.org/10.3136/nskkk.64.391>.
- Araújo, L. da S., Costa, E. M. R., Soares, T. L., dos Santos, I. S., De Jesus, O. N. (2017). Effect of time and storage conditions on the physical and physico-chemical characteristics of the pulp of yellow and purple passion fruit. *Food Science and Technology*, 37(3), 500–506. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.20616>.
- Araújo, R. P. S. (2016). Avaliação da qualidade microbiológica de polpas de frutas comercializadas no Município de Currais Novos/RN. (Trabalho de Conclusão de Curso). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Currais Novos. Disponível em: <https://memoria.ifrn.edu.br/bitstream/handle/1044/828/Rejanieley%20Paula-TCC.pdf?sequence=1>. Acesso em: 12 Agosto 2025.
- Aydın, Ö. K., Sarioğlu, H. Y., Dirim, S. N., Ertekin, F. (2023). Recent Advances for Rapid Freezing and Thawing Methods of Foods. *Food Engineering Reviews* 2023 15:4, 15(4), 667–690. <https://doi.org/10.1007/S12393-023-09356-0>.
- Bainotti, M. B., Colás-Medà, P., Viñas, I., Garza, S., Alegre, I. (2024). A sobrevivência de cepas de *Salmonella enterica* em purês de frutas prontos para consumo sob diferentes temperaturas de armazenamento. *Bebidas*, 10(1), 17. <https://doi.org/10.3390/beverages10010017>.
- Bezerra, T. S., Fernandes, T. N., Resende, J. V. (2015). Efeitos da adição de sacarose e pectina sobre o comportamento reológico e a cinética de congelamento da polpa de maracujazeiro estudada pela metodologia de superfície de resposta. *Revista de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 52(6), 3350–3357. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1400-0>.
- Bulut, M., Bayer, Ö., Kırtıl, E., Bayındırlı, A. (2018). Effect of freezing rate and storage on the texture and quality parameters of strawberry and green bean frozen in home type freezer. *International Journal of Refrigeration*, 88, 360–369. <https://doi.org/10.1016/J.IJREFRIG.2018.02.030>.
- Buyanova, I. (2021). Study Viability and Survival Microflora of Cheeses Under the Influence of Freezing and Low-Temperature Storage. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 34(2). <https://doi.org/10.26717/BJSTR.2021.34.005527>.

- Carvalho, A. V., De Andrade Mattietto, R., Beckman, J. C. (2017). Estudo da estabilidade de polpas de frutas tropicais mistas congeladas utilizadas na formulação de bebidas. *Brazilian Journal of Food Technology*, 20, e2016023. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.2316>.
- Castro, T. M. N., Zamboni, P. V., Dovadoni, S., Cunha, A., Rodrigues, L. J. (2015). Parâmetros de qualidade de polpas de frutas congeladas. *Revista Instituto Adolfo Lutz*. São Paulo; V. 4, p. 426-436. <https://doi.org/10.53393/rial.2015.v74.33496>.
- Celli, G., Ghanem, A., Su-Ling Brooks, M. (2016). Influence of freezing process and frozen storage on the quality of fruits and fruit products. *Food Reviews International*, 32(3), 280–304. <https://doi.org/10.1080/87559129.2015.1075212>.
- Chassagne-Berces, S., Fonseca, F., Citeau, M., Marin, M. (2010). Freezing protocol effect on quality properties of fruit tissue according to the fruit, the variety and the stage of maturity. *LWT - Food Science and Technology*, 43(9), 1441–1449. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2010.04.004>.
- Chaves, A., Zaritzky, N. (2018). Cooling and Freezing of Fruits and Fruit Products. In *Food Engineering Series* (pp. 127–180). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3311-2_6.
- Chiau, E. (2015). Utilization of Wild Fruit in Mozambique – Drying of *Vangueria infausta* (African medlar). Tese de doutorado. Food Technology, Engineering and Nutrition. Lund University, Suécia. Disponível em: <https://portal.research.lu.se/en/publications/utilization-of-wild-fruit-in-mozambique-drying-of-vangueria-infaust/>. Acesso: 18 Junho 2025.
- Conceição, M. C., Fernandes, T. N., de Resende, J. V. (2016). Stability and microstructure of freeze-dried guava pulp (*Psidium guajava* L.) with added sucrose and pectin. *Journal of Food Science and Technology*, 53(6), 2654. <https://doi.org/10.1007/S13197-016-2237-5>.
- Damiani, C., Lage, M. E., Silva, F. A., Pereira, D. E. P., Becker, F. S., Vilas Boas, E. V. B. (2013a). Changes in the physicochemical and microbiological properties of frozen araçá pulp during storage. *Food Science and Technology*, 33(1), 28-33. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612013000500004>.
- Damiani, C., Silva, F. A., Lage, M. E., Pereira, D. E. P., Becker, F. S., Vilas Boas, E. V. B. (2013b). Stability of frozen marolo pulp during storage. *Food Science and Technology*, 33(4), 713-721. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612013000400017>.
- De Ancos, B., Sánchez-Moreno, C., De Pascual-Teresa, S., & Cano, M. P. (2006). Fruit Freezing Principles. *Handbook of Fruits and Fruit Processing*, 59–79. <https://doi.org/10.1002/9780470277737.CH4>.

Dique (2022). Avaliação da Composição Química e Nutricional da Polpa do Fruto de Maphilwa (*Vangueria infausta*) usada na produção de Sumo. *Mozambican Journal of Applied Sciences*, 1(1). Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/822319957/Artigo-4-1-Maphilwa>. Acesso: 12 Junho 2025.

Emmanuel, T. V., Njoka, J. T., Catherine, L. W., Lyaruu, H. V. M. (2011). Nutritive and anti-nutritive qualities of mostly preferred edible woody plants in selected drylands of Iringa District, Tanzania. *Pakistan Journal of Nutrition*, 10(8), 786–791. Disponível em: <http://erepository.uonbi.ac.ke/handle/11295/34626>. Acesso em: 12 Junho 2025.

Evans, J. A. (2009). Frozen Food Science and Technology. *Frozen Food Science and Technology*, 1–355. <https://doi.org/10.1002/9781444302325>.

Fadiji, T., Ashtiani, S. H. M., Onwude, D. I., Li, Z., Opara, U. L. (2021). Finite Element Method for Freezing and Thawing Industrial Food Processes. *Foods* 2021, Vol. 10, Page 869, 10(4), 869. <https://doi.org/10.3390/FOODS10040869>.

Gonçalves, G. A. S., Resende, N. S., Carvalho, E. E. N., Resende, J. V., Vilas Boas, E. V. de B. (2017). Effect of pasteurisation and freezing method on bioactive compounds and antioxidant activity of strawberry pulp. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 68(6), 682–694. <https://doi.org/10.1080/09637486.2017.1283681>.

Goulão L. F.; Santo-Antonio, V. (2015). Avaliação do estado atual do conhecimento sobre fruteiras nativas em Moçambique. Instituto de Investigação Científica Tropical, Matola. 167 pág. Disponível em: <https://biblioteca.biofund.org.mz/wp-content/uploads/2019/01/1548328084-Avaliacao%20do%20Estado%20Actual%20do%20Conhecimento%20sobre%20Fruteiras%20Nativas%20em%20Mocambique%202015.pdf>. Acesso: 10 Junho 2025.

Grover, Y., Negi, P. S. (2023). Recent developments in freezing of fruits and vegetables: Striving for controlled ice nucleation and crystallization with enhanced freezing rates. In *Journal of Food Science* (Vol. 88, Issue 12, pp. 4799–4826). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16810>.

Hagiwara, T. (2018). Prediction and Control of Ice Crystal Growth in Frozen Foods. *Japan Journal of Food Engineering*, 19(2), 79–88. <https://doi.org/10.11301/JSFE.18521>.

Hoang, L. S., Le, N. K. T. (2024). Investigation on Phytochemicals and Nutritional Values of Three Passion Fruit Species Planted in Lam Dong Plateau. *Natural Resources for Human Health*, 5(1), 70–78. <https://doi.org/10.53365/NRFHH/193575>.

Instituto Adolfo Lutz (2008). Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos, 4ª ed. São Paulo.

- Hoffmann, J. F., Zandoná, G. P., Dos Santos, P. S., Dallmann, C. M., Madruga, F. B., Rombaldi, C. V., Chaves, F. C. (2017). Stability of bioactive compounds in butiá (*Butia odorata*) fruit pulp and nectar. *Food chemistry*, 237, 638–644. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.154>.
- James, C., Purnell, G., James, S. J. (2015). A Review of Novel and Innovative Food Freezing Technologies. *Food and Bioprocess Technology*, 8(8), 1616–1634. <https://doi.org/10.1007/S11947-015-1542-8>.
- Khang, V. C., Truong, L. D., Muoi, N. Van, Truc, T. T. (2022). The evaluation of freezing temperatures and ripeness levels on the quality characteristics of frozen pineapple fruits. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 12(3), e5439–e5439. <https://doi.org/10.55251/JMBFS.5439>.
- Kataoka, A., Wang, H., Elliott, P. H., Whiting, R. C., Hayman, M. M. (2017). Growth of listeria monocytogenes in thawed frozen foods. *Journal of Food Protection*, 80(3), 447–453. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-16-397R>.
- Khattab, R., Celli, G. B., Ghanem, A., Brooks, M. S. L. (2015). Effect of frozen storage on polyphenol content and antioxidant activity of haskap berries (*Lonicera caerulea* L.). *Journal of Berry Research*, 5(4), 231–242. <https://doi.org/10.3233/JBR-150105>.
- Koç, G., Karabacak, A., Süfer, Ö., Adal, S., Çelebi, Y., Kiyak, B., Öztekin, S. (2025). Thawing frozen foods: A comparative review of traditional and innovative methods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 24(2), e70136. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70136>.
- Laboratório Nacional de Higiene, Alimentos e Água (LNHAA) – Ministério da Saúde. (1997). Manual de Microbiologia Alimentar.
- Leitão, F., Silva, P. D., Gaspar, P. D., Pires, L. C., Duarte, D. (2021). Experimental Study of Thermal Performance of Different Fruit Packaging Box Designs. *Energies* 2021, Vol. 14, Page 3588, 14(12), 3588. <https://doi.org/10.3390/EN14123588>.
- Li, D., Zhu, Z., Sun, D. W. (2018). Effects of freezing on cell structure of fresh cellular food materials: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 75, 46–55. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2018.02.019>.
- Lima, T. L. S., Cavalcante, C. L., Sousa, D. G. (2015). Avaliação da composição físico-química de polpas de frutas comercializadas em cinco cidades do Alto Sertão paraibano. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 10(4), 10-15. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7304172>. Acesso em: 20 Junho 2025.

- Machado, T. F., Monteiro, E. R., Tiecher, A. (2019). Estabilidade química, físico-química e antioxidante de polpa de *Physalis* pasteurizada e não pasteurizada sob congelamento. *Brazilian Journal of Food Technology*, 22. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.14917>.
- Magaia, T. (2015). Chemical Analysis to promote the use of Wild Fruits from Mozambique. Tese de doutorado. Lund University, Suécia. Disponível em: <http://www.repositorio.uem.mz/handle/258/342>. Acesso: 15 Junho 2025.
- Magaia, T., Uamusse, A., Sjöholm, I., Skog, K. (2013). Proximate analysis of five wild fruits of Mozambique. *TheScientificWorldJournal*, 2013, 601435. <https://doi.org/10.1155/2013/601435>.
- Maluleke, M. K., Ralulimi, T. S., Machete, M. (2024). Biochemical constituents and the role of African wild medlar (*Vangueria infausta*) in human nutrition: a review. *Discover Sustainability*, 5(1), 1–10. <https://doi.org/10.1007/S43621-024-00219-0>.
- Maússe, B. J. (2015). Caracterização Química e Avaliação da Actividade Antimicrobiana e Antioxidante das Polpas e Derivados dos Frutos de Massala (*Strychnos spinosa*) e Mapfilwa (*Vangueria infausta*). Dissertação de Mestrado. Universidade Eduardo Mondlane. Disponível em: <http://www.repositorio.uem.mz/handle258/213>. Acesso: 18 Junho 2025.
- Monteiro, S., Beserra, Y. A., Neto, J. H., Gálvez, A., Pérez Pulido, R., Grande Burgos, M. J. (2020). Production of Probiotic Passion Fruit (*Passiflora edulis* Sims f. f lavicarpa Deg.) Drink Using *Lactobacillus reuteri* and Microencapsulation via Spray Drying. *Foods*, 9(3), 335. <https://doi.org/10.3390/foods9030335>.
- Mothapo, M.J., Mafeo, T.P., Mamphiswana, N.D. (2014). Physico-Chemical Properties and Selected Nutritional Components of Wild Medlar (*Vangueria infausta*) Fruit Harvested at Two Harvesting Times. *World Journal of Dairy & Food Science*, 9, 79 – 85. <https://doi.org/10.5829/IDOSI.WJDFS.2014.9.1.8218>.
- Mustafa, S. M. (2012). Caracterização química do licor de vangueria infausta. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Eduardo Mondlane. Disponível em: <http://monografias.uem.mz/handle/123456789/312>. Acesso: 18 Junho 2025.
- Nascimento, M. M., Jesus, R. M., Santos, H. M. (2019). Quality pattern evaluation of frozen soursop pulps: an assessment based on chemical composition and chemometric analysis. *Food Science and Technology*, 39(3), 698-704. <https://doi.org/10.1590/fst.04919>.
- Nemapare, P., Mugadza, D. T., Gadaga, T. H. (2025). Characterization of Functional Properties and Organic Acids in *Vangueria infausta* Burch. (Wild Medlar/Nzvirumombe/Umvuyo) Fruit(s) Found in

Zimbabwe. *International Journal of Food Science*, 2025(1), 9925294.
<https://doi.org/10.1155/IJFO/9925294>.

Neri, L., Faieta, M., Di Mattia, C., Sacchetti, G., Mastrocola, D., Pittia, P. (2020). Antioxidant Activity in Frozen Plant Foods: Effect of Cryoprotectants, Freezing Process and Frozen Storage. *Foods*, 9(12), 1886. <https://doi.org/10.3390/FOODS9121886>.

Ngigi, P. B., Termote, C., Pallet, D., Amiot, M. J. (2023). Mainstreaming traditional fruits, vegetables and pulses for nutrition, income, and sustainability in sub-Saharan Africa: The case for Kenya and Ethiopia. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1197703. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1197703>.

Ngubane, S. C., Mbhele, Z., Ntuli, N. R. (2025). Indigenous Knowledge and Traditional Uses of *Vangueria infausta* subsp. *infausta* Burch in Northern KwaZulu-Natal, South Africa. *Plants* 2025, Vol. 14, Page 1820, 14(12), 1820. <https://doi.org/10.3390/PLANTS14121820>.

Nthabiseng, L. K., Adeyanju, A. A., Bamidele, O. P. (2023). Effects of frozen of marula fruits (*Sclerocarya birrea*) on chemical, antioxidant activities, and sensory properties of marula fruit juice. *Heliyon*, v.9. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20452>.

Oliveira, A. R., Ribeiro, A. E. C., Oliveira, É. R., Garcia, M. C., Soares Júnior, M. S., Caliari, M. (2020). Structural and physicochemical properties of freeze-dried açai pulp (*Euterpe oleracea* Mart.). *Food Science and Technology*, 40(2), 282–289. <https://doi.org/10.1590/FST.34818>.

Orqueda, M. E., Isla, M. I., Pérez, J., Rodriguez, F., Torres, S., Verón, H., Zampini, C., (2020). Physicochemical, microbiological, functional and sensory properties of frozen pulp of orange and orange-red chilito (*Solanum betaceum* Cav.) fruits. *Scientia Horticulturae*, v.276, ISSN 0304-4238. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109736>.

Orwa, C., Mutua, A., Kindt, R., Jamnadass, R. Simons, A. (2009). Agroforestry Database: a Tree Reference and Selection Guide. Version 4.0. Disponível em: <https://apps.worldagroforestry.org/treedb2/index.php>. Acesso em: 16 Junho 2025.

Primacella, M. (2023). Food freezing: The science, techniques, and benefits of preserving freshness. *J Food Technol Pres*, 7(4), 183. <https://doi.org/10.35841/2591-796X-7.4.183>.

Putnik, P., Pavlić, B., Šojić, B., Zavadlav, S., Žuntar, I., Kao, L., Kitonić, D., Kovačević, D. B. (2020). Innovative hurdle technologies for the preservation of functional fruit juices. *Foods*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/FOODS9060699>.

- Quevedo, R., Valencia, E., Pedreschi, F., Diaz, O., Bastias-Montes, J., Siche, R., Muñoz, O. (2020). Kinetic deterioration and shelf life in Rose hip pulp during frozen storage. *Journal of Berry Research*, 10(2), 133–143. <https://doi.org/10.3233/JBR-190382>.
- Ramaiya SD, Bujang JB, Zakaria MH, Saupi N. Nutritional, mineral and organic acid composition of passion fruit (*Passiflora* species). *Food Research*. 2019;3(3):231–240. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.3\(3\).233](https://doi.org/10.26656/fr.2017.3(3).233).
- Ráice, R. (2014). Aroma components in *Vangueria infausta* L.: Characterization of components using GC_MS and aroma loss during drying. Tese de doutorado. Lund University, Suécia. Disponível em: <https://lup.lub.lu.se/record/8170052>. Acesso: 16 Junho 2025.
- Rinaldi, M. M., & Costa, A. M. (2021). Vida útil de polpa de frutos de passiflora cincinnata cv. brs sertão forte congelada. *Agrotrópica (Itabuna)*, 33(2), 131–142. [10.21757/0103-3816.2021V33N2P131-142](https://doi.org/10.21757/0103-3816.2021V33N2P131-142).
- Rincon, A., Kerr, W. L. (2010). Influence of osmotic dehydration, ripeness and frozen storage on physicochemical properties of mango. *Journal of Food Processing and Preservation*, 34(3), 425-440. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2009.00404.x>.
- Rodríguez-Vargas, S., Sánchez-García, A., Martínez-Rivas, J. M., Prieto, J. A., Randez-Gil, F. (2007). Fluidization of membrane lipids enhances the tolerance of *Saccharomyces cerevisiae* to freezing and salt stress. *Applied and environmental microbiology*, 73(1), 110–116. <https://doi.org/10.1128/AEM.01360-06>.
- Roy, A. G. (2018). Packaging from passion fruit. *Nature Sustainability*, 1(7), 338–338. <https://doi.org/10.1038/S41893-018-0107-Z>.
- Rumiantceva, O. N. (2024). Pectin Changes during Freezing and Storage of Plant Products. *Food Processing: Techniques Technology*, 54(3), 495–507. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-3-2522>.
- Sandes, J. C. A. S., Walter, E. H. M., Ramos, G. L. de P. A., da Matta, V. M., Cabral, L. M. C. (2025). Do Temperature Abuses Along the Frozen Açaí Pulp Value Chain Increase Microbial Hazards? *Foodborne Pathogens and Disease*, 22(7), 452–458. <https://doi.org/10.1089/FPD.2024.0073>.
- Sandoval, J. R., Rodríguez, P., Buddenhagen, C. E. (2014). *Passiflora edulis* (passionfruit). CABI Compendium. <https://doi.org/10.1079/CABICOMPENDIUM.38799>.
- Santos, B. A., Teixeira, F., Amaral, L. A., Randolpho, G. A., Schwarz, K., Santos, E. F., Resende, J. T. V., Novello, D. (2019). Caracterização química e nutricional de polpa de frutas armazenadas sob congelamento. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, ISSN: 1517-0276. v. 17. p.1-13. <http://dx.doi.org/10.5892/ruvrd.v17i1.5049>.

- Sebastiany, E., Rego, E. R. (2009). Qualidade microbiológica de polpas de frutas congeladas. *Revista do Instituto Adolfo Lutz*, 68(1), 70-75. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/c5f8/cc02e531cba23bd796e6d273d0a658a8d138.pdf>. Acesso: 20 Julho 2025.
- Shao, L., Sun, Y., Zou, B., Zhao, Y., Li, X., Dai, R. (2023). Sublethally injured microorganisms in food processing and preservation: Quantification, formation, detection, resuscitation and adaption. *Food research international* (Ottawa, Ont.), 165, 112536. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112536>.
- Silva, B. R., Caron, V. C. (2022). Perda nutricional em polpas de frutas: revisão de literatura. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*. v. 8. p.234–242. <https://doi.org/10.51891/rease.v8i11.7685>.
- Silva, C. E., Abud, A. K. (2017). Tropical Fruit Pulps: Processing, Product Standardization and Main Control Parameters for Quality Assurance. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 60, 17160209. <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2017160209>.
- Silva, R. M., Placido, G. R., Silva, M. A. P., Castro, C. F. S., Lima, M. S., Caliari, M. (2015). Chemical characterization of passion fruit (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) seeds. *African Journal of Biotechnology*, 14(14), 1230–1233. <https://doi.org/10.5897/AJB2014.13945>.
- Strawn, L. K., Schneider, K. R., Danyluk, M. D. (2011). Microbial safety of tropical fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(2), 132–145. <https://doi.org/10.1080/10408390903502864>.
- Sutariya, S. G., Sunkesula, V. (2020). Food Freezing: Emerging Techniques for Improving Quality and Process Efficiency a Comprehensive Review. In *Innovative Food Processing Technologies: A Comprehensive Review* (pp. 36–63). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.23035-7>.
- Trindade, R. C., Resende, M. A., Silva, C. M., Rosa, C. A. (2002). Yeasts Associated with Fresh and Frozen Pulps of Brazilian Tropical Fruits. *Systematic and Applied Microbiology*, 25(2), 294–300. <https://doi.org/10.1078/0723-2020-00089>.
- Urbano, G. R. (2011). Avaliação de parâmetros de qualidade físico-química e microbiológica de polpa de acerola congelada. *RETEC-Revista de Tecnologias*, 4(1). Disponível em: <https://retec.fatecourinhos.edu.br/index.php/retec/article/view/11>. Acesso em: 12 Agosto 2025.
- Van der Sman, R. G. M. (2020). Impact of Processing Factors on Quality of Frozen Vegetables and Fruits. *Food Engineering Reviews*, 12(4), 399–420. <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09216-1>.

- Vicent, V., Ndoye, F. T., Verboven, P., Nicolaï, B. M., Alvarez, G. (2018). Quality changes kinetics of apple tissue during frozen storage with temperature fluctuations. *International Journal of Refrigeration*, 92, 165–175. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2018.05.023>.
- Zaca, F. N., Chipfupa, U., Ojo, T. O., Managa, L. R., Mabhaudhi, T., Slotow, R., Ngidi, M. S. C. (2025). The role of fruit trees in reducing food insecurity and improving nutrition security of rural households: A case study of the KwaZulu-Natal province, South Africa. *Journal of agriculture and food research*, 21. 101883-. ISSN 2666-1543. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.101883>.
- Zaritzky, N. E. (2010). Chemical and physical deterioration of frozen foods. *Chemical Deterioration and Physical Instability of Food and Beverages*, 561–607. <https://doi.org/10.1533/9781845699260.3.561>.
- Zhang, B., Chen, X., Wang, N., Guo, S., Jiang, W., Yu, M., Ma, R. (2022). Effects of Harvest Maturity on the Fruit Quality of Different Flesh-Type Peach Stored at Near-Freezing Point Temperature. *Foods* 2022, Vol. 11, Page 2200, 11(15), 2200. <https://doi.org/10.3390/FOODS11152200>.
- Zhu, Z., Zhou, Q., Sun, D. W. (2019). Measuring and controlling ice crystallization in frozen foods: A review of recent developments. *Trends in Food Science & Technology*, 90, 13–25. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2019.05.012>.