

**ESTUDO FÍSICO-QUÍMICO DA FARINHA E PECTINA DO
MESOCARPO DO MARACUJÁ E REOLOGIA DE GEIS DE
SISTEMAS-MODELO**

JULIANA RESENDE GONÇALVES SILVA

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MAIO – 2018**

**ESTUDO FÍSICO-QUÍMICO DA FARINHA E PECTINA DO
MESOCARPO DO MARACUJÁ E REOLOGIA DE GEIS DE
SISTEMAS-MODELO**

JULIANA RESENDE GONÇALVES SILVA

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal”

Orientador: Prof. Eder Dutra de Resende

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
MAIO – 2018

FICHA CATALOGRÁFICA

UENF - Bibliotecas

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

S586 Silva, Juliana Resende Gonçalves.

Estudo físico-químico da farinha e pectina do mesocarpo do maracujá e reologia de géis de sistemas-modelo / Juliana Resende Gonçalves Silva. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2018.

90 f. : il.

Bibliografia: 3 - 16.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2018.
Orientador: Eder Dutra de Resende.

1. "Passiflora edulis". 2. Processamento de cascas. 3. Extração ácida. 4. Pectina. 5. Reologia. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

ESTUDO FÍSICO-QUÍMICO DA FARINHA E PECTINA DO
MESOCARPO DO MARACUJÁ E REOLOGIA DE GEIS DE
SISTEMAS-MODELO

JULIANA RESENDE GONÇALVES SILVA

“Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal”

Aprovada em ____ de _____ de 2011

Comissão Examinadora

Prof. Jaime Vilela de Resende (D.Sc., Eng. de Alimentos) – UFLA

Prof. Luana Pereira de Moraes (D.Sc., Eng. de Alimentos) – UENF

Prof. Silvia Menezes de Faria Pereira (D.Sc., Eng. e Ciências dos Materiais) –
UENF

Prof. Eder Dutra de Resende (D.Sc., Eng. Química) – UENF
(Orientador)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pelo dom da vida e por permitir a realização deste sonho.

Aos meus pais, Solange e Amarildo, pelo amor, dedicação e suporte concedido ao longo da minha vida, e aos meus irmãos Lucas, Guilherme e Manuela pelo carinho, amor e amizade. A todos os meus familiares, que sempre torceram por mim e vibram com as minhas conquistas, principalmente a minha tia Maria e minha avó Nene, obrigada pelas constantes orações. Esta conquista também é de vocês.

Ao meu amado namorado Webert, por acreditar sempre em meu potencial e por compreender meus momentos ausentes.

À Universidade Estadual Norte Fluminense e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela oportunidade de realização do curso e pela bolsa de estudos concedida.

Ao professor Eder, pela orientação e ensinamentos transmitidos durante esses dois anos.

Aos amigos do Laboratório de Tecnologia de Alimentos, pela boa convivência e amizade: Andressa Costa, Daniele Pereira, Thamires Gonçalves, Pamela Oliveira, Daniel Saraiva, Nuzia Geovana, Lara Poses, Lázaro Prates, e Samara. Aos funcionários do LTA, em especial a laboratorista Valdinéia.

Aos professores Jaime Vilela, Luana Pereira, Silvia Menezes e Soraia Vilela, pelos importantes conselhos e colaborações, e a todos os professores do Laboratório de Tecnologia de Alimentos da UENF pelos ensinamentos transmitidos.

Ao Dr. Sérgio Agostinho Cenci da Embrapa Agroindústria de Alimentos, pelo fornecimento dos maracujás e ao professor Clinimar e a professora Cristiane do Instituto Federal Fluminense de Bom Jesus do Itabapoana, pela ajuda na colheita e transporte dos frutos. À empresa CPKelco pela doação da pectina comercial.

Ao professor Luiz Antônio Minim, do Departamento de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal de Viçosa, e à estudante de pós-doutorado Andréa Simiqueli, pelas colaborações nas análises de comportamento viscoelástico e curva de escoamento.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMO	x
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Maracujá	3
2.2 Farinha do mesocarpo do maracujá	4
2.3 Pectina	6
2.4 Obtenção de pectinas	8
2.5 Propriedades tecnológicas das pectinas	10
2.6 Propriedades reológicas	12
3. OBJETIVOS	16
3.1 Objetivo geral	16
3.2 Objetivos específicos	16
4. MATERIAL E MÉTODOS	18
4.1 Processamento dos frutos e obtenção da farinha do mesocarpo do maracujá-amarelo	18
4.3 Caracterização físico-química das pectinas e da farinha	22
4.3.1 Análise de cor	23

4.3.2 Umidade	23
4.3.3 Cinzas.....	23
4.3.4 Grau de esterificação.....	24
4.3.5 Grau de acetilação.....	25
4.3.6 Conteúdo de ácidos galacturônicos.....	26
4.3.7 Massa molar	26
4.4 Análise instrumental de cor e reologia de géis de pectinas e farinha	27
4.4.1 Elaboração de géis	27
4.4.2 Análise de cor.....	30
4.4.3 Perfil de textura dos géis	31
4.4.4 Curva de escoamento dos géis	32
4.4.5 Comportamento viscoelástico dos géis	32
4.5 Planejamento experimental	33
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1 Caracterização físico-químico da farinha d das pectinas.....	34
5.2 Caracterização dos históricos de temperatura, conteúdo de sólidos solúveis e pH durante a elaboração dos géis.....	40
5.3 Análise de cor dos géis.....	43
5.4 Análises reológicas dos géis	50
6. CONCLUSÃO	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Utilização de farinha do mesocarpo e da pectina do mesocarpo do maracujá na elaboração de produtos.....	6
Tabela 2 - Definição e significado físico dos parâmetros fraturabilidade, dureza, elasticidade, índice de elasticidade, coesividade, gomosidade e mastigabilidade, obtidos do ensaio de perfil de textura.	32
Tabela 3 - Determinação das características químicas da farinha do mesocarpo e das pectinas. Os dados estão representados pelos valores médios e desvio-padrão das medidas.....	35
Tabela 4 - Caracterização dos parâmetros de cor da farinha do mesocarpo do maracujá-amarelo (FAR), pectina extraída do mesocarpo (PM) e pectina cítrica (PC) comercial. Os dados estão representados pelos valores médios e desvio-padrão das medidas.....	38
Tabela 5 - Medidas de pH no início e após a elaboração dos géis de farinha do mesocarpo (FAR), pectina extraída do mesocarpo (PM) e pectina comercial (PC) em diferentes concentrações.	42
Tabela 6 - Caracterização dos parâmetros de cor CIE L*a*b* Chroma (C*) e Ângulo Hue (h) dos géis elaborados com diferentes concentrações de farinha do mesocarpo (FAR), pectina extraída do mesocarpo (PM) e pectina comercial (PC).	45

Tabela 7 - Caracterização dos parâmetros de textura dos géis elaborados com 1%, 2% e 3% de farinha do mesocarpo (FAR), pectina extraída do mesocarpo (PM) e pectina comercial (PC).	48
Tabela 8 - Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley ($\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^N$) para os géis elaborados com farinha do mesocarpo (FAR), pectina extraída do mesocarpo (PM) e pectina comercial (PC), nas concentrações de 1%, 2% e 3% (m/v), 65% de sacarose, temperatura de 26 °C e pH 3,0, e os respectivos coeficientes de determinação (R^2).	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação esquemática da estrutura convencional (A) e da estrutura alternativa (B) propostas para as pectinas. Fonte: Willats, Knox e Mikkelsen (2006).....	7
Figura 3 - Principais modificações nas substâncias pécticas por efeito de temperatura. Fonte: Oliveira (2015).	9
Figura 4 - Classificação do comportamento reológico de fluidos (Steffe, 1996)....	13
Figura 5 - Amostras de maracujás utilizados no processamento, padronizados com mais de 90% da coloração amarela na casca.	18
Figura 6 - Fluxograma de processamento do maracujá-amarelo para obtenção da farinha do mesocarpo.	20
Figura 7 - Fluxograma de extração de pectina a partir da farinha do mesocarpo do maracujá-amarelo.	22
Figura 8- Fluxograma de fabricação dos géis-modelo de pectina comercial (PC), pectina extraída da farinha do mesocarpo do maracujá (PM) e farinha do mesocarpo do maracujá (FM).	29
Figura 9 - Montagem da estrutura de elaboração dos géis, contendo o agitador mecânico, a manta de aquecimento, o Becker contendo solução de etileno glicol e rolhas de cortiça que sustentam o Becker de elaboração do produto.....	30
Figura 10 - Curva típica de um ensaio de perfil de textura com os parâmetros mais representativos. Fonte: Adaptado de Steffe (1996).....	31

Figura 11 - Registos fotográficos da Farinha do mesocarpo do maracujá-amarelo (A), Pectina extraída do mesocarpo do maracujá-amarelo (B), Pectina comercial (C).....	39
Figura 12 - Históricos de temperatura, tempo e conteúdo de sólidos solúveis durante a elaboração dos géis contendo, respectivamente, diferentes concentrações de farinha do mesocarpo FAR (A e D), pectina extraída do mesocarpo do maracujá PM (B e E) e pectina comercial PC (C e F), com um teor de teor de sólidos solúveis de 65 ° Brix.....	41
Figura 13 - Registro fotográfico dos géis elaborados com farinha do mesocarpo do maracujá nas concentrações 1% (A), 2% (B) e 3% (C).	46
Figura 14 - Registro fotográfico dos géis elaborados com pectina extraída do mesocarpo do maracujá nas concentrações 1% (A), 2% (B) e 3% (C).....	46
Figura 15 - Registro fotográfico dos géis elaborados com pectina comercial nas concentrações 1% (A), 2% (B) e 3% (C).....	46
Figura 16 - Curvas de escoamento mostrando as correlações entre a Tensão de Cisalhamento e a Taxa de Deformação dos géis elaborados com a farinha do mesocarpo do maracujá-amarelo (FAR), pectina extraída da farinha do mesocarpo do maracujá-amarelo (PM) e pectina comercial (PC), nas concentrações de 1,0% (m/v) (A), 2,0% (m/v) (B) e 3,0% (m/v) (C), com um teor de sacarose de 65% (m/v), pH 3,0 e temperatura de 26 °C.....	51
Figura 17 - Viscosidade <i>versus</i> taxa de deformação dos géis elaborados com a farinha do mesocarpo do maracujá-amarelo (FAR), pectina extraída do mesocarpo do maracujá amarelo (PM) e pectina comercial (PC) nas concentrações de 1,0% (m/v) (A), 2,0% (m/v) (B) e 3,0% (m/v) (C) com um teor de sacarose de 65% (m/v), pH 3,0 a 26 °C.....	52
Figura 18 - Perfis viscoelásticos dos géis elaborados com a farinha do mesocarpo do maracujá (FAR), pectina extraída da farinha do mesocarpo do maracujá (PM) e pectina comercial (PC), nas concentrações de 1% (A), 2% (B) e 3% (m/m) (C), com um teor de sacarose de 65% (m/m), pH 3,0 e temperatura de 26 °C.....	56

RESUMO

SILVA, Juliana Resende Gonçalves, M.Sc. Produção Vegetal. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Maio de 2018. Estudo físico-químico da farinha e pectina do mesocarpo do maracujá e reologia de géis de sistemas-modelo. Orientador: Prof. Dr. Eder Dutra de Resende. Coorientador: Jaime Vilela de Resende.

O Brasil é o maior produtor e consumidor mundial de maracujá, sendo 40% da sua produção destinada para elaboração de sucos e polpa da fruta. As indústrias processadoras de suco e da polpa de maracujá geram uma grande quantidade de resíduos, alcançando 50% de massa do fruto relacionada com as cascas. Considerando a grande quantidade de cascas geradas no processamento do maracujá e, conseqüentemente, o uso da sua pectina em diversos seguimentos industriais, o presente trabalho teve como objetivo analisar as características físico-químicas da farinha produzida a partir do mesocarpo do maracujá e da pectina extraída da farinha, bem como avaliar o potencial de utilização de ambas como fonte de pectina, para substituição da pectina cítrica comercial utilizada como agente espessante e geleificante. A pectina foi extraída do mesocarpo do maracujá amarelo utilizando ácido nítrico 1,0 mol/L a 80 °C por 40 min. Foram analisadas as características químicas, físicas, estruturais e tecnológicas (propriedades espessantes e geleificantes), tomando-se como referencial uma pectina cítrica comercial de alto grau de esterificação. A pectina do mesocarpo do maracujá apresentou menor grau de esterificação (68,0%), menor teor de ácidos

galacturônico (72,0%) e menor massa molar média ($1,4 \times 10^5 \text{ g mol}^{-1}$) que a pectina comercial, contudo, ambas foram caracterizadas como pectinas de alto grau de esterificação e de alto peso molecular. As amostras de farinha e pectina do mesocarpo do maracujá apresentaram-se mais claras do que a pectina comercial, mas os géis apresentaram-se menos translúcido e com coloração mais amarelada que a pectina comercial. Ambas formaram géis em todas as concentrações analisadas (1,0, 2,0 e 3,0%), e mostraram comportamento de fluido não-newtoniano pseudoplástico, como a pectina comercial. Entretanto, as amostras analisadas apresentaram maiores valores para tangente de perda, indicando menor força dos géis. O gel com 3% de farinha (0,75% de pectina) apresentou maiores valores para os parâmetros de textura (dureza, adesividade, mastigabilidade e gomosidade) e viscosidade aparente, em relação aos demais tratamentos de géis na concentração de 1,0% de pectina. A pectina e a farinha do mesocarpo do maracujá amarelo foram consideradas com boa aplicabilidade tecnológica em substituição à pectina cítrica comercial, principalmente como agente espessante.

ABSTRACT

SILVA, Juliana Resende Gonçalves, M.Sc. Vegetal Production. Darcy Ribeiro State University of Northern Rio de Janeiro. May, 2018. Physical chemical study of flour and pectin of passion fruit mesocarp and rheology of gels in model-systems. Advisor: Prof. Dr. Eder Dutra de Resende. Co-advisor: Jaime Vilela de Resende.

Brazil is the world's largest producer and consumer of passion fruit and 40% of the production is destined for the elaboration of juice and fruit pulp. The processing industry of juice and passion fruit pulp generates a large amount of residue, reaching 50% of fruit mass related to the rind. Considering the large number of rinds generated in the processing of passion fruit and the use of his pectin in several industrial segments, the objective of the present work was to analyze the physicochemical characteristics of passion fruit mesocarp flour and pectin extracted from flour, as well as to evaluate the potential of both as a source of pectin to replace the commercial citrus pectin used as a thickening and gelling agent. Pectin was extracted from the yellow passion fruit mesocarp using 1.0 mol / L nitric acid at 80 °C for 40 min. The chemical, physical, structural and technological characteristics (thickening and gelling properties) were analyzed, taking as reference for comparison a commercial citrus pectin of high degree of esterification. The pectin of the passion fruit mesocarp had a lower degree of esterification (68.0%) and a lower content of galacturonic acids (72.0%) than

commercial pectin, however, both were characterized as pectins of high degree of esterification. Samples of flour and pectin of passion fruit mesocarp were clearer, but gels made with mesocarp flour or passion fruit pectin were less translucent and with more yellowness than the citric pectin. Both gels were formed at all analyzed concentrations (1.0, 2.0 and 3.0%) and showed behavior of non-Newtonian pseudoplastic fluid such as commercial pectin. However, they presented higher values for tangent loss, indicating a lower strength of the gels. The gel with 3% flour (0.75% pectin) presented higher values for the texture parameters (hardness, adhesiveness, chewing and gumminess) and apparent viscosity than the other 1.0% pectin gel treatments. The pectin and the mesocarp flour of yellow passion fruit were considered as having good technological applicability, instead of commercial citric pectin, mainly as a thickening agent.

1. INTRODUÇÃO

O maracujá é uma fruta do tipo baga que teve origem nos países tropicais da América do Sul. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a produção Brasileira de maracujá, em 2016, foi de 703,5 mil toneladas e a maior parte da produção é destinada a elaboração de refrigerantes, sucos e polpa da fruta (López-Vargas et al., 2013).

A indústria processadora de suco e polpa de maracujá gera uma grande quantidade de resíduo por ano, sendo, a maior parte, composta por casca e sementes (López-Vargas et al., 2013). Cerca de 50% dos resíduos gerados são representados pela casca do maracujá, que é constituída pelo epicarpo e pelo mesocarpo, conhecido também como albedo (Talma, 2016). Diversos estudos têm sido desenvolvidos no intuito de encontrar formas de aproveitamento dos coprodutos obtidos da casca do maracujá, uma vez que são fontes de fibras e nutrientes, que apresentam um grande potencial de aplicação comercial.

O mesocarpo do maracujá tem sido considerado uma excelente fonte de pectina, que pode ser utilizada como ingrediente em produtos na forma pura, após a extração da pectina, ou através da aplicação direta da farinha do mesocarpo do maracujá como fonte da pectina. A sua importância na indústria de alimentos é atribuída a sua propriedade geleificante, estabilizante, espessante e emulsionante, sendo amplamente utilizada na produção de gomas, geleias, compotas, produtos lácteos, entre outros (Alves, 2015; Oliveira, 2015).

As pectinas podem ser extraídas por diferentes metodologias, tais como: extração ácida, básica, com agentes quelantes ou por ação de enzimas (Iglesias e Lozano, 2004). Entretanto, a extração em meio ácido é o método mais utilizado pela indústria para obtenção de pectinas, sendo geralmente realizada com ácidos minerais como: os ácidos nítrico, clorídrico, sulfúrico ou fosfórico (Vriesmann, Teófilo e Petkowicz, 2012). Estudos, como os de Kliemann (2009) e Oliveira (2015), vêm sendo realizados para definir as melhores condições de extração da pectina, proveniente do mesocarpo do maracujá, como a concentração do ácido, o tempo e a temperatura de extração.

O rendimento de extração e as propriedades tecnológicas das pectinas, como sua capacidade geleificante, são fortemente influenciadas por sua estrutura e composição química, que por sua vez, dependem da origem botânica e do método de extração utilizado para sua obtenção (Kulkarni e Vljayanand, 2010; Liang et al., 2012). Com isso, diversos autores descreveram vários métodos para a extração de pectina de casca de maracujá, com vistas a possíveis aplicações industriais (Liew, Chin e Yusof, 2014; Liew et al., 2015; Moura et al., 2017; Klinchongkon, Khuwijitjaru e Adachi, 2018). Contudo, existem poucos estudos que investigam o potencial da aplicação direta da farinha como fonte de pectina.

Considerando a grande quantidade de cascas geradas no processamento do maracujá e o uso da pectina em diversos seguimentos industriais, o presente trabalho tem como objetivo analisar as características físico-químicas da farinha e da pectina do mesocarpo do maracujá-amarelo, bem como avaliar o potencial de utilização de ambas como fonte de pectina para substituição da pectina cítrica comercial utilizada como agente geleificante e espessante.

A substituição da pectina comercial pela farinha do mesocarpo seria uma alternativa para reduzir o custo de fabricação de doces, geleias e outras aplicações, tendo em vista que a extração da pectina é um procedimento que agrega alto custo para este ingrediente tão importante para as agroindústrias.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Maracujá

O maracujazeiro pertence à família *Passifloraceae*, que se originou nos países tropicais da América do Sul. O principal gênero *Passiflora* apresenta cerca de 400 espécies diferentes de maracujá. Destas, cerca de 150 espécies são nativas do Brasil, entretanto, apenas 60 espécies são produtoras de frutos com valor comercial (Silva e Mercadante, 2002; Kishore et al., 2011).

Apesar da grande variabilidade de espécies, os cultivos comerciais no país concentram-se mais na produção do maracujá-azedo (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*), também conhecido como maracujá-amarelo (Oliveira, 2015), em virtude de apresentar características superiores às demais variedades, como maior tamanho dos frutos, peso, aceitação sensorial, acidez total, resistência à pragas e maior produtividade por hectare (Kliemann, 2006).

O maracujá-amarelo é do tipo baga, de tamanho médio e formato arredondado. O fruto apresenta a coloração da casca amarela quando totalmente maduro, e mede cerca de 8 a 10 cm de diâmetro (Oliveira, 2015), sendo constituído basicamente de epicarpo ou casca, mesocarpo ou albedo, endocarpo com arilo carnoso, polpa e sementes. O fruto contém elevados teores de vitamina C, minerais (K, P, Ca e Fe) e fibras alimentares (Campos e Santos, 2011), bem

como substâncias polifenólicas com atividade antibacteriana, anti-inflamatória e antiviral (López-Vargas et al., 2013).

No cenário mundial, o Brasil é considerado o maior produtor e consumidor da fruta (Pires et al., 2011). Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a produção Brasileira de maracujá em 2016 foi de 703,5 mil toneladas.

A importância econômica do fruto do maracujazeiro está associada à produção de polpa, sucos e doces, especialmente, devido ao seu sabor mais ácido e rendimento elevado (Vuolo, 2016). A industrialização do maracujá para extração do suco gera uma grande quantidade de cascas e sementes, as quais representam 65% do peso do fruto (Talma, 2016). Na maioria dos casos, estes resíduos são descartados sem qualquer tipo de aproveitamento.

Contudo, esses resíduos têm potencial para gerar coprodutos que apresentam vantagens econômicas, nutritivas e tecnológicas, uma vez que podem ser aproveitados de maneira a causar um menor impacto ambiental e gerar rendimento, através da formulação de produtos com alto valor agregado (Barrales, Viganó e Martinez, 2014). As cascas do maracujá podem servir como matéria-prima para a produção de ração animal ou como ingrediente para produtos de panificação e barras de cereais; o mesocarpo pode ser usado para a produção de alimentos peletizados ou como matéria-prima para extração de pectinas utilizadas na fabricação de diversos produtos; a polpa pode ser utilizada no desenvolvimento de diferentes produtos alimentícios como sucos e produtos, ou na extração de compostos para produção de fármacos; a semente pode ser usada para extração de óleo ou fabricação de cosméticos (Santana, 2005; Seixas, 2014).

2.2 Farinha do mesocarpo do maracujá

Segundo López-Vargas et al. (2013), a indústria processadora de suco e polpa de maracujá gera uma grande quantidade de resíduo por ano, e cerca de 50% dos resíduos gerados é representado pelas cascas dos maracujás (Talma, 2016).

A casca do maracujá é composta basicamente pelo epicarpo e mesocarpo. A remoção do epicarpo permite a obtenção do mesocarpo, que

apresenta uma tonalidade branca e proporciona a fabricação de uma farinha clara, após a secagem. Já a fabricação da farinha, utilizando a casca bruta (epicarpo + mesocarpo), gera um produto de coloração mais escura, devido às diferentes tonalidades esverdeadas e amareladas da superfície da casca, e das impurezas e contaminações naturais encrustadas no epicarpo da casca (Talma, 2016). Segundo Talma (2016), a fração do mesocarpo representa a maior proporção da casca do maracujá, com 70,06%, e o epicarpo com 29,93%.

De acordo com Silva et al. (2016), a farinha do mesocarpo do maracujá-amarelo, tem 3,53% de umidade, apresenta elevado teor de fibras (58,8 g/ 100 g), baixo teor de lipídeos (0,63 g/ 100 g) e cinzas (1,95 g/ 100g), e quantidades consideráveis de alguns minerais como cálcio (1363,94 mg/ 100 g), magnésio (314,27 mg/ 100 g) e potássio (87,53 mg/ 100 g).

As fibras da casca podem ser divididas em dois grupos: as fibras insolúveis (52,34%), representadas por celulose, lignina e a maioria das hemiceluloses, e; as fibras solúveis (19,45%), representadas pela pectina, gomas, mucilagens e algumas hemiceluloses (Chitarra, 1994; López-Vargas et al., 2013).

Os altos teores de fibras solúveis presentes na farinha do mesocarpo propiciam um potencial para extração de pectina, bem como viabilizam a utilização da farinha em diferentes produtos comerciais, podendo funcionar como matéria-prima ou apenas como ingrediente para obtenção de novos produtos.

A Tabela 1 mostra alguns estudos que utilizaram a farinha e a pectina na elaboração de produtos para a alimentação humana.

Tabela 1 - Utilização de farinha do mesocarpo e da pectina do mesocarpo do maracujá na elaboração de produtos.

Ingredientes	Objetivo	Referência
Farinha	Estudo da aplicação da farinha em suco e maionese	Coelho et al. (2017 b)
Farinha	Elaboração de farinha do mesocarpo do maracujá para uso alimentício	Silva et al. (2016)
Pectina	Elaboração de duas formulações de geleia de tamarindo: uma sem pectina e outra com pectina extraída do mesocarpo do maracujá-amarelo	Souza, Barbosa e Rodrigues (2016)
Pectina	Produção de filmes comestíveis à base de celulose e pectina de maracujá para aplicação em alimentos	França, Damasceno e Coimbra (2016)
Farinha	Produção de doce em massa	Carneiro et al. (2015)

2.3 Pectina

Pectinas são polissacarídeos complexos de elevado peso molecular, encontrados na parede celular primária e nas camadas intercelulares de diferentes vegetais, que contribui para a adesão entre as células, proporcionando firmeza e resistência mecânica aos tecidos. Sua quantidade e natureza são determinantes para a textura de frutos e vegetais em geral, durante o seu crescimento, amadurecimento, armazenamento e processamento (Maran et al., 2014).

As pectinas são muito conhecidas pelas suas propriedades tecnológicas (geleificante, estabilizante, espessante e emulsionante), entretanto, essas propriedades estão diretamente relacionadas com sua composição e estrutura. A

pectina apresenta uma cadeia linear principal, com cerca de 150 a 500 unidades de ácidos galacturônicos, unidos por ligações glicosídicas α -1,4 (Figura 1 parte b), onde partes dessas unidades podem estar esterificadas com o grupamento metil ou acetil (Iglesias e Lozano, 2004; Liu, Shi e Langrish, 2006). A cadeia principal contém unidades intercaladas de L-ramnose, que servem como pontos de ligações para as cadeias laterais formadas por açúcares neutros, tais como: galactose, arabinose, xilose, manose e fucose (Fishman et al., 2000). O tipo de açúcar neutro presente e a distribuição variam entre frações pecticas, de acordo com a origem da pectina, as condições de extração e o estágio de desenvolvimento de tecido (Round et al., 2001).

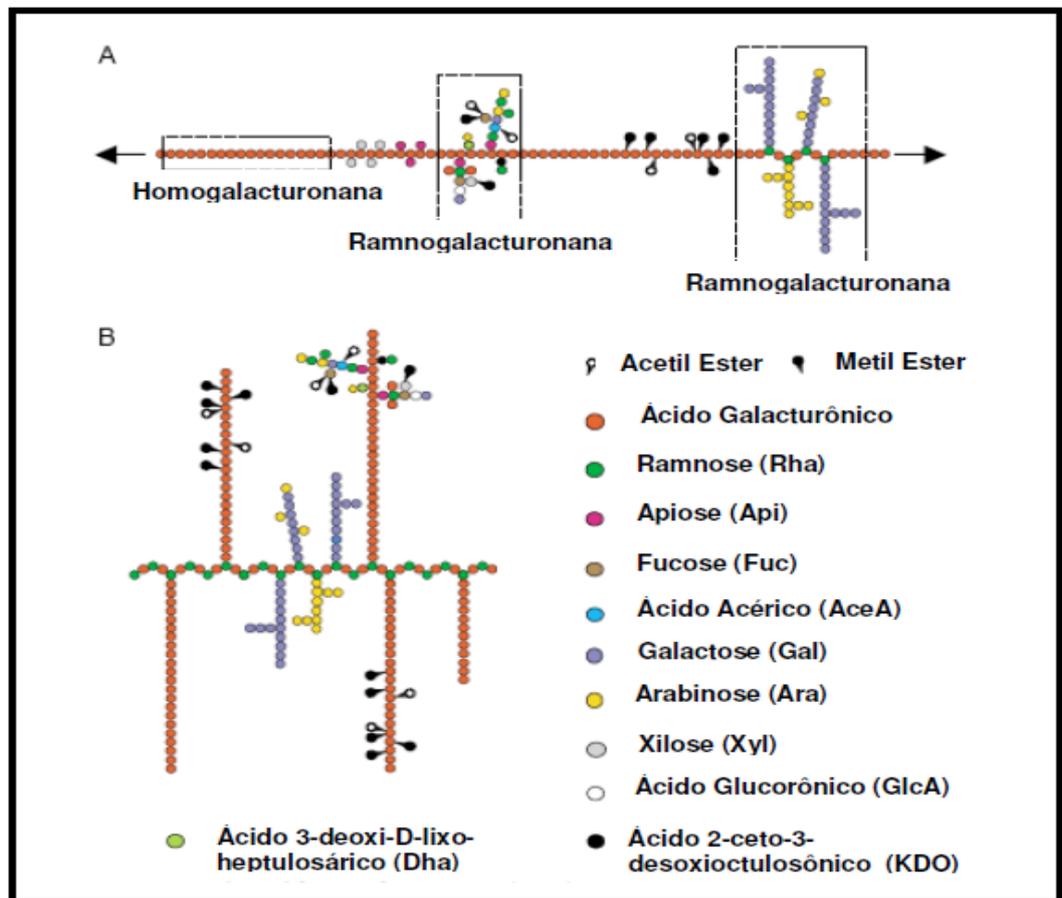


Figura 1 - Representação esquemática da estrutura convencional (A) e da estrutura alternativa (B) propostas para as pectinas. Fonte: Willats, Knox e Mikkelsen (2006).

2.4 Obtenção de pectinas

Embora a maçã, a beterraba e os frutos cítricos sejam as principais fontes utilizadas pela indústria para obtenção da pectina comercial, novas fontes de materiais pécticos vêm sendo estudadas. Dentre elas podem ser citadas: a casca do maracujá (Oliveira et al., 2016a), a casca de manga (Oliveira, 2013), a casca da fruta do dragão (Liaotrakoon et al., 2013), o kiwi (Yuliarti et al., 2015), a casca da melancia (Petkowicz, Vriesmann e Williams, 2017), a casca do tomate (Morales-Contreras et al., 2017), a casca do pomelo (Liew et al., 2018), entre outros.

As pectinas podem ser obtidas através da extração por meio aquoso ácido, básico, com agentes quelantes ou por ação de enzimas (Iglesias e Lozano, 2004). Entretanto, a extração em meio ácido, por ser mais barata, é o método mais estudado e o mais utilizado industrialmente para obtenção de pectinas (Vriesmann, Teófilo e Petkowicz, 2012).

O processo de extração, em geral, tem como objetivo obter uma pectina com elevado rendimento e com um mínimo de alteração nas propriedades do composto extraído (Oliveira, 2015). Este processo geralmente envolve três etapas: primeiramente a extração aquosa do material da planta, seguida da purificação do extrato líquido, e por último a separação do extrato da pectina do meio líquido (Oliveira, 2015).

Diferentes ácidos podem ser utilizados no processo de extração, como os ácidos minerais: fosfórico, sulfúrico, nítrico e clorídrico, ou os ácidos orgânicos: acético, cítrico, láctico, málico e tartárico. As condições de extração variam amplamente, mas normalmente utilizam-se valores de pH variando de 1 a 3, temperaturas entre 60 e 100 °C e tempo de 20 a 360 minutos (Koubala et al., 2008; Yapo, 2009). Contudo, estudos relatam que períodos longos de aquecimento com temperaturas elevadas (> 90 °C) podem provocar a hidrólise e a degradação da pectina (Mesbahi, Jamalian e Farahnaky, 2005), resultando na quebra das ligações glicosídicas α -1,4 e uma consequente redução no tamanho da cadeia polimérica (Guo et al., 2012).

Segundo Canteri et al. (2012), independentemente do método de extração, vão ocorrer degradações na estrutura da pectina, em maior ou menor

grau. Em meio ácido (pH entre 1 a 3) e temperaturas inferiores a 10 °C, predominam as desesterificações (Figura 2). A primeira fase desta degradação consiste na eliminação de um número variável de grupos metoxila (desesterificação), formando o ácido poligalacturônico, o qual contém grande número de grupamentos carboxílicos e, por isso, possui alta solubilidade em água. Outro mecanismo, denominado de despolimerização (Figura 2) (diminuição do tamanho da cadeia polimérica), pode acontecer por hidrólise (ácida ou enzimática) das ligações α (1,4), em temperatura acima de 10 °C (Oliveira, 2015).

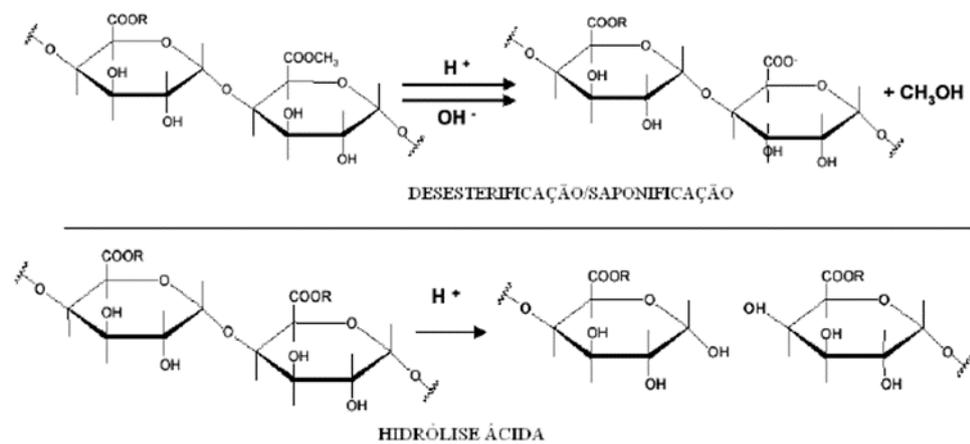


Figura 2 - Principais modificações nas substâncias pécicas por efeito de temperatura. Fonte: Oliveira (2015).

Visando a obtenção de uma pectina de alta qualidade, diversos estudos têm sido realizados para avaliar os efeitos das condições de extração sobre a pectina do maracujá, Liew, Chin e Yusof (2014) estudaram a extração da pectina da casca do maracujá com ácido cítrico em diferentes valores de pH e tempo de extração. Eles constataram que a extração com pH 2,0 e tempo de 75 minutos, foi a que deu um maior rendimento, e um maior grau de esterificação (54,78%).

Talma (2016) estudou o rendimento de extração e o grau de esterificação da pectina do mesocarpo do maracujá-amarelo maduro, sob a condição de extração de 80 °C por 40 min com ácido nítrico, e encontrou valores satisfatórios de rendimento de extração (26,6%) e de grau de esterificação (76,3%). Rodrigues

e Silva (2017) também extraíram e caracterizaram a pectina da casca do maracujá-amarelo com ácido cítrico e observaram bom rendimento (26,45%) e alto grau de esterificação (81,93%), utilizando a condição de extração de 50 °C, pH 2,0 por 90 min.

2.5 Propriedades tecnológicas das pectinas

No setor industrial, as pectinas são consideradas ingredientes alimentícios de elevado valor comercial, e sua importância na indústria vem sendo atribuída às suas excelentes propriedades funcionais: geleificante, estabilizante, espessante e emulsionante (Canteri, Wosiacki e Scheer, 2012; Liaotrakoon et al., 2013).

A habilidade das pectinas em formar géis ou de apenas aumentar a viscosidade das soluções, talvez sejam as principais propriedades funcionais destes polissacarídeos aplicados na tecnologia de alimentos, sendo tradicionalmente usados para este fim, em produtos como: doces, geleias e gelatinas, lácteos concentrados, iogurtes, preparados de frutas e outros.

Esta multifuncionalidade das pectinas se origina em função de seu caráter hidrofílico e presença de grupos polares, apresentando a propriedade de envolver grande quantidade de água, produzindo uma solução viscosa capaz de alterar a textura dos alimentos em que são adicionadas (Oliveira, 2015).

Entretanto, a viscosidade de uma solução de pectina depende de uma série de fatores intrínsecos, ou seja, inerentes à estrutura do polímero, como o tamanho molecular, grau de esterificação e o padrão de esterificação, e acetilação (distribuição das esterificações e acetilações ao longo da cadeia), bem como de fatores extrínsecos como pH, temperatura e força iônica da solução (Koubala et al., 2008; Kim e Wicker, 2009; Guo et al., 2012; Canteri, Wosiacki e Scheer, 2012). Pectinas de diferentes fontes não apresentam a mesma habilidade de formação e força do gel, em função das variações nos fatores intrínsecos ou extrínsecos.

O grau de esterificação (DE) é um fator determinante para a exploração da aplicação da pectina, podendo dividi-la em dois grupos: pectina de alto grau de esterificação (DE > 50%) e pectina de baixo grau de esterificação (DE < 50%). A pectina é classificada com alto grau de esterificação quando apresenta, em sua

estrutura, mais de 50% dos resíduos de ácidos galacturônicos esterificados. Já a pectina com baixo grau de esterificação, apresenta menos de 50% dos resíduos de ácidos galacturônicos esterificados (Liang et al., 2012; Oliveira, 2015). Ambas as pectinas podem formar géis, mas suas condições e mecanismos de geleificação são muito diferentes (Yang et al., 2013).

As pectinas de alto grau de esterificação geleificam na presença de altas concentrações de sólidos solúveis (> 55%) e baixo pH (2,0 a 3,5), onde, a função do açúcar e do baixo pH é estabilizar as “zonas de junção” através de ligações de hidrogênio, promovendo interações hidrofóbicas entre os grupos metil esterificados. Já as pectinas de baixo grau de esterificação, necessitam da presença de cálcio, ou outro cátion divalente, e, neste caso, as “zonas de junção” são formadas por ligações de íons cálcio com os grupos carboxílicos livres (Willats, Knox e Mikkelsen, 2006; Oliveira, 2013).

É importante ressaltar a diferença entre os termos grau de esterificação e grau de metoxilação. O grau de esterificação consiste no percentual total de resíduos de ácidos galacturônicos esterificados com o grupamento metil e acetil. Já o grau de metoxilação corresponde ao percentual do total de resíduos de ácido galacturônicos esterificados apenas com grupo metil. Assim, pectinas que apresentam grande percentual de grupos acetílicos na cadeia, podem apresentar um grau de esterificação maior que 50%, mas ser de baixo metoxil (grau de metoxilação < 50%) (Oliveira, 2013).

As proporções de grupos metílicos e acetílicos influenciam diretamente nas propriedades funcionais das pectinas (formação e força do gel), principalmente quando associados com outras variáveis interdependentes, como a matéria-prima, o grau de amadurecimento do vegetal, a massa molar da molécula, o padrão de distribuição das cadeias laterais e a condição de extração utilizada (Oliveira, 2013). Em geral, grau elevado de acetilação pode prejudicar o processo de formação do gel, pois os grupos acetil promovem impedimento estérico, diminuindo consideravelmente a força de ligação da pectina com os íons de cálcio e sua capacidade de realizar interações hidrofílicas e hidrofóbicas (Fraeye et al., 2010; Oliveira, 2013).

A massa molar do polímero também é um parâmetro que influencia na capacidade de geleificação. Normalmente, quanto maior a massa molar do polímero, maior é a capacidade da pectina em realizar interações

intermoleculares, favorecendo a geleificação (Zaidel et al., 2013). Contudo, a massa molar das pectinas pode ser variável, de acordo com a fonte vegetal, matéria-prima e condições de extração, também é importante ressaltar que sua determinação é um desafio, devido aos problemas de heterogeneidade e agregação, além da usual larga distribuição (Canteri, Wosiacki e Scheer, 2012).

2.6 Propriedades reológicas

A reologia é o estudo relacionado à deformação dos fluxos. Esse parâmetro é medido por meio das propriedades de viscosidade e tensão de escoamento do material. Portanto, é um estudo da capacidade de deformação que ocorre quando a matéria está no estado sólido e, da capacidade de escoamento do material que ocorre quando o material está em seu estado líquido. (Rao, 2010).

A reologia dos alimentos é uma característica muito importante nas diferentes áreas da ciência e tecnologia alimentícia. Os alimentos possuem texturas naturais, que são percebidas durante o seu consumo, sendo elas: cremosidade, suculência, maciez, suavidade e dureza. Essas características, são totalmente influenciadas pelo tipo de alimentos, o que inclui suas características naturais reológicas e seus componentes, sendo esses atributos fundamentais para sua estabilidade e aparência (McClements, 2010).

A partir da avaliação reológica dos materiais, eles podem ser classificados como Newtonianos e não-Newtonianos. Os fluidos Newtonianos são aqueles cuja viscosidade não é variável com a taxa de deformação, apresentando relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação. Assim, apenas a temperatura e a composição do fluido influenciam na viscosidade (Ramos, 1997). São exemplos a água, os gases, e os sistemas monofásicos e homogêneos, como soluções diluídas de pectina (Canteri, 2010). Já os fluidos não-Newtonianos apresentam uma relação não linear no que se refere à tensão de cisalhamento e à taxa de deformação, sendo classificados em relação ao tempo (reopéticos e tixotrópicos) e ao escoamento (pseudoplásticos e dilatantes), ressalta-se que para esses fluidos, a viscosidade é influenciada e varia de acordo com a taxa de deformação (Lago, Bernstein e Brandelli, 2011). São exemplos, soluções

levemente concentradas de pectinas, polpas de frutas e sucos concentrados (Vidal et al., 2000; Ferreira et al., 2002; Da Silva et al., 2005; Diniz, 2009).

De forma simples, o comportamento reológico pode ser dividido em: sólidos elásticos e líquidos, considerando materiais ideais. Entretanto, os alimentos apresentam característica intermediária, em relação a reologia de sólidos, tem-se maior interesse na propriedade de elasticidade do material, já para materiais líquidos, a propriedade de maior interesse é a viscosidade (Toneli, Murr e Park, 2005).

De forma geral, a Figura 3, apresenta a classificação dos fluidos, especialmente dos fluidos não-Newtonianos que podem ser classificados ainda em viscoelásticos, dependentes e independentes de tempo.

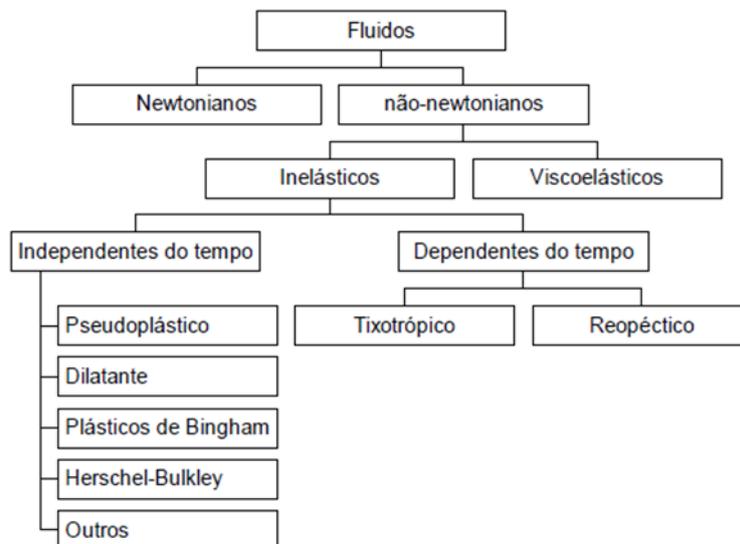


Figura 3 - Classificação do comportamento reológico de fluidos (Steffe, 1996).

Dentro da classificação de fluidos não-Newtonianos, encontram-se suspensões e géis de pectinas que são alimentos denominados viscoelásticos. Esses alimentos possuem, por exemplo, tanto característica sólida um pouco elástica, quanto característica líquida, acarretando viscosidade total à estrutura. Assim, o comportamento reológico desses materiais é uma combinação de

propriedades específicas de sólidos elásticos e de líquidos (Steffe, 1996; Löfgren et al., 2002; Ramos e Ibarz, 2006). Entretanto, a reologia de soluções de pectina é influenciada pelas condições ambientais, como pH, concentração, temperatura, sais e açúcares (Evageliou, Richardson e Morris, 2000).

Existem modelos que são utilizados para um maior entendimento das características dos materiais, permitindo correlacionar a reologia com outras grandezas como concentração e temperatura (BRANCO,1995).

A lei da potência descreve o comportamento de boa parte dos fluidos não-Newtonianos em alimentos. Isso se deve à simplicidade e ampla aplicação desse modelo, que considera os seguintes parâmetros reológicos: o índice do comportamento do fluido (n) como uma grandeza adimensional, esse parâmetro indica fisicamente o quão distante o fluido está do modelo Newtoniano, e; o índice de consistência (K) que está relacionado a quanto o material possui de resistência frente ao escoamento (Steffe,1996). Com isso, é possível avaliar o comportamento reológico de diferentes fluidos. São exemplos de modelos reológicos: Bingham, Herschel-Bulkley e Mizrahi-Berk (Queiroz, 1998).

O comportamento reológico dos alimentos, em especial dos sistemas de polissacarídeos pécticos, são importantes para maiores entendimentos em relação à ciência e tecnologia de alimentos, uma vez que este estudo é capaz de fornecer informações que podem ser essenciais na escolha de métodos e formas de processamento dos alimentos (Steffe, 1996). O estudo do comportamento reológico é capaz de informar se a pectina possui boa capacidade geleificante (Iagher, Reicher e Ganter, 2002), devido aos dados fornecidos sobre a transição solido-gel e gel-solido (Kastner et al., 2012; Chan et al., 2017). Em específico, a característica reológica das pectinas em solução, influencia em sua aplicação como espessante e como agente de suspensão, principalmente, em alimentos com apelo nutricional como menores teores de açúcar, lipídeos e sal (Sato et al., 2008; Fissore et al., 2012).

O método de extração e a matéria-prima utilizada para a obtenção de pectina são fatores que afetam as suas propriedades reológicas, conforme demonstrado na extração de pectina da casca de manga (Oliveira 2013), casca do maracujá (Oliveira, 2016), casca do cacau (Vriesmann et al., 2012), frutas vermelhas (Haminiuk, 2009) e mesocarpo de babaçu (Oliveira, 2019). Com isso, os resultados de sua aplicação também são afetados, uma vez que a pectina

possui diferentes fontes, mas também diferentes funções, podendo ser utilizada tanto como espessante, e/ou gelificante na indústria de alimentos (Sato, 2009).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Caracterizar a pectina presente na farinha do mesocarpo do maracujá-amarelo quanto as suas características físico-químicas, bem como avaliar o potencial de substituição da pectina cítrica comercial pela farinha do mesocarpo com relação as suas propriedades geleificantes e espessantes.

3.2 Objetivos específicos

Obter a farinha do mesocarpo do maracujá-amarelo após o processo de separação mecânica do mesocarpo;

Caracterizar a farinha do mesocarpo do maracujá-amarelo quanto à umidade, cinzas e cor;

Promover a extração ácida da pectina presente na farinha do mesocarpo e avaliar o seu rendimento;

Comparar as características físico-químicas da pectina extraída da farinha do mesocarpo com uma pectina cítrica comercial;

Elaborar géis modelo, a partir da pectina extraída do mesocarpo do maracujá, da pectina cítrica comercial e da farinha do mesocarpo do maracujá, com diferentes concentrações (1,0, 2,0 e 3,0%);

Avaliar o histórico de temperatura, tempo, conteúdo de sólidos solúveis e pH durante a elaboração dos géis;

Analisar a cor e o comportamento reológico dos géis elaborados através das análises de textura, curva de escoamento e viscoelasticidade.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Processamento dos frutos e obtenção da farinha do mesocarpo do maracujá-amarelo

Os maracujás-amarelos (*Passiflora edulis f. flavicarpa* Deg.) foram colhidos manualmente em um pomar do Instituto Federal Fluminense, localizado em Bom Jesus de Itabapuaana (RJ, Brasil), entre os meses de junho a agosto de 2017. Os frutos foram selecionados de acordo com a coloração da casca, visando padronizar a cor dos frutos, selecionando apenas aqueles que apresentavam mais de 90% de coloração amarela da casca (Figura 4).



Figura 4 - Amostras de maracujás utilizados no processamento, padronizados com mais de 90% da coloração amarela na casca.

Os maracujás previamente selecionados foram transportados para o Laboratório de Tecnologia de Alimentos, da Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), em Campos dos Goytacazes, onde foram lavados em água corrente, sanitizados em solução aquosa de hipoclorito a $0,2 \text{ mL L}^{-1}$ por 10 minutos e secos com papel toalha.

Para a obtenção da farinha do mesocarpo, os frutos foram descascados manualmente com uma faca para remoção do epicarpo, e em seguida foram cortados ao meio e raspados para retirar o endocarpo e se obter a fração pura do mesocarpo. A fração do mesocarpo foi lavada em água destilada e picada em pedaços de mesmo tamanho e espessura e, em seguida, foram secas em secador de bandejas com tela (Marca Pardal) com circulação forçada de ar, a $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 horas. O material seco foi triturado em moinho analítico (Quimis, Brasil), sendo a farinha padronizada em peneira com granulometria menor que 60 mesh, acondicionada em sacos de polietileno de baixa densidade e mantidas em dessecador até o momento das análises. As etapas para obtenção da farinha do mesocarpo do maracujá-amarelo encontram-se no fluxograma apresentado na Figura 5.

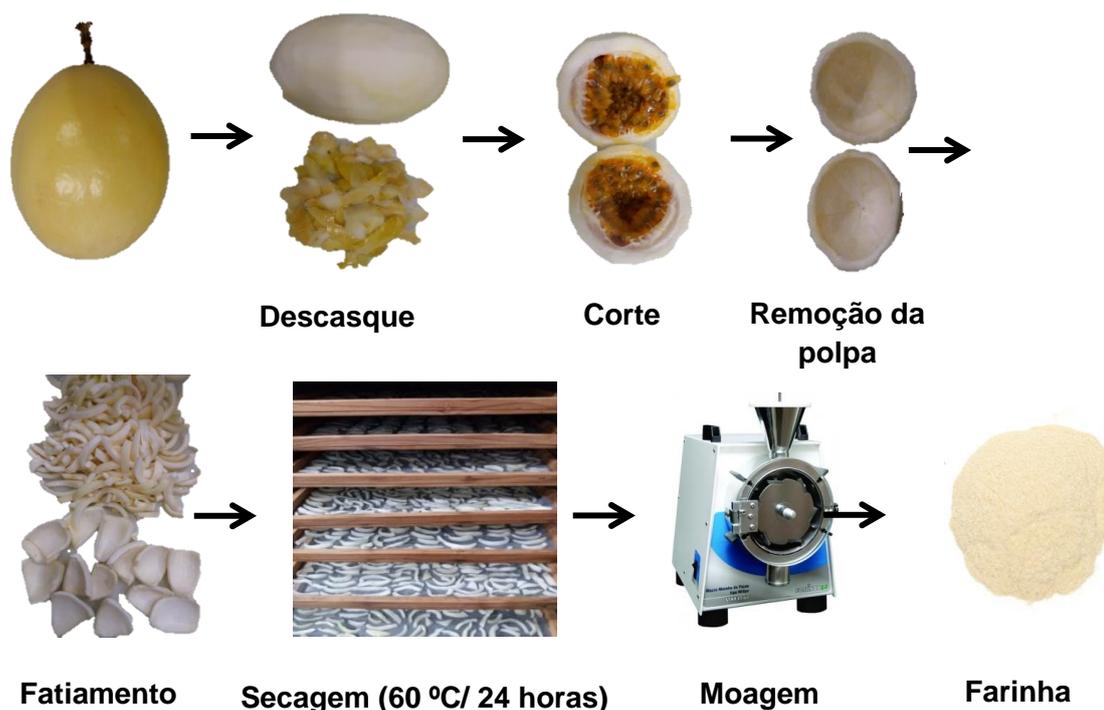


Figura 5 - Fluxograma de processamento do maracujá-amarelo para obtenção da farinha do mesocarpo.

4.2 Extração da pectina do mesocarpo a partir da farinha

A condição de extração utilizada foi a mesma adotada por Talma (2016), e o método de extração da pectina foi realizado de acordo com Fertoni et al. (2009), com modificações (Figura 6).

Para extração da pectina, 1 g de farinha do mesocarpo foi pesado em balança analítica (marca Gehaka, modelo AG 200) e dissolvido em 25 mL de água e em 25 mL de ácido nítrico 1 mol L^{-1} , previamente aquecidas a $80 \text{ }^{\circ}\text{C}$, na proporção sólido-líquido 1:50 (m/v). A amostra foi mantida sob agitação e temperatura controlada em banho-maria (Nova Técnica, modelo NT 232) por 40 min a $80 \text{ }^{\circ}\text{C}$, sendo posteriormente resfriada em banho de gelo. A solução ácida foi filtrada em tecido sintético, e em seguida foi adicionado ao filtrado três volumes de etanol 95%, e a solução foi mantida a $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ por 15 h (overnight). A pectina precipitada foi separada por filtração em tecido sintético e seca por 6 horas a $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$, em um secador de bandejas (Pardal) com circulação forçada de ar. A pectina seca foi triturada em moinho analítico (Quimis, Brasil) e padronizada em peneira com granulometria menor que 60 mesh.

O rendimento da pectina (%) foi obtido de acordo com Torralbo et al. (2012), definido pela razão entre o peso da pectina extraída e o peso de farinha do mesocarpo utilizada, expresso com base em 100 g de matéria seca (b.s.).

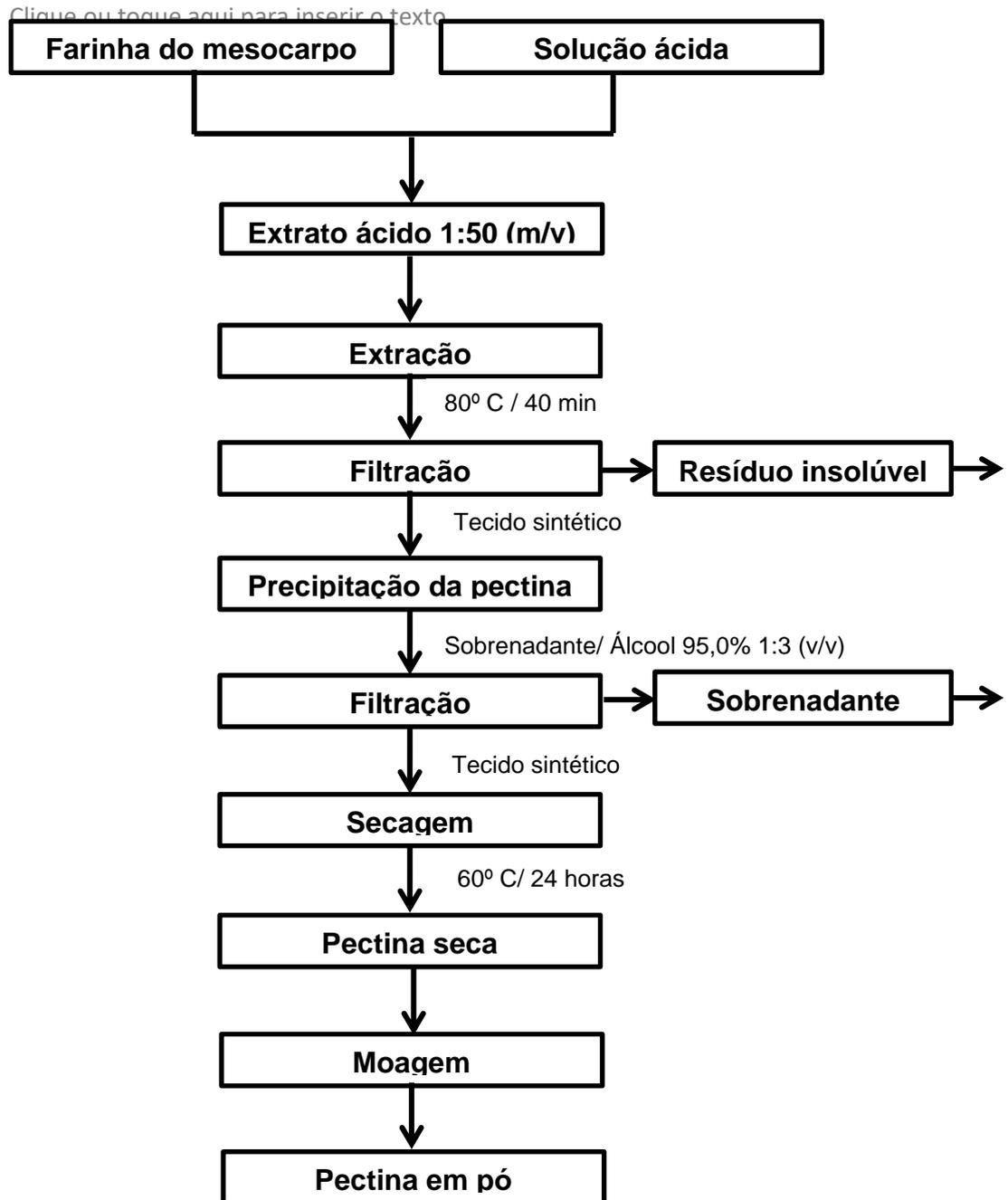


Figura 6 - Fluxograma de extração de pectina a partir da farinha do mesocarpo do maracujá-amarelo.

4.3 Caracterização físico-química das pectinas e da farinha

Foram realizadas as análises de cor, umidade e teor de pectina da farinha do mesocarpo, obtida por secagem a 60 °C.

A pectina extraída do mesocarpo do maracujá-amarelo foi avaliada quanto às análises de cor, umidade, teor de cinzas, grau de esterificação, grau de acetilação, conteúdo de ácidos galacturônicos e massa molar. Para estudo comparativo, foi utilizado como referência uma pectina cítrica comercial de rápida geleificação, fornecida pela empresa CPKelco® (Genu 105).

4.3.1 Análise de cor

As medidas de cor das pectinas e da farinha do mesocarpo foram determinadas por meio de um colorímetro de Hunter (MiniScan Spectrophotometer Plus, HunterLab, USA), iluminante D65, ângulo de observação de 10°, calibrado com padrão de placas reflectivas preta e branca, sendo os resultados expressos pelo sistema CIE L*a*b*.

As leituras foram realizadas em uma cubeta de cristal (40 x 60 mm) acoplada a um copo opaco preto (65 x 75 mm), que continha 20 mm de altura de amostra. Foram realizadas leituras em posições rotacionais da cubeta no sentido horário, a cada 45°, até atingir 360° de rotação, totalizando oito leituras por amostra. O resultado foi representado pela média dessas leituras de cor para cada repetição. O mesmo procedimento foi realizado com a cubeta vazia para corrigir as leituras de cor das amostras.

4.3.2 Umidade

A análise de umidade da farinha do mesocarpo e das pectinas foi realizada através da secagem direta de 1 g da amostra em estufa de secagem (Quimis, Brasil), a 105 °C por 24 h, segundo método da AOAC (1995). As medidas foram realizadas em triplicatas com quatro repetições, e os dados foram expressos em percentagem.

4.3.3 Cinzas

Os teores de cinzas das pectinas foram determinados pelo método de resíduo por incineração das amostras em mufla (Quimis, modelo Q318M24), a 550 °C, conforme métodos da AOAC (1995). As medidas foram realizadas em triplicatas com quatro repetições, e os dados foram expressos em percentagem.

4.3.4 Grau de esterificação

O grau de esterificação das pectinas foi determinado a partir da metodologia proposta por Bocek et al. (2001), com adaptações, baseada na titulação potenciométrica (Equação 1).

$$DE = \frac{K_e}{K_t} \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

DE = Grau de esterificação da pectina (%)

K_e = Quantidade de grupos carboxílicos esterificados (%),

K_t = Quantidade total de grupos carboxílicos livres (K_f) e esterificados (K_e) (%).

As pectinas secas (0,2 g) foram umedecidas com 200 μL de álcool etílico 95% e dissolvidas em 20 mL de água destilada. As soluções foram tituladas com solução de NaOH 0,1 mol L^{-1} em presença de fenolftaleína, até atingir pH 8,5. A quantidade de grupos carboxílicos livres foi determinada conforme a Equação 2:

$$K_f = \frac{N_{\text{NaOH}} \times V_{\text{NaOH}} \times 0,045 \times 100}{a} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

K_f : Quantidade de grupos carboxílicos livres (%),

N_{NaOH} : Normalidade da solução de NaOH,

V_{NaOH} : Volume da solução alcalina gasta na titulação (mL),

a: massa de pectina dissolvida (g).

Para a determinação do número de grupos carboxílicos esterificados (K_e), foi adicionado 10 mL de NaOH 0,1 mol L^{-1} nas amostras neutralizadas, após a determinação dos grupos carboxílicos livres. As soluções foram agitadas por duas horas a 30 °C em chapa aquecedora (Fisatom, modelo 503-1), para promover a

saponificação dos grupos carboxílicos esterificados. Posteriormente foi adicionado 10 mL de HCl 0,1 mol L⁻¹ às soluções, e o excesso de HCl foi titulado com NaOH 0,1 mol L⁻¹ até atingir pH 8,5. O número de grupos carboxílicos esterificados (K_e) foi determinado conforme o procedimento descrito na Equação 3.

$$K_e = \frac{N_{\text{NaOH}} \times V_{\text{NaOH}} \times 0,045 \times 100}{a} \quad (\text{Eq. 3})$$

K_e: Quantidade de grupos carboxílicos esterificados (%),

N_{NaOH}: Normalidade da solução de NaOH,

V_{NaOH}: Volume da solução alcalina gasta na titulação (mL),

a: massa de pectina dissolvida (g).

4.3.5 Grau de acetilação

O grau de acetilação foi determinado a partir da metodologia proposta por Ranganna (1977). As amostras de pectinas (0,5 g) foram dissolvidas em 25 mL de NaOH 0,1N, e ficaram reservadas durante 15h (*overnight*). Posteriormente, as soluções foram transferidas para um balão volumétrico de 50 mL e o volume foi completado com água destilada. Uma alíquota de 20 mL de cada solução foi adicionada de 20 mL de solução de sulfato de magnésio com ácido sulfúrico, e ambos foram destilados em destilador de nitrogênio (Marconi, modelo MA036 plus). Cerca de 100 mL dos destilados foram reservados e titulados com solução de NaOH 0,5 mol L⁻¹, utilizando vermelho de fenol como indicador. Para a detecção do ponto de viragem foi destilado um branco, utilizando 20 mL de água destilada e 20 mL de solução de sulfato de magnésio com ácido sulfúrico. O grau de acetilação foi calculado através da Equação 4:

$$T_{ac} = \frac{N_{\text{NaOH}} \times V_{\text{NaOH}} \times 4,3}{P_a} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

T_{ac} = Conteúdo de grupos acetil (%)

N_{NaOH}: Normalidade da solução de NaOH.

V_{NaOH}: Volume gasto na titulação (mL) subtraído do branco

Pa: Peso da alíquota de 20 mL (g).

4.3.6 Conteúdo de ácidos galacturônicos

A quantificação dos ácidos galacturônicos foi realizada através do método colorimétrico descrito por Filisetti-Cozzi e Carpita (1991), com modificações. As amostras foram solubilizadas em água destilada ($0,1 \text{ mg mL}^{-1}$) e transferidas alíquotas de 400 μL para os tubos de ensaio, sendo adicionados 40 μL de uma solução de ácido sulfâmico/sulfamato de potássio $4,0 \text{ mol L}^{-1}$ (pH 1,6) e 2,4 mL de ácido sulfúrico de grau analítico (96,4%) contendo tetraborato de sódio 75 mM. Os tubos foram agitados em um vórtex (Phoenix, modelo AP 56), e em seguida foram aquecidos em banho-maria (Tecnal, modelo TEC 056) a $100 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 20 minutos.

Posteriormente os tubos foram resfriados em banho de gelo e foram adicionados 80 μL de solução de m- hidroxidifenil 0,15% (p/v) em NaOH 0,5% (p/v) nas amostras ou 50 μL de NaOH 0,125 N nos brancos, com agitação intensa em vórtex (Phoenix, modelo AP 56), para a produção do complexo colorido, que tem leitura de absorvância no comprimento de onda de 525 nm.

Uma curva padrão foi preparada empregando solução padrão de ácido galacturônico (GalA) nas concentrações de 0 -100 $\mu\text{g mL}^{-1}$. As leituras das absorvâncias foram realizadas em espectrofotômetro (*Thermo Scientific*, modelo biomate 3S), após 15 min da adição do m-hidroxidifenil, com quatro repetições, e os resultados foram expressos em porcentagem.

4.3.7 Massa molar

O perfil de massa molar das amostras de pectinas foi determinado por cromatografia de exclusão estérica de alta pressão (HPSEC-MALLS). As amostras ($0,72 \text{ mg mL}^{-1}$) foram solubilizadas em solução de nitrato de sódio (NaNO_3) 0,1M, contendo azida de sódio (NaN_3) ($0,5 \text{ g L}^{-1}$), e filtradas em membrana de acetato de celulose (Millipore) com porosidade de 0,22 μm .

As amostras filtradas foram injetadas em um cromatógrafo de exclusão estérica, modelo 150 C ALC/GPC (Waters, Massachusetts, EUA), acoplado a um detector de índice de refração, modelo Waters 2410, e com detector de espalhamento de luz em multiângulos modelo Dawn-F. Quatro colunas de permeação em gel *Waters Ultrahydrogel* (2000, 500, 250 e 120) foram conectadas em série, e acopladas ao equipamento de multidetecção. A solução de NaNO_3 , contendo NaN_3 , também foi utilizada como solvente de eluição a um fluxo de $0,6 \text{ mL min}^{-1}$. As medidas foram realizadas em triplicatas com duas repetições, sendo os resultados expressos em g mol^{-1} .

4.4 Análise instrumental de cor e reologia de géis de pectinas e farinha

Com o intuito de avaliar o potencial de substituição da pectina cítrica comercial, foi analisada a capacidade de geleificação da farinha do mesocarpo através da sua aplicação direta como fonte de pectina, utilizando também a pectina extraída da farinha do mesocarpo do maracujá. Para isso foram elaborados géis-modelo em diferentes concentrações de pectina e de farinha. As amostras foram analisadas quanto à cor, perfil de textura, comportamento viscoelástico e curva de escoamento, e os resultados foram comparados com os da pectina cítrica comercial de alto grau de esterificação CPKelco® (Genu 105).

4.4.1 Elaboração de géis

As concentrações dos géis foram definidas com base em testes preliminares de análises de firmeza e consistência. Desta forma, foram elaborados os géis-modelo nas concentrações de 1,0, 2,0 e 3,0% (m/v) de pectina comercial ou de pectina extraída do mesocarpo, ou de farinha do mesocarpo do maracujá-amarelo. A concentração de sacarose foi similar àquela utilizada na produção de geleias convencionais (60%), utilizando açúcar cristal comercial (marca Neve).

O fluxograma apresentado na Figura 7 descreve o preparo dos géis, cujos materiais (pectinas e farinha) foram solubilizados em 300 mL de água dentro de um Becker de 1 L, com o auxílio de um agitador mecânico (Fisatom, modelo 713), e posteriormente 400g de açúcar foi adicionado.

Após a completa dissolução do açúcar, a mistura foi aquecida sobre manta aquecedora dentro de um Becker de 2 L contendo solução de etileno glicol (40%), mantido a uma temperatura de 105 °C. A mistura foi agitada com um agitador mecânico a 400 rpm (Figura 8), até que o teor de sólidos solúveis atingisse o valor de 65 °Brix, medido com um refratômetro digital (Atago, modelo PAL-3). Após a solução atingir o teor de sólidos solúveis desejado foi feito o ajuste do pH para 3,0, com solução de ácido cítrico 25% e/ou NaOH 0.1 N.

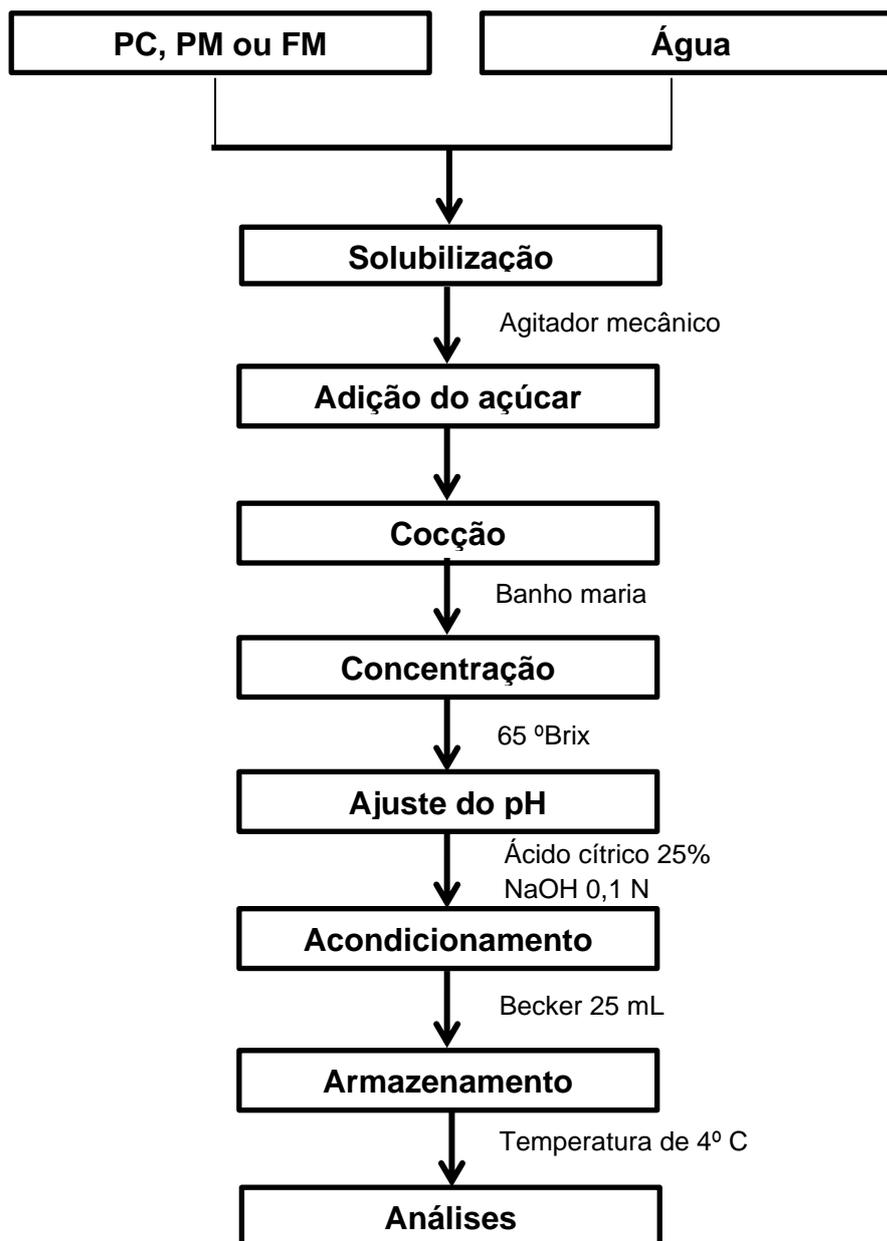


Figura 7- Fluxograma de fabricação dos géis-modelo de pectina comercial (PC), pectina extraída da farinha do mesocarpo do maracujá (PM) e farinha do mesocarpo do maracujá (FM).

Amostras dos géis de mesmo volume foram rapidamente acondicionadas em Becker de vidro de 25 mL, utilizando banho ultrasônico (Clifton, modelo UM-22) para remover microbolhas de ar do gel, resfriadas em temperatura ambiente e mantidas em refrigeração a 4 °C, para posterior realização das análises. O processo de elaboração dos géis foi monitorado por sensor de temperatura,

termômetro digital tipo espeto (Incoterm, modelo 6132), e as medidas de conteúdo de sólidos solúveis foram realizadas com um refratômetro portátil (Atago PAL-3), em intervalos regulares de 10 min.



Figura 8 - Montagem da estrutura de elaboração dos géis, contendo o agitador mecânico, a manta de aquecimento, o Becker contendo solução de etileno glicol e rochas de cortiça que sustentam o Becker de elaboração do produto.

4.4.2 Análise de cor

As medidas de cor dos géis elaborados com as pectinas e com a farinha foram determinadas por meio de um colorímetro de Hunter (MiniScan Spectrophotometer Plus, HunterLab, USA), iluminante D65, ângulo de observação de 10°, previamente calibrado com padrão de placas reflectivas preta e branca, sendo os resultados expressos pelo sistema CIE $L^*a^*b^*$. As leituras foram

realizadas em placas de petri (60 x 15 mm) com 10 mm de altura de amostra, acoplada a um copo opaco preto (65 x 75 mm). Foram realizadas leituras em posições rotacionais da placa no sentido horário a cada 45°, até atingir 360° de rotação, totalizando oito leituras por amostra, sendo o resultado representado pela média dessas leituras de cor, para cada repetição. O mesmo procedimento foi realizado com a placa vazia para corrigir as leituras de cor das amostras.

4.4.3 Perfil de textura dos géis

As análises do perfil de textura (TPA) dos géis foram realizadas em texturômetro (Stable Micro Systems Modelo TA-XT express, Goldaming, Inglaterra), nas seguintes condições: velocidade de pré-teste de 1,0 mm/ s; velocidade de teste de 1,0 mm/ s; distância de 10,0 mm, e; compressão com uma sonda cilíndrica de alumínio de 5,0 mm.

As análises foram realizadas em amostras colocadas em béqueres de vidro (25 mL), contendo aproximadamente 25 mL de géis. Foram analisados os seguintes parâmetros: dureza, adesividade, coesividade, gomosidade, mastigabilidade e elasticidade. As medidas foram realizadas em triplicatas com quatro repetições. A curva típica de um ensaio de perfil de textura (TPA) é apresentada na Figura 9.

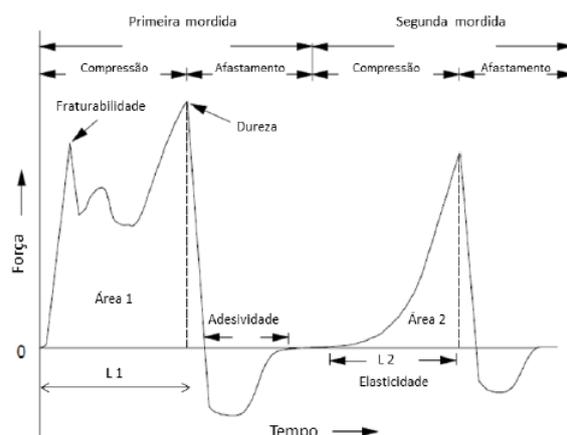


Figura 9 - Curva típica de um ensaio de perfil de textura com os parâmetros mais representativos. Fonte: Adaptado de Steffe (1996).

4.4.4 Curva de escoamento dos géis

Tabela 2 - Definição e significado físico dos parâmetros fraturabilidade, dureza, elasticidade, índice de elasticidade, coesividade, gomosidade e mastigabilidade, obtidos do ensaio de perfil de textura.

Parâmetro	Unidade	Definição
Fraturabilidade	N	Força no primeiro pico na curva de força. Sinônimos: quebradiço, frágil.
Adesividade	N	Força de tração necessária para separar o alimento das placas de compressão. Sinônimos: viscoso e pegajosos.
Dureza	N	Força máxima na compressão durante a primeira mordida. Sinônimos: forte, duro, rígido.
Elasticidade	Mm	Distância ou comprimento do ciclo de compressão durante a segunda mordida (L2). Sinônimo: plástico, elástico.
Coesividade	-	Energia mecânica necessária para destruir a estrutura interna da amostra. Razão entre as áreas A2 e A1 (A2/A1).
Gomosidade	N	Força requerida para desintegrar uma amostra semissólida a um estado adequado para deglutição (Dureza x coesividade). Sinônimos: farináceo, pastoso, gomoso.
Mastigabilidade	N mm	Energia requerida para mastigar a amostra (Gomosidade x Elasticidade). Sinônimos: tenro, duro, forte, firme.

Fonte: Steffe (1996)

As definições e significados físicos dos parâmetros da análise de perfil de textura são apresentados na Tabela 2.

4.4.5 Comportamento viscoelástico dos géis

As curvas de escoamento e de viscosidade foram obtidas por meio de um reômetro de tensão controlada (Haake Mars, Thermo Scientific, Alemanha), equipado com cilindros concêntricos com espaçamento (gap) de 1 mm. As amostras foram submetidas a uma taxa de deformação que variou entre 0,1 e 200 s⁻¹, durante um período de 2 minutos, em temperatura de 26 ± 0,2 °C. Os

resultados foram ajustados ao modelo Herschel Bulkley para dados experimentais correspondentes à terceira rampa de estresse, tanto para as curvas de escoamento como para as curvas de viscosidade.

4.5 Planejamento experimental

O experimento foi montado em um Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), com quatro repetições, utilizando a análise de variância (ANOVA), com o emprego do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para a avaliação das características físico-químicas da farinha do mesocarpo do maracujá, da pectina extraída da farinha do mesocarpo e da pectina cítrica comercial, bem como para a textura dos géis-modelo constituídos de concentrações de 1%, 2% e 3% desses ingredientes. Na análise reológica desses géis, a estimativa dos parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley foi realizada por análise de regressão.

Todos os resultados foram processados por meio do programa STATISTICA, Versão 7.0

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização físico-químico da farinha d das pectinas

Segundo a legislação vigente, o limite máximo de umidade permitido em farinhas é de 15% (ANVISA, 1978). No presente estudo, o teor de umidade encontrado na farinha do mesocarpo do maracujá-amarelo foi de 9,4%, estando este resultado em conformidade com a legislação. Oliveira e Resende (2012) obtiveram resultados semelhantes para o mesmo material (9,7%).

Já o teor de umidade encontrado na pectina, proveniente do mesocarpo do maracujá, foi menor que a observada na pectina comercial, demonstrando uma diferença significativa ($p < 0,05$) entre as pectinas. A umidade é um componente que pode variar em função das condições de extração e secagem utilizada. Contudo, apesar de não se ter tais informações da pectina comercial para uma melhor conclusão, os teores de umidade reportados na literatura estão próximos dos obtidos no presente estudo. Linares-García et al. (2015) obtiveram um teor de umidade de 10,3% em pectina cítrica comercial. Klieman (2006) obteve um teor de umidade de 7,58% em pectina extraída do mesocarpo do maracujá-amarelo, sob diferentes condições de extração e secagem, e 6,07% em pectina comercial.

As características químicas da farinha e das pectinas estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Determinação das características químicas da farinha do mesocarpo e das pectinas. Os dados estão representados pelos valores médios e desvio-padrão das medidas.

Característica	FAR	PM	PC
Umidade (%)	9,4 ± 0,3 ^a	6,9 ± 0,6 ^b	9,9 ± 0,5 ^a
Pectina (%) ^{b.s.}	24,9 ± 2,1	-	-
Cinzas (%) ^{b.s.}	-	2,28 ± 0,04 ^a	2,25 ± 0,04 ^a
Ácidos galacturônicos (%)	-	72,8 ± 0,7 ^b	90 ± 1 ^a
Grau de esterificação (%)	-	68,0 ± 0,5 ^b	84,1 ± 0,5 ^a
Grau de acetilação (%)	-	0,38 ± 0,03 ^a	0,34 ± 0,03 ^b
Massa molar média (g mol ⁻¹)	-	1,4 x 10 ⁵	2,1 x 10 ⁵

FAR: Farinha do mesocarpo do maracujá-amarelo, PM: Pectina extraída da farinha do mesocarpo do maracujá-amarelo, PC: Pectina comercial. b.s.: base seca. Letras iguais na mesma linha não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância

O teor de pectina na farinha (24,9%) foi próximo ao obtido por Talma (2016) e Oliveira e Resende (2012), que encontraram respectivamente 25,5% e 26,4% de pectina no mesocarpo do maracujá-amarelo maduro, nas mesmas condições de extração utilizadas neste estudo. O rendimento da pectina do maracujá ficou dentro da faixa relatada por outros autores, com um mínimo de 5,9% (Yapo, 2009) e um máximo de 38,0% (Kliemann, 2006), sob diferentes condições de extração com ácido nítrico.

O teor de pectina observado na farinha do mesocarpo do maracujá sugere que este material é uma fonte potencial de pectina, quando comparado a outros materiais (Oliveira, 2013, Paiva, 2014, Oliveira et al., 2016b), demonstrando benefícios para a extração industrial tanto do ponto de vista econômico, quanto ambiental. Alguns estudos associaram ainda seus efeitos benéficos à saúde, pelo seu potencial de redução do colesterol LDL, do aumento dos níveis de colesterol HDL e do controle no ganho de peso (Marques et al., 2016, Figueiredo et al., 2016). Este é, portanto, um constituinte funcional.

Sabe-se que o método e as condições de extração empregados para a obtenção de pectinas, têm grande influência nas suas características químicas,

influenciando diretamente nas suas aplicações tecnológicas (Vriesmann, Teófilo e Petkowicz, 2012).

Os valores de cinzas encontrados nas amostras de PM e PC não diferiram estatisticamente entre si ($p > 0,05$). Segundo Kar e Arslan (1999), baixos teores de cinzas indicam um alto grau de pureza das amostras. Um baixo teor de cinzas também foi encontrado por Kliemann (2006) e por Liew et al. (2018), em pectina extraída do mesocarpo do maracujá (2,16%) e em pectina da casca do pomelo (1,28%). Oliveira (2013) encontrou 1,6% de cinzas em pectina comercial.

Assim como o teor de cinzas, o teor de ácidos galacturônicos (GalA) presente em uma pectina também reflete seu grau de pureza. No presente estudo o teor de GalA foi de 72,8% para PM, e 90,4% para PC, demonstrando diferença significativa ($p < 0,05$) entre as pectinas. O conteúdo de ácidos galacturônicos (GalA) encontrado demonstrou que ambas as pectinas são de boa qualidade, apresentando-se dentro do limite aceitável ($\text{GalA} \geq 65\%$), estipulado pela FAO (Food and Agriculture Organization). Vasco-Correa e Zapata (2017) obtiveram um teor de GalA (93,5%) próximo ao obtido para pectina comercial, mas superior à pectina extraída da casca do maracujá com ácido clorídrico a 100 °C por 45 minutos, sendo que tal diferença pode ser atribuída à diferente condição de extração utilizada.

O grau de esterificação (DE) é representado pela relação entre o número de grupos carboxílicos esterificados com o grupamento acetil ou metil, para o número de grupos carboxílicos totais presentes na molécula. Desta forma, o grau de esterificação não deve ser avaliado separadamente.

Neste trabalho, ambas as pectinas analisadas apresentaram um valor de DE maior que 50%, sendo caracterizadas como pectinas de alto grau esterificação. Porém, o valor obtido para a PM foi menor (68,0%) que o encontrado para a PC (84,1%), diferindo significativamente ($p < 0,05$). O mesmo não foi observado para o grau de acetilação, que não apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre as pectinas analisadas, ambas apresentaram um baixo grau de acetilação. Segundo Oliveira (2013), um alto percentual de grupos acetílicos na cadeia de pectina é indesejável, pois dificulta a formação do gel, por promover impedimento estérico, dificultando, assim, a interação entre as cadeias poliméricas.

Klieman (2006) ao analisar pectina extraída do mesocarpo do maracujá e pectina comercial, também obteve alto grau de esterificação (75,68% e 84,24%, respectivamente) e um baixo teor de acetyl (0,26% e 0,32%, respectivamente) para ambas as amostras.

De acordo com Fraeye et al. (2009) e Migliori et al. (2010), o grau de metoxilação e o grau de esterificação determinam a função da pectina, pois compostos pécticos com alto teor de metoxilação e alto grau de esterificação, geralmente formam géis, quando aquecida em soluções ácidas. Neste estudo, o grau de metoxilação não foi medido, contudo, o menor teor de grupamentos acetílicos encontrados, indica a ocorrência e a predominância de ligações dos grupamentos metílicos ao ácido galacturônico.

Segundo Morales-Contreras et al. (2017), a massa molar média (M_w) tem uma influência importante na funcionalidade da pectina, como agente espessante ou gelificante nos alimentos. Neste estudo, a massa molar média (M_w) da pectina do mesocarpo do maracujá foi 33% menor ($1,4 \times 10^5 \text{ g mol}^{-1}$) que a da pectina comercial ($2,1 \times 10^5 \text{ g mol}^{-1}$). Pesquisadores relatam que as pectinas são altamente heterogêneas em relação à sua massa molar e estrutura química, e que o peso molecular está diretamente relacionado ao tempo e temperatura de extração utilizados, portanto, períodos longos de aquecimento, com temperaturas elevadas, podem causar desagregação da rede de pectina, diminuindo assim, o peso molecular (Venzon et al., 2015, Sayah et al., 2016, Morales-Contreras et al., 2017). Neste trabalho, a matéria-prima utilizada na obtenção da PC, o método e as condições de extração utilizados são desconhecidos, contudo ambas pectinas apresentaram um elevado peso molecular, sendo então caracterizadas como pectinas de alto peso molecular.

O valor de massa molar média encontrada para a amostra PM (Tabela 3), foi menor que a encontrada por Canteri (2010), em pectina do mesocarpo do maracujá amarelo ($2,9 \times 10^5 \text{ g mol}^{-1}$), contudo, o tempo de extração utilizado pelo autor (20 minutos) foi menor que neste trabalho (40 minutos). Já o valor da massa molar média da amostra PC, foi próximo ao encontrado por Oliveira (2013) em pectina comercial ($1,9 \times 10^5 \text{ g mol}^{-1}$).

As medidas dos parâmetros de cor estão apresentadas na Tabela 4, destacando-se as diferenças entre os parâmetros de cor da farinha de mesocarpo de maracujá e da pectina extraída deste material, em comparação à pectina

cítrica comercial. Nota-se uma diferença significativa ($p < 0,05$) para quase todos os parâmetros de cor analisados (Tabela 4), ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Tabela 4 - Caracterização dos parâmetros de cor da farinha do mesocarpo do maracujá-amarelo (FAR), pectina extraída do mesocarpo (PM) e pectina cítrica (PC) comercial. Os dados estão representados pelos valores médios e desvio-padrão das medidas.

Cor	FAR	PM	PC
L*	88,1 ± 0,1 ^a	82,0 ± 0,3 ^b	75,4 ± 0,4 ^c
a*	0,87 ± 0,05 ^c	1,2 ± 0,1 ^b	2,94 ± 0,09 ^a
b*	18,6 ± 0,2 ^a	16,3 ± 0,5 ^b	16,1 ± 0,3 ^c
C*	18,6 ± 0,2 ^a	16,3 ± 0,5 ^b	16,4 ± 0,3 ^b
H	87,3 ± 0,2 ^a	85,6 ± 0,4 ^b	79,7 ± 0,2 ^c

L* - luminosidade- transição da cor preta (0) para o branco (100), a* - transição da cor verde (-a*) para o vermelho (+a*), e b* - transição da cor azul (-b*) para a cor amarela (+b*), C* Chroma e h ângulo Hue. Valores seguidos de pela mesma letra em uma mesma linha não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

A farinha do mesocarpo e a pectina do mesocarpo apresentaram maiores valores de luminosidade (parâmetro L), exibindo uma coloração mais clara que a pectina comercial. Esta diferença pode estar relacionada à reação de caramelização que ocorre no processo de extração sob condições severas ou, até mesmo, devido às diferentes matérias-primas. Talma (2016) e López-Vargas et al. (2013) encontraram valores de L* mais baixos (82,08 e 79,91, respectivamente) em farinha do mesocarpo de maracujá maduro com granulometria de 50 mesh. Esta diferença pode ser atribuída à maior granulometria da partícula da farinha (50 mesh), quando comparada com a farinha do mesocarpo avaliada no presente trabalho (60 mesh).

No registro fotográfico mostrado na Figura 10, é possível observar que a farinha e a pectina extraída do mesocarpo apresentaram tonalidades mais amareladas, caracterizadas por maiores valores do ângulo hue. Contudo, a farinha apresentou uma tonalidade mais intensa de amarelo, o que pode ser confirmado através do maior valor encontrado para a coordenada CIE b* (Tabela

4). López-Vargas et al. (2013) encontraram menores valores da coordenada b^* (14,79) em farinha do mesocarpo do maracujá. O maior valor encontrado na coordenada b^* e do ângulo hue do tratamento FAR, pode ser explicado pela agregação do suco da polpa na etapa de separação da fração do mesocarpo. O tratamento PM, quando comparado ao tratamento FAR, apresenta um índice de cor amarela significativamente ($p < 0,05$) mais suave, provavelmente, devido ao processo de extração, que provocou um arraste dos componentes envolvidos na cor, como os pigmentos carotenóides.

Ao comparar os parâmetros de cor relacionados com tonalidades amareladas, para as duas pectinas, PM e PC, observou-se que, apesar de ter havido diferença significativa ($p < 0,05$), ambas apresentaram valores com diferenças mínimas para o parâmetro CIE b^* . A similaridade de cor é destacada pelo parâmetro Chroma, que não apresentou diferença significativa ($p > 0,05$) entre a pectina do mesocarpo (PM) e a pectina comercial (PC).

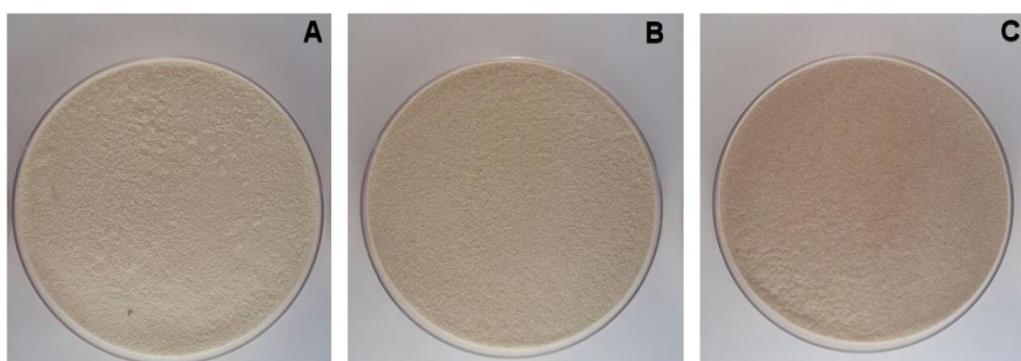


Figura 10 - Registros fotográficos da Farinha do mesocarpo do maracujá-amarelo (A), Pectina extraída do mesocarpo do maracujá-amarelo (B), Pectina comercial (C).

As medidas da coordenada CIE a^* , mostradas na Tabela 4, apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) entre todos os tratamentos, com menores valores para a FAR. Entretanto, os valores próximos de zero indicam que as amostras exibiram uma tonalidade neutra para este parâmetro.

5.2 Caracterização dos históricos de temperatura, conteúdo de sólidos solúveis e pH durante a elaboração dos géis

Os históricos de temperatura e conteúdo de sólidos solúveis totais, medidos durante a elaboração dos géis de farinha do mesocarpo e de pectina extraída do mesocarpo e pectina comercial, estão apresentados na Figura 11.

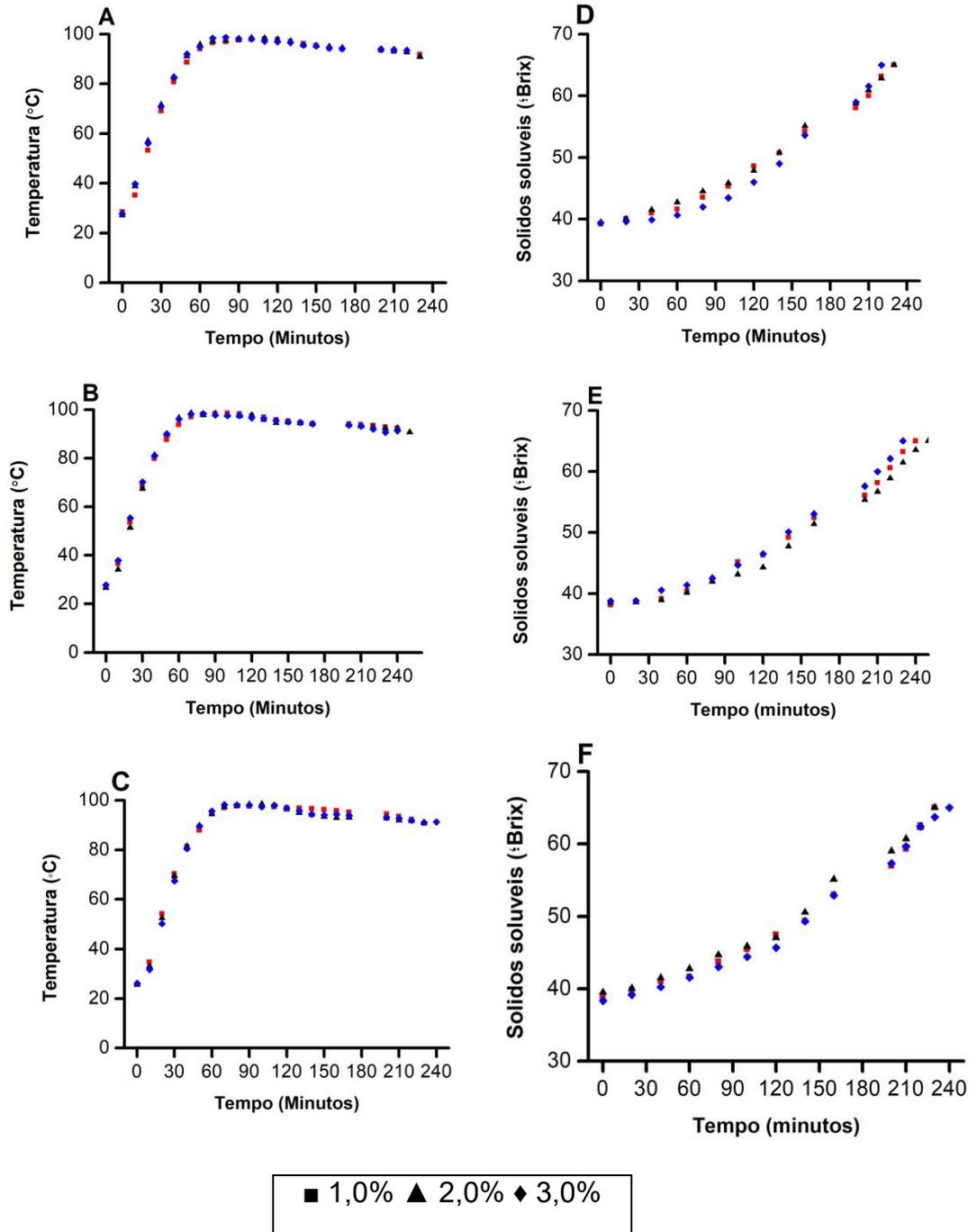


Figura 11 - Históricos de temperatura, tempo e conteúdo de sólidos solúveis durante a elaboração dos géis contendo, respectivamente, diferentes concentrações de farinha do mesocarpo FAR (A e D), pectina extraída do mesocarpo do maracujá PM (B e E) e pectina comercial PC (C e F), com um teor de sólidos solúveis de 65 ° Brix.

Conforme ilustrado na Figura 11 (A, B e C), o histórico de temperatura dos géis foram similares para os diferentes materiais (FAR, PM e PC). O mesmo comportamento foi notado para a evolução do conteúdo de sólidos solúveis durante a fabricação dos géis, conforme Figura 11 (D, E e F). Os géis alcançaram temperaturas de 97 °C na primeira hora de processamento, permanecendo com temperaturas estáveis durante aproximadamente 2 horas, mantendo temperaturas maiores que 90 °C até atingir o ponto final de geleificação com 65 °Brix. Segundo Kastner et al. (2012), baixas temperaturas favorecem as ligações de hidrogênio, já as interações hidrofóbicas são mais dominantes em temperaturas mais elevadas. No presente trabalho procurou-se manter uma similaridade dos históricos de temperatura, para minimizar efeitos de intensidade de temperatura e tempo de processamento sobre as propriedades de textura e características reológicas dos géis.

Na Tabela 5 estão apresentados os valores das medidas de pH, no início e após a elaboração dos géis. As medidas de pH no início da elaboração dos géis indicam a influência da acidez da farinha ou das pectinas utilizadas.

Tabela 5 - Medidas de pH no início e após a elaboração dos géis de farinha do mesocarpo (FAR), pectina extraída do mesocarpo (PM) e pectina comercial (PC) em diferentes concentrações.

	pH antes da elaboração do gel		
	1,0%	2,0%	3,0%
FAR	4,65 ± 0,01 ^{bA}	4,77 ± 0,02 ^{aA}	4,78 ± 0,07 ^{aA}
PM	3,07 ± 0,03 ^{aC}	2,78 ± 0,09 ^{bC}	2,36 ± 0,02 ^{cC}
PC	3,35 ± 0,03 ^{aB}	3,22 ± 0,02 ^{bB}	3,05 ± 0,02 ^{cB}
	pH após elaboração do gel		
FAR	3,04 ± 0,02 ^{aA}	3,05 ± 0,03 ^{aA}	3,06 ± 0,02 ^{aA}
PM	3,05 ± 0,01 ^{aA}	3,06 ± 0,02 ^{aA}	3,05 ± 0,06 ^{aA}
PC	3,06 ± 0,01 ^{aA}	3,04 ± 0,04 ^{aA}	3,05 ± 0,04 ^{aA}

Os dados seguidos de letras minúsculas iguais na mesma linha e letras maiúsculas iguais na mesma coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Conforme demonstrado na Tabela 5, o valor de pH inicial das soluções utilizadas na elaboração dos géis foi significativamente ($p < 0,05$) diferente entre as formulações contendo a farinha do mesocarpo (FAR) e as pectinas (PM e PC). Nota-se que o aumento da concentração das pectinas nas formulações promove uma diminuição significativa ($p < 0,05$) dos valores de pH. Desta forma, o pH das soluções contendo as pectinas foi menor que o pH da formulação contendo farinha do mesocarpo (FAR), sendo que esta diferença é atribuída ao efeito da extração ácida da pectina que contém grandes concentrações do ácido galacturônico.

Os menores valores de pH encontrados na pectina do mesocarpo do maracujá (PM), podem estar relacionados com a concentração do ácido utilizado no processo de extração da pectina, bem como ao conteúdo de grupamentos de ácidos presentes na molécula de pectina. Liew et al. (2018) encontraram um baixo valor de pH (2,07) em pectina proveniente do pomelo, extraída com ácido cítrico.

Ao contrário do efeito da concentração das pectinas, o pH das soluções contendo a farinha do mesocarpo (FAR) aumentou significativamente com o aumento da sua concentração. Isto pode ter ocorrido devido a algum componente da farinha do mesocarpo, que tenha efeito mais preponderante na variação de pH em soluções com maiores concentrações de farinha. López-Vargas et al. (2013) e Coelho et al. (2017 a) encontraram valores de pH de 4,36 e 4,25, sendo similares aos valores obtidos neste estudo, em farinha do mesocarpo do maracujá e farinha da casca do maracujá, respectivamente.

A análise de pH, após a elaboração dos géis, indicou que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre os valores de pH dos géis contendo as diferentes concentrações de Farinha (FAR) e pectinas (PM e PC), tendo em vista que os valores foram ajustados ao final do processo de cocção para o pH 3,0 (Tabela 5). Segundo Basu e Shivhare (2010), o processo de geleificação é ideal quando o pH está entre 3,0 e 3,4.

5.3 Análise de cor dos géis

Na Tabela 6 estão apresentados os parâmetros de cor CIE $L^*a^*b^*$, Chroma (C^*) e Ângulo Hue (h) dos géis elaborados com diferentes concentrações de

farinha do mesocarpo (FAR), pectina extraída do mesocarpo (PM) e pectina comercial (PC).

Na análise de cor dos géis deve-se atentar para o fato de que a leitura foi feita em um copo opaco escuro, que reflete a luz através da massa translúcida dos géis. Desta forma, os géis mais translúcidos estão correlacionados com menores valores dos parâmetros de cor.

Assim, na Tabela 6 nota-se que o aumento da concentração da farinha e das pectinas promove um aumento significativo ($p < 0,05$) de todas as coordenadas de cor dos géis, indicando uma interferência nos índices de reflectância dos materiais. Os géis elaborados com a farinha do mesocarpo e pectina extraída do mesocarpo, apresentaram maiores valores de luminosidade, coordenada CIE b^* , Ângulo Hue e Chroma, em todas as concentrações, caracterizando-os como géis mais opacos, com maior interferência no índice de luminosidade e com tonalidade mais amarelada do que os géis elaborados com a pectina comercial. Estas diferenças podem ser notadas visualmente nas análises de imagem apresentadas nas Figuras 12, 13 e 14, para os diferentes materiais e concentrações.

É importante destacar que durante a elaboração dos géis, devido à alta concentração de açúcar e presença de ácidos, há uma grande tendência de ocorrer o processo de caramelização do açúcar, deixando o gel com coloração mais caramelo e, portanto, menos translúcido. Tal fenômeno pode ser notado através da coordenada L^* , que foi afetada, causando uma diminuição da luminosidade das amostras feitas com PC, quando comparadas aos materiais que foram analisados na forma de farinha de mesocarpo ou pó de pectina (Tabela 4).

Tabela 6 - Caracterização dos parâmetros de cor CIE L*a*b* Chroma (C*) e Ângulo Hue (h) dos géis elaborados com diferentes concentrações de farinha do mesocarpo (FAR), pectina extraída do mesocarpo (PM) e pectina comercial (PC).

Propriedades	Amostras		
	FAR	PM	PC
1,0% (m/m)			
L*	19,5 ± 0,3 ^{aC}	19,4 ± 0,7 ^{aC}	7,1 ± 0,5 ^{bC}
a*	-0,89 ± 0,09 ^{cA}	-1,5 ± 0,1 ^{aA}	-1,4 ± 0,1 ^{bB}
b*	6,0 ± 0,7 ^{aC}	5,3 ± 0,8 ^{bC}	1,0 ± 0,2 ^{cC}
C*	6,1 ± 0,7 ^{aC}	5,5 ± 0,8 ^{bC}	1,8 ± 0,1 ^{cC}
H	-81,0 ± 1,0 ^{aC}	-73,22 ± 3,05 ^{bC}	-36,0 ± 4,0 ^{cC}
2,0% (m/m)			
L*	20,9 ± 0,6 ^{bB}	23,3 ± 0,5 ^{aB}	10,7 ± 0,2 ^{cB}
a*	-0,6 ± 0,3 ^{cB}	-1,5 ± 0,2 ^{aA}	-1,39 ± 0,09 ^{bB}
b*	12,7 ± 0,7 ^{aB}	8,3 ± 0,5 ^{bB}	1,9 ± 0,2 ^{cB}
C*	12,7 ± 0,7 ^{aB}	8,4 ± 0,4 ^{bB}	2,4 ± 0,1 ^{cB}
H	-87,0 ± 1,0 ^{aB}	-79,0 ± 1,0 ^{bB}	-53,0 ± 3,0 ^{cB}
3,0% (m/m)			
L*	22,9 ± 0,2 ^{bA}	29,9 ± 0,5 ^{aA}	13,2 ± 0,5 ^{cA}
a*	-0,33 ± 0,08 ^{bC}	-0,25 ± 0,06 ^{cB}	-1,7 ± 0,2 ^{aA}
b*	16,1 ± 0,5 ^{aA}	15,5 ± 0,3 ^{bA}	3,3 ± 0,8 ^{cA}
C*	16,1 ± 0,5 ^{aA}	15,5 ± 0,3 ^{bA}	3,7 ± 0,7 ^{cA}
H	-88,8 ± 0,3 ^{aA}	-89,1 ± 0,2 ^{aA}	-62,0 ± 6,0 ^{bA}

L* - luminosidade- transição da cor preta (0) para o branco (100), a* - transição da cor verde (-a*) para o vermelho (+a*), e b* - transição da cor azul (-b*) para a cor amarela (+b*), C* Chroma e h ângulo Hue. Os valores de cada parâmetro nas diferentes concentrações seguidos de letras minúsculas iguais na mesma linha e letras maiúsculas iguais na mesma coluna não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

As tonalidades menos translúcidas dos géis elaborados com diferentes concentrações de farinha do mesocarpo (FAR), são indicadas pelos parâmetros de Chroma e Ângulo Hue, e podem estar relacionadas aos parâmetros de cor da farinha (Tabela 4), em comparação com os parâmetros de cor das pectinas. Desta forma, a presença da farinha do mesocarpo promoveu um efeito de turbidez nesse processo de elaboração do gel (Figuras, 12, 13 e 14).

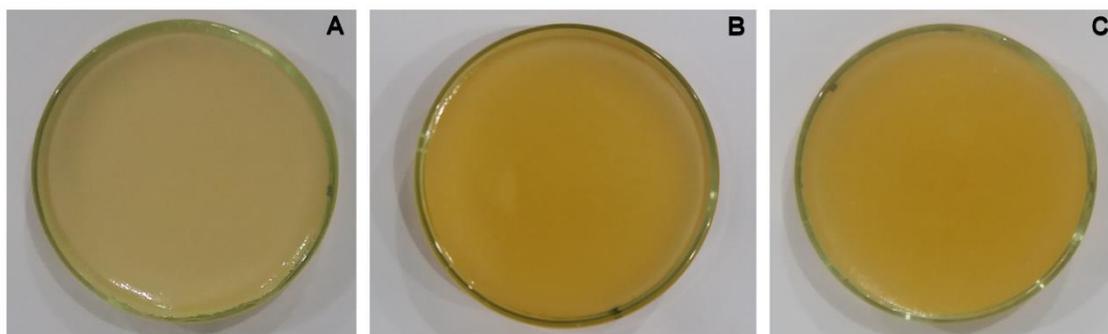


Figura 12 - Registro fotográfico dos géis elaborados com farinha do mesocarpo do maracujá nas concentrações 1% (A), 2% (B) e 3% (C).

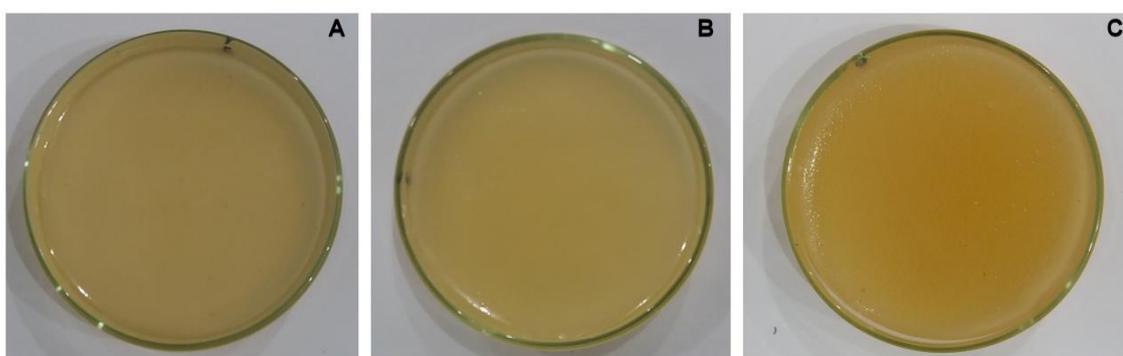


Figura 13 - Registro fotográfico dos géis elaborados com pectina extraída do mesocarpo do maracujá nas concentrações 1% (A), 2% (B) e 3% (C).

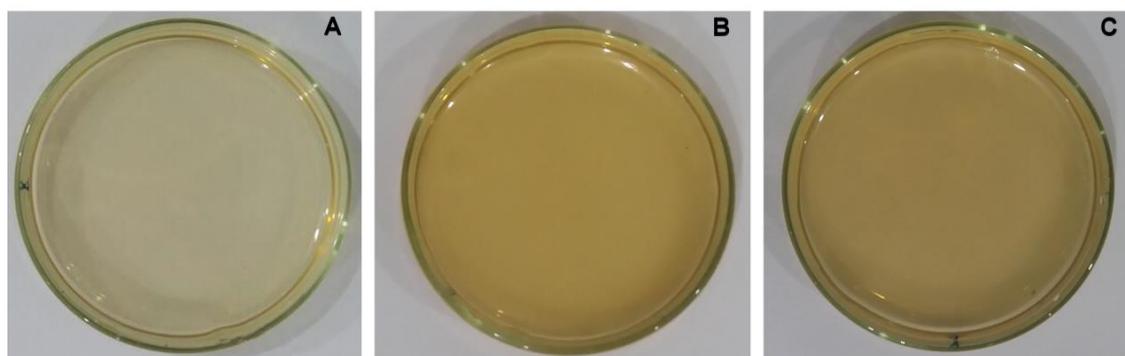


Figura 14 - Registro fotográfico dos géis elaborados com pectina comercial nas concentrações 1% (A), 2% (B) e 3% (C).

5.4 Avaliação da textura e das propriedades reológicas

Os atributos de textura dos géis elaborados com 1%, 2% e 3% de farinha do mesocarpo (FAR), pectina extraída do mesocarpo (PM) e pectina comercial (PC), estão apresentados na Tabela 7.

A maior força dos géis, com concentrações mais elevadas de FAR, PM e PC, pode ser explicada pelo fato de que o aumento da concentração do polissacarídeo, a uma concentração fixa de sacarose, leva a um maior número de interações intermoleculares (ligações de hidrogênio e interações hidrofóbicas), o que favorece a formação de zonas de junção entre as cadeias poliméricas, tornando o gel mais firme (Fraeye et al., 2009; Fraeye et al., 2010).

Segundo Oliveira (2013), o parâmetro dureza está relacionado com a força de ruptura do material, já a mastigabilidade e a gomosidade representam, respectivamente, as energias requeridas para mastigar a amostra e desintegrá-la até um estado adequado para a deglutição.

Nota-se na Tabela 7 que o aumento da dureza está relacionado com o aumento da mastigabilidade e da gomosidade dos géis elaborados com os diferentes materiais (FAR, PM e PC), nas diferentes concentrações analisadas. Os valores de dureza, mastigabilidade e gomosidade dos géis elaborados com pectina do mesocarpo (PM) e farinha do mesocarpo (FAR), foram inferiores aos do gel de pectina comercial (PC) em todas as concentrações analisadas ($p < 0,05$). Por exemplo, na concentração de 2,0% (m/m), a pectina comercial apresentou dureza três vezes maior que a do gel elaborado com a pectina do mesocarpo.

De acordo com Linares-García (2015), diferentes teores de açúcar e de condições de fabricação dos géis, afetam o parâmetro de dureza. Contudo, neste estudo os géis foram padronizados com o mesmo conteúdo de açúcar e parâmetros de processamento controlados. Desta forma, tal diferença pode ser atribuída às condições de extração da pectina (tempo, temperatura e pH), que podem ter causado hidrólise de cadeias laterais de açúcares neutros, resultando em polissacarídeos com cadeias mais curtas, que levam à formação de géis mais fracos. Isto pode ser confirmado pelo maior peso molecular encontrado na pectina comercial (Tabela 3).

Tabela 7 - Caracterização dos parâmetros de textura dos géis elaborados com 1%, 2% e 3% de farinha do mesocarpo (FAR), pectina extraída do mesocarpo (PM) e pectina comercial (PC).

	Dureza (N)	Adesividade (N)	Elasticidade (mm)	Mastigabilidade (N mm)	Gomosidade (N)	Coesividade (-)	Resiliência (-)
1,0% (m/m)							
FAR	7,4 ± 0,8 ^{cC}	-17,8 ± 0,4 ^{bC}	0,962 ± 0,004 ^{aA}	3,3 ± 0,2 ^{cC}	3,4 ± 0,2 ^{Cc}	0,46 ± 0,02 ^{aC}	0,03 ± 0,0 ^{bA}
PM	49,4 ± 0,6 ^{bC}	-70,0 ± 8,0 ^{aC}	0,956 ± 0,002 ^{aA}	20,40 ± 0,01 ^{bC}	21,30 ± 0,04 ^{Bc}	0,43 ± 0,01 ^{bC}	0,041 ± 0,004 ^{aA}
PC	87,0 ± 2,0 ^{aC}	-69,0 ± 7,0 ^{aC}	0,97 ± 0,01 ^{aA}	30,0 ± 1,0 ^{aC}	30,8 ± 1,3 ^{Ac}	0,35 ± 0,03 ^{bB}	0,05 ± 0,01 ^{aA}
2,0% (m/m)							
FAR	40,0 ± 1,0 ^{cB}	-112,3 ± 7,5 ^{bB}	0,961 ± 0,004 ^{aA}	18,9 ± 1,5 ^{cB}	19,0 ± 1,0 ^{cB}	0,49 ± 0,01 ^{bA}	0,021 ± 0,002 ^{cB}
PM	64,0 ± 1,0 ^{bB}	-159,0 ± 5,2 ^{bB}	0,949 ± 0,002 ^{bA}	24,3 ± 0,8 ^{bB}	25,0 ± 1,0 ^{bB}	0,54 ± 0,00 ^{aA}	0,03 ± 0,00 ^{bB}
PC	196,0 ± 12,0 ^{aB}	-214,0 ± 12,0 ^{aB}	0,964 ± 0,004 ^{aA}	81,0 ± 5,0 ^{aB}	84,0 ± 5,0 ^{aB}	0,43 ± 0,02 ^{cA}	0,04 ± 0,01 ^{aB}
3,0% (m/m)							
FAR	99,0 ± 1,0 ^{bA}	-283,0 ± 20,0 ^{aA}	0,95 ± 0,01 ^{bB}	46,3 ± 0,8 ^{bA}	48,4 ± 1,3 ^{bA}	0,48 ± 0,04 ^{aB}	0,022 ± 0,002 ^{cB}
PM	109,0 ± 1,0 ^{bA}	-295,0 ± 24,0 ^{aA}	0,95 ± 0,0 ^{bA}	48,0 ± 1,0 ^{bA}	51,0 ± 2,0 ^{bA}	0,47 ± 0,01 ^{bB}	0,032 ± 0,002 ^{bB}
PC	244,0 ± 7,0 ^{aA}	-267,0 ± 15,0 ^{aA}	0,98 ± 0,01 ^{aA}	107,0 ± 4,0 ^{aA}	109,0 ± 4,0 ^{aA}	0,45 ± 0,01 ^{cA}	0,039 ± 0,002 ^{aA}

Valores seguidos pela mesma letra minúscula na coluna, para cada parâmetro de textura na mesma concentração de FAR, PM e PC não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Valores seguidos pela mesma letra maiúscula na coluna, para o mesmo parâmetro em diferentes concentrações de cada material (FAR, PM ou PC) não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Oliveira (2013) estudou a extração da pectina da casca da manga Ubá com três diferentes extratores (ácido cítrico, ácido clorídrico e oxalato de amônia), elaborando géis na concentração de 1%, a uma concentração fixa de sacarose (60%, m/m), encontrando os valores de dureza (5,2 a 6,1), mastigabilidade (3,0 a 3,7) e gomosidade (3,1 a 3,8), que foram bem inferiores aos dos géis elaborados no presente trabalho, com a pectina proveniente do mesocarpo do maracujá. Esta diferença pode ser atribuída a diversos fatores, como: a origem botânica da pectina, o método e as condições de extração utilizadas, bem como o processo de elaboração dos géis (tempo e temperatura de cocção).

Os menores valores obtidos ($p < 0,05$) de dureza para os géis elaborados com a farinha do mesocarpo (FAR), estão relacionados com a sua menor concentração de pectina. Assim, quando se compara o valor da dureza obtido na concentração 3% de farinha, com o valor da dureza obtida na concentração 1% de pectina comercial, observa-se que, apesar da concentração 3% de farinha conter um percentual de pectina ainda menor (0,75%) do que 1%, o valor de dureza tendeu a ser mais alto (99,0 N) do que na concentração de 1% de pectina comercial (87,0 N). Isto pode estar relacionado com a maior integridade da pectina durante o processo de aquecimento para elaboração dos géis, já que a farinha não passou pelo processo de exposição a altas temperaturas, como ocorre com as pectinas durante o processo de extração ácida. Além disso, a presença de outros componentes químicos da farinha, como as fibras insolúveis, podem ter contribuído com essa maior dureza.

Segundo Linares-Garcia et al. (2015), a adesividade é o trabalho necessário para superar as forças de atração entre a superfície do alimento e a superfície de outros materiais. A presença de líquidos entre as duas superfícies causa um aumento no trabalho necessário para separar as superfícies. Sendo assim, como os géis estudados têm a mesma composição e a mesma área, e são submetidos ao mesmo estresse, as diferenças na quantidade de líquido em suas superfícies mostram a capacidade das redes poliméricas de manter o líquido dentro da rede, isto é, as diferenças na adesividade são causadas pela sinérese de água dos géis.

Neste trabalho observou-se que houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos com diferentes materiais (FAR, PM e PC), nas três concentrações estudadas. Os géis elaborados com as pectinas demonstraram uma

resistência bem maior para separar o gel da sonda, quando comparado com os géis elaborados com a farinha, destacando uma melhor capacidade de reter o líquido dentro da estrutura (Tabela 7). Contudo, com o aumento da concentração para 3%, estas diferenças entre os materiais não foram observadas.

Entretanto, foi observada diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos para o parâmetro coesividade. Os géis elaborados com a farinha e com a pectina do mesocarpo apresentaram valores superiores ao encontrado para a pectina comercial, variando de 0,46 a 0,49 e de 0,43 a 0,53, respectivamente. Isto demonstra que é necessária uma maior energia mecânica para destruir a estrutura interna das amostras. O mesmo resultado foi observado por Linares-Garcia et al. (2015), em pectina proveniente do espinheiro. Os parâmetros de elasticidade e resiliência, apesar de terem apresentado diferença significativa ($p < 0,05$) entre alguns tratamentos em algumas concentrações, apresentaram pouca variação em seus valores, e não foi observada nenhuma tendência sistemática entre os tratamentos.

5.4 Análises reológicas dos géis

Na Figura 15 estão apresentadas as curvas de escoamento, mostrando as correlações entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação dos géis elaborados com a farinha do mesocarpo do maracujá-amarelo (FAR), pectina extraída da farinha do mesocarpo do maracujá-amarelo (PM) e pectina comercial (PC), nas concentrações de 1%, 2% e 3%.

Nota-se que os géis apresentam um comportamento não-Newtoniano pseudoplástico, em que ocorre um aumento não linear decrescente da tensão de cisalhamento, à medida que se aumenta a taxa de deformação. Os géis elaborados com pectina comercial mostraram um comportamento de escoamento pseudoplástico muito mais acentuado que os géis elaborados com a farinha (FAR) e com a pectina do mesocarpo (PM).

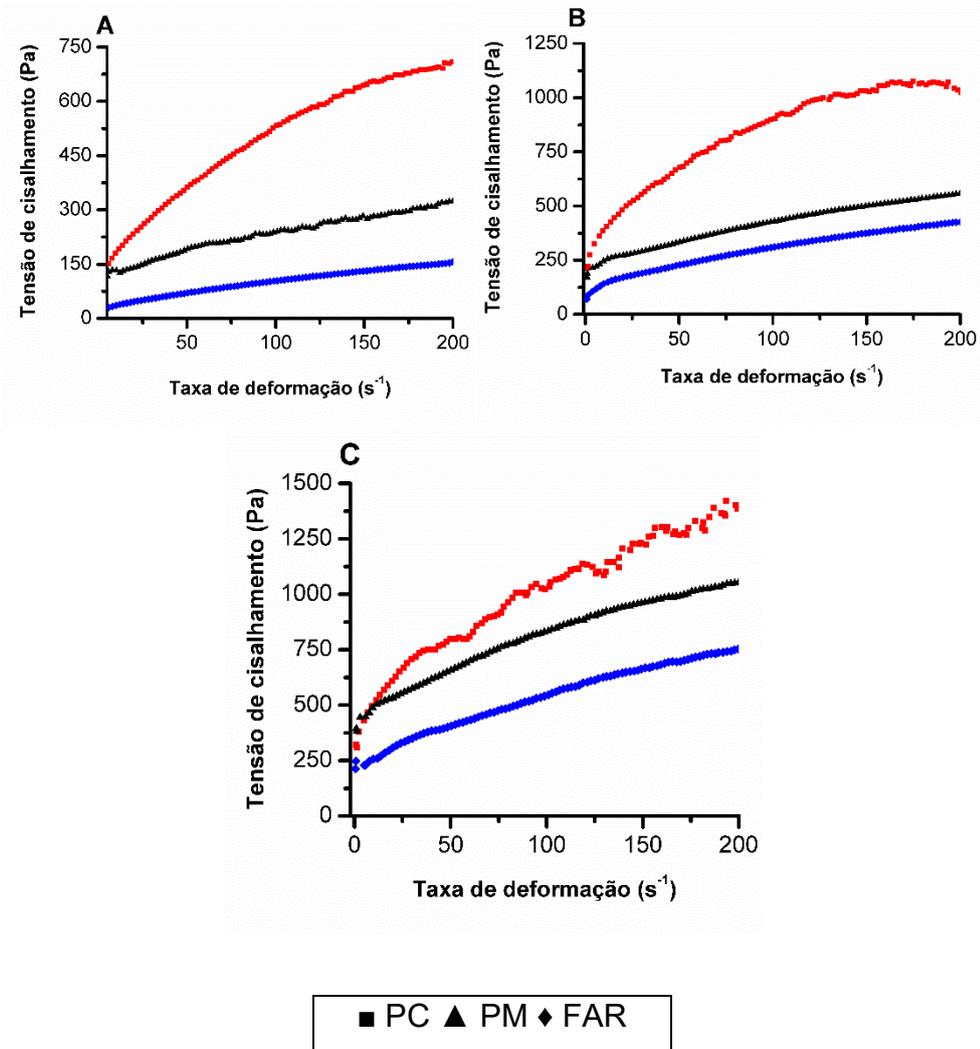


Figura 15 - Curvas de escoamento mostrando as correlações entre a Tensão de Cisalhamento e a Taxa de Deformação dos géis elaborados com a farinha do mesocarpo do maracujá-amarelo (FAR), pectina extraída da farinha do mesocarpo do maracujá-amarelo (PM) e pectina comercial (PC), nas concentrações de 1,0% (m/v) (A), 2,0% (m/v) (B) e 3,0% (m/v) (C), com um teor de sacarose de 65% (m/v), pH 3,0 e temperatura de 26 °C.

A Figura 16 mostra as curvas de viscosidade aparente, em função da taxa de deformação dos géis elaborados com as pectinas (PM e PC) e farinha (FAR), em concentrações de 1%, 2% e 3%.

Portanto, observa-se na Figura 16 que, independente da concentração de pectinas ou de farinha utilizados no gel, houve um decréscimo da viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação, e depois uma tendência de estabilização para todas as amostras, demonstrando um comportamento

pseudoplástico dos géis. O mesmo comportamento foi observado em soluções elaboradas com a pectina derivada da casca de pomelo (Liew et al., 2018), pectina do quiabo (Chen et al., 2014), pectina da casca da laranja (Hosseini et al., 2016) e em farinha da casca do maracujá (Coelho et al., 2017a).

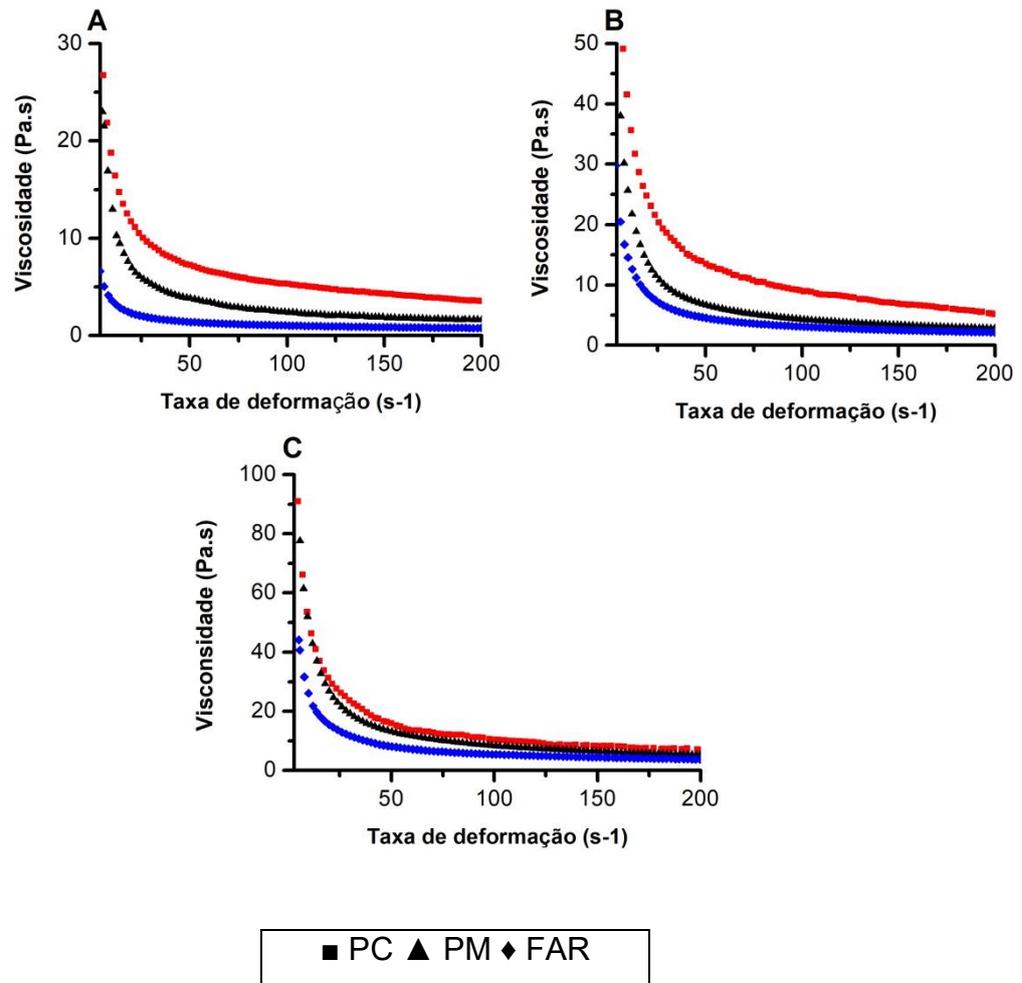


Figura 16 - Viscosidade *versus* taxa de deformação dos géis elaborados com a farinha do mesocarpo do maracujá-amarelo (FAR), pectina extraída do mesocarpo do maracujá amarelo (PM) e pectina comercial (PC) nas concentrações de 1,0% (m/v) (A), 2,0% (m/v) (B) e 3,0% (m/v) (C) com um teor de sacarose de 65% (m/v), pH 3,0 a 26 °C.

Assim, com o aumento da concentração da farinha (FAR) ou das pectinas (PM e PC) (Figura 15), também ocorreu um aumento da viscosidade aparente. No entanto, vale ressaltar que os géis elaborados com a pectina comercial

apresentaram maiores valores de viscosidade em toda a faixa de taxa de deformação analisada. Nota-se que a maior viscosidade do gel elaborado com PC, também correspondeu aos maiores valores de textura, em comparação aos géis elaborados com pectina (PM) e com farinha do mesocarpo do maracujá (FAR), que apresentou os valores mais baixos entre os diferentes materiais (Tabela 7).

Segundo Morales-Contreras et al. (2017), as condições de extração, incluindo os tempos de tratamento térmico, afetam diretamente o perfil de viscosidade aparente e a massa molar média. O menor valor de massa molar média e os menores valores de viscosidade obtidos para os géis elaborados com a pectina do mesocarpo do maracujá, devem-se, provavelmente, à condição de extração utilizada no presente estudo. Já a farinha do mesocarpo do maracujá, que não passou por condições severas de tratamento térmico, apresentou, mesmo assim, baixos valores de viscosidade. Contudo, este fato é explicado pelo menor teor de pectina encontrando no gel feito com a farinha do mesocarpo, tendo em vista que o seu teor de pectina é de 24,9%, proporcionando apenas 0,249% na formulação de gel com 1% de farinha, ou no máximo 0,75% na formulação do gel com 3% de farinha.

Destaca-se que, da mesma forma que foi observado para a comparação da textura dos géis com 1% de PC e com 3% de FAR, notou-se que o valor de viscosidade do gel com 3% de farinha (5,4 Pa.s) foi maior do que a viscosidade do gel elaborado com 1% de pectina comercial (5,2 Pa.s), quando avaliados na taxa de deformação de 100 s^{-1} (Figura 16). Esta maior viscosidade do gel elaborado com FAR, mesmo com menor teor de pectina, pode ser atribuída à combinação da fração insolúvel da fibra com a pectina que foi liberada na etapa de aquecimento, durante a elaboração do gel, e também devido à menor degradação da cadeia da pectina presente na farinha, quando comparado com os géis formados com 1% de PM ou PC.

Os resultados obtidos pelo ajuste dos dados experimentais das curvas de escoamento dos géis ao modelo de Herschel-Bulkley, indicaram elevados valores de R^2 ($>0,99$) para todos os tratamentos (FAR, PM e PC), nas diferentes concentrações analisadas (Tabela 8).

As propriedades do modelo de escoamento, ajustado para cada reograma, foram avaliadas considerando a tensão inicial (τ_0), o índice de

consistência K e o índice de comportamento de escoamento N. Nota-se na Tabela 8 que os valores de N, que indicam o índice de comportamento ao escoamento, foram menores que 1, demonstrando que os géis elaborados com FAR, PM e PC podem ser classificados como pseudoplásticos.

O índice de consistência das amostras (K) se elevou de acordo com o aumento da concentração dos diferentes materiais (FAR, PM e PC), conforme indicado na Tabela 8. O mesmo comportamento foi observado por Nascimento et al. (2016), em soluções de pectina proveniente da polpa de tamarilho, nas concentrações de 1,0, 2,0 e 3,0%, e com uma quantidade fixa de sacarose (50%). Neste estudo, os géis elaborados com a pectina comercial (PC), apresentaram um maior índice de consistência do que os géis elaborados com a pectina do mesocarpo do maracujá (PM) e com a farinha do mesocarpo (FAR).

O índice de consistência (K) do gel elaborado com 3% de farinha (FAR), ficou menor do que o valor de K para o gel elaborado com 1% de pectina comercial. Contudo, a tensão de cisalhamento inicial (T_0) do gel com 3% de FAR, foi 7 vezes maior do que o gel com 1% de pectina comercial (Tabela 8). Essa diferença pode ser atribuída à presença de outras fibras presentes na farinha do mesocarpo do maracujá amarelo, que favoreceu a formação de uma película inicial mais resistente que as demais amostras elaboradas com pectina.

Tabela 8 - Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley ($\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^N$) para os géis elaborados com farinha do mesocarpo (FAR), pectina extraída do mesocarpo (PM) e pectina comercial (PC), nas concentrações de 1%, 2% e 3% (m/v), 65% de sacarose, temperatura de 26 °C e pH 3,0, e os respectivos coeficientes de determinação (R^2).

	T_0	K (Pa.s)	N	R^2
1,0% (m/m)				
FAR	13,245	5,110	0,646	0,999
PM	114,250	3,743	0,757	0,994
PC	26,940	46,330	0,518	0,998
2,0% (m/m)				
FAR	73,575	15,730	0,591	0,999
PM	175,500	14,330	0,620	0,999
PC	118,300	70,515	0,487	0,996
3,0% (m/m)				
FAR	198,100	23,177	0,713	0,999
PM	257,850	30,365	0,606	0,999
PC	278,150	81,850	0,543	0,992

T_0 - Tensão de cisalhamento inicial. K – Índice de consistência do gel. N - Índice de comportamento ao escoamento. R^2 – Coeficiente de determinação

Os dados das análises de viscoelasticidade dos géis elaborados com farinha do mesocarpo (FAR) e pectinas (PM e PC), nas concentrações de 1%, 2% e 3% (m/v), estão apresentados na Figura 17.

Nota-se na Figura 17 que o comportamento reológico foi o mesmo para todas as formulações dos géis. Os materiais formaram géis em todas as concentrações avaliadas, apresentando módulo de armazenamento (G') maior que o módulo de perda (G'') ao longo do intervalo de frequência (0,1 a 10 Hz) analisado, demonstrando uma maior predominância do caráter elástico. Ambos os módulos G' e G'' aumentaram com a elevação da concentração dos materiais (FAR, PM e PC), o que é consequência do aumento do número de zonas de junção, resultando, conseqüentemente, em um aumento no número de cadeias elasticamente ativas, produzindo uma estrutura de gel mais firme. Oliveira (2013)

também observou um aumento nos módulos G' e G'' com o aumento da concentração de pectina da casca da manga Ubá, em géis nas concentrações 0,5, 1,0 e 1,5%.

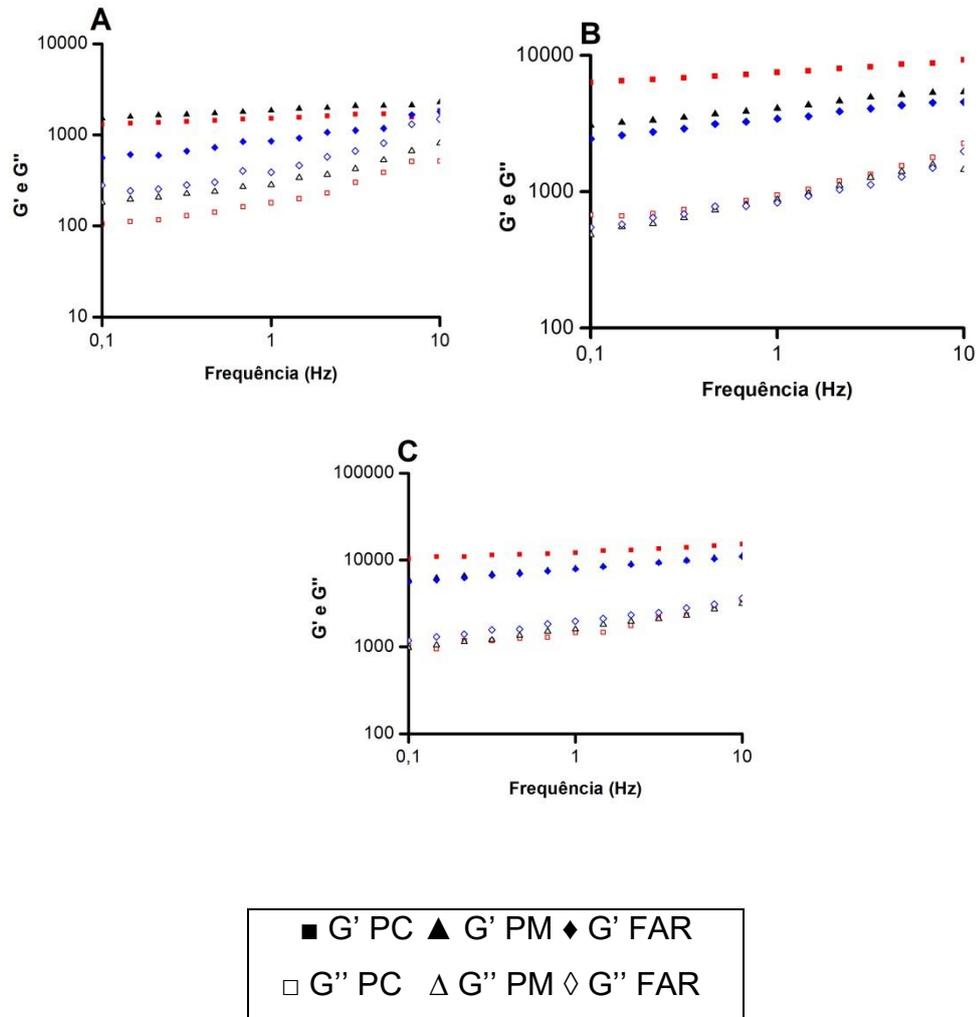


Figura 17 - Perfis viscoelásticos dos géis elaborados com a farinha do mesocarpo do maracujá (FAR), pectina extraída da farinha do mesocarpo do maracujá (PM) e pectina comercial (PC), nas concentrações de 1% (A), 2% (B) e 3% (m/m) (C), com um teor de sacarose de 65% (m/m), pH 3,0 e temperatura de 26 °C.

A tangente de perda [$\tan \delta (\omega) = G'' / G'$] é utilizada para descrever os efeitos relativos dos componentes viscoso e elástico, do comportamento viscoelástico. Esta relação é muito útil na caracterização da força do gel (Rodrigues, 2014). Segundo Steffe (1996) e Chamberlain e Rao (2000), géis

fracos ou géis físicos são dependentes da frequência, apresentam curva de G' maior que G'' , mas não apresentam cruzamento de G' e G'' . Em géis elásticos ou verdadeiros, os módulos de armazenamento não variam com a frequência. A diferença entre o gel verdadeiro e o gel fraco corresponde ao seu comportamento em altas deformações, visto que gel fraco escoar e um gel verdadeiro sofre ruptura. Assim, materiais mais rígidos irão apresentar valores de $\tan\delta$ menores e, do mesmo modo, materiais mais flexíveis irão apresentar valores de $\tan\delta$ maiores.

A diferença de magnitude entre G' e G'' dos géis, foi menos pronunciada no tratamento PC, em que a tangente de perda variou de 0,23 a 0,27 nas três concentrações analisadas, confirmando que a pectina comercial tem uma rede melhor estruturada do que os géis elaborados com a pectina do mesocarpo (PM) e farinha do mesocarpo (FAR). Estes resultados estão de acordo com as análises anteriores de viscosidade e de textura. Já os géis elaborados com a pectina do mesocarpo (PM) apresentaram valores da tangente de perda variando de 0,28 a 0,35, mostrando ser mais fortes que os géis elaborados com farinha do mesocarpo (0,32 a 0,82).

De modo geral, a diferença entre a força dos géis pécticos, pode ser atribuída a diferente composição química (grau de esterificação, acetilação e teor de ácido galacturônico) dos biopolímeros. É possível que a maior capacidade geleificante observada na pectina comercial, esteja relacionada com sua distribuição química mais homogênea (Figura 3), o que proporciona maior interação entre as cadeias poliméricas, com a formação de um número maior de zonas de junção. Quando a cadeia de ácido galacturônico encontra-se muito fragmentada, caracterizada por um perfil altamente heterogêneo, o processo de geleificação fica comprometido (Smout et al., 2005; Santos et al., 2010).

6. CONCLUSÃO

A farinha do mesocarpo do maracujá (FAR) e a pectina extraída do mesocarpo (FM), com rendimento de 24,9%, apresentaram tonalidades de cor mais clara do que a pectina comercial.

A pectina extraída do mesocarpo (PM) foi avaliada com alto potencial de geleificação, sendo caracterizado por alto grau de esterificação (68%), com grau de acetilação de 0,38% e teor de ácido galacturônico de 72,8%. A pectina comercial (PC) apresentou valores mais altos de ácido galacturônico (90%) e grau de esterificação (84,1%), porém valores mais baixos de acetilação (0,34%), indicando um melhor potencial de formação do gel.

Os géis elaborados com farinha do mesocarpo (FAR) e pectina extraída do mesocarpo (PM), apresentaram tonalidades menos translúcidas e coloração mais amarelada do que os géis elaborados com pectina comercial (PC).

Os géis nas concentrações 1,0, 2,0 e 3,0% de farinha do mesocarpo (FAR) e pectina do mesocarpo (PM), mostraram comportamento de fluido não-Newtoniano pseudoplástico, como o gel de pectina comercial (PC). A viscosidade aparente, os parâmetros de textura (dureza, mastigabilidade e gomosidade), o índice de consistência e a tangente de perda dos géis elaborados com pectina do mesocarpo do maracujá (PM), foram menores que das amostras de géis elaboradas com a pectina comercial (PC), demonstrando menor força do gel.

O gel elaborado com 3% de farinha (0,75% de pectina) apresentou maiores valores nos parâmetros de textura (dureza, adesividade, gomosidade e mastigabilidade) e viscosidade aparente, quando comparados ao gel elaborado com a pectina comercial a 1,0%. Contudo, demonstrou maiores valores de tangente de perda, indicando menor força do gel elaborado com a farinha do mesocarpo do maracujá.

Portanto, a farinha do mesocarpo utilizada na proporção de 3% (m/v), é uma alternativa para a substituição da pectina comercial na proporção de 1%, levando em consideração as melhores características de textura e viscosidade do gel. Embora tenha apresentado um índice mais baixo de força do gel, a farinha do mesocarpo pode ser considerada como fonte potencial de pectina de boa aplicabilidade tecnológica, em especial como agente espessante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, P. L. S. (2015) *Exploração de co-produtos do maracujá: elaboração de farinha instantânea mista de arroz/maracujá por extrusão termoplástica e seu uso em bebidas*. Doutorado (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Seropédica-RJ, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 113p.
- AOAC.(1995) *Association of official analytical chemists*. In: Philadelphia. Pennsylvania. USA: p. 400.
- Barrales, F. M., Viganó, J., Correa, R. G. (2014) Extração de compostos bioativos de sementes de maracujá-azedo (*passiflora edulis*) utilizando líquidos pressurizados. *Blucher Chemical Engineering Proceedings*, 1:3444-3450.
- Basanta, M. F., Ponce, N. M. A., Rojas, A. M., Stortz, C. A. (2012) Effect of extraction time and temperature on the characteristics of loosely bound pectins from Japanese plum. *Carbohydrate Polymers*, 89:230-235.
- Basu, S., Shivhare, U. S. (2010) Rheological, textural, micro-structural and sensory properties of mango jam. *Journal of Food Engineering*, 10:357-365.
- Basu, S., Shivhare, U. S. (2013) Rheological, textural, microstructural, and sensory properties of sorbitol-substituted mango jam. *Food and Bioprocess Technology*, 6:1401-1413.
- Bochek, A.M., Zabivalova, N. M., Petropavlosvskii, G. A. (2001) Determination of the esterification degree of polygalacturonic acid. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 74:775-777.
- Branco, I. G. (1995) Suco de laranja concentrado: comportamento reológico a baixas temperaturas. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos)-Capinas-SP, Universidade Estadual de Campinas- UNICAMP, 94p.

- Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA. (1978) Resolução CNNPA n. 12 de 1978. Brasília: *Diário Oficial da União*, 24 de Julho de 1978. Disponível em: <<http://www.anvisa.gov.br>>.
- Campos, G. A., Santos, D. (2011) Maracujá. Palmas, Fundação Universidade de Tocantins – UNITINS. *Guia Técnico*, 12 p.
- Canteri, M. H. G., Moreno, L., Wosiacki, G., Scheer, A. P. (2012) Pectina: da matéria-prima ao produto final. *Polímeros*, 22:149-157.
- Canteri, M. H. G., Scheer, A. P., Ginies, C., Renard, C. M. G. C., Wosiacki, G. (2010) Importance of Thermal Treatment on the Rind Passion Fruit to Pectin Extraction. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, 1:109.
- Carneiro, R. F., Lima, A. M., Santos, F. M. B., Silva, E. A. (2015) Análise sensorial de doce de entrecasca do maracujá (*Passiflora edulis Sims f. flavicarpa Deg*) como alimentação alternativa na merenda escolar. *Cadernos de Agroecologia*. 0:3.
- Chamberlain, E. K., Rao, M. A. (2000) Effect of concentration on rheological properties of acid-hydrolyzed amylopectin solution. *Food Hydrocolloids*, 14:163-171.
- Chan, S. Y., Choo, W. S., Young, D. J., y Loh, X. J. (2017) Pectin as a rheology modifier: Origin, structure, commercial production and rheology. *Carbohydrate Polymers*, 161:118-139.
- Chen, Y., Zhang, J. G., Sun, H. J., Wei, Z. J. (2014) Pectin from *Abelmoschus esculentus*: Optimization of extraction and rheological properties. *International journal of biological macromolecules*, v. 70, p. 498-505.
- Chitarra, M. I. F. (1994) Colheita e qualidade pos-colheita de frutos. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, 7:8-18.
- Coelho, E. M., Azevêdo, L. C., Viana, A. C., Ramos, I. G., Gomes, R. G., Lima, M. S., Umsza-Guez, M. A. (2017a) Physico-chemical properties, rheology and degree of esterification of passion fruit (*Passiflora edulis f. Flavicarpa*) peel flour. *Journal of the Science of Food and Agriculture*.
- Coelho, E. M., Gomes, R. G., Machado, B. A. S., Oliveira, R. S., Lima, M. S., Azevêdo, L. C., Guez, M. A. U. (2017 b) Passion fruit peel flour—Technological properties and application in food products. *Food Hydrocolloids*, v. 62, p. 158-164.
- Da Silva, F. C., Guimarães, D. H. P., Gasparetto, C. A. (2005) Reologia de suco de acerola: efeitos da concentração e temperatura. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 25:121-126.
- Diniz, M. D. M. S. (2009) *Caracterização do comportamento reológico e determinação de propriedades termofísicas de polpa de manga Ubá*. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)- Viçosa-MG, Universidade Federal de Viçosa-UFV, 87p.

- Evageliou, V., Richardson, R. K., Morris, E. R. (2000) Effect of pH, sugar type and thermal annealing on high-methoxy pectin gels. *Carbohydrate Polymers*, 42:245–259.
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2012) Tropical Fruits Compendium. Fifth session by Committee on Commodity Problems Intergovernmental Group on Bananas and Tropical Fruits: Yaoundé/Cameroon.
- FAO. Expert Committee on Food Additives, FAO JECFA. (2007) Monograph 4. Compendium of Food Additives Specifications. Pp. 34. Rome: Food and Agricultural Organization of the United Nations.
- Ferreira, G. M., Queiroz, A. J. M., Conceição, R. S., Gasparetto, C. A. (2002) Efeito da temperatura no comportamento reológico das polpas de caju e goiaba. *Revista Ciências Exatas e Naturais*, 4:175-184.
- Fertonani, H. C. R., Scabio A., Carneiro E. B. B., Canteri-Schemin M. H., Nogueira, A., Wosiacki G. (2009) Extraction model of low methoxyl pectin from apple pomace effects of acid concentration and time on the process and the product. *Brazilian archives of biology and technology*, 52:177-185.
- Figueiredo D. A. F., Pordeus, L. C. M., Paulo L. L., Braga, R. M., Fonseca D. V., Sousa, B. S., Costa, M. J. C., Goncalves, M. C. R., Oliveira, K. H. D. (2016) Efeitos da farinha de casca de Passiflora edulis sobre a ingestão alimentar, peso corporal e resposta comportamental de ratos . *Braz J Pharmacogn*, 26:595-600.
- Filisetti-Cozzi, T. M. C. C., Carpita, N. C. (1991) Measurement of uronic acid without interference for neutral sugars. *Analytical Biochemistry*, 197:157-162.
- Fishman, M. L., Chau, H. K., Hoagland, P., Ayyad, K. (2000) Characterization of pectin, flash-extracted from orange albedo by microwave heating, under pressure. *Carbohydrate Research*, 323:126-138.
- Fissore, E. N., Ponce, N. M. A., Pla, M. E., Stortz, C. A., Rojas, A. M., Gerschenson, L. N. (2010) Characterization of Acid-Extracted Pectin-Enriched Products Obtained from Red Beet (*Beta vulgaris* L. var. *conditiva*) and Butternut (*Cucurbita moschata* Duch ex Poiret). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58:3793-3800.
- Fraeye, I., Doungla, D., Duvetter, T., Moldenaers, P., Loey, A. V., Hendrickx, M. (2009) Influence of intrinsic and extrinsic factors on rheology of pectin–calcium gels. *Food Hydrocolloids*, 28:2069-2077.
- Fraeye, I., Duvetter, T., Doungla, E., Van Loey, A., Hendrickx, M. (2010) Fine-tuning the properties of pectinecalcium gels by control of pectin fine structure, gel composition and environmental conditions. *Trends in Food Science & Technology*, 21: 219-228.
- França, A. E. S., Damasceno, J. L. M., Coimbra, C. G. O. (2016) *Produção de filmes comestíveis à base de celulose e pectina de maracujá para aplicação em*

alimentos. TCC (Graduação em Farmácia), Caruaru- PE, Centro Universitário Tabosa de Almeida.

- Guo, X., Han, D., Xi, H., Rao, L., Liao, X., Hu, X., Wu, J. (2012) Extraction of pectin from navel orange peel assisted by ultra-high pressure, microwave or traditional heating: A comparison. *Carbohydrate Polymers*, 88:441-448.
- Haminiuk, C. W. I., Sierakowski, M. R., Izidor, D. R., Maciel, G. M., de Paula Scheer, A., Masson, M. L. (2009). Comportamento reológico de sistemas pécticos de polpas de frutas vermelhas. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 29:225-231.
- Hosseini, S. S., Khodaiyan, F., Yarmand, M. S. (2016) Optimization of microwave assisted extraction of pectin from sour orange peel and its physicochemical properties. *Carbohydrate polymers*, 140:59-65.
- Iagher, F., Reicher, F., Ganter, J.L.M.S. (2002) Structural and rheological properties of polysaccharides from mango (*Mangifera indica* L.) pulp. *International Journal of Biological Macromolecules*, 31:9-17.
- Iglesias, M. T., Lozano, J. E. (2004) Extraction and characterization of sunflower pectin. *Journal of Food Engineering*, 62:215–223.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Banco de dados agregados. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. [2016]. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457#resultado>>. Acesso em: 13 de dezembro de 2017.
- Kar, F., Arslan, N. (1999) Effect of temperature and concentration on viscosity of orange peel pectin solutions and intrinsic viscosity–molecular weight relationship. *Carbohydrate polymers*, 40:277-284.
- Kastner, H., Einhorn-Stoll, U., Senge, B. (2012) Structure formation in sugar containing pectin gels – Influence of Ca²⁺ on the gelation of low-methoxylated pectin at acidic pH. *Food Hydrocolloids*, 27:42-49.
- Kastner, H., Einhorn-Stoll, U., Senge, B. (2012) Structure formation in sugar containing pectin gels - Influence of Ca²⁺ on the gelation of low-methoxylated pectin at acidic pH. *Food Hydrocolloids*, 27:42-49.
- Kim, Y., Wicker, L. (2009) Valencia PME isozymes create charge modified pectins with distinct calcium sensitivity and rheological properties. *Food Hydrocolloids*, 23:957-963.
- Kishore, K., Pathak, K. A., Shuklar, R., Bhar, R. (2011) Effect of storage temperature on physic-chemical and sensory attributes of purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims). *Journal Food Scienci Technology*, 48:484-488.
- Kliemann, E. (2006) *Extração e caracterização da pectina da casca do maracujá-amarelo (passiflora edulis flavicarpa)*. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Florianópolis-SC, Universidade Federal de Santa Catarina-UFES, 74p.

- Kliemann, E., Simas, K. N., Amante, E. R., Prudêncio, E. S., Teófilo, R. F., Ferreira, M. M. C., Amboni, R. D. M. C. (2009) Optimisation of pectin acid extraction from passion fruit peel (*Passiflora edulis flavicarpa*) using response surface methodology. *International Journal of Food Science and Technology*, 44:476-483.
- Klinchongkon, K., Khuwijitjaru, P., Adachi, S. Properties of subcritical water-hydrolyzed passion fruit (*Passiflora edulis*) pectin. (2018) *Food Hydrocolloids*, 74: 72-77.
- Koubala, B. B., Kansci, G., Mbome, L. I., Crépeau, M. J., Thibault, J. F., Ralet, M. C.(2008) Effect of extraction conditions on some physicochemical characteristics of pectins from “Améliorée” and “Mango” mango peels. *Food Hydrocolloids*, 22:1345-1351.
- Kulkarni, S. G., Vijayanand, P. (2010) Effect of extraction conditions on the quality characteristics of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* L.). *LWT-Food Science and Technology*, 43:1026-1031.
- Lago, C. C., Bernstein, A., Brandelli, A. (2011) Estudo do comportamento reológico, da atividade de água e do ponto de início de congelamento do suco de yacon (*Smallanthus sonchifolius*) a diferentes concentrações. *Brazilian Journal of Food Technology*,14:1-9.
- Liang, R-H., Chen, J., Liu, W., Liu, C-M., Yu, W., Yuan, M., Zhou, X-Q. (2012) Extraction, characterization and spontaneous gel-forming property of pectin from creeping fig (*ficus pumila* linn.) seeds. *Carbohydrate Polymers*, London,87:76–83.
- Liaotrakoon, W., buggenhout, S. V., Christiaens, S., Houben, K., Clercq, N., dewettinck, K., Hendricky, M. E. (2013) An explorative study on the cell wall polysaccharides in the pulp and peel of dragon fruits (*Hylocereus* spp.). *European Food Research and Technology*, 237:341-351.
- Liew, S. Q., Chin, N. L., Yusof, Y. A. (2014) Extraction and characterization of pectin from passion fruit peels. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2:231-236.
- Liew, S. Q., Chin, N. L., Yusof, Y.A., Sowndhararajan, K. (2015) Comparison of acidic and enzymatic pectin extraction from passion fruit peels and its gel properties. *Journal of Food Process Engineering*, 39:501-511.
- Liew, S. Q., Ngoh, G. C., Yusoff, R., Teoh, W. H. (2018) Acid and Deep Eutectic Solvent (DES) extraction of pectin from pomelo (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) peels. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 13:1-11.
- Linares-garcía, J. A., Ramos-Ramírez, E. G., Salazar-Montoya, J. A. (2015) Viscoelastic properties and textural characterisation of high methoxyl pectin of hawthorn (*Crataegus pubescens*) in a gelling system. *International Journal of Food Science & Technology*, 50:1484-1493.

- Liu, Y., Shi, J., Langrish, T. A. G. (2006) Water-based extraction of pectin from flavedo and albedo of orange peels. *Chemical Engineering Journal*, 120: 203-209.
- Löfgren, C., Walkenström, P., Hermansson, A.-M. (2002) Microstructure and Rheological Behavior of Pure and Mixed Pectin Gels. *Biomacromolecules*, 3: 1144-1153.
- López-Vargas, J. H., Fernández-López, J., Pérez-Álvarez, J. A, VIUDA-MARTOS, M. (2013) Chemical, physico-chemical, technological, antibacterial and antioxidant properties of dietary fiber powder obtained from yellow passion fruit (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*) co-products. *Food Research International*, 51:756-763.
- Maran, J. P., Sivakumar, V., Thirugnanasambandham, K., Sridhar R. (2014) Microwave assisted extraction of pectin from waste *Citrullus lanatus* fruit rinds. *Carbohydrate Polymers*, 101:786-791.
- Marques, S. D. F., Tibbonati R. M. F., Sabaa-Srur, A. U. O., Luo, R. S., Shejwalkar, P., Hara, K., Dobbs, T., Smith, R. E. (2016) Evaluation of the effects of passion fruit peel flour (*Passiflora edulis* fo. *flavicarpa*) on metabolic changes in HIV patients with lipodystrophy syndrome secondary to antiretroviral therapy. *Braz J Pharmacogn*, 26: 420-426.
- Mesbahi, G., Jamalian, J., Farahnaky, A. A (2005) Comparative study on functional properties of beet and citrus pectins in foods systems. *Food Hydrocolloids*, 19:731-738.
- Migliori, M., Gabriele, D., Checchetti, A., Battipede, B. (2010) Compatibility analysis of pectin at different esterification degree from intrinsic viscosity data of diluted solutions. *Reactive and Functional Polymers*, Amsterdam, 70:863–867.
- Morales-Contreras, B. E., Contreras-Esquivel, J. C., Wicker, L., Ochoa-Martínez, L. A., Morales-Castro, J. (2017) Husk Tomato (*Physalis ixocarpa* Brot.) Waste as a Promising Source of Pectin: Extraction and Physicochemical Characterization. *Journal of food science*, 82:1594-1601.
- Moura, F. A., Macagnan, F. T., Santos, L. R., Bizzani, M., Petkowicz, C. L. O., Silva, L. P. (2017) Characterization and physicochemical properties of pectins extracted from agroindustrial by-products. *Journal of food science and technology*, 54:3111-3117.
- Nascimento, G. E., Simas-tosin, F. F., Iacomini, M., Gorin, P. A. J., Cordeiro, L. M. C. (2016) Rheological behavior of high methoxyl pectin from the pulp of tamarillo fruit (*Solanum betaceum*). *Carbohydrate Polymers*, 139:125-130.
- Oliveira, A. N. (2013) *Pectinas de casca de manga (Mangífera índica L.) cv. Ubá: Otimização da extração, caracterização físico-química e avaliação das propriedades espessantes e gelificantes*. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Viçosa-MG, Universidade Federal de Viçosa-UFV, 174p.

- Oliveira, C. F. (2015) *Aplicação de diferentes tecnologias na extração de pectina presente na casca do maracujá*. Tese (Doutorado em Engenharia)- Porto Alegre- RS, Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS, 175 p.
- Oliveira, C. F., Giordani, D., Lutckemier, R., Gurak, P. D., Claderaoliveira, F., Marczak, L. D. F. (2016) Extraction of pectin from passion fruit peel assisted by ultrasound. *LWT-Food Science and Technology*, 71: 110-115.
- Oliveira, C. F., Gurak, P. D., Cladera-Oliveira, F., Marczak, L. D. F., Karwe, M. (2016a) Combined Effect of High-Pressure and Conventional Heating on Pectin Extraction from Passion Fruit Peel. *Food and Bioprocess Technology*, 9:1021-1030.
- Oliveira, E. M. S., Resende, E. D. (2012) Yield of albedo flour and pectin content in the rind of yellow passion fruit. *Food Science and Technology*, 32:492-499.
- Oliveira, J. (2019) Extração e caracterização de pectina da farinha do Mesocarpo de babaçu. TCC (Graduação em Engenharia de Alimentos) - Rondônia-RO, Universidade Federal de Rondônia - UNIR, 174p.
- Oliveira, T. Í. S., Rosa, M. F., Cavalcante, F. L., Pereira, P. H. F., Moates, G. K., Wellner, N., Mazetto, S. E., WALDRON, K. W., Azeredo, H. M. C. (2016b) Optimization of pectin extraction from banana peels with citric acid by using response surface methodology. *Food chemistry*, 198: 113-118.
- Paiva, J. C. (2014) *Estudo químico de compostos pécticos obtidos dos frutos de Garcinia brasiliensis e avaliação de suas propriedades biológicas*. Dissertação (Mestrado em química), Alfenas- MG, Universidade Federal de Alfenas-UNIFAL, 79p.
- Petkowicz, C. L. O., Vriesmann, L. C., WILLIAMS, P. A. (2017) Pectins from food waste: Extraction, characterization and properties of watermelon rind pectin. *Food Hydrocolloids*, 65:57-67.
- Pinheiro, E.R., Silva, I.M.D.A., Gonzaga, L.V. Amante, E.R., Teófilo, R.F., Ferreira, M.M.C., Amboni, R.D.M.C. (2008) Optimization of extraction of high-ester pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis flavicarpa*) with citric acid by using response surface methodology. *Bioresource Technology*, 99: 5561-5566.
- Pires, M. M., Gomes, A.D.A.S., Midlej, M.M.B.C., São José, A.R., Rosado, P.L., Passos, H.D.B. (2011) Caracterização do mercado de maracujá. In: Pires, M. M., São José, A.R., CONCEIÇÃO, A. O. Maracujá: avanços tecnológicos e sustentabilidade. *Ilhéus, Editus*, p. 21– 67.
- Queiroz, A. J. M. (1998) Estudo do comportamento reológico dos sucos de abacaxi e manga. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos)- Campinas-SP, Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP, 170p.
- Ramos, A. M. (1997) *Caracterización reológica y transmisión de calor em derivados de frutas en el interior de tanques agitados*. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)- Lérida, Universidade de Lleida, 304p.

- Ramos, A. M., Ibarz, A. (2006) Comportamiento viscoelástico de pulpa de membrillo en función de la concentración de sólidos solubles. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 26:214-219.
- Ranganna, S. (1977) *Manual of analysis of fruit and vegetable products*. New Delhi: Tata McGraw Hill Publishing Company Limited, 634 p.
- Rao, M. A. (2010) *Rheology of fluid and semisolid foods: principles and applications*. 2° Edição, Springer Science & Business Media.
- Rodrigues, G. M., Silva, C. (2017) *Extração ácida da pectina da casca de maracujá assistida por ultrassom*. *E-xacta*, 10:45-52.
- Rodrigues, L. B. O. (2014) *Estudos reológicos e de textura dos géis de amido de araruta (Maranta arundinaceae L.) e dos géis adicionados de sacarose e concentrado protéico de soro*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos de Alimentos). Itapetinga- BA, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia-UESB, 69p.
- Round, A. N., Rigby, N. M., Macdougall, A. J., Ring, S. G., Morris, V. J. (2001) Investigating the nature of branching in pectin by atomic force microscopy and carbohydrate analysis. *Carbohydrate Research*.
- Santana, M. F. S. (2005) *Caracterização físico-química de fibra alimentar de laranja e maracujá*. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos)- Campinas – SP, Universidade Estadual de Campinas-UNICAMP. 188p.
- Santos, J. D. G., Espeleta, A. F., Branco, A., Assis, S. A. (2013) Aqueous extraction of pectin from sisal waste. *Carbohydrate Polymers*, 92:1997-2001.
- Santos, M. S., Petkowicz, C. L. O., Haminiuk, C. W. I., Cândido, L. M. B. (2010) Polissacarídeos Extraídos da Gabiroba (*Campomanesia xanthocarpa* Berg): Propriedades Químicas e Perfil Reológico. *Polímeros*, 20:352-358.
- Sato, A. C. K. (2009) *Reologia de suspensões-modelo= efeito da concentração de sólidos e da matriz dispersante*. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) Campinas- SP, Universidade Estadual de Campinas- UNICAMP, 169p.
- Sato, A. C. K., Oliveira, P. R., Cunha, R. L. Rheology of mixed pectin solutions. *Food Biophysics*, 3:100-109.
- Sayah, M. Y., Chabir, R., Benyahia, H., Rodi-Kandri, Y., Ouazzani-Chahdi, F., Touzani, H., Errachidi, F. (2016) Yield, esterification and molecular weight evaluation of pectins isolated from orange and grapefruit peels under different conditions. *PLoS One*. 11:0161751.
- Seixas, F.L., Fukuda, D.L., Turbiani, F.R.B., Garcia, P.S., Petkowicz, C.L. O., Jagadevan, S., Gimenes, M.L. (2014) Extraction of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) by microwave-induced heating. *Food Hydrocolloids*, 38:186-192.

- Silva, E. C. O., Silva, W. P., Silva, E. T., Lopes, J. D., Gusmão, R. P. (2016) Obtenção e caracterização da farinha do albedo de maracujá (*Passiflora edulis* f. *Flavicarpa*) para uso alimentício. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 11:69-74.
- Silva, S. R., Mercadante, A. Z. (2002) Composição de carotenóides de maracujá-amarelo. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 22:254-258.
- Smout, C., Sila, N. D., Truong, S. V., Ann, M. L., Loey, V. (2005) Effect of preheating and calcium pre-treatment on pectin structure and thermal texture degradation: a case study on carrots. *Journal of Food Engineering*, 64:419-425.
- Souza, F. G., Barbosa, F. F., Rodrigues, F. M. (2016) Evaluation of tamarind jelly without pectin and pectin from the albedo of yellow passion fruit. *Journal of bioenergy and food science*, 3:78-88.
- Steffe, J. F. (1996) *Rheological Methods in Food Process Engineering*. 2nd edition. East. Lansing -Freeman Press. 412p.
- Steffe, J. F. (1996) Rheological methods in food process engineering. *Michigan Press*, 482p.
- Talma, S. V. (2016) *Desenvolvimento do processo de separação e purificação do albedo para obtenção de novos produtos da casca do maracujá*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Universidade Federal do Norte Fluminense - UENF, Campos dos Goytacazes, 145p.
- Toneli, J. T. C. L., Murr, F. E. X., Park, K. J. (2005) Estudo da reologia de polissacarídeos utilizados na indústria de alimentos. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 7:181-204.
- Torrallbo, D. F., Batista, K. A., Di-Medeiros, M. C. B., Fernandes, K. F. (2012) Extraction and partial characterization of *Solanum lycocarpum* pectin. *Food Hydrocolloids*, 27:378-383.
- Vasco-Correa, J., Zapata, A. D. Z. (2017) Enzymatic extraction of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa*) at laboratory and bench scale. *LWT-Food Science and Technology*, 80:280-285.
- Venzon, S. S., Canteri, M. H. G., Granato, G., Junior, B. D., Maciel, G. M., Stafussa, A. P., Haminiuk, C. W. I. (2015) Physicochemical properties of modified citrus pectins extracted from orange pomace. *Journal of food science and technology*, 52:4102-4112.
- Vidal, J. R. M. B., Gasparetto, C. A., Grandin, A. (2000) Efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga. *Revista Ciências Exatas e Naturais*, 1:69-76.
- Vriesmann, L. C., Teófilo, R. F., Petkowicz, C. L. O. (2012) Extraction and characterization of pectin from cacao pod husks (*Theobroma cacao* L.) with citric acid. *Food Science and Technology*, 49:1-9.

- Vuolo, M. M. (2016) *Farinha da casca de maracujá amarelo (Passiflora Edulis): efeito no estresse oxidativo da obesidade e na proliferação de células tumorais*. TESE (Doutorado em Alimentos e Nutrição), Campinas- SP, Universidade Estadual de Campinas-Unicamp.
- Willats, W. G. T., Knox, J. P., Mikkelsen, J. D. (2006) Pectin: new insights into and old polymers are starting to gel. *Trends in Food Science & Technology*, 17:97-104.
- Yang, Y., Zhang, G., Hong, Y., Gu, Z., Fang, F. (2013) Calcium cation triggers and accelerates the gelation of high methoxy pectin. *Food Hydrocolloids*, 32:228-234.
- Yapo, B. M. (2009) Biochemical characteristics and gelling capacity of pectin from yellow passion fruit rind as affected by acid extractant nature. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57:1572-1578.
- Yuliarti, O., Matia-merino, I., Goh, K. K. T., Mawson, J., Williams, M. A. K., BRENNAN, C. (2015) Characterization of gold kiwifruit pectin from fruit of different maturities and extraction methods. *Food chemistry*, 166:479-485.
- Zaidel, D. N. A., Chronakis, I., Meyer, A. S. (2013) Stabilization of oil-in-water emulsions by enzyme catalyzed oxidative gelation of sugar beet pectin. *Food Hydrocolloids*, 30:19-25.