

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E ENGENHARIA DE
MATERIAIS

**COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE GÉIS DE MUCILAGEM DO CARÁ-ROXO
(*Dioscorea trifida*)**

CRISTYANA PONTES SENA

MANAUS – AM
2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E ENGENHARIA DE
MATERIAIS

**COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE GÉIS DE MUCILAGEM DO CARÁ-ROXO
(*Dioscorea trifida*)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ciências e Engenharia de Materiais, área de concentração em Biopolímeros.

CRISTYANA PONTES SENA

Orientador: Dr. Pedro Henrique Campelo Félix
Coorientador: Dr. Carlos Victor Lamarão

MANAUS - AM
2020

CRISTYANA PONTES SENA

**COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE GÉIS DE MUCILAGEM DO CARÁ-ROXO
(*Dioscorea trifida*)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Amazonas, como parte dos requisitos para obtenção do título de mestre em Ciências e Engenharia de Materiais, na área de concentração em Biopolímeros.

MANAUS - AM
2020



Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S474c Sena, Cristyana Pontes
Comportamento reológico de géis de mucilagem do Cará-roxo
(Dioscorea trifida) / Cristyana Pontes Sena . 2020
LVII f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Pedro Henrique Campelo Félix
Coorientador: Carlos Victor Lamarão Pereira
Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) -
Universidade Federal do Amazonas.

1. Viscosidade. 2. Curvas de escoamento. 3. Reologia. 4.
Tubérculos. 5. Amazônia. I. Félix, Pedro Henrique Campelo. II.
Universidade Federal do Amazonas III. Título

DEDICO
Aos meus pais Manoel Sena e Arleny Pontes.
E a minha família.

AGRADECIMENTOS

Inicio meus agradecimentos por DEUS, já que Ele colocou pessoas tão especiais ao meu lado, sem as quais certamente não teria dado conta! Obrigada, Universo. Nessa vida, acredito ser uma pessoa de sorte por receber tanta energia boa ao meu redor.

Aos meus pais, Arleny e Manoel, meu infinito agradecimento. Deram-me as melhores oportunidades e batalharam muito para que eu chegasse até aqui. Sempre acreditaram em minha capacidade e me acharam A MELHOR de todas, mesmo não sendo. Isso só me fortaleceu e me fez tentar não ser A MELHOR, mas a oferecer o melhor de mim. Obrigada pelo amor incondicional!

À minha irmã, Cristiany Sena, que sempre esteve disponível para me ajudar da forma que podia. Obrigada pelas mensagens, ligações, marmitas entregues, caronas e convites para sair quando a rotina ficava árdua. Obrigada pela irmã cuidadosa que és!

Aos Professores Dr. Pedro Campelo e Dr. Carlos Victor Lamarão, é claro, pois acreditaram em meu potencial mesmo eu achando que não conseguiria corresponder, no qual estiveram sempre disponíveis e dispostos a ajudar. Fizeram-me enxergar que não existem somente pesquisadores e resultados por trás de uma pesquisa, mas sim que existem vidas humanas, pois vocês não são somente orientador e co-orientador, mas, conselheiros, confidentes, e amigos. Vocês foram e são referências profissionais e pessoais para o meu crescimento. Obrigada por estarem ao meu lado e acreditarem tanto em mim!

À UNESP-IBILCE-SJRP, especialmente ao Laboratório de Medidas Físicas, pela parceria no desenvolvimento deste trabalho. Os meus sinceros agradecimentos ao Sungil Ferreira, Poliana Moser e Professora Vânia Nicoletti.

Aos meus amigos da vida: Thianne Silveira, Rafaela Ferreira, Sergimara Araújo, Rosane Cavalcante, Débora Barros, Bárbara Loren, Diana Brandão, Marcelo Schorno, Maikon Douglas e Rafael Cintra. Vocês tornam meus dias mais leves com ensinamentos, orientações e amizade, me ajudaram passivamente neste projeto. Eu sei que posso contar com vocês sempre!

Agradeço, também, à FAPEAM pelo apoio financeiro. Finalmente, gostaria de agradecer à Faculdade de Tecnologia, INPA, CBA, LABMAT e IFAM por abrirem as portas para que eu pudesse o realizar.

RESUMO

As mucilagens apresentam grande interesse na indústria alimentícia pela alternativa a produtos como óleos e gorduras, dentre outras vantagens, conferir maior textura ao alimento com maior valor nutricional. E os tubérculos têm sido estudados para tais aplicações por suas propriedades reológicas compatíveis para aplicações e valores nutricionais já conhecidos. Diante do exposto, este trabalho buscou investigar as mucilagens de cará-roxo em forma de géis para obter mais informações sobre suas propriedades reológicas e estruturais. O estado semissólido foi alcançado com adição de waxy maize, produto comercial composto basicamente por amilopectina. Foram estudadas diferentes adições de cará-roxo (1, 3 e 5%) na composição de géis de waxy maize e após tempos de confecção 0, 24, 48 e 72h. Os testes reológicos em estado estacionário mostram que os géis apresentam comportamentos pseudoplásticos sendo adequados para os ajustes aos modelos matemáticos de Lei da Potência e Herschel-Bulkley. As composições de 3 e 5% de cará-roxo apresentaram viscosidades aparentes superiores ao gel apenas composto por waxy maize. Com o estudo de tempo, verificou-se que no tempo 0h os géis apresentam resistências ao cisalhamento semelhantes, mas após 72h os géis a 3 % atingiram níveis de viscosidades aparentes de 1500 Pa.s. Os comportamentos nesse estudo foram similares ao waxy maize puro e a mucilagem 1%. Pelas caracterizações de FTIR e DRX, pode-se verificar que os géis de cará-roxo possuem amilose e amilopectina, e mudaram suas cristalinidades com as mudanças de composições. Pelas curvas de RVA, notou-se níveis elevados de viscosidade de pico nas concentrações de 3 e 5% de cará-roxo, e nesta observou-se uma modificação do comportamento da curva. As mudanças ocorridas foram atribuídas às modificações das quantidades de amilose e amilopectina, assim como das diminuições das cristalinidades.

Palavras-chave: Viscosidade, curvas de escoamento, Reologia, Tubérculos.

ABSTRACT

Mucilages are of great interest in the food industry for alternating life with products such as oils and fats, among other advantages. And tubers have been studied for such applications because of their shared rheological properties for applications and nutritional values already known. In this work, the mucilages of cará-roxo in the form of gels were investigated. The semi-solid state was achieved with the addition of waxy maize, a commercial product basically composed of amylopectin. Different additions of cará-roxo (1, 3 and 5%) were studied in the composition of waxy maize gels and after preparation times 0, 24, 48 and 72h. The rheological tests in steady state show that the gels present pseudoplastic behaviors being suitable for the adjustments the mathematical models of Law of Power and Herschel-Bulkley. The compositions of 3 and 5% of cará-roxo showed apparent viscosities higher than the gel composed only of waxy maize. With the time study, it was found that at 0h the gels show shear strengths similar to the constant deformation rates, but after 72h the 3% gels reached apparent viscosity levels of 1500 Pa.s. The behaviors in this study were similar in pure waxy maize and 1% mucilage. By the characterizations of FTIR and XRD, it can be verified that the gels of purple yam have amylose and amylopectin that changed their crystallinities with the changes in compositions. Due to the RVA curves, the waxy maize paste has improved its paste properties, leading to a high level of peak viscosity in the concentrations of 3 and 5% of purple yam, the latter being a modification of the behavior of the RVA curve. The changes that occurred were attributed to changes in the amounts of amylose and amylopectin, as well as decreases in crystallinity.

Keywords: Viscosity, Flow curves, Rheology, Tubers.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Imagem fotográfica do cará-roxo.....	13
Figura 2 - Fórmulas estruturais das macromoléculas do amido.....	16
Figura 3 - Classificação dos fluidos	21
Figura 4 - Medida de RVA para amostra de amido.....	26
Figura 5- Processo de extração de mucilagem de cará- roxo.....	28
Figura 7- Imagem fotográfica do Reômetro AR-2000EX	31
Figura 8 - Tensão de cisalhamento vs taxa de deformação das amostras de CR 1%, CR 3%, CR 5% e WM	34
Figura 9 - Viscosidade aparente dos géis de waxy maize e cará-roxo em diferentes concentrações e, em destaque, região de média taxa de deformação	36
Figura 10 - Viscosidade aparente em função do tempo com taxas constantes de deformação (0,01, 10 e 0,01) de WM5% em (a) 0h, (b) 24 h, (c) 48 h e (d) 72 h..	37
Figura 11- Viscosidade aparente em função do tempo com taxas constantes de deformação (0,01, 10 e 0,01) de CR1% em (a) 0h, (b) 24 h, (c) 48 h e (d) 72 h...	38
Figura 12 - Viscosidade aparente em função do tempo com taxas constantes de deformação (0,01, 10 e 0,01 s ⁻¹) de CR3% em (a) 0h, (b) 24 h, (c) 48 h e (d) 72 h	39
Figura 13 - Viscosidade aparente em função do tempo com taxas constantes de deformação (0,01, 10 e 0,01 s ⁻¹) de CR5% em (a) 0h, (b) 24 h, (c) 48 h e (d) 72 h	40
Figura 14 - Viscosidade aparente em função do tempo com taxa constante de deformação no terceiro estágio 0,01 s ⁻¹ dos géis nas diferentes concentrações, em (a) 0h, (b) 24 h, (c) 48 h e (d) 72 h	41

Figura 15 - Curvas de RVA da pasta de waxy maize com adição de cará-roxo...	43
Figura 16 - Espectros de FTIR das amostras de waxy maize e cará-roxo na formulação de gel	45
Figura 17 - Difratoograma de DRX das amostras de Waze Maize e cara-roxo na formulação de gel	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Caracterização da fécula de cará (<i>Dioscorea</i> sp.).....	15
Tabela 2 - Formalismo matemático dos modelos reológicos.....	23
Tabela 3- Formulação das soluções para o preparo de géis de cará-roxo.....	Erro!
Indicador não definido.	
Tabela 4 - Formulação e tratamento das amostras das análises de DRX.....	Erro!
Indicador não definido.	
Tabela 5- Formulação e tratamento das amostras das análises de FTIR	Erro!
Indicador não definido.	
Tabela 6- Parâmetros estimados pelos modelos reológicos (Newtoniano, Ostwald-De-Walle ou Lei da Potência e Herschel-Bulkley) para géis de cará-roxo em diferentes concentrações e Waxy Maize nos testes realizados em estado estacionário	35
Tabela 7- Propriedades obtidas das curvas de RVA para pasta de waxy maize com inserção de diferentes percentuais de cará-roxo.....	44

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

RVL	Região de Viscosidade Linear
ν	Viscosidade
Pa	Pascal
N	Índice de comportamento
τ_0	Limite de escoamento
t	Tempo
R	Constante universal dos gases
CR	Cará-roxo
WM	Waxy maize
FTIR	Fourier-Transform Infrared Spectroscopy
DRX	Difração de Raios x
RVA	Rapid Visco-Analyzer
Tp	Temperatura da pasta
p/p	Peso por peso

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2.	OBJETIVOS	12
2.1	Objetivo geral	12
2.2	Objetivos específicos	12
3.	REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1	<i>Dioscorea trifida</i>	13
3.2	Amido	15
3.3	Mucilagem	17
3.4	Reologia	18
3.4.1	Classificação reológica dos fluidos	20
3.4.2	Modelos reológicos para fluidos pseudoplásticos	22
3.5	Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)	24
3.6	Difração de Raios X (DRX)	24
3.7	Analisador rápido de viscosidade (RVA, Rapid Visco-Analyzer)	25
4	METODOLOGIA	27
4.1	Materiais	27
4.2	Extração da mucilagem de cará-roxo	27
4.3	Preparação das amostras	28
4.3.1	Preparação das amostras para os testes reológicos	28
4.3.2	Preparação das amostras para análise de DRX	29
4.3.3	Preparação das amostras para análise de FTIR	30
4.4	Testes reológicos	30
4.4.1	Cisalhamento estacionário	31
4.5	Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier - FTIR	31
4.6	Difração de Raios x – DRX	31
4.7	Perfil viscoamilográfico (RVA)	32
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1	Ensaio reológicos	33
5.1.1	Análises das curvas de escoamentos em estado estacionário	33
5.1.2	Estudo do tempo em regime estacionário	36
5.2	Análise de Perfil viscoamilográfico (RVA)	42
5.1	Análise de FTIR	45
5.2	Análise de DRX	46

6. CONCLUSÃO	48
7. REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

O cará ou inhame pertence à família *Dioscoreaceae*, gênero *Dioscorea* e possui aproximadamente 600 espécies, das quais cerca de 50 são cultivadas para alimentação humana. Esse gênero, por sua vez, abrange a espécie *Dioscorea trifida*, popularmente conhecido na região Norte/Nordeste do Brasil como “cará-roxo”, nome associado à sua forte coloração roxa (REIS *et al.*, 2010 e FALADE; AYETIGBO, 2015).

O cará-roxo é muito comercializado no país, sobretudo nos estados da Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Bahia e Maranhão. Constitui um negócio agrícola muito promissor, tendo em vista a excelente qualidade nutritiva e energética de suas tubéras, bem como sua utilidade na alimentação humana (MONTEIRO; PERESSIN, 2002).

Sua recomendação na alimentação se deve, principalmente, ao seu tubérculo rico em carboidratos, especialmente, o amido, que é a principal reserva energética dos vegetais. Ainda do ponto de vista nutricional, possuem apreciáveis teores de proteínas, minerais (fósforo, cálcio e ferro), vitaminas do complexo B (tiamina, riboflavina, niacina), vitamina A e C, e baixos teores de gorduras (HEREDIA - ZÁRATE; VIEIRA, 2002; HUANG *et al.*, 2007 e OLIVEIRA *et al.*, 2007). E dele, pode se obter um material de interesse na indústria de alimentos, a mucilagem.

A mucilagem é uma substância gomosa encontrada nos vegetais (COLACASIA, 2005). Do ponto de vista físico, é um sistema coloidal líquido, liofílico, sendo, portanto, um hidrogel. Quimicamente, são constituídas por água, pectinas, açúcares e ácidos orgânicos (PATTEN *et al.*, 2010). Utiliza-se na indústria de alimentos, quando combinadas a glicosídeos, pela característica da formação de um tipo de gel que possibilita espessar e modificar a textura dos alimentos.

Diante do exposto, este trabalho buscou caracterizar o gel de mucilagem de cará-roxo através de estudos estruturais e reológicos com intuito de obter informações do material para possíveis aplicações na indústria.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Estudar o comportamento reológico e estrutural de géis de mucilagem do cará-roxo (*Dioscorea trifida*).

2.2 Objetivos específicos

- Estudar o comportamento reológico de géis de cará-roxo nas concentrações de 1%, 3% e 5% (p/p) nos tempos: 0h, 24h, 48h e 72h a 25°C através de ensaios reológicos de cisalhamento em estado estacionário;
- Verificar o modelo reológico mais adequado para o comportamento dos materiais de estudo;
- Estudar o comportamento reológico de géis de waxy maize a 5% (p/p) nos tempos: 0h, 24h, 48h e 72h a 25°C;
- Correlacionar os resultados obtidos nas caracterizações reológicas dos géis de cará-roxo e waxy maize em diferentes concentrações e tempo;
- Verificar a influência dos waxy maize nas propriedades da mucilagem por RVA;
- Caracterizar estruturalmente os materiais por FTIR e DRX.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 *Dioscorea trifida*

O cará-roxo, Figura 1, é uma espécie que foi domesticada pelos ameríndios com a distribuição dos cultivares indicando, possivelmente, uma domesticação nas áreas limítrofes do Brasil e das Guianas, seguida por disseminação pelo Caribe (PEDRALLI *et al.*, 2002; PEDRALLI, 2004; PATTEN *et al.*, 2010; DE CASTRO *et al.*, 2012).

Figura 1- Imagem fotográfica do cará-roxo



Fonte: Teixeira, 2011.

Suas túberas possuem alta qualidade nutritiva e apresentam na sua composição, carboidratos, proteínas, sais minerais e vitaminas. Também lhes são atribuídas propriedades antimicrobianas, diuréticas e energizantes, o que permite seu uso no combate à desnutrição, à diabetes e à redução de colesterol (RAMOS-ESCUREDO *et al.*, 2010). Apesar de suas túberas serem bastante utilizadas na culinária brasileira, esta espécie não tem sido muito utilizada para o cultivo comercial em grande escala, mesmo que seja encontrada no mercado de alguns estados brasileiros como Amazonas, São Paulo, Santa Catarina e Mato Grosso (VEASEY *et al.*, 2010).

Assim, o cará-roxo é uma excelente cultura que se desenvolve bem nas condições de agrossistemas de terra-firme, sendo observado seu cultivo em larga escala pelos agricultores familiares do baixo Solimões como principal fonte de renda e subsistência para a agricultura familiar (NASCIMENTO, 2016). No município de Caapiranga que está a 147 km de distância da capital do Amazonas, teve uma produção estimada de 780 toneladas em 2011 (MELO, 2016).

Segundo a FAO, em 2014 a produção mundial de inhame foi estimada em 68 milhões de toneladas, sendo que aproximadamente 96,1% da referida produção foi cultivada no continente africano, tendo a Nigéria como maior produtor mundial desse tubérculo. Constitui-se como um negócio agrícola muito promissor, tendo em vista a excelente qualidade nutritiva e energética de suas túberas, bem como sua grande utilidade na alimentação humana (MONTEIRO; PERESSIN, 2002 e SANTOS, 2016).

Dentro desse contexto, estudos realizados na China descrevem que a presença de componentes fisiologicamente ativos, tais como polissacarídeos, saponinas e mucinas no cará-roxo podem ser utilizados como antitussígeno, antidiarréico e hipoglicêmico, por apresentarem efeitos satisfatórios do produto em pó liofilizado e, também, agem como um bom anti-inflamatório natural (MIYOSHI *et al.*, 2011 e PARK *et al.*, 2013). Outros estudos apontam seu uso na produção de filmes biodegradáveis e de frutose para adoçantes, considerando o gosto agradável e bom rendimento (TAMIRU *et al.*, 2008 e MALI *et al.*, 2010).

Com isso, cerca de 80 a 100g de matéria seca de raízes e tubérculos é composta de hidratos de carbono que consistem, principalmente, de amido, mucilagem e açúcares. Por essas características, são importantes como ingredientes numa variedade de alimentos processados e na fabricação de papel (KIM *et al.*, 1995; HUANG *et al.*, 2007).

Na composição do cará, o componente majoritário é o amido (75,6 a 84,3%), e os demais são algumas proteínas (1 a 4%), pequenas frações de lipídeos, fibras (1 a 3%), vitaminas do complexo B (tiamina e niacina) e vitamina A. O teor de vitamina C nesse tubérculo varia de 13,0 a 24,7mg/100g (WANASUNDERA; RAVINDRAN, 1994; PACHECODELAHAYE *et al.*, 2008; MUSA e MARANGON, 2012). Tal fato pode ser observado na Tabela 1 (OLIVEIRA *et al.*, 2002).

Tabela 1- Caracterização da fécula de cará-roxo

Análises	mg/100g
Amido	83,06
Açúcar redutor	0,11
Proteína	0,09
Lipídeos	0,10
Cinzas	0,22
Fósforo	0,022
Amilose % amido	23,65
Tamanho dos grânulos (μm)	13-18
Forma dos grânulos	Elipsoide e ovoide

Fonte: Cereda *et al.*, 2002.

Destarte, o amido do cará-roxo tem menor grânulo, o que torna um agente ideal de enchimento em plásticos biodegradáveis e talcos. Além de possuir potencial espessante e agente de gelificação em alimentos, se comparado ao amido de batatas e de mandioca, estes já são mais comumente utilizados para este fim (BRUNNSCHWEILER *et al.*, 2005; JAYAKODY *et al.*, 2007).

As raízes e os tubérculos tropicais contêm, geralmente, diferentes níveis de mucilagem. Esta, exibe propriedade reológica única com potencial considerável como um espessante alimentar e estabilizante (FEDENIUK; BILIADERIS, 1994). A viscosidade do gel do amido torna possível modificar a textura de alimentos e de bebidas, possuindo aplicação em produtos de panificação, fabricação de diversos doces.

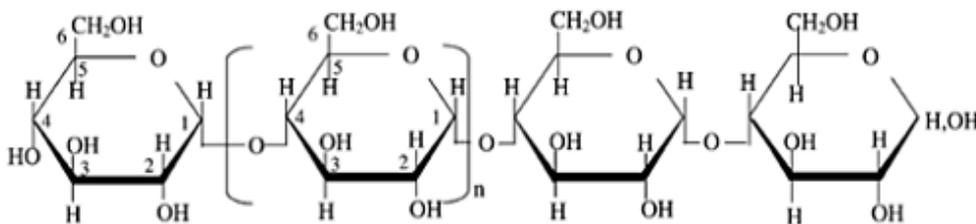
Considerado, ainda, ingrediente funcional em produtos como sopas instantâneas, pudins, balas, produtos em pó a base de carne e de peixe. É utilizado como: agente ligante na fabricação de embutidos; em grande variedade de produtos com baixo teor de gorduras; aplicação nas indústrias de papel e têxtil. Nas indústrias farmacêuticas, pode ser utilizado como estabilizador de emulsões e pomadas (HOW *et al.*, 2002 e TAVARES *et al.*, 2011).

3.2 Amido

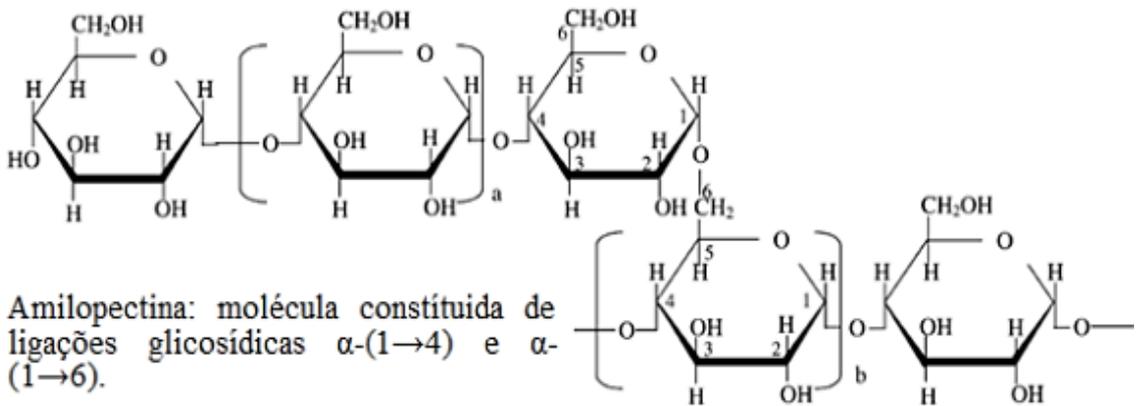
O amido é um polissacarídeo essencialmente constituído pelos biopolímeros amilose e amilopectina. A amilose, parcialmente solúvel em água, corresponde

entre 20 a 30% da massa molar dos grânulos de amido, enquanto que a amilopectina, insolúvel em água, corresponde de 70 a 80% da massa molar. Apesar desta última ser insolúvel em água fria, possui a propriedade de inchar na fase aquosa para produzir suspensão quando submetida a altas temperaturas (TESTER; KARKALAS, 2012). As estruturas químicas desses dois biopolímeros estão presentes na Figura 2.

Figura 2 - Fórmulas estruturais das macromoléculas do amido



Amilose: molécula linear constituída de ligações glicosídicas α -(1 \rightarrow 4) que podem conter poucas ramificações com ligações glicosídicas α -(1 \rightarrow 6).



Amilopectina: molécula constituída de ligações glicosídicas α -(1 \rightarrow 4) e α -(1 \rightarrow 6).

Fonte: Adaptado de Tester e Karkalas (2012).

Quimicamente, a amilose é definida como uma molécula linear de ligações intramoleculares α -(1 \rightarrow 4) entre unidades de α -D-glicopiranosil, podendo apresentar algumas ramificações com ligações α -(1 \rightarrow 6), que estão separadas por distâncias que permitam que essas moléculas se organizem de forma linear, não alterando significativamente suas características como massa molar e capacidade de se complexar com o iodo, álcoois ou lipídios (BULÉON *et al.*, 1998).

Essa macromolécula possui conformação helicoidal devido às cadeias de α -D-glicose que costumam enrolar-se em espiral, constituindo uma estrutura na qual a hélice é formada por ligações de hidrogênio entre os grupos hidroxilas. Seu interior

apresenta caráter hidrofóbico e seu exterior, caráter hidrofílico devido aos grupos hidroxilas (PEAT *et al.*, 1952).

Já a amilopectina apresenta-se em forma de uma cadeia principal (cadeia C), que carrega o grupo redutor da molécula e numerosas cadeias ramificadas denominadas A e B, definido por Peat, Thomas e Whelan (1952). O tipo A é constituído por uma cadeia não redutora de glicoses unidas por ligações α -(1→4) sem ramificações, sendo unida a uma cadeia tipo B por meio de ligações α -(1→6). As cadeias do tipo B são compostas por glicoses ligadas em α -(1→4) e α -(1→6), possuindo uma ou várias cadeias tipo A e podem conter cadeias tipo B unidas por meio de um grupo hidroxila primário. A cadeia C é única em uma molécula de amilopectina, tendo ligações α -(1→4) e α -(1→6), com grupamento terminal redutor (PEAT *et al.*, 1952; BULÉON *et al.*, 1998 e DENARDIN; SILVA, 2009).

O amido pode ser classificado de acordo com a estrutura dos seus cristais: os de cereais, tipo A; os de tubérculos, tipo B; e os provenientes de legumes, tipo C. Sabe-se que os amidos do tipo C consistem em uma mistura entre os tipos A e B (ELIASSON, 2004), sendo importante que não se confunda a denominação dada às cadeias da amilopectina e os tipos de amido.

Na indústria de alimentos, o amido é geralmente utilizado como agente espessante, geleificante, estabilizante, emulsificante, encapsulante e substituto de gordura. Para atingir todas essas funcionalidades, os grânulos de amido passam por alguns fenômenos físicos, tais como: gelificação (perda da estrutura semicristalina, passando para um estado amorfo); formação de pasta (quando a dispersão aquosa de amido é submetida ao aquecimento, desenvolvendo assim um aumento na sua viscosidade); obtenção do gel (formação de uma rede estruturada) (SJOO; NILSSON, 2017).

3.3 Mucilagem

Para fins industriais do inhame, a mucilagem contida no tubérculo representa um grande interesse tecnológico. Esta faz parte da composição da fibra que se encontra nesses tubérculos. Dessa forma, pode ser entendida como uma substância gomosa encontrada nos vegetais (COLACASIA, 2008).

A mucilagem de inhame confere propriedades funcionais para produtos, tanto na indústria alimentícia como na farmacêutica. As suas propriedades de viscosidade e de emulsão possibilitam ampla aplicação. A viscosidade de seu gel torna possível

espessar e modificar a textura do alimento, sendo aplicada em confecção de geleias, produtos de panificação, fabricação de diversos doces. Nas indústrias farmacêuticas, para correção de palatabilidade dos fármacos e como estabilizador de emulsões e de pomadas (HOU *et al.*, 2002).

Muitos estudos têm como objetivo a extração da mucilagem para aplicação em algum processamento de alimentos. Muños *et al.* (2012) estudaram a extração da mucilagem e a hidratação da semente de chia. A extração foi testada em diferentes condições de pH e temperatura e proporções entre semente e água. O melhor rendimento foi obtido na proporção de 1:40, a 80°C e pH 8, após um período de duas horas de hidratação, com valor de 7% de rendimento (matéria seca).

As propriedades reológicas e a cinética de gelatinização de amidos de inhame e de mandioca foram investigadas através de reologia oscilatória com baixa amplitude de deformação por Freitas *et al.* (2004). O amido em questão apresentou um processo de gelatinização definido, tendo elevada energia de ativação e obtendo em um gel mais forte em relação ao amido de mandioca, o que foi atribuído ao maior teor de amilose do amido de inhame.

3.4 Reologia

O termo reologia (rheo – deformação; logia – ciência) significa o estudo do escoamento dos fluidos, ou seja, é a ciência que se preocupa com a descrição das propriedades mecânicas dos vários materiais sobre diferentes condições de deformações, quando eles exibem a capacidade de escoar e/ou acumular deformações reversíveis (NAVARRO, 1997).

A reologia é uma ciência, citada pela primeira vez em 1928 por Eugene C. Bigham, que estuda o escoamento e a deformação de materiais. As determinações reológicas permitem, assim, obter informações sobre a forma como um determinado material reage quando sujeito a uma solicitação de caráter mecânico, ou seja, a expressão da sua estrutura que resulta, por sua vez, da sua composição química, das diferentes interações entre os seus vários componentes e do processamento a que foi submetido (CASTRO, 2003).

Steffe (1996) sugeriu que a reologia é a ciência dos materiais em alimentos. De acordo com o autor, podem-se destacar diversas áreas na indústria de alimentos nas quais o conhecimento dos dados reológicos é essencial:

a) Cálculos em engenharia de processos, envolvendo grande variedade de equipamentos, tais como bombas, tubulações, extrusores, misturadores, trocadores de calor, dentre outros;

b) Determinação da funcionalidade de ingredientes no desenvolvimento de produtos;

c) Controle intermediário ou final da qualidade de produtos;

d) Testes de tempo de prateleira;

e) Avaliação da textura de alimentos e correlação com testes sensoriais;

f) Análise de equações reológicas de estado ou de equações constitutivas.

Na área alimentar, o conhecimento do comportamento reológico tem desempenhado papel cada vez mais importante, permitindo melhor compreensão do comportamento mecânico dos alimentos, o que nem sempre pode ser facilmente previsto e interpretado, devido à complexidade da sua composição e dos processos a que são submetidos. Além disso, o estudo reológico permite o melhoramento e o controle das propriedades funcionais de produtos convencionais e facilita o desenvolvimento de novos produtos. As propriedades mecânicas/sensoriais são determinantes na aceitabilidade de produtos alimentares, e a avaliação objetiva dessas propriedades é do domínio da reologia (CASTRO, 2003).

A reologia é uma ciência muito importante para indústria de alimentos. Muitas das propriedades texturas que os humanos percebem quando consomem alguns alimentos são basicamente reológicas na natureza, isto é, cremosidade, suculência, maciez, suavidade e dureza. A estabilidade e aparência dos alimentos frequentemente dependem das características reológicas e de seus componentes (McCLEMENTS, 2010).

A avaliação do comportamento reológico dos materiais pode ser realizada por testes estacionários, oscilatórios e estáticos (CASTRO, 2003; TONELI; MURR; PARK, 2005).

Os testes em cisalhamento em estado estacionário consistem na aplicação de um gradiente de tensão ou velocidade de cisalhamento, linear ou logarítmico, unidirecional relativamente à amostra. É utilizado para determinação das curvas de escoamento e, conseqüentemente, para a determinação da viscosidade aparente. Os principais tipos de comportamento do fluxo do fluido podem ser descritos através de diagramas de taxa de deformação versus tensão de cisalhamento (RAO, 1999).

Nos ensaios oscilatórios também chamados de testes dinâmicos, o material é deformado periodicamente por uma tensão que varia senoidalmente com o tempo. Os testes dinâmicos permitem calcular o módulo de armazenamento, G' , e módulo de dissipação mecânica G'' , sobre uma ampla faixa de frequências. A dissipação mecânica está associada com a perda de energia e o aquecimento devido ao atrito entre as moléculas. A análise oscilatória consiste em testar a amostra de uma forma não destrutiva, sendo este o método mais comum para estudar o comportamento viscoelástico dos alimentos (STEFFE, 1996; RAO, 1999).

Os ensaios dinâmicos também podem ser utilizados para descrever o processo de gelificação por meio da variação dos módulos em função do tempo. Esses tipos de ensaios são cada vez mais utilizados e os reômetros convencionais permitem a realização dos ensaios mecânicos em faixas de frequências, 10-3-103 Hz. A faixa típica para estudar o comportamento de soluções e géis de polissacarídeos fica entre 10-3-101 Hz (CLARK; ROSSMURPHY, 1987).

A aplicação dos ensaios oscilatórios está baseada na Região de Viscoelasticidade Linear (RVL). A análise de um material é bastante facilitada quando o mesmo apresenta um comportamento viscoelástico linear ou região de viscoelasticidade linear. Nessas condições, a razão entre a tensão e a deformação em qualquer instante ou frequência é independente da magnitude da tensão ou deformação aplicada (MITCHELL, 1980).

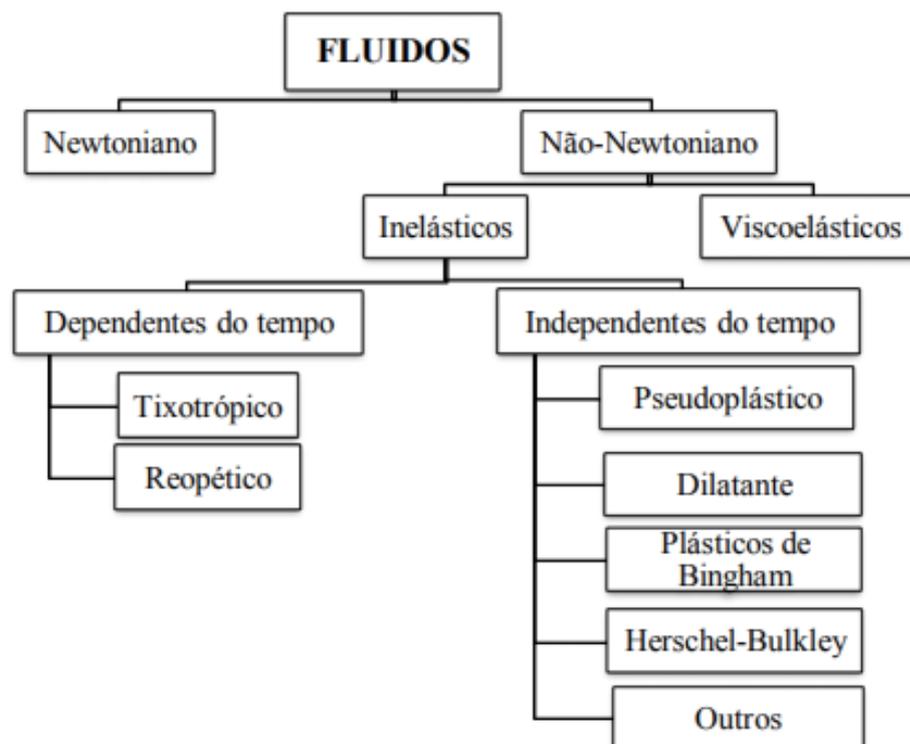
3.4.1 Classificação reológica dos fluidos

O comportamento do fluxo depende apenas da taxa de deformação e não da duração de cisalhamento (independentemente do tempo) ou também da duração de cisalhamento (dependente do tempo). Vários tipos de comportamento de fluxo de fluidos utilizados em alimentos são independentes do tempo. A classificação dos tipos de fluidos depende de seu comportamento reológico, e umas das formas mais comumente utilizadas para verificar a que tipo de fluido pertence é através da análise da curva de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação (RAO, 1999). De modo geral, a classificação dos fluidos segue o fluxograma presente na Figura 3.

Essa classificação é muito importante na indústria de alimentos, pois os materiais de interesse nessa indústria são nas formas sólidas, géis, líquidos

homogêneos, suspensões líquidas e emulsões (RAO, 1999). Os alimentos em estado líquido são usados em vários processos na indústria ou pelo consumidor em forma de produtos que incluem pastas, purês, refrigerantes, ovos e seus produtos, leite e seus derivados, sucos de frutas naturais, concentrados vegetais e entre outros, os molhos para saladas (CÁNOVAS; IBARZ, 2002). Os alimentos líquidos e semissólidos apresentam uma variedade de comportamento reológico, desde do comportamento newtoniano até comportamento viscoelásticos.

Figura 3 - Classificação dos fluidos



Fonte: Adaptado de Steffe, 1996.

Os fluidos newtonianos são aqueles em que a tensão de cisalhamento é linearmente proporcional à taxa de cisalhamento. A viscosidade desses fluidos mantém-se constante com a variação da taxa de cisalhamento, sendo influenciada somente pela alteração de temperatura e composição. Entre os exemplos de fluidos newtonianos utilizados na indústria de alimentos podem-se citar a água, solução de sacarose, glicerina e leite (RAO, 1999 e SARAVACOS; MAROULIS, 2001).

Os fluidos que se ordenam com o aumento da taxa de cisalhamento denominam-se pseudoplásticos, que compõem o maior grupo de fluidos

empregados em alimentos. As emulsões, suspensões ou dispersões de alta importância tecnológica e comercial pertencem a este grupo (HOLDSWORTH, 1971; MULLER, 1978 e RAO, 1999). Em repouso apresentam um estado desordenado, e quando submetidos a uma tensão de cisalhamento suas moléculas tendem a se orientar na direção da força aplicada. Quanto maior a tensão aplicada, maior será a ordenação. Conseqüentemente, a viscosidade aparente será menor (HOLDSWORTH, 1971).

Como exemplos de alimentos que apresentam comportamento pseudoplástico estão os molhos de mostarda, de maionese, purê de frutas e de vegetais, suco concentrado de frutas, solução de gomas concentradas, chocolate fundido, proteína concentrada, queijos de pasta mole, margarinas, patês, iogurtes e os molhos para salada (RAO, 1999).

3.4.2 Modelos reológicos para fluidos pseudoplásticos

Haminiuk (2007) cita que os modelos reológicos mais comumente utilizados são os modelos de Lei da Potência (Ostwald-De-Walle), Casson e Bingham de dois parâmetros e Herschel-Bulkley de três parâmetros, pois a maioria dos fluidos alimentícios exibe comportamento pseudoplástico podendo ser descrito pelo modelo da Lei da Potência, equação 1:

$$\tau = k\gamma^n \quad (1)$$

Ou na forma logaritimica

$$\log\tau = \log k + n\log\gamma \quad (2)$$

Onde τ é a tensão de cisalhamento (Pa), γ é a taxa de deformação (s^{-1}), k é o coeficiente de consistência ($Pa \cdot s^n$) e n é o índice de comportamento (adimensional), (Haminiuk et al., 2006).

Ao dividir-se a equação 2 pelo $\log\gamma$, tem-se que o conceito de viscosidade aparente (η_{ap}):

$$\eta_{ap} = \frac{k}{\gamma} + n \quad (3)$$

A equação 3 governa a viscosidade aparente dos fluidos pseudoplásticos, onde a mesma diminui à medida que aumenta a taxa de cisalhamento. A escolha do modelo matemático que melhor se adapte ao estudo e gere resultados desejados é primordial, pois o modelo matemático reológico conseguirá tornar os parâmetros reológicos em expressões mensuráveis. A Tabela 2 apresenta os modelos reológicos mais utilizados para fluidos pseudoplásticos:

Tabela 2 - Formalismo matemático dos modelos reológicos

Modelo	Viscosidade	Tensão
Bingham	$\eta = \eta_p + \tau_0/\gamma$	$\tau = \tau_0 + \eta_p\gamma$
Casson	$\eta = \sqrt[n]{(\tau_0/\gamma)^n + (\eta_p)^n}$	$\tau^{0.5} = \tau_0^{0.5} + K(\gamma)^{0.5}$
Oswald de Weale/Lei da Potência	$\eta = K\gamma^{n-1}$	$\tau = K\gamma^n$
Herschel-Bulkley	$\eta = \tau_0/\gamma + K\gamma^{n-1}$	$\tau = \tau_0 + K\gamma^n$
Weltman	---	$\tau = A - B \log(t)$
Arrhenius	$\eta = k e^{\frac{E}{RT}}$	---

onde: η = viscosidade (Pa.s); k = índice de consistência (Pa.sⁿ); n = índice de comportamento (adimensional); τ = tensão de cisalhamento (Pa); γ = taxa de deformação (s⁻¹); η_p = viscosidade plástica; τ_0 = limite de escoamento; A = parâmetro reológico semelhante a τ ; B = parametro reológico que mede a taxa de queda da estrutura; t = tempo; k = parâmetro de ajuste; E = energia de ativação para viscosidade (J/mol); R = constante universal dos gases (1,987 cal/mol.K); T = temperatura absoluta (K)

Fonte: (MATHIAS et. al, 2013).

3.5 Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

As bases da espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) foram estabelecidas no fim do século XIX. O cientista Albert Abraham Michelson construiu um interferômetro e o descreveu em suas publicações, em 1891 e 1892. Neste último, Lord Rayleigh confirmou que o interferômetro tinha relação com um espectro por uma operação matemática denominada transformada de Fourier. No entanto, a técnica foi pouco utilizada por mais de cinquenta anos, o que foi intensificada com o avanço computacional (PERKINS, 1986).

A técnica de FTIR tem uma larga faixa de aplicações que vai desde a análise de moléculas pequenas até sistemas complexos como células e tecidos (BERTHOMIEU e HIENERWADEL, 2009). A base desse tipo de espectroscopia está na interação da luz com a matéria que com comprimentos de ondas na região do infravermelho alteraram as energias vibracionais das ligações químicas.

Atualmente, devido aos grandes avanços nos espectrômetros, pode ser encontrados na maioria dos laboratórios de pesquisa, pela possibilidade de usar a amostra em estado sólido, amorfo ou cristalino, soluções aquosas, solventes orgânicos, filmes, pastilhas de brometo de potássio (KBr) e membranas (MANTSCH e CHAPMAN, 1995; FORATO *et al.*, 1998a; COLNAGO, 1991).

Dentre as principais vantagens, encontram-se a praticidade e sensibilidade, o que permitiu sua aplicação também na indústria (KALASINKY, 1990). O grande progresso da técnica e o aprimoramento de metodologias devem-se à demanda de métodos analíticos rápidos e limpos, evitando-se o emprego de reagentes agressivos (FERRÃO, 2004; HELFER *et al.*, 2006 e MORGANO, 2005).

3.6 Difração de Raios X (DRX)

A técnica se baseia nos princípios da Lei de Bragg, na qual um cristal é apresentado como um conjunto de planos refletivos, com espaçamento uniforme, onde os raios x incidentes a um ângulo θ são refletidos a um mesmo ângulo (CANEVAROLO JUNIOR, 2014).

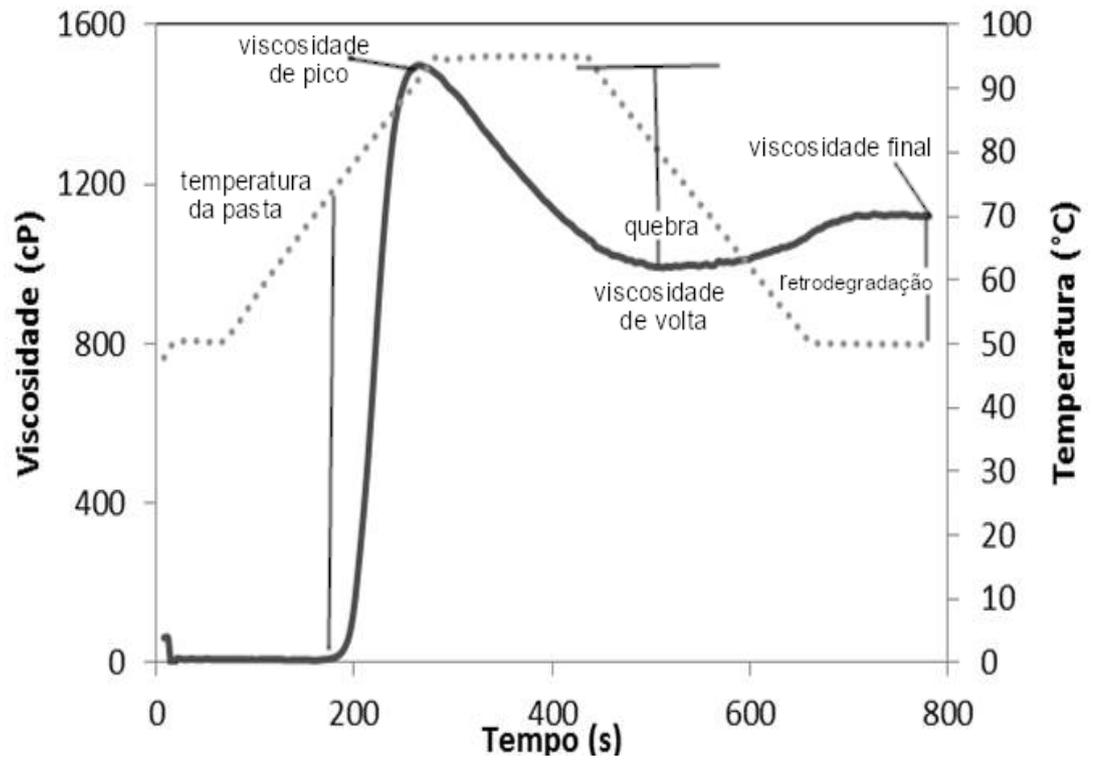
As análises mais utilizadas no setor alimentício são as de fases amorfas e cristalinas, tensão residual, filmes finos, reflexão e textura, além de estudos de transformação de fase, reação cinética e comportamento da tensão com a

temperatura, com o auxílio de acessórios a altas temperaturas (GOLDSMITH et al., 2000).

3.7 Analisador rápido de viscosidade (RVA, Rapid Visco-Analyzer)

Tanto a viscosidade de pico quanto a viscosidade final de um gel são importantes na avaliação da qualidade do amido, sendo que a fluidez do gel pode interferir nos equipamentos a serem dimensionados em uma linha de produção. Maiores valores de viscosidade necessitam de equipamentos com maior potência para processamento do alimento. A quebra ou *breakdown* representa a resistência do amido à agitação mecânica, onde é possível avaliar a estabilidade do amido em altas temperaturas, cujos grânulos se rompem sob agitação mecânica. Uma maior queda representa uma maior fragilidade do gel. O *setback* ou tendência à retrogradação é o processo onde ocorre reassociação das moléculas de interações intermoleculares formando uma rede que retém água em seu interior (SJOO; NILSSON, 2017).

Com auxílio dos viscoamilogramas é possível verificar algumas características dos amidos durante a formação do gel como: a resistência do gel às forças mecânicas e a mudança de viscosidade devido à gelificação, no aquecimento; e a tendência à retrogradação, mediante análise do comportamento durante o seu resfriamento (ELIASSON, 2004). A figura 4 apresenta uma medida de RVA para amostra de amido.

Figura 4 - Medida de RVA para amostra de amido

4 METODOLOGIA

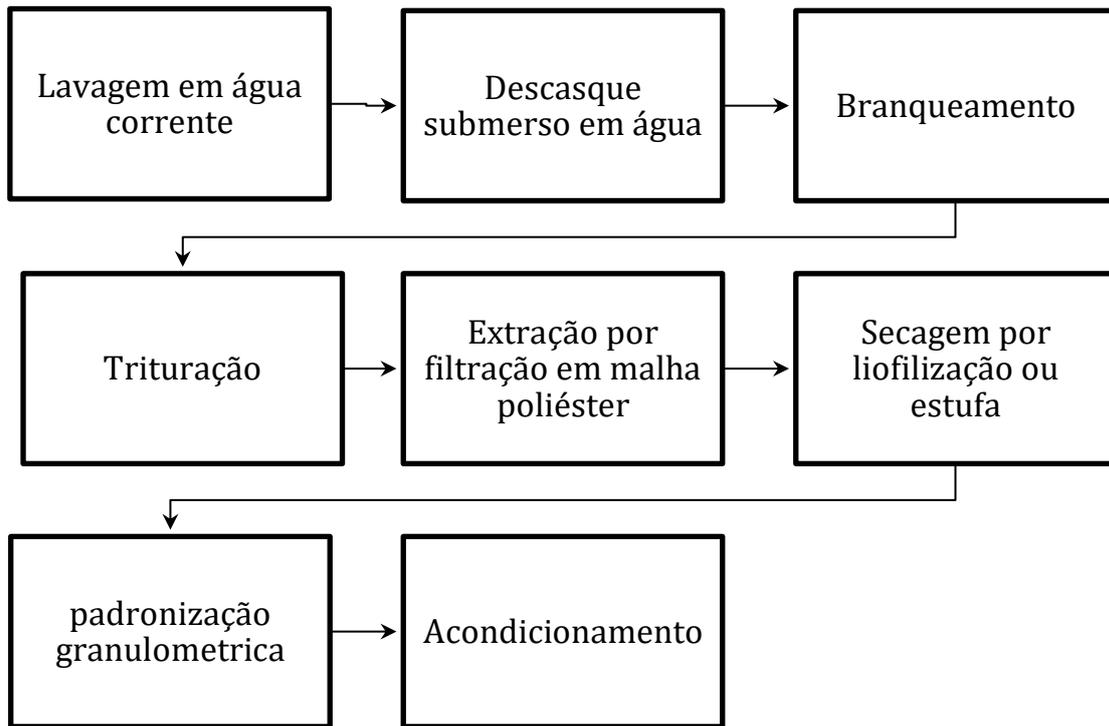
4.1 Materiais

O cará-roxo foi adquirido no comércio local da cidade de Manaus - Amazonas. O waxy maize utilizado foi da marca Boldy Builders. Água destilada. Os experimentos reológicos foram realizados no laboratório de Medidas Físicas, do Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos- DETA, da Universidade Estadual Paulista, campus de São José Do Rio Preto. As análises de FTIR foram realizadas no Laboratório de Síntese e caracterização de Nanomateriais - LSCN do Instituto Federal do Amazonas do Distrito Industrial. As análises de DRX foram realizadas no Laboratório de Materiais, do Departamento da Faculdade de Tecnologia – FT da Universidade Federal do Amazonas e as análises de RVA foram realizadas no Laboratório de Cereais da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas.

4.2 Extração da mucilagem de cará-roxo

Para a extração da mucilagem, o cará-roxo foi lavado em água corrente, descascado e submerso à água, em seguida, cortado em cubos pequenos de 0,027 cm³ e submetido ao processo de branqueamento. O material branqueado foi triturado em liquidificador industrial por 5 minutos na proporção 1:2 (cara-roxo: água destilada). As mucilagens foram extraídas manualmente por filtração em malha poliéster (40x40 cm², 200 mesh). O filtrado (mucilagem) foi acondicionado e identificadas em garrafas PETs e congeladas em freezer a -18°C, posteriormente, submetidas ao processo de secagem em estufa.

As mucilagens secas foram trituradas novamente até que apresentassem uma granulometria padronizada e estas foram acondicionadas em sacos plásticos laminados e armazenadas em local seco à temperatura ambiente (30°C), mantido até o momento das análises. As etapas resumidas do processo de obtenção de mucilagem são apresentadas através do fluxograma presente na Figura 5.

Figura 5- Processo de extração de mucilagem de cará- roxo

4.3 Preparação das amostras

4.3.1 Preparação das amostras para os testes reológicos

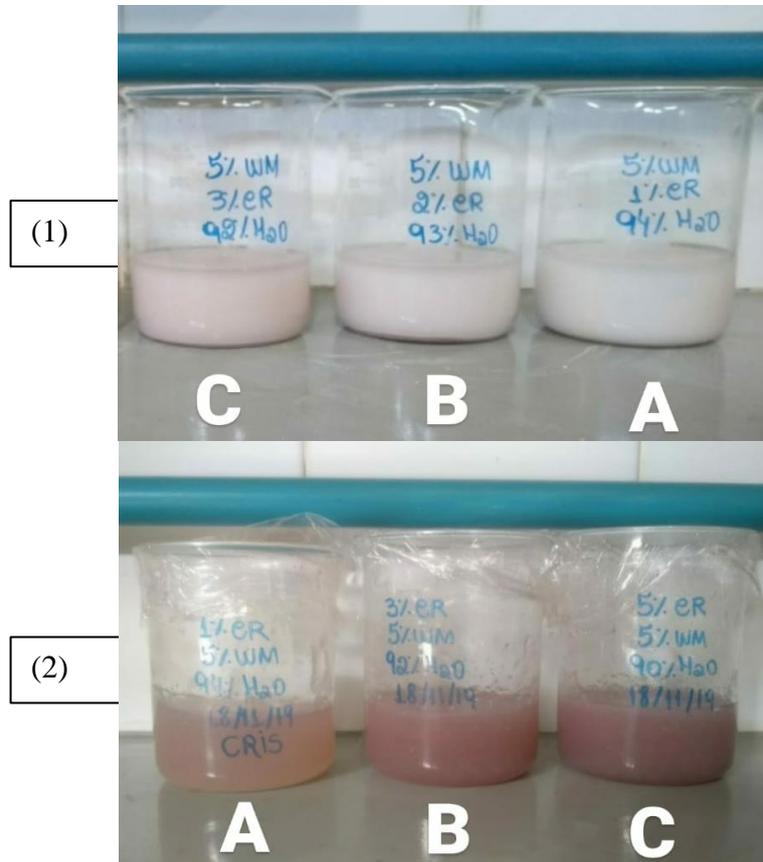
Os géis foram preparados em diferentes concentrações de mucilagem, waxy maize e água destilada. Estas concentrações foram definidas a partir de estudos do grupo de pesquisa da UNESP. As soluções foram homogeneizadas em agitador magnético da marca Fizatom, modelo 752A, com rotação de 400 rpm por 10 minutos a temperatura ambiente e agitadas em banho térmico a 80°C por 30 minutos. A tabela 3 apresenta a formulação dos géis:

Tabela 3 - Formulação das soluções para o preparo de géis de cará-roxo

Amostra	Cará-roxo (%)	Waxy Maize (%)	Água destilada (%)
CR1%	1	5	94
CR3%	3	5	92
CR5%	5	5	90
WM5%	0	5	95

A Figura 6 apresenta as soluções líquidas e em forma de gel das amostras contendo cará-roxo a 0h:

Figura 6: Soluções líquidas (1) e em geis (2) de mucilagem de cará-roxo, sendo A = CR1%, B = CR3% e C = CR5%.



4.3.2 Preparação das amostras para análise de DRX

Para as análises de DRX, foram utilizadas as amostras de mucilagem apresentadas na tabela 4:

Tabela 4 - Formulação e tratamento das amostras das análises de DRX

Amostra	Tratamento 1	Tratamento 2
Mucilagem de CR	sem	sem
WM	sem	sem
gel de CR1%WM5%	Liofilização	Secagem em estufa
gel de CR3%WM5%	Liofilização	Secagem em estufa
gel de CR5%WM5%	Liofilização	Secagem em estufa

4.3.3 Preparação das amostras para análise de FTIR

Para as análises de FTIR foram utilizadas as amostras de mucilagem de cará-roxo apresentadas na tabela 5.

Tabela 5 - Formulação e tratamento das amostras das análises de FTIR

Amostra	Tratamento
mucilagem de CR	Liofilização
WM	sem
gel de CR1%WM5%	Liofilização
gel de CR3%WM5%	Liofilização
gel de CR5%WM5%	Liofilização

4.4 Testes reológicos

Os testes reológicos estacionários foram realizados em um reômetro oscilatório AR-2000EX (TA Instruments, Delaware, USA) utilizando geometria de placas paralelas com gap de 52 μm (Figura 7). Amostras de aproximadamente 2g foram colocadas na placa com o auxílio de uma espátula, atentou-se para que a amostra preenchesse todo o espaço entre a geometria e a placa, mas não chegando a transbordar. Em todos os ensaios, a temperatura manteve-se fixa em 25°C. Os resultados foram apresentados pelo software Rheology Advantage Instrument Control Ar em computador acoplado ao equipamento. Todas as análises foram realizadas em duplicatas e seus parâmetros são exibidos em seu valor médio. As amostras submetidas aos testes reológicos foram as amostras de geis de cará-roxo a 1% (CR1%), cará roxo a 3% (CR3%), cará-roxo a 5% (CR5%) e waxy maize a 5% (WM5%).

Figura 6- Imagem fotográfica do Reômetro AR-2000EX



4.4.1 Cisalhamento estacionário

O comportamento reológico das amostras foi avaliado obtendo-se curvas de escoamento de viscosidade aparente em função da taxa de deformação e de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação.

4.5 Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier - FTIR

Os espectros foram coletados usando um espectrômetro de FTIR (IR Prestige-21; Shimadzu Corp., Japão) equipado com acessório de Refletância Total Atenuada - ATR (Pike Technologies, Madison, WI, USA). As amostras foram analisadas na faixa de números de ondas de 650 até 4000 cm^{-1} com resolução de 4 cm^{-1} . Uma média de 120 escaneamentos foi utilizada para representar cada espectro.

4.6 Difração de Raios x – DRX

As análises pela técnica de DRX foram realizadas em um equipamento Shimadzu XRD-6000 (Shimadzu, Tóquio, Japão) usando como fonte um tubo de Cu

($k_{\alpha} \lambda = 1,5406 \text{ \AA}$) a 40 kV e 40 mA. As amostras foram analisadas do ângulo 2θ na faixa de 5° a 100° com um passo de $0,02^{\circ}$.

4.7 Perfil viscoamilográfico (RVA)

O perfil viscoamilográfico da mucilagem de cará-roxo foi realizado usando um *Rapid Visco-Analyzer* (RVA-4500, Warriewood, Austrália), e as curvas foram coletadas pelo *software* TCW3.15.1.255. Uma suspensão de 28,0 g, contendo 3 g de amostra e foram suspensos em água, na concentração de 14% de sólidos, foi equilibrada a $50^{\circ}\text{C}/\text{min}$, aquecido até 95°C a uma taxa de $6^{\circ}\text{C}/\text{min}$, mantido nesta temperatura por 5 min e depois resfriado a 50°C na mesma taxa. A rotação do RVA foi configurada para 160 rpm. A análise foi realizada em duplicata e os resultados foram expressos em $^{\circ}\text{C}$ para a temperatura da pasta e em cP para os demais parâmetros (Felisberto *et al.*, 2017 e Santana *et al.*, 2017). Os parâmetros avaliados foram: temperatura da pasta, viscosidade de pico, viscosidade de quebra, viscosidade de volta e final.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Ensaio reológicos

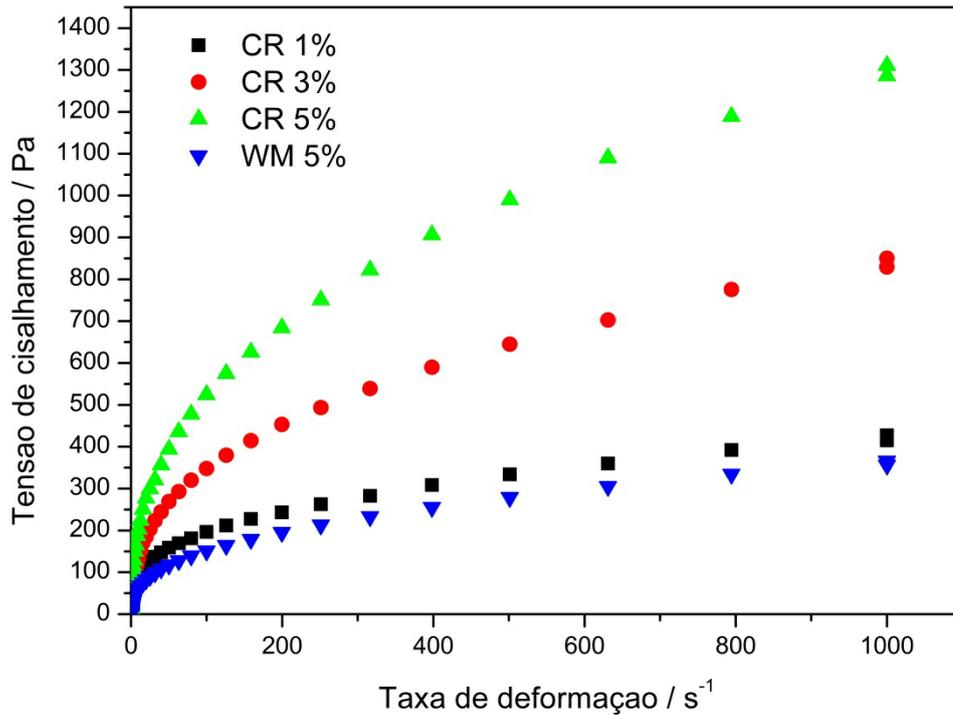
Fez-se uso de um aditivo para melhorar a formação de géis da mucilagem de cará-roxo (CR). Para tanto, foi realizado um estudo prévio e a melhor concentração do aditivo waxy maize (WM) foi de 5%, a mesma foi mantida para todas as formulações das amostras, e também serviu como base para as análises um gel formado apenas com WM5%. É conhecida as propriedades dos polissacarídeos em alterarem sua viscosidade em solução aquosa, por isso, para melhor compreender o comportamento do CR, estudou-se três concentrações de mucilagem de cará-roxo: CR1%, CR3% e CR5%. Todos os ensaios reológicos foram realizados a 25°C.

5.1.1 Análises das curvas de escoamentos em estado estacionário

Foram realizados estudos reológicos em estados estacionários das amostras de géis da mucilagem de cará roxo em diferentes concentrações e waxy maize a 5%. Na figura 8 estão dispostos graficamente os resultados da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação. Para fluidos não-newtonianos uma maneira de classificá-los é através da análise do comportamento da curva da Figura 8 (TONELI *et al.*, 2005). No caso, percebe-se que com o aumento da taxa de deformação do fluido tende a crescer. Este comportamento caracterizam os fluidos como pseudoplásticos.

Os pseudoplásticos representam a maior parte dos fluidos que apresentam comportamento não-newtoniano. Pela figura 8, observa-se que em baixas regiões de taxa de deformação, o comportamento dos fluidos WM5% e CR1% são similares nas inclinações de suas curvas, o que é modificado com o aumento da concentração de CR, sendo maior inclinação para CR5%. À medida que cresce a concentração de CR, os valores de tensão de cisalhamento aumentam bruscamente na inclinação de sua curva para altas regiões de taxa de deformação. Essas mudanças iniciais observadas podem ser atribuídas as diferenças composições de amido no CR, visto que o WM possui somente amilopectina, com cadeia ramificada que confere maior resistência ao cisalhamento.

Figura 7 - Tensão de cisalhamento vs taxa de deformação das amostras de CR 1%, CR 3%, CR 5% e WM



Na tabela 6 estão apresentados os parâmetros a partir dos ajustes das curvas da figura 8 para os três principais modelos reológicos, isto serviu para verificar o comportamento reológico dos materiais de estudo. O fluido não pode ser considerado o tipo newtoniano devido ao $R^2 \ll 1$.

No entanto, os modelos de Lei da Potência e Herschel-Bulkley se mostraram apropriados uma vez que os valores de $R^2 > 0,99$ para todas as curvas. Vale ressaltar que no segundo modelo, a tensão de cisalhamento inicial (σ_0) obteve valor negativo para o gel na concentração de CR5% que não corresponde a um sentido físico. Em ambos os modelos, os parâmetros de k e n ficaram numericamente próximos. Apesar dos ajustes terem sido mais precisos em termos de R^2 para o modelo Herschel-Bulkley, o valor da tensão de cisalhamento inicial é baixo, então as amostras ao superar este nível são referidas ao modelo da Lei da Potência e a viscosidade tende a diminuir (ZABOT *et al.*, 2019).

Os valores dos índices de comportamento (n) para todas as composições de gel de mucilagem de CR e WM5% foram de $n < 1$. Estes resultados permitem afirmar que os materiais são de regime de comportamento pseudoplástico. O índice de consistência k aumentou significativamente com a variação da concentração de CR e em relação ao WM5% este nível aumentou mais de 250% quando adicionou

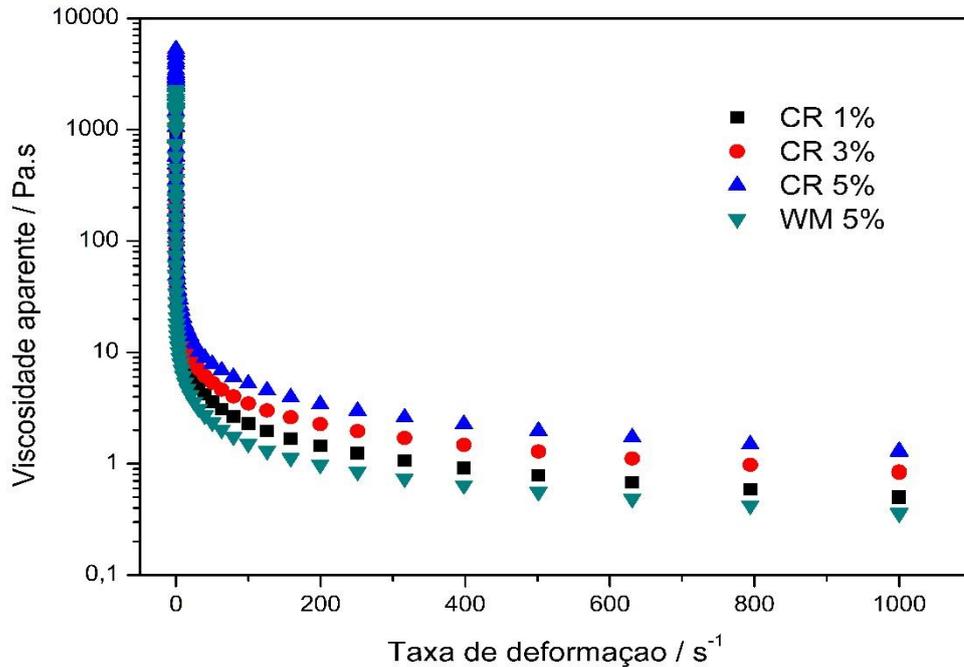
CR5%. O aumento de k é acompanhado por maiores valores de viscosidades aparentes.

Tabela 3- Parâmetros estimados pelos modelos reológicos (Newtoniano, Ostwald-De-Walle ou Lei da Potência e Herschel-Bulkley) para géis de cará-roxo em diferentes concentrações e Waxy Maize nos testes realizados em estado estacionário

Modelo	Parâmetros	CR1%	CR3%	CR5%	WM5%
Newtoniano	η (Pa.s)	0,512	0,842	1,38	0,405
	R^2	0,787	0,822	0,845	0,828
Lei da potência	k (Pa.s ⁿ)	45,9	54,8	69,8	25,7
	n	0,333	0,378	0,416	0,383
	R^2	0,9987	0,9989	0,9993	0,9984
Herschel-Bulkley	σ_0 (Pa)	2,12	1,86	-1,96	2,01
	k (Pa.s ⁿ)	44,1	54,3	71,0	24,3
	n	0,338	0,379	0,414	0,391
	R^2	0,9988	0,9990	0,9994	0,9985

A Figura 9 mostra a dependência da viscosidade aparente em função da taxa de deformação das amostras. Pode-se perceber que em taxas de deformações próximas de zero a viscosidade tende a 10000 Pa.s⁻¹, o que mostra pouca influência da concentração nesta região, e quando a taxa tende a valores grandes, a viscosidade aproxima-se de um valor constante bem baixas. Este início indica que as diminuições das interações intermoleculares causadas pelas forças cisalhantes provocam resistência ao escoamento que rapidamente são superadas. Esta última é conhecida como viscosidade limitante à taxa de deformação infinita. Tal fato é coerente para todas as amostras estudadas. Segundo Steffe (1996), a região de taxas de deformação médias é a mais importante para a consideração de dada desempenho de equipamentos para processamento de alimentos. Esta região está mostra as diferenças de comportamentos da viscosidade nas diferentes concentrações de CR.

Figura 8 - Viscosidade aparente dos géis de waxy maize e cará-roxo em diferentes concentrações e, em destaque, região de média taxa de deformação



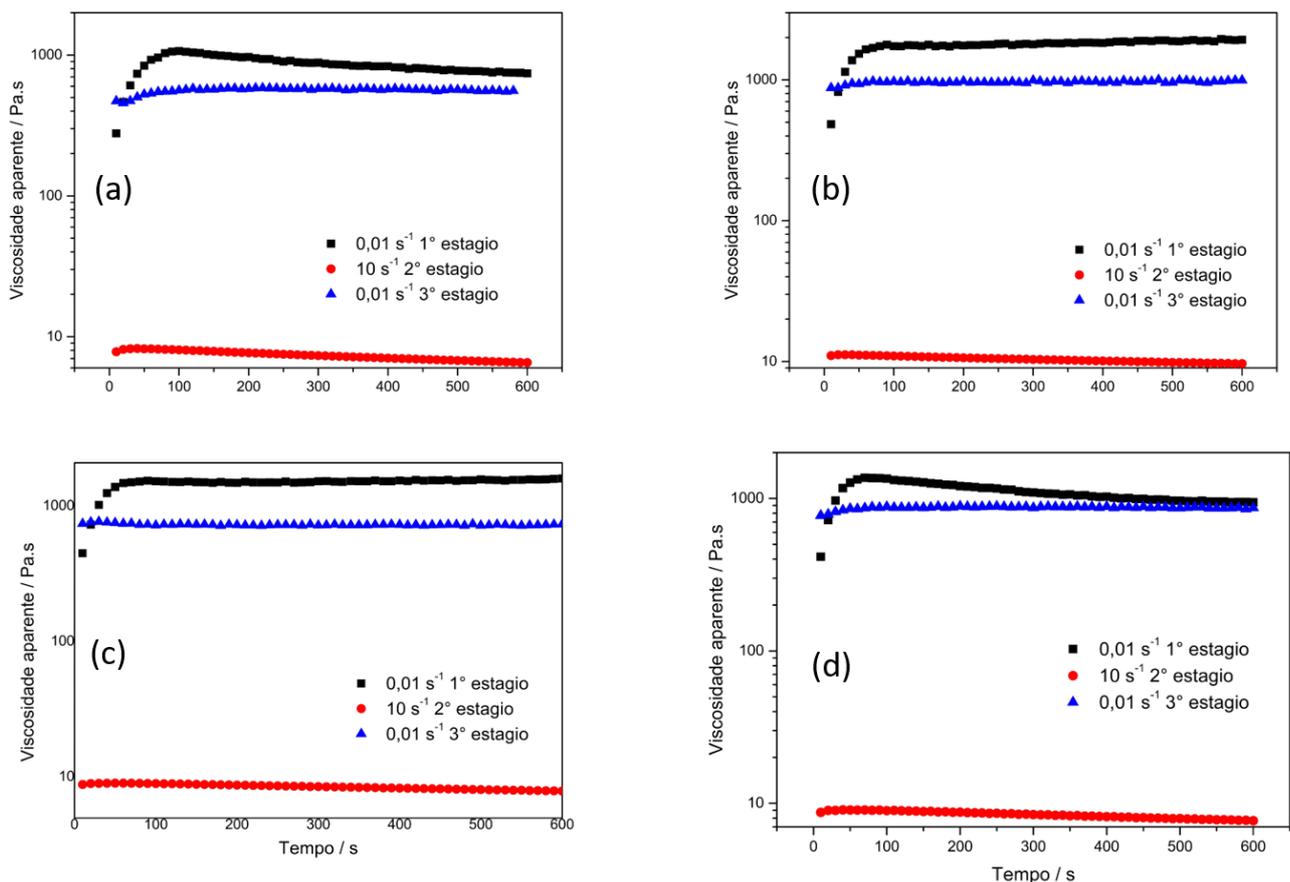
Em médias taxas de deformação percebeu-se que a curva WM5% atingiu os menores valores de viscosidade com mudança de taxa de deformação. Quando se adiciona 1 ou 3 % de CR as curvas deslocam-se para direita e apresentam maiores valores de viscosidade, mas ambas apresentam comportamento próximos. Por sua vez, a curva de CR5% desvia sua inclinação em regiões bem maiores que as demais, o que mostra que à medida que aumenta a taxa de deformação as estruturas do polímero. Nesta concentração, tendem a manter a viscosidade por maiores deformações. O comportamento apresentado é do tipo reopético.

5.1.2 Estudo do tempo em regime estacionário

Para verificar o comportamento reológico dos materiais em relação ao tempo de cisalhamento, foram realizados testes com três estágios de aplicação constante de taxa de deformação 0,01, 10 e 0,01 s⁻¹, respectivamente. Pelo gráfico da viscosidade aparente em função da taxa de deformação percebeu-se que em baixas taxas de deformação a viscosidade atinge elevados valores e é reduzido com aumento da taxa de deformação.

Primeiramente, analisou-se o gel de waxy maize sem adição de cará-roxo (Figura 10) para efeitos comparativos com as amostras de estudo. No primeiro estágio, na baixa taxa de deformação o WM nos diferentes tempos apresenta um platô a 100 s de varredura, e na volta da mesma taxa a viscosidade fica constante em um valor bem inferior.

Figura 9 - Viscosidade aparente em função do tempo com taxas constantes de deformação (0,01, 10 e 0,01) de WM5% em (a) 0h, (b) 24 h, (c) 48 h e (d) 72 h

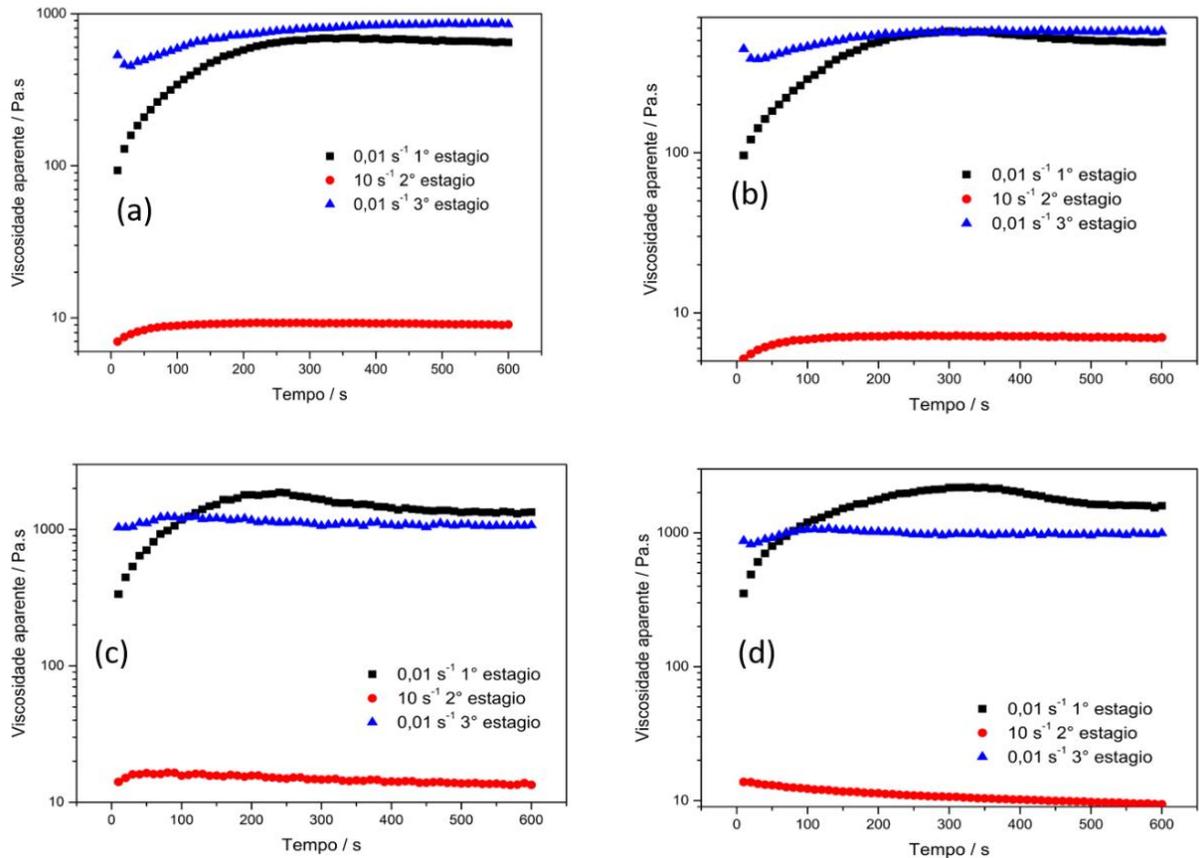


Após 72h, na primeira aplicação de 0,01 s⁻¹, apresentou alta viscosidade devido as cadeias estarem em maior interação com a água e suas estruturas cristalinas experimentarem certo enfraquecimento. No terceiro estágio, houve um aproximado perfil na curva do primeiro estágio, mas em um nível inferior de viscosidade em mais de 700 Pa.s.

Quando se preparou o gel com 1% de cará-roxo (Figura 11), observou-se que o platô na primeira curva se desloca de 100s para 300s em comparação com

WM5%. E no terceiro estágio, alcançou melhora na viscosidade aparente, apresentando uma curva superior em 0h e 24h.

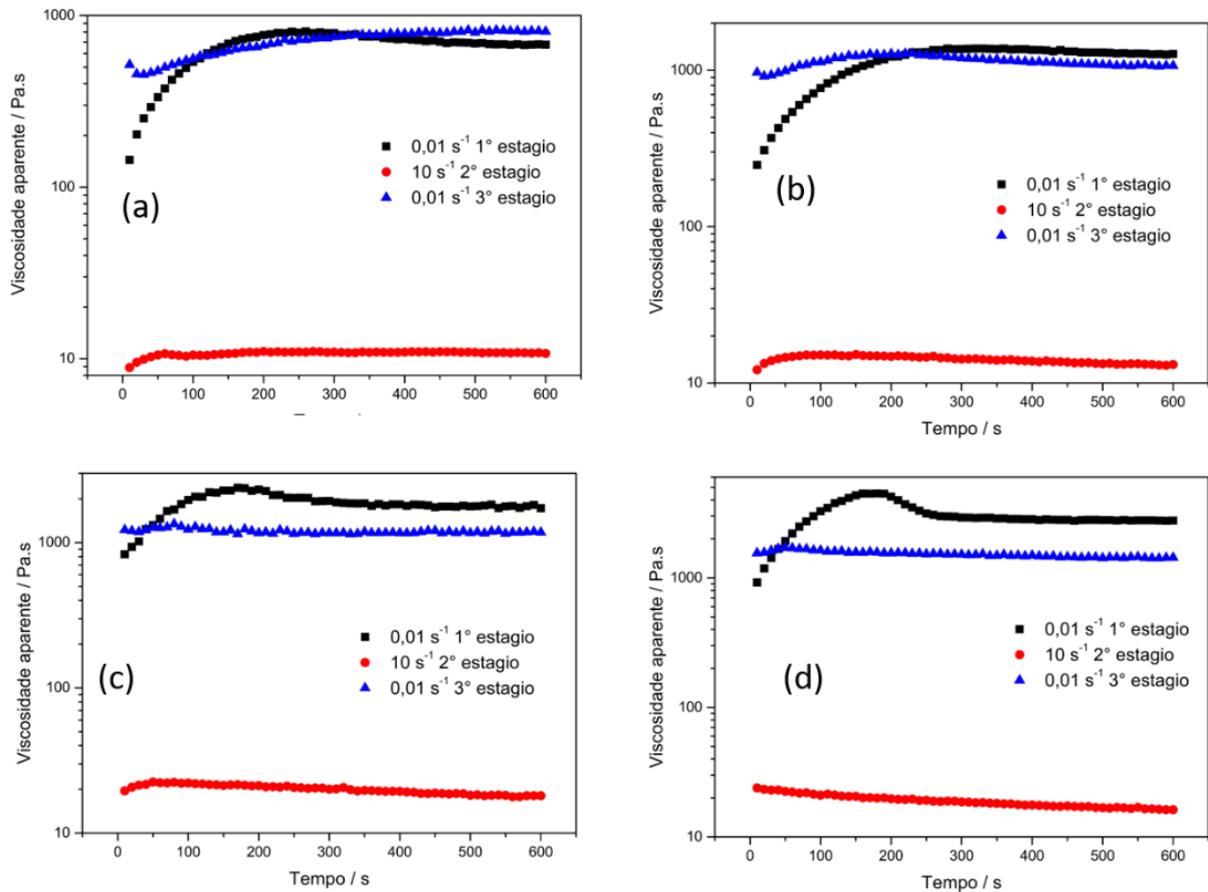
Figura 10- Viscosidade aparente em função do tempo com taxas constantes de deformação (0,01, 10 e 0,01) de CR1% em (a) 0h, (b) 24 h, (c) 48 h e (d) 72 h



Com o tempo de 72 h, o CR1% apresentou elevada viscosidade no primeiro estágio, mas o gel no terceiro estágio de taxa de deformação reduziu significativamente o nível de viscosidade e continuou apresentando um platô bem acentuado em torno de 300s, o que representa menos forças contrárias a possibilidade de organização das estruturas do amido. Mas a última curva ficou em nível inferior em comparação ao WM5%.

Em CR3%, o platô manteve em torno de 300s no primeiro estágio com uma região praticamente linear até atingir o pico, exceto para 72h que se mostrou em 100 s (Figura 12). Apesar da última característica similar ao WM5%, os valores de viscosidade aumentaram bruscamente, havendo pico em 4500 Pa.s.

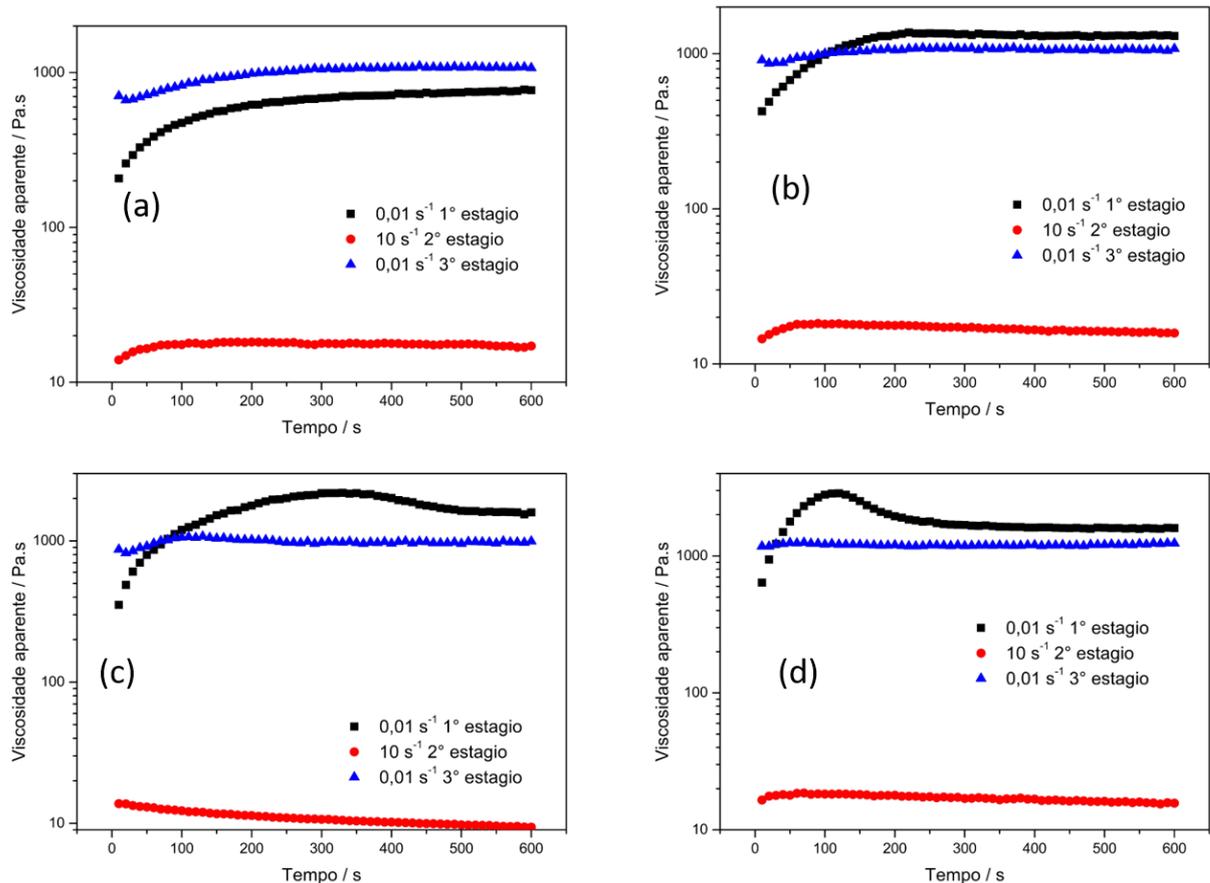
Figura 11 - Viscosidade aparente em função do tempo com taxas constantes de deformação (0,01, 10 e 0,01 s⁻¹) de CR3% em (a) 0h, (b) 24 h, (c) 48 h e (d) 72 h



Em uma concentração ainda maior (CR5%), a adição de um amido com maior teor de amilose, acabou apresentando diferentes perfis (Figura 13). Em 0h, não há platô e o terceiro estágio de taxa de deformação, começa a ocorrer um aumento significativo na viscosidade mantendo o perfil do primeiro estágio e as estruturas apresentaram um comportamento a favor das forças cisalhantes.

E nos demais tempos, houve o crescimento do perfil do platô em torno de 150s, um perfil intermediário do que estava sendo observado. E os valores de viscosidades estiveram inferiores ou próximos ao CR3%. Quando se adiciona muito cará-roxo a concentração de amilose e amilopectina muda, e as estruturas químicas ao experimentar forças cisalhantes apresentam rápido direcionamento no sentido das forças, mas reduzem a viscosidade.

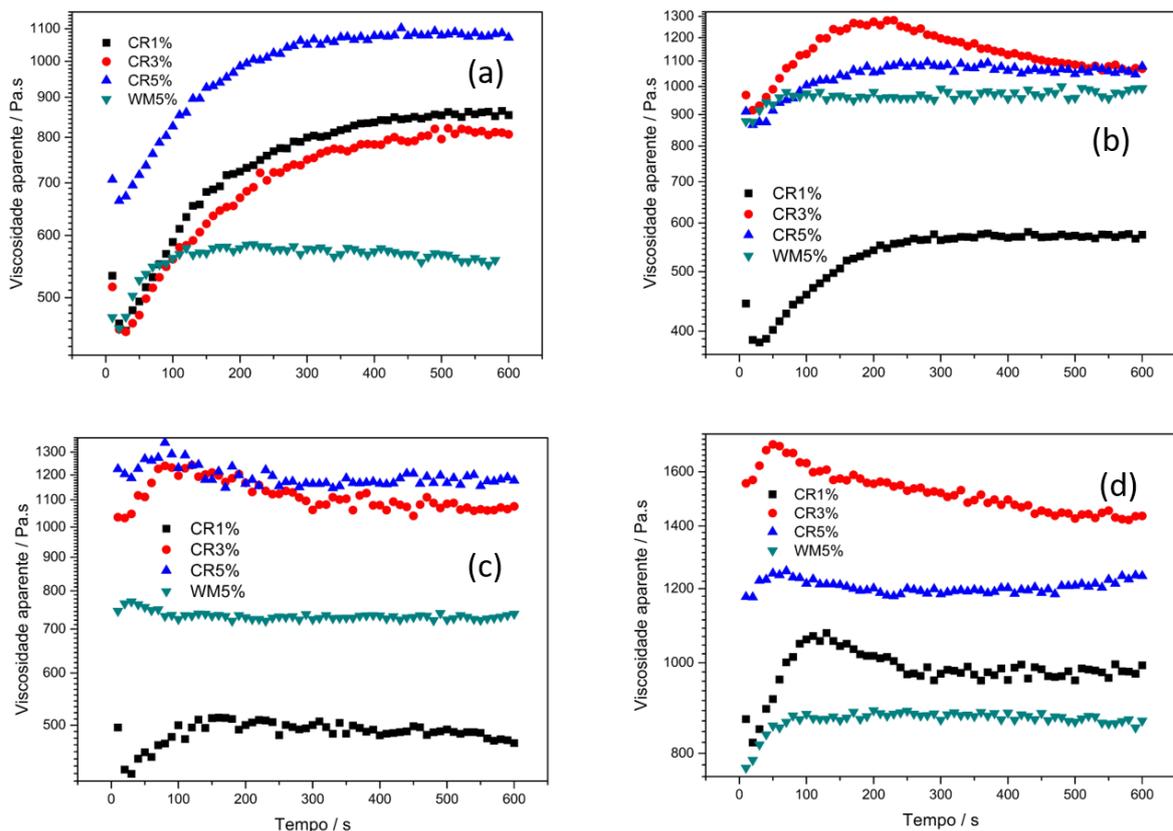
Figura 12 - Viscosidade aparente em função do tempo com taxas constantes de deformação (0,01, 10 e 0,01 s⁻¹) de CR5% em (a) 0h, (b) 24 h, (c) 48 h e (d) 72 h



Em uma análise geral dos géis, no primeiro estágio, com o aumento de tempo por volta de 200s a viscosidade aumenta de modo linear, o que se deve ao arranjo das estruturas dos polímeros na direção da aplicação da força cisalhante, e depois atinge um valor de viscosidade constante, exceto para CR3% e WM5% que apresentam um platô no tempo de 200 a 400s (pode estar relacionada à geometria da medida e as amostras) e depois reduz a viscosidade devido a perturbação mais acentuada das estruturas químicas. E no terceiro estágio, após experimentar forças cisalhantes, apenas no CR1% que a viscosidade aumenta significativa em comparação a 0,01 s⁻¹ do primeiro estágio. Vale ressaltar, que houve melhora significativa com adição da mucilagem de cará-roxo. Isto quer dizer que a estrutura de WM é quebrada com o tempo e muito se deve a sua cristalinidade.

Pela figura 14, para fins comparativos dos comportamentos das curvas após passar por três taxas constantes de deformação, foram dispostos graficamente as últimas curvas de viscosidade versus tempo a $0,01 \text{ s}^{-1}$ de todas as condições dos géis em 0, 24, 48 e 72 h. Os gráficos representam o quanto cada gel suportou as forças cisalhantes.

Figura 13 - Viscosidade aparente em função do tempo com taxa constante de deformação no terceiro estágio $0,01 \text{ s}^{-1}$ dos géis nas diferentes concentrações, em (a) 0h, (b) 24 h, (c) 48 h e (d) 72 h



O tempo a 0h, Fig. 14a, observa-se a composição com maior viscosidade a CR5%. Mas, quando aumenta o período a curva de CR5% mantém-se em valores de viscosidades aparentes próximos entre 1000 e 1200 Pa.s. Por outro lado, em CR3% a viscosidade atinge elevados patamares a partir de 24h e chega em 1300 Pa.s após 72 h, destacando-se das demais pastas. Este resultado mostra que a composição de amolepectina e amilose esteve favorável para experimentar baixas e médias tensões de cisalhamentos.

O gel sem cará-roxo apresentou próximo ou superior apenas quando a concentração de cará-roxo adicionado foi de 1%. E de modo geral, esta concentração acabou dificultando para valores altos de viscosidades, apresentando o menor valor no tempo a 48h e 500 Pa.s.

5.2 Análise de Perfil viscoamilográfico (RVA)

Foi realizado teste de RVA no intuito de investigar o efeito das mucilagens nas propriedades dos géis de waxy maize. Após o aquecimento até 95°C, as propriedades das pastas nas composições dos géis, a partir da concentração de 3% de cará-roxo, apresentaram diferenças estatísticas significativas em termos de perfil de viscosidade (Figura 15) e de parâmetros da pasta (Tabela 7).

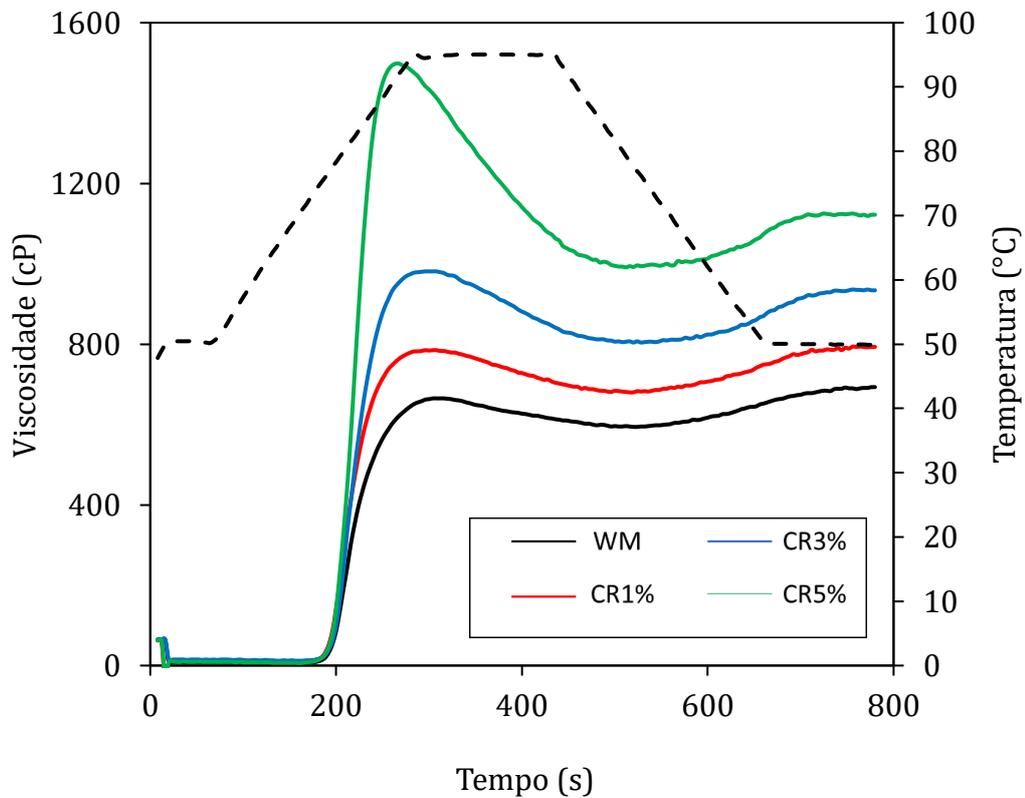
Sendo que as curvas aumentaram no sentido da viscosidade a cada incremento de cará-roxo. Observou-se modificação do comportamento da curva de RVA tanto nas propriedades da pasta quanto na concentração de cará-roxo a 5%, que conseguiu elevar os níveis de viscosidade de pico e final em quase 100% e 70%, respectivamente, se comparada ao waxy maize puro. Pode-se perceber que estatisticamente não há diferenças significativas quando se adiciona 1% de cará-roxo, logo as propriedades do gel de waxy maize puro não são alteradas (exceto na viscosidade de quebra).

As temperaturas de pastas (T_p) apresentam diferenças estatísticas significativas apenas entre os pares de WM;CR1% e CR3%;CR5%, em que o maior valor numérico foi atingido pela concentração de 3%, $76,7^\circ\text{C} \pm 0,1$. Mas numericamente a temperatura não alcançou 1°C de diferença, que na prática não representa problema quando se pensa na produção de alimentos. A T_p é um parâmetro importante quando as propriedades dos amidos são levadas em consideração devido ao aquecimento dos grânulos de amido na água, isto quer dizer que acima desta temperatura ocorre a absorção de uma grande quantidade de água e resulta no aumento do tamanho devido ao inchamento do amido, processo de gelatinização (ZABOT *et al.*, 2019).

A quebra observada é o resultado da ruptura da estrutura granular do amido gelatinizado devido à agitação mecânica e à alta temperatura. Por estar inversamente relacionado ao comprimento das cadeias de amilopectina, o amido do cará-roxo provavelmente apresenta uma menor proporção de cadeias longas, uma

vez que apresentou maior decomposição do que o waxy maize puro (BETA *et al.*, 2001). E o valor de viscosidade de quebra atingiu um valor muito alto quando adicionou 5% de cará-roxo, numericamente por volta de 400 cP a mais que as demais formulações.

Figura 14 - Curvas de RVA da pasta de waxy maize com adição de cará-roxo



As propriedades podem ser explicadas pela modificação da composição de amilopectina e amilose na pasta. Como já mencionado, o waxy maize possui apenas a amilopectina, enquanto que o cará-roxo possui uma composição dos dois biopolímeros. E observou-se que na amostra de 1% de cará-roxo não há quantidade suficiente para modificar significativamente os géis de waxy maize, o que é alcançado nas concentrações de 3% e 5%.

Tabela 4- Propriedades obtidas das curvas de RVA para pasta de waxy maize com inserção de diferentes percentuais de cará-roxo

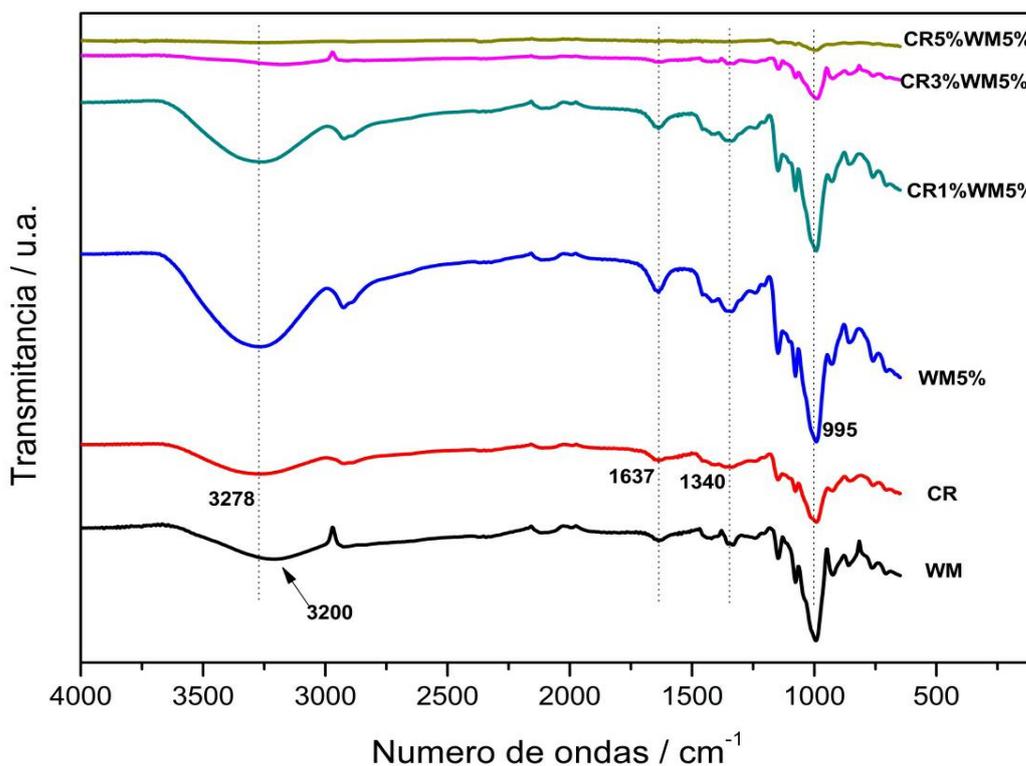
Amostra	Viscosidade de pico (cP)	Viscosidade de volta (cP)	Viscosidade de queda (cP)	Viscosidade final (cP)	Temperatura da pasta (°C)
WM	686.33 ± 43.15c	628.67 ± 60.91c	67.67 ± 3.06d	738.33 ± 43.19c	75.87 ± 0.73a
CR1%	789.67 ± 39.21c	672.67 ± 24.83c	117 ± 18.25c	809.67 ± 45.36c	75.7 ± 0.48a
CR3%	969.33 ± 43.68b	794 ± 29.31b	175.33 ± 14.57b	920.33 ± 29.02b	76,7 ± 0,1b
CR5%	1374.3 ± 144.16a	949.67 ± 50.77a	491.33 ± 41.77a	1098.33 ± 35.1a	76.38 ± 0.46b

Diferentes letras em uma mesma coluna representam uma diferença significativa com nível de confiança de 95% (p <0,05; teste de Tukey) entre as pastas.

5.1 Análise de FTIR

O waxy maize foi utilizado para alcançar o estado semissólido com a mucilagem de cará-roxo. Com auxílio dos espectros de infravermelho é possível analisar mudanças ocorridas na formação do gel e as alterações ocasionadas através da composição da mistura. A Figura 16 apresenta os espectros de FTIR das amostras em forma de géis do waxy maize (WM) e cará-roxo (CR) em diferentes composições. Todos os espectros apresentam características estruturais do amido, que podem ser amilopectina e/ou amilose. O WM é caracterizado pela sua composição de amido com cadeia ramificada, amilopectina. Enquanto, em outros amidos ocorrem variações entre os dois componentes, inferindo nas propriedades do material, como a maior plasticidade com amilose, cadeia linear.

Figura 15 - Espectros de FTIR das amostras de waxy maize e cará-roxo na formulação de gel



A identificação espectral do amido se dá pela presença de hidroxila, ligações C-OH e grupos éteres. Uma banda larga foi observada na região de 3000–3600 cm^{-1} , característica da vibração estiramento de ligação O-H. A região entre 800–1200 cm^{-1} é conhecida como "*finger print*" (impressões digitais) dos amidos. Uma banda estreita e intensa pode ser observada em 995 cm^{-1} , referente às vibrações

de dobramentos das ligações C-OH (grupos laterais na estrutura) (DRAGUNSKI e PAWLICKA, 2001). Todos os espectros também apresentaram várias outras absorções referentes ao estiramento C-O, que incluem vibrações da ligação C-O-C em 1077 cm^{-1} , presente ao grupo éter presente no anel piranosídico. Absorção em 1143 cm^{-1} refere-se à vibração da ligação C-O-C da cadeia linear (RASHID e colab., 2012). Absorções sobrepostas na região em torno de 1340 cm^{-1} são relacionadas a deformação de grupos metila (C-H). Em 923 e 850 cm^{-1} são atribuídas às deformações de CH_2 . Uma absorção em 1637 cm^{-1} representa a deformação angular de ligações -OH, essas bandas indicam presença de água ligada na região amorfa dos grânulos do polímero natural. A banda em 2930 cm^{-1} foi atribuída ao estiramento simétrico da ligação simples C-H.

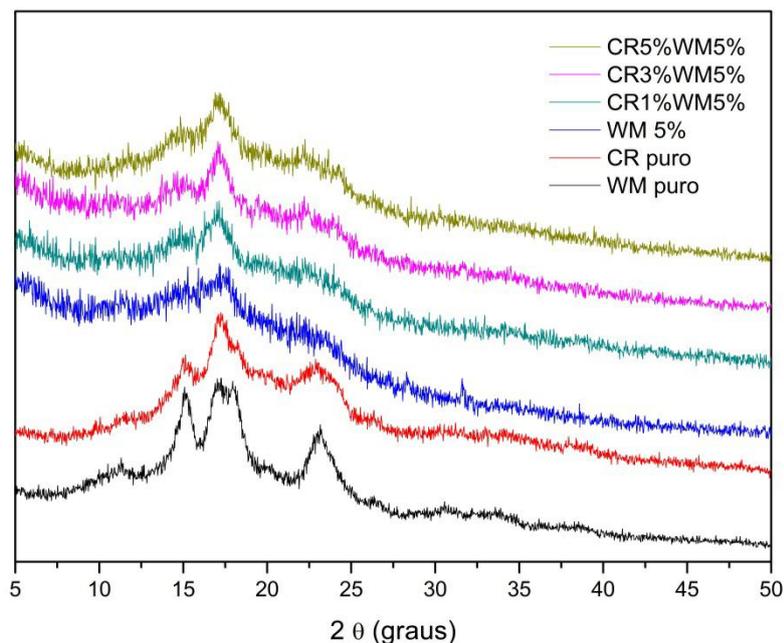
O espectro do waxy maize puro apresenta um leve deslocamento no pico máximo para maiores números de ondas da banda OH quando o mesmo é formado gel (WM5%) em meio aquoso, que pode sugerir mudanças nas interações das ligações hidrogênio. Em comparação ao amido extraído do cará roxo (CR), o MX possui picos mais definidos e intensos, muito se dar a maior pureza do amilopectina comercial e indica que o CR possui uma estrutura química com maiores interações com os grupos oxigenados e a medida que a concentração de CR é aumentada o espectro diminui as absorções das bandas indicando que a cadeia polímero torna-se mais flexível e as interações acabam atrapalhando a resolução dos espectros. Mas nota-se que não há mudanças na posição dos picos que caracterizam as ligações éteres e nem presença de carbonila, que poderia indicar quebrar na cadeia do polímero.

5.2 Análise de DRX

A amilopectina e amilose são polímeros semicristalinos constituídos de grânulos. Principais constituintes do waxy maize e da mucilagem de cará-roxo. A formação do estado gel do polímero é acompanhada pela mudança na cristalinidade. As proporções utilizadas para formar o gel (waxy maize e mucilagem) resultam em diferentes estados mais desorganizados da estrutura. Como base na análise dos difratogramas, (Figura 17) fez-se apenas do waxy maize puro, nele se observa certa cristalinidade e uma grande parte amorfa, o espectro observado é característico da amilopectina. Resultado de um arranjo fechado da cadeia dupla de amilopectina helicoidal com uma molécula de água entre cada dupla hélice

(RASHID *et al.*, 2012). São observados picos fortes em aproximadamente $2\theta = 14,8$, 17, 18 e 23 graus (DRAGUNSKI e PAWLICKA, 2001). Na mucilagem de cará-roxo são observados os mesmos picos exceto em $2\theta = 18$ graus, com maior região amorfa devido a presença de amilose em maior quantidade que no WM, que resulta em menores cristalinidade.

Figura 16- Difratoograma de DRX das amostras de Waze Maize e cara-roxo na formulação de gel



Quando feito o gel somente com WM5%, a água consegue acabar praticamente com a cristalinidade do WM puro. À medida que as porcentagens de cará-roxo e adicionada na formulação do gel com manutenção de maior região de cristalinidade. Então, o aumento da concentração de cará roxo forma um gel com menor plasticidade.

Pela análise de DRX e FTIR percebeu-se que o CR apresenta diferentes graus de amorficidade e proporções variadas de amilopectina e amilose que pode interferir nas propriedades reológicas dos materiais. Vale lembrar que pelo estudo de FTIR e DRX percebeu-se que o aumento na concentração a região amorfa aumenta, possivelmente, pela maior presença de amilose no CR. E essas cadeias tendem ter um aumento da taxa de deformação que levou maiores valores de tensão de cisalhamento.

6. CONCLUSÃO

Os géis de mucilagens de cará-roxo apresentaram resultados espectrais de FTIR muito similares nas condições empregadas, que corresponderam à presença de amido, em formas químicas de biopolímeros de amilopectina e amilose. As análises dos difratogramas de DRX mostraram que à medida que se aumentou as concentrações de mucilagem nos géis de waxy maize, a cristalinidade dos géis foi diminuída. As concentrações de 3 e 5% de mucilagem de cará-roxo foram as que formaram as pastas mais viscosas em relação ao gel de waxy maize puro. As curvas de RVA mostram propriedades de pastas superiores e perfil diferente para a concentração de 5%. Os conteúdos de amido no cará-roxo foram associados com o aumento das viscosidades de pico e aumento das temperaturas de pasta, em níveis significativos. Em estudo reológico de estado estacionário, todos os géis estudados foram compatíveis com os fluidos pseudoplásticos. Os modelos matemáticos de Lei da Potência e Herschel-Bulkley se ajustaram adequadamente aos dados reológicos obtidos em todas as composições. Os géis com mucilagens de 3 e 5% forneceram maiores valores de tensões de cisalhamentos. Os estudos de tempos revelaram comportamentos diferentes para as duas maiores composições dos géis. Sendo que em 3%, após 72h de confecção do gel atingiu maior nível de viscosidade aparente, 1500 Pa.s, após experimentar taxas constantes de cisalhamentos. Portanto, ocorreu uma predominância do comportamento pseudoplásticos da mucilagem de cará-roxo nos géis formulados. Ressalta-se que Brasil, ainda são poucas as instituições atualmente envolvidas com pesquisas relacionadas à cultura do inhame, principalmente, as direcionadas à *D. trifida*, de modo que novos estudos com essa espécie são importantes em termos de novos conhecimentos, podendo ser úteis para possíveis aplicações em processos no ramo alimentício.

7. REFERÊNCIAS

BERTHOMIEU, C.; HIENERWADEL, R. **Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy**. *Photosynth. Res.*, [S. l.], v. 101, n. 2-3, p. 157-170, 2009.

BETA, T. e OBILANA, A. B. e CORKE, H. **Genetic diversity in properties of starch from Zimbabwean sorghum landraces**. *Cereal Chemistry*, v. 78, n. 5, p. 583–589, 2001.

BRUNNSCHWEILER, J., LUETHI, D., HANDSCHIN, S., FARAH, Z., ESCHER, F. B. Conde- Petit, **Isolation, physicochemical characterization and application of yam (*Dioscorea spp.*) starch as thickening and gelling agent**, *Starch/Starke* 57 (2005) 107–117.

BULÉON, A. et al. **Starch granules: structure and biosynthesis**. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 23, n. 2, p. 85–112, 1 ago. 1998.

CÁNOVAS, G. V. B. & IBARZ, A. **Food preservation technology series: Unit operations in food engineering**. Ed: CRC Press Inc., v. 2, p. 89–139, 2002.

CÁNOVAS, G.V.B; MARTÍN, O.; BENDICHO, S. **Milk processing by high intensity pulsed electric fields**. *Trends in Food Science & Technology*, v.13, p.195-204, 2002.

CASTRO, A. G. **A química e a reologia no processamento dos alimentos**. Lisboa: Instituto Piaget, 2003.

CEREDA, M. P. et al. **Importância, modo de consumo e perspectiva para raízes e tubérculos hortícolas no Brasil**. In: CARMO, C. A. S. Inhame e taro: sistema de produção familiar. Vitória: Instituto Capixaba de pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, p. 23-32;2002.

CLARK, AH., DICKINSON, E.; **An introduction to food colloids**, Oxford University Press, Nova York, 1987.

CLARK, A.H., ROSS-MURPHY, S.B. **Structural and mechanical properties of biopolymers gels**. Advance in Polymer Science, v. 183, p. 55. 1987.

COLACASIA, **esculenta inhame-selvagem**. Disponível em: <plantamed.com.br>. Acesso em: 10 dez. 2018.

COLNAGO, L. A. **Desvendando os mistérios da vida molecular**. Ciência Hoje, São Paulo, v. 13, p. 24-29, 1991.

DE CASTRO, Albejamere Pereira e colab. **Etnobotânica das variedades locais do cará (*Dioscorea spp.*) cultivados em comunidades no município de Caapiranga, estado do Amazonas**. Acta Botanica Brasilica, v. 26, n. 3, p. 658–667, 2012.

DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P. DA. **Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas**. Ciência Rural, v. 39, n. 3, p. 945–954, jun. 2009.

DRAGUNSKI, D.C. e PAWLICKA, A. **Preparation and characterization of starch grafted with toluene poly (propylene oxide) diisocyanate**. Materials Research, v. 4, n. 2, p. 77–81, 2001.

ELIASSON, A.-C. **Starch in food : structure, function and applications**. [s.l.] Woodhead Pub, 2004a.

ELIASSON, A.-C. **Starch in food**. [s.l.] Woodhead Pub, 2004b.

FALADE, K. O.; AYETIGBO, O. E. **Effects of annealing, acid hydrolysis and citric acid modifications on physical and functional properties of starches from four yam (*Dioscorea spp.*) cultivars**. Food Hydrocolloids, v. 43, p. 529-539, 2015.

FAO. **Agricultura y desarrollo rural sostenible (ADRS) sumário de política** 16. 2009. Disponível em: <<http://www.fao.org/home/en/>>. Acesso em: 30 de maio de 2020.

CANEVAROLO JUNIOR, S.V. **Técnicas de caracterização de polímeros**. São Paulo: Artliber, 2004. P. 17-361.

FEDENIUK, R. W; BILIADERIS, C. G. **Composition and physicochemical properties of linseed (*Linum usitatissimum* L.) mucilage**. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 42, 240–247, 1994.

FELISBERTO, M. H. F., MIYAKE, P. S. E., BERALDO, A. L., & CLERICI, M. T. P. S. YOUNG. **bamboo culm: Potential food as source of fiber and starch**. Food Research International, 101, 96–102, 2017.

FORATO, L. A.; DORIGUETTO, A. C.; FISCHER, H.; MASCARENHAS, Y. P.; CRIAEVICH, A.; COLNAGO, L. A. **Conformation of Z19 Prolamin by FTIR, NMR and SAXS**. J. Agric. Food Chem., Easton, v. 52, n. 8, p. 2382-2384, 2004.

FORMIGONI, I. **Compare a evolução na produção de milho no mundo, por país produtor**. Disponível em: <http://www.farmnews.com.br/mercado/producao-de-milho-no-mundo/>. Acesso em: 10 jan. 2020.

FREITAS et al., **Amylose contents, rheological properties and gelatinization kinetics of yam (*Dioscorea alata*) and cassava (*Manihot utilissima*) starches**. Carbohydrate Polymers, v. 55,p. 3-8, 2004.

GOLDSMITH, C.C. et al. **Semiconductores: Integrated Circuit Manufactures**. In:___ Chung F.H. & Smith D. K. Industrial Applications of X-Ray Diffraction. New York: Marcel Dekker, 2000, p.55-88.

JAYAKODY L., HOOVER R., LIU Q, DONNER E. **Studies on tuber starches: II. Molecular structure, composition and physicochemical properties of yam**

(*Dioscorea sp.*) starches grown in Sri Lanka. Carbohydrate Polymers 69:148–63, 2007.

KIM, Y. S.; WIESENBORN, D. P.; ORR, P. H.; GRANT, L. A. **Screening potato starch for novel properties.** Journal of Food Science, 60, 1060–1065. 1995.

HAMINIUK, C. W. I. **Comportamento reológico e fracionamento péptico das polpas integrais de araçá (*Psidium cattleianum sabine*) e amora-preta (*Rubus spp*).** Tese de Mestrado em Tecnologia de Alimentos. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos - Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, Curitiba - PR, 2005.

HÉREDA-ZÁRATE, N.A.H.; VIEIRA, M.C.; MINUZZI, A. **Brotação de seis tipos de mudas dos clones de inhame roxo e mimoso.** Ciência e Agrotecnologia, vol. 26, no. 4, p. 699-704, 2002.

HOLDSWORTH, S. D. **Applicability of rheological models to the interpretation of flow and processing behaviour of fluid food products.** Journal of Texture Studies, v.2, n.4, p.393-418, 1971.

HOU, W. C.; HSU, F. L.; LEE, M. H. **Yam (*Dioscorea batatas*) tuber mucilage exhibited antioxidant activities in vitro.** Planta Medica, Stuttgart, v. 68, n. 12, p. 1072- 1076, Dec. 2002.

HUANG, C.C.; LIN MC, WANG, C.C.R. **Changes in morphological, thermal and pasting properties of yam (*Dioscorea alata*) starch during growth.** Carbohydrate Polymers 64:524– 31, 2007.

LEBOT, V. **Tropical root and tuber crops: cassava, sweet potato, yams and aroids.** London: CABI, 2009, 413p.

MANTSCH, H. H.; CHAPMAN, D. **Infrared Spectroscopy of Biomolecules.** New York: John Wiley & Sons, 1995.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. **Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização**. Semina: Ciências Agrárias, v. 31, n. 1, p. 137-156, 2010.

MATHIAS, T. R. S. et al . **Avaliação do comportamento reológico de diferentes iogurtes comerciais**. Brazilian Journal of Food Technology, Campinas , v. 16, n. 1, Mar. 2013.

MCCLEMENTS, J. **Food Biopolymers and Colloids Research** Laboratory. University of Massachusetts Amherst. Disponível em:<<http://www.unix.oit.umass.edu/~mcclemen/581Rheology.html>>. Acesso em: 17 dez. 2018.

MITCHELL, J. R., The rheology of gels. **J. Text. Studies**, v.11, p. 315-337, 1980.

MISAKI, A.; ITO, T.; HARADA, T. **Constitutional Studies on the Mucilage of “Yamanoimo” *Dioscorea batatas* Decne, forma *Tsukune*: isolation and structure of a mannan**. Agricultural and Biological Chemistry, Bethesda, v. 36, n. 5, p. 761-771, 1972.

MONTEIRO, D.A.; PERESSIN, V.A. **Cultura do inhame**. In: CEREDA, MP. (Coord.). **Agricultura: tuberosas amiláceas Latino Americanas**. São Paulo: Fundação Cargill. p. 511-518, 2002.

MULLER, H. G. **Introducción a la reologia de los alimentos**. González, J. B. (Trad.) Zaragoza: Acribia, p. 174, 1978.

MUÑOZ, L.A.; COBOS, A.; DIAZ, O.; AGUILERA, J. M. **Chia seeds: Microstructure, mucilage extraction and hydration**. Journal of Food Engineering, v. 108, 216-224, 2012.

NAVARRO, R. F. **Fundamentos de reologia de polímeros**. Caxias do Sul: Universidade de Caxias do Sul, p. 264; 1997.

OLIVEIRA, A.P.; BARBOSA, L.J.N; PEREIRA, W.E.; SILVA, J.E.L.; OLIVEIRA, A.N.P. **Produção de túberas comerciais de inhame em função de doses de nitrogênio**. Brasília. Horticultura Brasileira, n. 25, v.1, p. 73-76, 2007.

OLIVEIRA, R. R. **Ação antrópica e resultantes sobre a estrutura e composição da Mata Atlântica na Ilha Grande**. RJ. Rodriguésia, Rio de Janeiro, v. 53, n. 82, p. 33-58, 2002.

PACHECO-DELAHAYE, Emperatriz; TECHEIRA, Nora; GARCÍA, Auris D. **Elaboración y evaluación de polvos para bebidas instantáneas a base de harina extrudida de ñame (*Dioscorea alata*)**. Revista Chilena de Nutrición, v. 35, n. 4, p. 452-459, 2008.

PARK, J.M.; KIM, Y.J.; KIM, J.S.; HANA, Y.M.; KANGWANA, N.; HAHMA Ki, B.; KIM, T.S.; KWON, O; KIM, E.H. **Anti-inflammatory and carbonic anhydrase restoring actions of yam powder (*Dioscorea spp*) contribute to the prevention of cysteamine-induced duodenal ulcer in a rat model**. Nutrition Research 33, 677–685, 2013.

PATTEN, Ann M. e colab. **Trees: A remarkable biochemical bounty**. Comprehensive Natural Products II: Chemistry and Biology, v. 3, p. 1173–1296, 2010.

PEAT, S.; THOMAS, G. J.; WHELAN, W. J. **The enzymic synthesis and degradation of starch. Part XVII. Z-Enzyme**. Journal of the Chemical Society (Resumed), p. 722–733, dez. 1952.

PEDRALLI, G.; CARMO, C. A. S.; CEREDA, M.; PUIATTI, M. **Uso de nomes populares para as espécies de Araceae e Dioscoreaceae no Brasil**. Horticultura Brasileira, Brasília, v. 20, n. 4, p. 530-532. 2002.

PEDRALLI, G. **Flora ilustrada catarinense**. Santa Catarina: Fundação Cultural de Itajaí, p 83; 2004

RAMOS-ESCUREDO, F.; SANTOS-BUELGA, C.; PÉREZ-ALONSO, J.J.; YÁÑES, J.A.; DUEÑAS, M. **HPLC-DAD-ESI/MS identification of anthocyanina in *Dioscorea trifida* L, yam tuver (purple sachapapa)**. European Food Research and Technology, Berlin, v. 230, p. 745-752, 2010.

RAO, M.A. **Role of solids fraction in rheology of dispersions**. Rheology of fluid and semisolid foods, ed. Aspen Publication, Gaithersburg, Maryland, p. 35-41, 1999.

RAO, M. A.; RIZVI, S. S. **Engineering Properties of Foods**. New York, Marcel Dekker, 1986.

RASHID, lyad e colab. **Starch gelatinization using sodium silicate: FTIR, DSC, XRPD, and NMR studies**. Starch/Staerke, v. 64, n. 9, p. 713–728, 2012.

REIS, R. C.; SERVULO, A. C.O.; SOUZA, A. B. M. E; DEVILLA, I. A.; ASCHERI, D. P. R.; COLARES, C. J. G.; BARBOSA, L. S. **Características Entesimais Do Amido De Inhame (*Dioscorea sp.*)** Anais do VIII Seminário de Iniciação Científica e V Jornada de Pesquisa e Pós-Graduação UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS. 2010.

SARAVACOS, D. G.; MAROULIS, Z. B. **Transport properties of food**. New York: Marcel Dekker, p. 63-105, 2001.

SJOO, M.; NILSSON, L. **Starch in Food: Structure, Function and Applications**. 2nd. ed. [s.l.] Woodhead Publishing Ltd, 2017.

STEFFE, J.F. **Rheological Methods in Food Process Engineering**. 2nd Edition, Freeman Press, East Lansing. 1996.

TAMIRU M., BECKER H.C. MAASS B.L. Diversity, distribution and management of yam landraces (*Dioscorea spp.*) in Southern Ethiopia. **Genetic Resources and Crop Evolution**. 55, 115-131, 2008.

TAVARES, Sandra Aparecida et al. Caracterização físico-química da mucilagem de inhame liofilizada. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 973-979, 2011.

TEIXEIRA, A. P. O **Cará-roxo (dioscorea Trifida) Como Ingrediente Funcional Na Indústria De Panificação**. Dissertação de mestrado- Universidade Federal do Amazonas; 2011.

TESTER, R.F. e KARKALAS, J. STARCH. IN: STEINBÜCHEL, A. (SERIES ED.), VANDAMME, E.J., DE BAETS, S. AND STEINBÜCHEL, A. (Vol. Eds.), **Biopolymers**, Vol. 6, Polysaccharides. II. Polysaccharides from Eukaryotes, Wiley-VCH, Weinheim, 381-438, 2002.

TÓFANO DE CAMPOS LEITE TONELI, Juliana e ELISABETH XIDIEH MURR, Fernanda e JIN PARK, Kil. **Estudo Da Reologia De Polissacarídeos Utilizados Na Indústria De Alimentos**. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, n. 2, p. 181–204, 2005.

VEASEY, E.A.; SIQUEIRA, M.V.B.M.; SILVA, L.R.G.; NASCIMENTO, W.F.; FERREIRA, A.B.; SILVA, D.; SILVA, E.; MING, L.C.; PERONI, N.; SANTOS, A.H. **Ocorrência e diversidade de espécies cultivadas do gênero *Dioscorea* em diversos agroecossistemas brasileiros**. In: KFFURI, C.W.; AMOROZO, M.C.M.; MING, L.C. (Org). Agrobiodiversidade no Brasil: Experiências e caminhos da pesquisa. Recife: NUPEEA, 2010. p. 45-74.

WANASUNDERA, J. P. D.; RAVINDRAN, G. Nutritional assessment of yam (*Dioscorea alata*) tubers. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 46, n. 1, p. 33-39, 1994.

W.C.; HSU F.L.; LEE, M.H. (*Dioscorea batata*) tuber mucilage exhibited antioxidant activities in vitro. *Planta Medica*, v.68, p.1072-1076, 2002.
<http://alfa.ist.utl.pt/~fidel/flaves/intro.html>

ZABOT, Giovani L. e colab. **Physicochemical, morphological, thermal and pasting properties of a novel native starch obtained from annatto seeds**. Food

Hydrocolloids, v. 89, n. August 2018, p. 321–329, 2019. Disponível em:
<<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.10.041>>.