



Universidade Federal de Santa Catarina

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA QUÍMICA**

**MUCILAGEM DO CLADÓDIO DE
Cereus hildmaniannus K. Schum:
CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, QUÍMICA E REOLÓGICA**

NATÁLIA BRUZAMARELLO CAON BRANCO

**FLORIANÓPOLIS
2011**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
EM ENGENHARIA QUÍMICA**

Natália Bruzamarello Caon Branco

**MUCILAGEM DO CLADÓDIO DE
Cereus hildmaniannus K. Schum:
CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, QUÍMICA E REOLÓGICA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina como parte integrante dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Mara Gabriela Novy Quadri

Florianópolis
2011

Natália Bruzamarello Caon Branco

**MUCILAGEM DO CLADÓDIO DE
Cereus hildmaniannus K. Schum:
CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, QUÍMICA E REOLÓGICA**

Esta dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre em Engenharia Química”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 28 de dezembro de 2011.

Prof.^a, Dr.^a Mara Gabriela Novy Quadri
Orientadora

Prof. Leonel Teixeira Pinto, Dr.
Coordenador do POSENQ

Banca Examinadora:

Prof., Dr. Claus Tröger Pich
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof., Dr. Dachamir Hotza
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof., Dr. Marcelo Maraschin
Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Agradeço e louvo a Deus por ter me guiado por todos os momentos da minha vida e durante a realização do mestrado. Somente por Ele que consegui alcançar todos os meus objetivos e é para Ele que dedico este trabalho.

Também agradeço ao meu marido, Marcio Branco, pelo amor e dedicação a mim. Pois foi você que me acompanhou durante todo o período do mestrado e sempre me deu forças, nunca duvidou da minha capacidade e foi compreensivo nos momentos difíceis que surgiram no caminho. Muito obrigada e saiba que a cada dia eu amo você mais ainda.

Obrigada aos meus pais, José Osmar e Jô Caon, pelo amor, carinho e educação que me deram desde meu nascimento. Mesmo distantes estavam presentes com um e-mail cheio de carinho e palavras de incentivo. Obrigada! Aos meus irmãos, Caroline e Guilherme, obrigada por me fazerem uma pessoa tolerante e compreensiva.

Agradeço a minha orientadora, Professora Mara Gabriela Novy Quadri, pelo crescimento acadêmico que obtive, pela oportunidade de realizar esta pesquisa, pelas horas investidas em reuniões comigo e pela compreensão sobre o fato de eu ter assumido o cargo de Química na UFSC durante a realização do mestrado.

Aos membros da banca examinadora, pelo aceite e contribuições indispensáveis a este trabalho.

As amigas e amigos do Laboratório de Sistemas Porosos e da Pós-Graduação: Mariana, Solange, Raquel e Júnior, Andressa, Gabi, Andréia, Pâmela, John, Marcel, Rafael, Fabrício e Henrique: muito obrigada pela ajuda, pelo companheirismo e por fazerem do nosso laboratório um ambiente de muita amizade. Gostaria de agradecer em especial ao Júnior pelo empenho em conseguir algumas análises e a Raquel por partilhar seus conhecimentos e por me ajudar nas análises reológicas.

As amigas e amigos do Laboratório de Química Geral e do Departamento de Química da UFSC: Leidiane, Carla, Lara, Rita, Jadson, Otávio, Professor Santiago Yunes e todos os monitores e funcionários do Departamento que sempre tinham uma palavra amiga quando as dificuldades do mestrado apareciam. Obrigada pelo incentivo e pela amizade.

Aos Irmãos da minha Igreja (IEQ-Trindade) e aos Pastores pelas orações por mim, pela minha família e pelo bom andamento de meu mestrado. Deus os abençoe.

Aos professores da área de físico-química do Departamento de Química da UFSC e ao funcionário José Paulo por disponibilizarem o viscosímetro para a realização dos experimentos de viscosidade intrínseca.

Ao professor Dachamir Hotza por disponibilizar o uso do viscosímetro do Laboratório de Materiais (CERMAT) e a Priscila pela ajuda na realização das análises reológicas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) por conceder a bolsa de Mestrado durante 12 meses e à UFSC.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho. Muito obrigada!!

*“Entrega o teu caminho ao Senhor;
confia nele, e ele o fará” (Sl 37, 5)*

Fontes naturais sustentáveis de biomassa que existem em muitas regiões do mundo podem ser utilizadas como alternativas mais baratas para produção de gomas polissacarídicas de valor agregado industrial. Entre estas fontes que estão atualmente sendo procuradas para este propósito, plantas dos países com regiões áridas merecem atenção especial pela suas vantagens econômicas e ecológicas, como o baixo consumo de água e energia necessária para a exploração comercial. Nesse contexto, a cactácea *Cereus hildmaniannus* K. Schum vegeta naturalmente em solos pedregosos e com escassez de água. É uma espécie muito conhecida pela população rural do meio-oeste do Estado de Santa Catarina e tem se mostrado importante, pois apresenta potencial de domesticação e cultivo em escala. Esta cactácea apresenta-se, entre outras aplicações tecnológicas, como fonte do carboidrato complexo mucilagem. Esta possui elevada capacidade de absorver água e pode ser considerada como potencial hidrocolóide industrial, tanto na área alimentícia quanto em outras áreas. Nesse sentido, o presente trabalho visa contribuir para caracterizar este cacto quanto às suas potencialidades tecnológicas associadas à mucilagem presente em seu cladódio. Metodologia de extração aquosa e precipitação com etanol foi proposta, a qual se mostrou adequada para a obtenção do produto sólido. Foram realizadas análises de infravermelho, termogravimetria, calorimetria exploratória diferencial, difração de raios X e microscopia eletrônica de varredura para caracterização da mucilagem em pó. O comportamento da mucilagem em solução aquosa foi avaliado pelas medidas do pH no ponto de carga zero e solubilidade. O comportamento reológico foi elucidado utilizando ensaios reológicos unidirecionais em um viscosímetro de cilindros concêntricos e a viscosidade intrínseca do biopolímero foi medida utilizando um viscosímetro de Cannon-Fenske. Os resultados indicaram que a mucilagem é estável até aproximadamente 200 °C e apresenta estrutura parcialmente cristalina. O modelo reológico que melhor ajustou os dados foi o modelo de Herschel-Bulkley para todas as concentrações avaliadas, exceto para a amostra a 0,10%, que foi mais bem ajustada pelo modelo de Bingham. Desta forma, a mucilagem de *Cereus hildmaniannus* K. Schum possui comportamento não-newtoniano e é dependente do tempo (tixotrópico) em temperaturas na faixa de 10 °C a 25 °C.

Palavras chave: Mucilagem. Biopolímero. Caracterização. Reologia.

Sustainable natural resources of biomass that exist in many regions of the world may be used as less expensive alternatives for producing added-value industrial polysaccharide gums. Among resources currently being sought for this purpose, indigenous plants from arid lands deserve special attention due to their economic and ecological advantages, such as the low input of water and energy needed for their commercial exploitation. In this context, the cactus *Cereus hildmaniannus* K. Schum naturally grows in stony soil with lack of water. The specie is well-known by the rural population of the Midwest region of Santa Catarina State and has been important, as it presents potential for domestication and scale cultivation. This cactus presents, among several technological applications, as source of the complex carbohydrate mucilage. Mucilage has high capacity to absorb water and could be considered as a potential hydrocolloid for industrial use, such in food industry as in other areas. In this sense, this work aims to contribute to characterize this cactus in terms of its technological potential of the mucilage present in the cladodes. A methodology for aqueous extraction and precipitation with ethanol was proposed, which was adequate for obtaining the solid product. Fourier transform infrared, thermogravimetry, differential scanning calorimetry, X-ray diffraction, and scanning electron microscopy were employed to characterize the mucilage. The behavior of the mucilage in aqueous solution was evaluated by measuring the solubility and the pH at the point of zero charge. The rheological behavior was elucidated using unidirectional rheology in a concentric cylinders viscometer and the intrinsic viscosity of the biopolymer was measured using Cannon-Fenske glass viscometer. The results indicated that mucilage is stable until temperatures near 200 °C and has a partially crystalline structure. Herschel-Bulkley model successfully correlated data for all evaluated concentrations, except for the sample at 0.10%, which was adjusted using Bingham model. Thus, mucilage from *Cereus hildmaniannus* K. Schum has a non-newtonian behavior and is time-dependent (thixotropic) in temperatures from 10 °C to 25 °C.

Key words: Mucilage. Biopolymer. Characterization. Rheology.

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO.....	21
1.1 IMPORTÂNCIA DO ESTUDO	21
1.2 OBJETIVOS	22
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	23
CAPÍTULO 2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1 O CACTO <i>CEREUS HILDMANIANNUS</i> K. SCHUM	25
2.1.1 <i>Características gerais e biológicas</i>	25
2.1.2 <i>Distribuição geográfica</i>	27
2.1.3 <i>Produção científica sobre C. hildmaniannus</i>	27
2.2 HIDROCOLÓIDES.....	28
2.2.1 <i>Propriedades funcionais dos hidrocolóides</i>	29
2.2.1.1 Viscosidade	30
2.2.1.2 Estabilidade	30
2.2.1.3 Suspensão	30
2.2.1.4 Gelificação.....	30
2.2.1.5 Nutricional e nutracêutico.....	30
2.3 A MUCILAGEM.....	31
2.3.1 <i>Definição</i>	31
2.3.2 <i>Vantagens da mucilagem frente aos análogos sintéticos</i>	32
2.3.3 <i>Aplicações da mucilagem</i>	32
2.4 REOLOGIA	33
2.4.1 <i>Tipos de comportamento reológico de fluidos</i>	34
2.4.2 <i>Equações dos modelos reológicos</i>	38
2.4.2.1 Modelo de Newton	38
2.4.2.2 Modelo de Bingham	39
2.4.2.3 Modelo de Ostwald-de Waele (Lei da potência).....	39
2.4.2.4 Modelo de Herschel-Bulkley	40
2.4.2.5 Modelo de Casson	41
2.4.2.6 Modelo de Mizrahi-Berk	41
2.4.3 <i>Efeito da temperatura sobre o comportamento reológico</i>	41
2.4.4 <i>Propriedades reológicas do polímero isolado</i>	42
2.5 PROPRIEDADES REOLÓGICAS DA MUCILAGEM	43
CAPÍTULO 3: MATERIAIS E MÉTODOS	45
3.1 RECEBIMENTO E ARMAZENAGEM DA MATÉRIA PRIMA	45
3.2 EXTRAÇÃO E PRECIPITAÇÃO DA MUCILAGEM DO CLADÓDIO	45
3.2.1 <i>Determinação do teor de umidade do cladódio</i>	46

3.3	CARACTERIZAÇÃO DA MUCILAGEM EM PÓ	46
3.3.1	<i>Análise termogravimétrica (TGA)</i>	46
3.3.2	<i>Calorimetria exploratória diferencial (DSC)</i>	47
3.3.3	<i>Difratometria de raios X (DRX)</i>	47
3.3.4	<i>Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)</i>	47
3.3.5	<i>Microscopia eletrônica de varredura (MEV)</i>	47
3.4	COMPORTAMENTO DA MUCILAGEM EM SOLUÇÃO AQUOSA.....	48
3.4.1	<i>Ponto de carga zero (pH_{pcz})</i>	48
3.4.2	<i>Solubilidade</i>	48
3.5	CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA DA MUCILAGEM.....	48
3.5.1	<i>Determinação de parâmetros relativos ao polímero isolado</i>	48
3.5.2	<i>Influência da concentração e da temperatura na viscosidade de soluções de mucilagem</i>	49
3.5.2.1	Preparo das soluções de mucilagem.....	49
3.5.2.2	Medidas reológicas	49
CAPÍTULO 4: RESULTADOS E DISCUSSÃO		51
4.1	EXTRAÇÃO E PRECIPITAÇÃO DA MUCILAGEM E PROPRIEDADES DO SÓLIDO OBTIDO	51
4.1.1	<i>Extração e precipitação da mucilagem</i>	51
4.1.2	<i>Propriedades do sólido obtido</i>	52
4.1.2.1	Infravermelho com transformada de Fourier.....	52
4.1.2.2	Difração de raios X.....	53
4.1.2.3	Análise termogravimétrica	54
4.1.2.4	Calorimetria exploratória diferencial	55
4.1.2.5	Microscopia eletrônica de varredura	56
4.2	PROPRIEDADES DA MUCILAGEM EM SOLUÇÃO AQUOSA.....	58
4.2.1	<i>Solubilidade</i>	58
4.2.2	<i>Ponto de carga zero</i>	59
4.3	COMPORTAMENTO REOLÓGICO DA MUCILAGEM EM SOLUÇÃO	60
4.3.1	<i>Propriedades reológicas do polímero isolado</i>	60
4.3.2	<i>Influência da concentração da viscosidade de soluções de mucilagem</i>	63
4.3.3	<i>Influência da temperatura na viscosidade de soluções de mucilagem</i>	67
4.3.4	<i>Influência do aquecimento e do resfriamento na viscosidade de soluções de mucilagem</i>	68
4.3.5	<i>Curvas de histerese</i>	71
CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES		75
CAPÍTULO 6: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		77
APÊNDICE.....		89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Apresentação da espécie <i>C. hildmaniannus</i> de acordo com as partes da planta: cladódio, espinhos, flor e fruto.....	26
Figura 2. Reologia e outras ciências considerando problemas aplicados (MALKIN, 1994).	34
Figura 3. Curvas de fluxo para fluidos newtonianos e não-newtonianos: (a) newtoniano; (b) binghamiano ou plástico ideal; (c) pseudoplástico; (d) dilatante; (e) pseudoplástico com limite de escoamento.....	35
Figura 4. Curva de fluxo para um fluido tixotrópico: (a) curva ascendente; (b) curva descendente.	37
Figura 5. Cladódios de <i>C. hildmaniannus</i> . (a) e (b) vista lateral; (c) e (d) secção transversal.....	45
Figura 6. Espectro de FT-IR da mucilagem.	52
Figura 7. Difratoograma de raios X da mucilagem.	53
Figura 8. Curvas da análise termogravimétrica (TGA) da mucilagem.	54
Figura 9. Curva de DSC para a mucilagem de <i>C. hildmaniannus</i>	56
Figura 10. Micrografias da mucilagem de <i>C. hildmaniannus</i> . Ampliações: a) 50 vezes; b), c) 250 vezes; d) 500 vezes; e) 1000 vezes; f) 7000 vezes.	57
Figura 11. Gráfico para obtenção do pH_{pcz}	60
Figura 12. Gráfico de Huggins.	61
Figura 13. Gráfico de Kraemer.	61
Figura 14. Gráfico de Schulz-Blaschke.....	62
Figura 15. Curvas de fluxo para as concentrações estudadas de mucilagem, a 25 °C.	64
Figura 16. Efeito da concentração na viscosidade a 25 °C.....	65
Figura 17. Efeito da temperatura nas soluções de mucilagem.	67
Figura 18. Viscosidade em função da temperatura (concentração de mucilagem = 0,50%) obtida com aquecimento e resfriamento gradual.	69
Figura 19. Viscosidade em função da temperatura (concentração de mucilagem = 0,85%) obtida com aquecimento e resfriamento gradual.	69
Figura 20. Viscosidade em função da temperatura (concentração de mucilagem = 1,00%) obtida com aquecimento e resfriamento gradual.	70
Figura 21 (a-d). Curvas de histerese da solução de mucilagem em concentração 0,85%: (a) 10 °C; (b) 15 °C; (c) 20 °C; (d) 25 °C.	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Porcentagem de perda de massa da mucilagem com a variação da temperatura.	55
Tabela 2. Solubilidade em função da temperatura para a mucilagem de <i>C. hildmaniannus</i>	58
Tabela 3. Distribuição de cargas na superfície de acordo com o pH_{pcz}	59
Tabela 4. Valores de viscosidade intrínseca e constantes de cada equação para mucilagem em água a 30,0 °C.	62
Tabela 5. Parâmetros reológicos para as concentrações estudadas, a 25 °C.	66
Tabela 6. Valores dos ajustes à Equação 11 para viscosidades obtidas em taxas de deformação igual a 1000 s ⁻¹	68
Tabela 7. Parâmetros reológicos para solução de mucilagem (concentração 0,10%) obtidos pelos ajustes aos modelos reológicos....	91
Tabela 8. Parâmetros reológicos para solução de mucilagem (concentração 0,50%) obtidos pelos ajustes aos modelos reológicos....	92
Tabela 9. Parâmetros reológicos para solução de mucilagem (concentração 0,85%) obtidos pelos ajustes aos modelos reológicos....	93
Tabela 10. Parâmetros reológicos para solução de mucilagem (concentração 1,00 %) obtidos pelos ajustes aos modelos reológicos...	94

1.1 IMPORTÂNCIA DO ESTUDO

Fontes naturais sustentáveis de biomassa que existem em muitas regiões do mundo podem ser utilizadas como alternativas mais baratas para produção de gomas polissacarídicas de valor agregado industrial. Entre estas fontes que estão atualmente sendo procuradas para este propósito, plantas naturais dos países com regiões áridas merecem atenção especial pela suas vantagens econômicas e ecológicas, como o baixo consumo de água e energia necessária para a exploração comercial. Além disso, a desertificação de regiões áridas tem se tornado uma grande preocupação no mundo todo, e o encorajamento do uso sustentável da flora nativa destas regiões pode contribuir para reverter este problema (CÁRDENAS et al., 1997).

Dezenas de milhares de pessoas ao redor do mundo que vivem em regiões tanto semi-áridas quanto em florestas dependem de gomas, resinas e látex para fornecer um meio de subsistência. Da mesma forma, muitos milhões de pessoas no mundo todo fazem uso destes produtos todos os dias (ROBBINS, 1988).

Nesse contexto, a cactácea *Cereus hildmaniannus* K. Schum (que no presente trabalho será chamada *C. hildmaniannus*) vegeta naturalmente em solos pedregosos e com escassez de água. É uma espécie muito conhecida pela população rural do meio-oeste do Estado de Santa Catarina e tem se mostrado importante, pois apresenta potencial de domesticação e cultivo em escala (PORTO, 2009).

Esta cactácea pertence à mesma família da espécie mais pesquisada da família Cactaceae: a *Opuntia ficus-indica* (*Ofi*). A *Ofi* apresenta-se, entre outras aplicações tecnológicas, como fonte do carboidrato complexo mucilagem.

As cactáceas são bem adaptadas em regiões áridas e regiões quentes e secas, onde elas apresentam a capacidade de resistir a secas prolongadas. A habilidade das cactáceas de reter água sob essas condições climáticas desfavoráveis se deve, em parte, pelo menos, a capacidade da mucilagem em reter água (SAAG et al., 1975).

A mucilagem possui elevada capacidade de absorver água e pode ser considerada como potencial hidrocolóide industrial, tanto na área alimentícia quanto em outras áreas (SÁENZ et al., 2004). Outra propriedade é a habilidade em formar gel, onde em presença de Ca^{2+} a mucila-

gem produz géis densos e na ausência deste íon ela perde esta propriedade (TRACHTENBERG e MAYER, 1981).

A mucilagem possui muitas aplicações como, por exemplo, flocculante natural para tratamento de água (MILLER et al., 2008), adoçante (SÁENZ et al., 1998), inibidor de corrosão (TORRES-ACOSTA, 2007), espessante para alimentos (LINEBACK, 1999), filme comestível para recobrimento de alimentos (DEL-VALLE et al., 2005) e como substituto de gordura em alimentos (MCCARTHY apud CÁRDENAS et al., 1997).

A mucilagem é utilizada tradicionalmente pelo conhecimento popular como para cura de febre, de lábios partidos pelo frio, de inflamações em geral e também como liga na construção de casas (PORTO, 2009).

Por todas as características e funções, estudos realizados pela FAO demonstram a importância das cactáceas como recursos naturais e como uma fonte potencial de renda, emprego e nutrientes (VILLASEÑOR, 2008).

Alguns autores (DURLI, 2008; PORTO, 2009) reportaram a presença de um exsudato mucilaginoso no fruto e no cladódio de *C. hildmaniannus*, entretanto, na literatura disponível não se encontram metodologias de extração da mucilagem destas partes do cacto.

Nesse sentido, elucidar uma metodologia de extração e precipitação da mucilagem de *C. hildmaniannus* mostra-se interessante. Tornar este cacto uma fonte de mucilagem com aplicação industrial, principalmente na indústria alimentícia e de cosméticos, pode fornecer a este cacto uma utilização que irá gerar renda ao pequeno produtor, pois poderá produzi-lo mesmo em solo pedregoso e escasso de água, onde outras culturas vegetais não cresceriam.

1.2 OBJETIVOS

O trabalho visa contribuir para caracterizar a mucilagem deste cacto quanto às suas potencialidades tecnológicas. Desta forma, propõe-se determinar as propriedades físicas, químicas e reológicas da mucilagem do cacto *C. hildmaniannus*. Apresentar uma metodologia de extração e precipitação do carboidrato, e após a obtenção do produto, realizar análises químicas e físicas para caracterizá-lo e estudos reológicos visando elucidar o comportamento da mucilagem em solução.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em 6 capítulos. No capítulo 2 é feita uma revisão bibliográfica que apresenta ao leitor o cacto *C. hildmaniannus*, suas características biológicas, importância tecnológica e ocorrência no Brasil. Nesse capítulo também se encontram aspectos sobre os hidrocolóides e sobre a mucilagem. Também estão descritos os fundamentos da reologia de soluções poliméricas e os principais modelos reológicos.

Os materiais e métodos utilizados na extração e precipitação da mucilagem e nas análises químicas, físicas e reológicas estão apresentados no capítulo 3.

No capítulo 4 estão os resultados e discussões deste trabalho.

No capítulo 5 têm-se as conclusões do trabalho e no capítulo 6 as referências bibliográficas utilizadas durante a realização da pesquisa.

2.1 O CACTO *CEREUS HILDMANIANNUS* K. SCHUM

2.1.1 Características gerais e biológicas

As cactáceas são dicotiledôneas suculentas de diversos hábitos, podendo ser árvores, arbustos, trepadeiras, epífitas ou geófitas; hastes (talos) podem ser colunares, roliços, globulares, tuberculados, em forma de costeletas, asas ou achatados, geralmente segmentados sem folhas e com espinhos. A família é composta de 100 gêneros e 1500 espécies, distribuídas quase exclusivamente nas regiões áridas das Américas (BARTHLOTT e HUNT, 1993).

A família Cactaceae está dividida em três subfamílias: *Opuntioideae* - apresenta espécies tipo árvore ou arbusto, com folhas, divididas em cinco gêneros; *Pereskioideae* – representada pelos gêneros *Pereskia* e *Maihuenia*; *Cactoideae* – a mais numerosa com 91 gêneros, geralmente árvores sem folhas ou com vestígios de folhas. As espécies da subfamília *Pereskioideae* apresentam hastes não suculentas, folhas grandes, aréolas axilares com espinhos; na subfamília *Opuntioideae* há hastes e folhas suculentas e aréolas axilares com espinhos; as *Cactoideae* não têm folhas, possuem hastes suculentas com aréolas bem desenvolvidas (BARTHLOTT e HUNT, 1993).

A cactácea *C. hildmaniannus*, conhecida por “tuna” pela população rural do Estado de Santa Catarina, pertence à família Cactaceae, à subfamília *Cactoideae*, ao grupo *Cereoideae* e ao gênero *Cereus*. Esse gênero compreende plantas tipo árvore ou arbustos de hastes (talos) eretos e significa, tanto em grego quanto em latim, “tocha”, provavelmente devido ao formato de candelabro do primeiro cacto conhecido. O gênero foi descrito por Hermann, em 1698 e depois por Miller em 1754, e inclui 900 espécies publicadas. Desenvolve-se preferencialmente em afloramentos rochosos, ocorrendo também em campos do planalto, apresentando assim larga, porém descontínua e inexpressiva dispersão (SCHEINVAR, 1985).

Bruxel e Jasper (2005) caracterizam esta espécie como uma planta ereta, colunar, arbórea ou arbustiva, terrícola, rupícola e eventualmente epífita, de até 8 m de altura. Possui cladódios articulados com constrições de crescimento características; coloração geralmente verde. Possui entre 6 e 9 costelas; aréolas inclusas com tomento cinza. Os espinhos

são radiais, rígidos, castanhos a pretos. As flores são campanuladas com 10 a 18 cm de comprimento, segmentos externos do perianto crassos, verdosos com ápice avermelhado; estames numerosos, estilete cilíndrico; estigma com 12 lóbulos. O fruto é carnoso, oval-alongado, amarelo quando maduro, estilete persistente e deiscente por fenda lateral e as sementes são obovadas e pretas.

Sua floração pode ser registrada principalmente nos meses de outubro a janeiro e sua frutificação se estende pelo mesmo período (BRUXEL e JASPER, 2005).

Segundo o USDA Plants Profile (plants.usda.gov), o cacto *C. hildmaniannus* possui os seguintes sinônimos científicos: *Cereus peruvianus* (L.) Mill., *Cereus uruguayanus* Kiesling, *Piptanthocereus peruvianus* (L.) Riccob e *Stenocereus peruvianus* Kiesling.

Esta espécie possui diferentes partes conforme apresentado na **Figura 1** a seguir, com exceção das sementes que ocorrem na polpa do fruto.

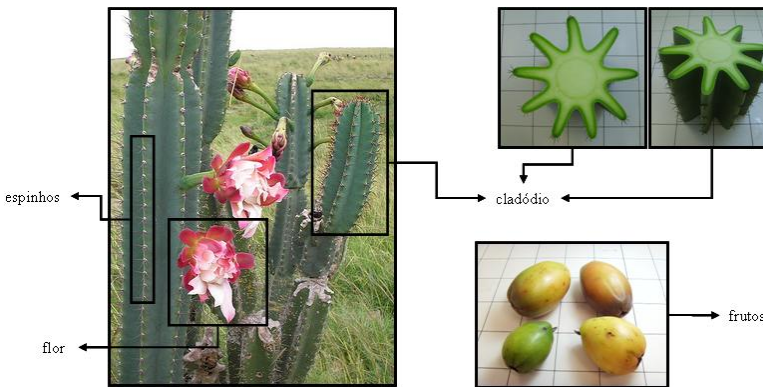


Figura 1. Apresentação da espécie *C. hildmaniannus* de acordo com as partes da planta: cladódio, espinhos, flor e fruto.

Cereus é um gênero da família Cactaceae que desenvolveu boa adaptação a condições ambientais extremamente secas, quentes e salinas (MAUSETH, 2000). O processo fotossintético de *Cereus* é do tipo metabolismo ácido crassulaceano, em que o estômato da planta abre-se a noite (quando as taxas de evaporação são normalmente mais lentas) e estão normalmente fechados durante o dia. O CO_2 é convertido a ácido pela fosfoenolpiruvato carboxilase e armazenado durante a noite. Durante o dia, o ácido é novamente convertido em CO_2 para a fotossíntese. Quando as condições são extremamente áridas, as plantas do gênero

Cereus simplesmente fecham os estômatos durante o dia e a noite. O oxigênio desprendido na fotossíntese é usado para a respiração e o CO₂ desprendido na respiração é usado para a fotossíntese. (WINTER e SMITH, 1996).

2.1.2 Distribuição geográfica

No Brasil, o cacto *C. hildmaniannus* ocorre em todas as formações florestais do Rio Grande do Sul (SOBRAL et al., 2006), na região meio-oeste de Santa Catarina (DURLI, 2008), nos cerrados Caron e Nhumirin na região do Pantanal sul-mato-grossense, citado como *Cereus peruvianus* (SALIS et al., 2006). Ocupa ambientes como a restinga, até os planaltos a partir da região sudeste até o Rio Grande do Sul. Além disso, a espécie pode ser encontrada em florestas semi-úmidas e úmidas, subtropicais e tropicais do planalto leste do Chaco no sudeste da América do Sul (PEREIRA, 2009).

Alguns trabalhos também relatam a ocorrência de *C. hildmaniannus* em Israel (MIZRAHI et al., 2002; NINIO et al., 2003) e nos Estados Unidos (ELOBEIDY, 2004).

2.1.3 Produção científica sobre *C. hildmaniannus*

Esta espécie ainda é relativamente desconhecida, visto que são encontrados poucos trabalhos sobre *C. hildmaniannus*. É importante frisar que esta espécie também é citada na literatura por seu sinônimo científico *Cereus peruvianus* (L) Miller, fato que pode dificultar o consenso nas características biológicas da espécie, visto que a família Cactaceae só foi recentemente descrita e engloba grande quantidade de espécies.

EIObeidy (2004) realizou um estudo extensivo sobre a introdução de espécies do gênero *Cereus*, inclusive a espécie *Cereus peruvianus*, como alternativa para plantação no deserto de Al-Ain, nos Emirados Árabes Unidos. Este deserto é caracterizado pelas altas temperaturas (49 °C no verão) e chuvas raras (77 mm para o ano todo), além de alta salinidade do solo: 2200 ppm de salinidade em solo arenoso. Todos os cactos de *Cereus peruvianus* sobreviveram ao novo ambiente, crescendo 9,2 cm.mês⁻¹ em altura e 0,9 cm.mês⁻¹ em diâmetro. Também é importante citar que os cortes de *Cereus peruvianus* provenientes da Califórnia, EUA, sobreviveram a oito meses de armazenamento a 35 °C, e os cladódios que foram armazenados na horizontal deram origem a novos ramos. Os resultados indicam que esta espécie é muito promissora para

ser plantada em regiões áridas e pode ser base para indústrias de pequena escala.

No trabalho de Porto (2009), a autora estudou as características físico-químicas e reológicas da polpa do fruto de *C. hildmaniannus*, em que verificou que a polpa do fruto apresenta teores centesimais semelhantes aos encontrados nas polpas dos frutos de outras espécies da família Cactaceae. A polpa integral e a polpa diluída sem sementes de *C. hildmaniannus* apresentaram caráter não-newtoniano, com comportamento pseudoplástico independente do tempo.

Um estudo detalhado sobre as alterações que ocorrem durante as fases de amadurecimento do fruto de Koubo (Koubo é como o fruto de *Cereus peruvianus* (L) Miller é comumente conhecido na região de Israel) está reportado no trabalho de Ninio et al. (2003). Os autores observaram que este fruto é promissor como novo cultivo para zonas áridas e semi-áridas, observando-se alguns cuidados como armazenamento após a colheita em condições controladas.

Como pode ser observado anteriormente, poucos trabalhos disponíveis tratam sobre o fruto e domesticação da espécie. Existem outros trabalhos que tratam sobre a caracterização da cera epicuticular da planta (HUGHES et al., 1980; DEMBITSKY e REZANKA, 1996; REZANKA e DEMBITSKY, 1998). Desta forma é possível observar que esta espécie pode ser estudada utilizando suas diversas partes, sejam elas principalmente o fruto, as sementes, a casca e, no caso do presente trabalho, o cladódio.

A produção científica presente na literatura disponível sobre o cladódio indica o trabalho de Tanaka et al. (2010). Os autores extraíram do cladódio do *Cereus peruvianus* uma arabinogalactana com propriedades contra a úlcera que pode ser utilizada como fitoterápico. Este trabalho faz referência a outros autores que reportam a aplicação da goma extraída do cladódio em diferentes áreas, tais como agente flocculante de impurezas da água potável (NOZAKI et al., 1993), redutor de poluentes da indústria de polpa e papel (BARROS e NOZAKI, 2002) e de cosméticos (ALVAREZ et al., 1992).

2.2 HIDROCOLÓIDES

Entre as numerosas macromoléculas de origem natural, certo número possui a propriedade de dispersar-se facilmente em água, ocasionando um aumento de volume, da viscosidade e com frequência um

efeito gelificante. Estes espessantes e gelificantes são denominados de gomas hidrossolúveis ou hidrocolóides (DICKINSON, 1992).

Hidrocolóides são utilizados em produtos alimentícios por suas habilidades espessantes (aumentar a viscosidade), de gelificação, de estabilização ou de emulsificação. São obtidos de algas, exsudatos de plantas, sementes e microrganismos (LINEBACK, 1999).

Conforme citado por Koocheki (2009), hidrocolóides de diferentes fontes são amplamente utilizados em sistemas alimentícios para várias aplicações, tais como espessantes e gelificantes, estabilizantes e modificadores de textura. Do ponto de vista químico, eles são polissacarídeos (goma arábica, goma guar, carboximetilcelulose, carragena, amido, pectina) ou proteínas (gelatina). Hidrocolóides são polímeros que interagem fortemente com a água. Seu valor calórico é baixo, o que os torna úteis, particularmente, para o desenvolvimento de alimentos dietéticos. Apesar deles não apresentarem influência no gosto ou sabor dos produtos alimentícios, são significativamente efetivos na formação de géis, retenção de água, emulsificação e retenção de aroma (KRUMEL E SARKAR, 1975; BAI et al., 1978; SPEERS E TUNG, 1986).

Hidrocolóides também são utilizados na indústria de alimentos pela sua habilidade de modificar as propriedades reológicas e funcionais dos sistemas alimentícios. Muitos produtos como pães, molhos, xaropes, sorvetes, alimentos instantâneos, bebidas e catchups podem ter hidrocolóides em suas formulações (ROSELL et al., 2001; KOOCHKEKI et al., 2008).

Polissacarídeos de extratos de plantas são uma interessante fonte de aditivos para várias indústrias e em particular para a indústria de alimentos. Esses polímeros têm a vantagem de serem considerados como totalmente naturais para muitos consumidores (LAI et al., 2000).

A biocompatibilidade dos hidrocolóides pode ser usada não somente em sistemas de liberação controlada de drogas, mas também como curativos para ferimentos em substituição ao tecido humano. Portanto, as aplicações médicas têm avançado rapidamente como resultado da pesquisa básica. Recentemente, com o aumento dos problemas ambientais mundiais, tem havido um crescente interesse e demanda por polissacarídeos tradicionais, porque os polissacarídeos são ecológicos e biodegradáveis (MIYOSHI e NISHINARI, 2000).

2.2.1 Propriedades funcionais dos hidrocolóides

Conforme elencado por Seisun (2010), a seguir estão relacionadas propriedades funcionais dos hidrocolóides. As propriedades nutri-

cionais são relativamente recentes e as propriedades nutracêuticas ou de melhora na saúde são ainda mais recentes.

2.2.1.1 Viscosidade

Provavelmente esta é a propriedade mais utilizada. Os hidrocolóides são normalmente utilizados onde o conteúdo de óleo ou gordura foi reduzido ou eliminado pela substituição pela água. O hidrocolóide espessa a água, que por sua vez, substitui a gordura ou óleo fornecendo um produto com propriedades similares ao correspondente produzido com gordura.

2.2.1.2 Estabilidade

Se óleo ou gordura é parcialmente removido de uma formulação e é substituído por água espessada por hidrocolóide, uma emulsão é normalmente formada. Com frequência a função do hidrocolóide é estabilizar a emulsão para prevenir a separação e, no caso de alimentos congelados, controlar a formação de cristais de gelo.

2.2.1.3 Suspensão

Se partículas insolúveis estão incluídas no produto espessado, então a separação e decantação devem ser eliminadas ou pelo menos minimizadas. Alguns hidrocolóides criam soluções com uma tensão residual que mantêm as partículas imobilizadas em suspensão.

2.2.1.4 Gelificação

Um dos aspectos mais importantes dos hidrocolóides é a habilidade de gelificação e solidificação em produtos fluidos. Agentes gelificantes clássicos são a pectina, a gelatina e o ágar. Muitos outros, entretanto, gelificam sob condições específicas: alginatos gelificam com íons Ca^{2+} ; xantana e goma locusta não gelificam individualmente, mas juntas apresentam sinergia e formam um gel forte e coeso.

A indústria de alimentos possui muitas aplicações para agentes gelificantes, variando desde géis macios, elásticos e duros.

2.2.1.5 Nutricional e nutracêutico

Já existe um grande uso para alguns hidrocolóides, por exemplo, goma arábica e goma guar como fonte de fibra dietética solúvel. Benefícios nutracêuticos potenciais vão desde redução do colesterol à prevenção do risco de câncer. Seu uso em programas de perda de peso já está bem disseminado e tende a expandir ainda mais.

2.3 A MUCILAGEM

2.3.1 Definição

A mucilagem é um produto do metabolismo das plantas, formado dentro das células (formação intracelular) e/ou produzida sem a necessidade de ferir a planta (QADRY, 2008).

A mucilagem é uma substância translúcida, amorfa e polimérica, formada por monossacarídeos ou mistura de monossacarídeos. Muitas mucilagens possuem a cadeia monossacarídica combinada com ácidos urônicos. A hidrólise da mucilagem fornece mistura de açúcares e ácidos urônicos. A mucilagem contém grupos hidrofílicos que podem se combinar com água para formar soluções viscosas ou géis. Polissacarídeos lineares ocupam mais espaço e formam soluções mais viscosas do que os análogos com mesma massa molar altamente ramificados. Os compostos ramificados formam géis mais facilmente e são mais estáveis porque a interação extensiva ao longo da cadeia não é possível (JANI et al., 2009).

Células mucilaginosas e de produção de mucilagem são características da família das cactáceas (METCALFE e CHALK, 1950; SMITH e MONTGOMERY, 1959 apud TRACHTENBERG e MAYER, 1981).

A mucilagem obtida de cactos é comumente descrita como um polissacarídeo tipo pectina solúvel em água (CÁRDENAS et al., 1997). Substâncias pécticas são os derivados coloidais de carboidratos complexos, que ocorrem ou são preparados de plantas e contém uma grande proporção de unidades de ácido anidrogacturônico. Os grupos carboxílicos do ácido poligacturônico devem estar parcialmente esterificados por grupos metila e parcialmente, ou completamente, neutralizados por uma ou mais bases (NUSSINOVITCH, 1997).

Mucilagens também podem ser descritas como substâncias poliméricas complexas originadas de carboidratos, com uma estrutura altamente ramificada que contém proporções variáveis de L-arabinose, D-galactose, L-ramnose e D-xilose, bem como ácido gacturônico em diferentes proporções. A estrutura da mucilagem apresenta duas frações

distintas solúveis em água. Uma fração é a pectina com propriedades gelificantes com o íon Ca^{2+} e a outra é a mucilagem sem propriedades gelificantes (GOYCOOLEA e CÁRDENAS, 2004).

2.3.2 Vantagens da mucilagem frente aos análogos sintéticos

Mucilagens e exudatos polissacarídicos de plantas representam um acesso fácil e barato ao estoque de polissacarídeos e a maioria deles são importantes na formulação de alimentos (KOOCHKEI et al., 2009). De acordo com Jani et al. (2009), são características e vantagens dos materiais naturais obtidos de plantas, especificamente da mucilagem:

- Biodegradáveis: polímeros biodegradáveis naturalmente disponíveis são produzidos em todos os organismos vivos. Eles representam verdadeiras fontes renováveis e não causam impactos adversos para humanos ou para o meio ambiente;
- Baixo custo: como a fonte é natural, o custo da produção é muito menor quando comparado ao material sintético;
- Processamento amigável ao meio-ambiente: mucilagens de diferentes fontes são facilmente coletadas em diferentes estações em grandes quantidades por um processo simples de produção envolvido;
- Disponibilidade local: em países em desenvolvimento, os governos promovem a produção de materiais de plantas por causa das várias aplicações em uma variedade de indústrias;
- Fontes comestíveis: a maioria das mucilagens é obtida de fontes comestíveis, principalmente de plantas e algas.

2.3.3 Aplicações da mucilagem

Miller et al. (2008) realizaram um estudo sobre a eficiência da mucilagem de *Opuntia* spp. como floculante natural para uso em tratamento de água. Os autores verificaram que a mucilagem reduziu em 98% a turbidez de amostras sintéticas de água com caulim em pH 10,0. Os resultados indicam que a mucilagem predominantemente opera na floculação por um sistema de ligação ao material a ser floculado. Uma vez otimizado, a aplicação da mucilagem no tratamento de água pode oferecer uma solução prática, barata e apropriada para produzir água potável em comunidades em desenvolvimento.

Os efeitos anti-hipercolesterolemicos e anti-aterogênicos da mucilagem isolada das sementes de fenugreek (um tempero muito usado na

Índia) foram estudados por Boban et al. (2009). As mudanças nos níveis de colesterol e triglicerídeos foram analisadas em animais recebendo mucilagem diariamente em comparação com os animais do grupo de controle. Os resultados mostraram que a mucilagem possui a capacidade de reduzir o colesterol total, o colesterol LDL e os triglicerídeos do sangue, e o colesterol e os triglicerídeos do fígado e da aorta. A administração de mucilagem por três meses reduziu as lesões ateromatosas na aorta dos animais.

Mishra et al. (2004) estudaram a capacidade de floculação da mucilagem em efluentes de curtumes. A eficiência de floculação da mucilagem das sementes de fenugreek foi muito semelhante ao floculante comercial, porém a mucilagem é mais benéfica do que o floculante sintético por ser biodegradável e não-tóxica. Os autores indicam que tornar a mucilagem um floculante comercial seria muito útil para reduzir a poluição da água de forma ecológica.

Na área de alimentos, foi desenvolvido filme comestível para recobrir morangos utilizando mucilagem dos cladódios de *Opuntia ficus-indica* (DEL-VALLE et al., 2005). Foi verificado que os filmes de mucilagem aumentaram a vida de prateleira dos morangos.

2.4 REOLOGIA

Reologia é definida como o estudo da deformação e do escoamento da matéria. Seus princípios podem ser aplicados a qualquer tipo de material, tanto a fluidos automotivos como a água, plásticos, sangue, tintas, cosméticos, solos, vidros, borracha, lubrificantes, materiais cerâmicos, pedras e a alimentos e bebidas (BOURNE, 2002).

De acordo com Steffe (1996), existem numerosas áreas da indústria de alimentos em que dados reológicos são necessários, tais como:

- a) Cálculos de engenharia de processos envolvendo uma grande variedade de equipamentos como dutos tubulares, bombas, extrusoras, misturadores, trocadores de calor, homogenizadores e viscosímetros *online*;
- b) Determinação da funcionalidade de ingredientes no desenvolvimento de produtos;
- c) Controle de qualidade do produto intermediário ou final;
- d) Teste de meia-vida;
- e) Avaliação da textura do alimento por correlação a análise sensorial e
- f) Análise de equações reológicas de estado ou equações constitutivas.

A interdisciplinaridade da reologia com outras ciências naturais e aplicadas está apresentada na **Figura 2**, traduzida de Malkin (1994). É possível observar que a reologia é uma ciência que apresenta muitos pontos de relacionamento com a química e a física fundamental, e também tem aplicação na tecnologia e na engenharia de materiais.

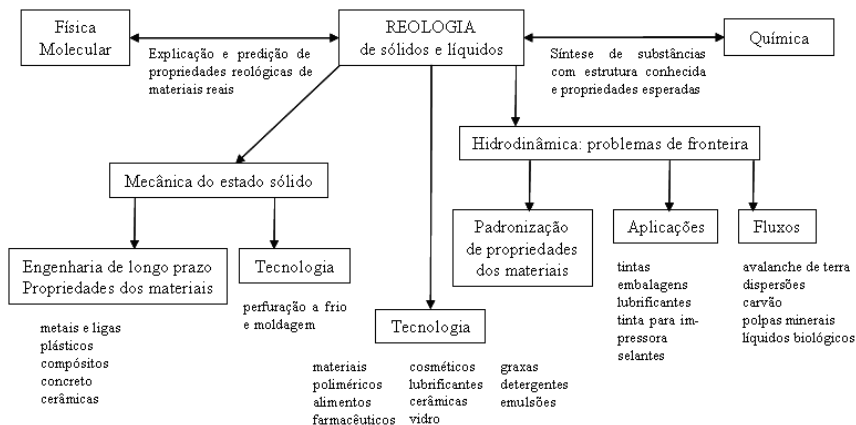


Figura 2. Reologia e outras ciências considerando problemas aplicados (MALKIN, 1994).

A operação fundamental em um teste reológico é aplicar uma força no material a ser investigado e medir a sua deformação, ou igualmente aplicar uma deformação e medir a resistência. A medida da viscosidade é a medida da resistência ao movimento (deformação, $\dot{\gamma}$) das várias camadas paralelas de um fluido, movendo-se em fluxo laminar com gradiente de velocidade uniforme sobre a ação de uma tensão deformante (τ) durante o movimento (VANDRESEN, 2007).

2.4.1 Tipos de comportamento reológico de fluidos

Os fluidos podem ser classificados em duas classes: fluidos newtonianos e não-newtonianos. As diferenças entre as duas classificações estão na presença ou ausência de limite de escoamento (tensão mínima que deve ser aplicada para o fluido iniciar o escoamento) e na variação ou não da viscosidade à medida que o fluido é submetido a diferentes taxas de deformação ou tensões de cisalhamento.

Os fluidos newtonianos não apresentam limite de escoamento e a viscosidade possui valor constante a uma dada temperatura e pressão.

Ou seja, no escoamento laminar de um fluido newtoniano existe uma proporcionalidade entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação.

Por outro lado, nos fluidos não-newtonianos a viscosidade aparente não é constante a uma dada temperatura e pode haver a presença de limite de escoamento. Esta classe de fluidos se divide em três subclasses: fluidos independentes do tempo de cisalhamento, fluidos dependentes do tempo de cisalhamento e fluidos viscoelásticos.

A **Figura 3** a seguir representa as curvas de fluxo (taxa de deformação *versus* tensão de cisalhamento) genéricas para fluidos newtonianos e não-newtonianos.

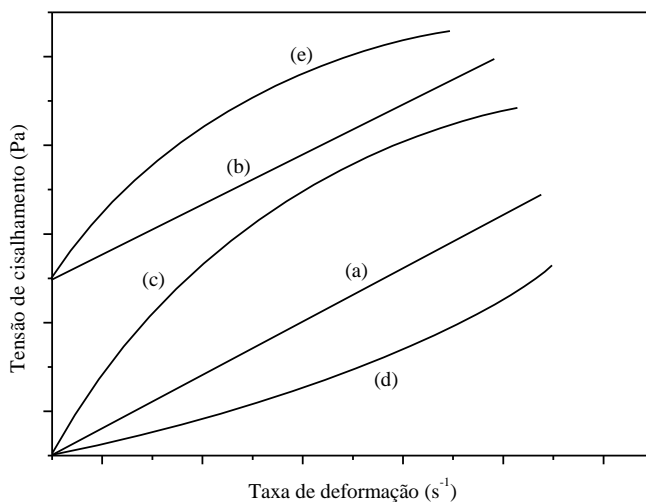


Figura 3. Curvas de fluxo para fluidos newtonianos e não-newtonianos: (a) newtoniano; (b) binghamiano ou plástico ideal; (c) pseudoplástico; (d) dilatante; (e) pseudoplástico com limite de escoamento.

O comportamento newtoniano pode ser verificado na linearidade obtida no gráfico do item (a) da **Figura 3**, bem como a ausência do limite de escoamento (a linha inicia na origem do eixo cartesiano). Para as outras curvas (b-e), o comportamento não-newtoniano é observado na variação da viscosidade e/ou presença de limite de escoamento. Estes fluidos representados pelas curvas b-e serão explicados a seguir, consi-

derando a independência do tempo de cisalhamento, ou seja, que para uma dada taxa de deformação corresponde um valor de tensão de cisalhamento.

- Fluidos de Bingham ou plástico ideal: Alguns fluidos requerem uma tensão inicial para iniciar o escoamento. Esses materiais possuem uma estrutura interna capaz de impedir o escoamento para valores de tensão de cisalhamento inferiores a um valor limite. Quando a tensão de cisalhamento é maior do que o valor limite, a estrutura interna colapsa, favorecendo o escoamento do material (SKELLAND, 1967).
- Fluidos pseudoplásticos e pseudoplásticos com limite de escoamento: Quando em repouso, esses fluidos apresentam um estado desordenado e, quando submetidos a uma tensão de cisalhamento (com valor acima de seu limite de escoamento, no caso dos fluidos pseudoplásticos com limite de escoamento), 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).
- Fluidos dilatantes: Efeitos estruturais em fluidos altamente concentrados podem levar a um efeito reológico peculiar chamado dilatância, em que o volume aumenta devido ao cisalhamento. A deformação da areia movediça ou do concreto são exemplos típicos de dilatância. As partículas sólidas nestes materiais estão em um estado de alto empacotamento. Sob cisalhamento, as partículas são separadas e o solvente atua como um lubrificante (MALKIN, 1994). Já em taxas de deformação mais altas, as partículas ocuparão maior número de posições por intervalo de tempo, causando ligeiro acréscimo de volume. Desta forma, a quantidade de solvente é insuficiente para ser distribuído entre todas as partículas dispersas, então o sistema torna-se mais viscoso, ou seja, a viscosidade aumenta com a taxa de deformação.

Uma terminologia separada foi desenvolvida para descrever os fluidos com características dependentes do tempo. Materiais tixotrópicos e reopéticos exibem, respectivamente, diminuição e aumento da tensão de cisalhamento (e da viscosidade aparente) no tempo em um valor fixo de taxa de deformação. Em outras palavras, a tixotropia é equivalente ao fluido pseudoplástico dependente do tempo e a reopexia ao fluido dilatante dependente do tempo (STEFFE, 1996).

A mudança nas propriedades reológicas sob deformação e sob repouso reflete um rearranjo estrutural causado pela aplicação de forças externas. Nesse sentido, a tixotropia é a consequência da ruptura da estrutura e a reopexia da formação da estrutura. Seria esperado que forças externas promovessem mais rupturas do que formações de estruturas, e é por isso que efeitos tixotrópicos são muito mais comuns do que reopéticos, e materiais reopéticos são casos muito especiais com alguma interação intermolecular não usual; por exemplo, interações iônicas fortes e ligações de hidrogênio (MALKIN, 1994).

A curva de fluxo de um fluido tixotrópico, sem limite de escoamento, apresenta dois caminhos distintos (**Figura 4**) quando se aumenta uniformemente a taxa de deformação e quando se diminui uniformemente a taxa de deformação.

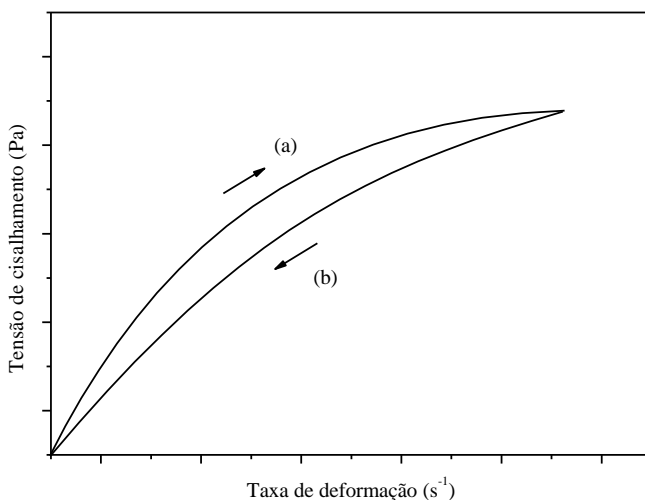


Figura 4. Curva de fluxo para um fluido tixotrópico: (a) curva ascendente; (b) curva descendente.

Pode ser observado que as curvas de fluxo na **Figura 4** não se sobrepõem. Este fenômeno é chamado de histerese. A área entre as curvas define a magnitude da tixotropia do fluido. Possui dimensão de energia e indica a quantidade de energia necessária para quebrar a estrutura do fluido tixotrópico.

A viscoelasticidade é a sobreposição de comportamento viscoso e elástico, um efeito reológico típico e importante em materiais reais. Pode ser observada na deformação de todos os materiais, tanto metais e pedras quanto água e óleo. A diferença é apenas a participação relativa dos componentes elásticos e plásticos e a sensibilidade do método utilizado para a investigação (MALKIN, 1994). Quase todas as soluções de polímeros, mesmo diluídas, apresentam comportamento viscoelástico (VIDAL, 2000).

2.4.2 Equações dos modelos reológicos

Em função da variabilidade dos fluidos existentes, alguns modelos reológicos são utilizados para que seja possível uma análise das características do fluido e comparação direta. A seguir estão relacionados os modelos mais comumente utilizados para descrever o comportamento ao fluxo dos materiais: Newton, Bingham, Ostwald-de Waele, Herschel-Bulkley, Casson e Mizrahi-Berk.

2.4.2.1 Modelo de Newton

Este é o modelo mais simples de descrição do comportamento reológico dos fluidos. Trata-se de uma relação direta entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação (**Equação 1**), cuja constante de proporcionalidade é a viscosidade:

$$\tau = \mu(\dot{\gamma}) \quad (1)$$

onde:

τ = tensão de cisalhamento (Pa)

$\dot{\gamma}$ = taxa de deformação (s^{-1})

μ = viscosidade (Pa.s)

Este modelo é aplicado a fluidos que não apresentam tensão inicial e cuja viscosidade não varia, independentemente da tensão aplicada ou da taxa de deformação, a uma dada temperatura e pressão.

Água, óleos minerais e vegetais e soluções de sacarose são exemplos de fluidos newtonianos. Líquidos pouco concentrados, como leite integral, leite desnatado e a maioria dos sucos fabricados com apenas uma fruta podem, na prática, ser caracterizados como fluidos newtonianos (BOLMSTEDT, 2000).

2.4.2.2 Modelo de Bingham

No modelo de Bingham ou plástico ideal, deve haver a aplicação de uma tensão mínima, o limite de escoamento, para que haja alguma deformação cisalhante. De forma semelhante ao modelo de Newton, a viscosidade é constante a uma dada temperatura e pressão, conforme pode ser observado na **Equação 2**.

$$\tau = \tau_0 + \eta_{\infty}(\dot{\gamma}) \quad (2)$$

onde:

τ = tensão de cisalhamento (Pa)

τ_0 = limite de escoamento (Pa)

$\dot{\gamma}$ = taxa de deformação (s^{-1})

η_{∞} = viscosidade plástica de Bingham (Pa.s)

Caso a tensão aplicada no fluido seja inferior ao limite de escoamento, o fluido se comportará como um sólido.

Para um fluido binghamiano, a viscosidade aparente é dada pela **Equação 3**:

$$\eta = \eta_{\infty} + \frac{\tau_0}{\dot{\gamma}} \quad (3)$$

2.4.2.3 Modelo de Ostwald-de Waele (Lei da potência)

O modelo de Ostwald-de Waele ou lei da potência é definido matematicamente conforme apresentado na **Equação 4**:

$$\tau = K_{ip}(\dot{\gamma})^{n_{ip}} \quad (4)$$

onde:

τ = tensão de cisalhamento (Pa)

$\dot{\gamma}$ = taxa de deformação (s^{-1})

K_{ip} = índice de consistência (Pa.sⁿ)

n_{ip} = índice de comportamento (adimensional)

O índice de comportamento está relacionado ao afastamento do fluido ao modelo newtoniano. Quando o valor do índice de comporta-

mento é próximo a 1, o fluido apresenta comportamento próximo ao newtoniano. Entretanto, quando o valor do índice de comportamento está entre 0 e 1, o fluido é classificado como pseudoplástico; quando o valor é maior do que 1, é classificado como dilatante.

O índice de consistência representa o grau de resistência ao escoamento, ou seja, quanto maior o valor de K_{lp} , mais consistente será o fluido.

Neste modelo, a viscosidade aparente é dada pela **Equação 5**:

$$\eta = K_{lp} (\dot{\gamma})^{n-1} \quad (5)$$

2.4.2.4 Modelo de Herschel-Bulkley

Este modelo também é conhecido como lei da potência generalizada (BOLMSTEDT, 2000) e é um dos modelos mais utilizados para descrever o comportamento reológico dos fluidos. A equação do modelo (**Equação 6**) difere da equação de Ostwald-de Waele pela existência da tensão inicial, necessária para o fluido começar a escoar.

$$\tau = \tau_0 + K_{hb} (\dot{\gamma})^{n_{hb}} \quad (6)$$

onde:

τ = tensão de cisalhamento (Pa)

τ_0 = limite de escoamento (Pa)

$\dot{\gamma}$ = taxa de deformação (s^{-1})

K_{hb} = índice de consistência ($Pa \cdot s^n$)

n_{hb} = índice de comportamento (adimensional)

Semelhante a um fluido binghamiano, um fluido descrito pelo modelo de Herschel-Bulkley fluirá quando as forças externas atuando no material forem superiores às forças estruturais internas.

A viscosidade aparente é calculada, neste modelo, de acordo com a **Equação 7**:

$$\eta = K (\dot{\gamma})^{n-1} + \frac{\tau_0}{\dot{\gamma}} \quad (7)$$

2.4.2.5 Modelo de Casson

Este modelo foi inicialmente desenvolvido para análise de tintas de impressão (CASSON, 1959). Atualmente é o método oficial utilizado pelo *Office Internacional du Cacao et du Chocolat (OICC)* para interpretar o comportamento reológico do chocolate (BRANCO; GASPARRETTO, 2005). A expressão matemática deste modelo está apresentada na **Equação 8**.

$$(\tau)^{\frac{1}{2}} = K_{0,c} + K_c (\dot{\gamma})^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

onde:

τ = tensão de cisalhamento (Pa)

$\dot{\gamma}$ = taxa de deformação (s^{-1})

$(K_{0,c})^2 = \tau_{oc}$ = limite de escoamento de Casson (Pa)

$(K_c)^2 = \eta_{\infty}$ = viscosidade plástica de Casson (Pa.s)

2.4.2.6 Modelo de Mizrahi-Berk

O modelo de Mizrahi-Berk (**Equação 9**) surgiu como uma modificação do modelo de Casson, pois foi observado que o modelo de Casson não se adaptava às curvas de fluxo de soluções concentradas de suco de laranja em baixas taxas de deformação (MIZRAHI; BERK, 1971).

$$(\tau)^{\frac{1}{2}} = K_{0,mb} + K_{mb} (\dot{\gamma})^{n_{mb}} \quad (9)$$

onde:

τ = tensão de cisalhamento (Pa)

$\dot{\gamma}$ = taxa de deformação (s^{-1})

$(K_{0,mb})^2$ = tensão inicial de cisalhamento (Pa)

K_{mb} = índice de consistência (Pa.s)

n_{mb} = índice de comportamento do fluido (adimensional)

2.4.3 Efeito da temperatura sobre o comportamento reológico

De acordo com Steffe (1996), a influência da temperatura na viscosidade para fluidos newtonianos pode ser expressa em termos de

uma equação do tipo Arrhenius envolvendo a temperatura absoluta (T), a constante universal dos gases (R), a energia de ativação para a viscosidade (E_a) e uma constante empírica (A) (**Equação 10**):

$$\mu = A \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \quad (10)$$

Valores mais altos de E_a indicam mudança mais rápida da viscosidade com a temperatura.

Uma expressão do tipo Arrhenius também pode ser determinada, de forma semelhante ao modelo para fluidos não-newtonianos, para modelar a influência da temperatura na viscosidade aparente em fluidos que seguem a lei da potência. Considerando uma taxa de deformação constante e assumindo que a temperatura possui influência desprezível sobre o índice de comportamento do fluido, resulta a **Equação 11**:

$$\eta = A \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \quad (11)$$

Na **Equação 11**, A (constante empírica, com unidade Pa.s) e E_a são determinadas experimentalmente.

2.4.4 Propriedades reológicas do polímero isolado

A análise reológica de uma solução polimérica infinitamente diluída resulta na obtenção de parâmetros relativos à cadeia isolada. O parâmetro principal é denominado viscosidade intrínseca e é definido matematicamente pela **Equação 12**:

$$\lim_{C \rightarrow 0} \left(\frac{\eta_{\text{esp}}}{C} \right) = [\eta] \quad (12)$$

Em que $[\eta]$ é a viscosidade intrínseca, C é a concentração do polímero em solução e η_{esp} é a viscosidade específica, definida pela **Equação 13**:

$$\eta_{\text{esp}} = \frac{\eta_{\text{solução}} - \eta_{\text{solvente}}}{\eta_{\text{solvente}}} = \frac{\eta_{\text{solução}}}{\eta_{\text{solvente}}} - 1 \quad (13)$$

Para obter os valores de $\eta_{\text{solução}}$ e η_{solvente} , são utilizados os tempos de escoamento no viscosímetro capilar, assumindo que a densidade da água é igual à densidade da solução diluída do polímero (**Equação 14**):

$$\eta_{\text{rel}} = \frac{t_{\text{solução}}}{t_{\text{solvente}}} \quad (14)$$

A viscosidade intrínseca é uma grandeza intensiva e depende do volume hidrodinâmico do polímero. Quanto maior a afinidade termodinâmica entre o polímero e o solvente, ou seja, quanto melhor o solvente, maior será o valor da viscosidade intrínseca (TAGER, 1972).

Entre as equações disponíveis na literatura para determinar a viscosidade intrínseca por extrapolação gráfica, estão apresentadas as equações de Huggins, Kraemer e Schulz-Blaschke, respectivamente **Equação 15, 16 e 17** (HUGGINS, 1942; KRAEMER, 1938; SCHULZ e BLASCHKE, 1941)

$$\frac{\eta_{\text{esp}}}{C} = [\eta] + k_H \cdot [\eta]_{\text{H}}^2 \cdot C \quad (15)$$

$$\frac{\ln(\eta_{\text{rel}})}{C} = [\eta]_{\text{K}} - k_K \cdot [\eta]_{\text{K}}^2 \cdot C \quad (16)$$

$$\frac{\eta_{\text{esp}}}{C} = [\eta]_{\text{SB}} + k_{\text{SB}} \cdot [\eta]_{\text{SB}} \cdot \eta_{\text{esp}} \quad (17)$$

Para muitos sistemas poliméricos, o valor da constante de Schulz-Blaschke (k_{SB}) é 0,28. As constantes de Huggins (k_{H}) e de Kraemer (k_{K}) informam sobre a qualidade do solvente: valores de k_{H} menores do que 0,5 e de k_{K} menores do que zero indicam que o polímero está em um bom solvente (MELLO et al., 2006).

2.5 PROPRIEDADES REOLÓGICAS DA MUCILAGEM

São encontrados na literatura diversos trabalhos que investigam as propriedades e o comportamento reológico da mucilagem em solução.

É importante notar que mucilagem pode ser extraída de diversas fontes e pode, portanto, apresentar composição diversa à mucilagem extraída de cactáceas.

Koocheki et al. (2009) pesquisaram as propriedades reológicas da mucilagem extraída da semente de uma planta nativa da região do Oriente Médio (Egito, Arábia, Irã, Iraque e Paquistão) chamada Qodume shirazi. Eles observaram um comportamento pseudoplástico para todas as temperaturas e concentrações estudadas. Um aumento na concentração diminuiu o índice de comportamento (n) e aumentou o índice de consistência (K) das soluções. O efeito da temperatura foi avaliado utilizando a **Equação 11**, e o aumento da temperatura reduziu a viscosidade e a pseudoplasticidade. Segundo os autores, os resultados obtidos são úteis para obter uma melhor qualidade para produtos em que se adicionam gomas como espessantes, tanto os já existentes quanto os novos produtos.

Medina-Torres et al. (2000) estudaram a mucilagem extraída da cactácea *Ofi*. Para as soluções preparadas os autores observaram que o modelo da lei de potência ajustou as curvas de fluxo e que na faixa de taxas de deformação estudada (0 a 300 s^{-1}), uma solução de mucilagem a 10% é equivalente a uma solução de goma xantana a 3%, a $25 \text{ }^\circ\text{C}$. A viscosidade das soluções é dependente da força iônica, por ser um polieletrólito.

Mucilagem de *Ofi* também foi utilizada para formar géis em misturas de concentrações variáveis de carragenas (κ e ι) (MEDINA-TORRES et al., 2003), em que foram estudadas as propriedades mecânicas por reologia. A principal função da mucilagem foi promover elasticidade nos géis produzidos e foi observada uma interação sinérgica no sistema κ -carrage-na/mucilagem na proporção 80/20, em que foi obtido um gel de maior rigidez do que o gel formado somente por κ -carragena.

Cárdenas et al. (1997) avaliaram o comportamento reológico da mucilagem extraída dos cladódios da *Ofi*. Os autores realizaram estudos de viscoelasticidade, em que observaram que a resposta viscosa foi predominante sobre a resposta elástica em frequências menores, entretanto em altas frequências, as soluções concentradas se comportaram como sólidos elásticos. Os resultados indicaram que existe a formação de agregados coloidais em solução que fornecem as propriedades funcionais já identificadas para o uso da mucilagem em alimentos e em outros produtos como espessante.

CAPÍTULO 3: MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 RECEBIMENTO E ARMAZENAGEM DA MATÉRIA PRIMA

Os cladódios de *Cereus hildmaniannus* K. Schum (**Figura 5**) foram colhidos em novembro de 2010 na localidade de Zortéia, interior do Estado de Santa Catarina. Foram transportados em caixas de isopor e imediatamente após o recebimento, os mesmos foram lavados com água para remover sujidades e seus espinhos foram retirados. Após este procedimento, os cladódios foram novamente lavados com água destilada e armazenados em freezer modelo 280 marca Consul à $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ até utilização.

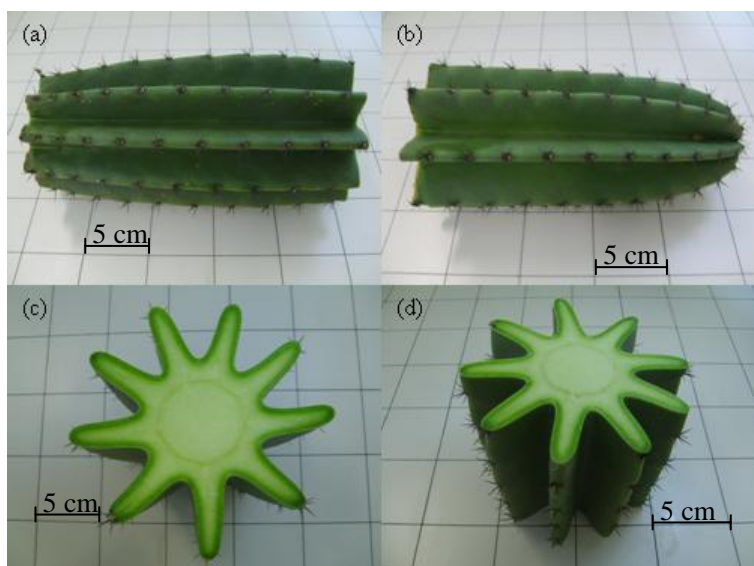


Figura 5. Cladódios de *C. hildmaniannus*. (a) e (b) vista lateral; (c) e (d) seção transversal.

3.2 EXTRAÇÃO E PRECIPITAÇÃO DA MUCILAGEM DO CLADÓDIO

Os cladódios foram descongelados, descascados e triturados em liquidificador modelo LiqMais RI 1725 marca PHILIPS/WALITA em três tempos de 30 segundos. Em seguida, a massa de cladódio foi colo-

cada em um béquer de 600 mL e foi adicionada água em proporção 1:1 (massa de cladódio/massa de água). O conteúdo do béquer foi misturado em agitador mecânico microprocessado modelo DI-14MP marca DIST com pá de 70 mm por 1 hora a 450 rpm, em temperatura de 60 °C mantida por chapa de aquecimento modelo TE-085 marca TECNAL.

A amostra foi resfriada até temperatura ambiente e centrifugada em centrífuga modelo Excelsa®II 206-BL marca FANEM por 15 min a 3300 rpm para separação dos sólidos da mistura aquosa. A parte aquosa obtida foi novamente centrifugada em centrífuga modelo 2K15 marca Sigma por 10 min a 15000 rpm para total separação das partes sólidas.

Para precipitação da mucilagem foi utilizado etanol em proporção de três volumes de etanol para cada volume da mistura aquosa. Cada volume de etanol foi adicionado em etapas em que após cada adição o precipitado era separado utilizando peneira comum, e em seguida era novamente adicionado etanol, até obtenção de um produto maleável esbranquiçado.

O produto obtido foi seco em estufa modelo NT 513-D marca Nova Técnica a 45 °C por 24 horas, macerado em almofariz de porcelana, armazenado em embalagem plástica (frasco rosca com cápsula de sílica) e mantido em temperatura ambiente para posteriores análises.

3.2.1 Determinação do teor de umidade do cladódio

O teor de umidade do cladódio foi determinado secando-o dessecado em placas de Petry, utilizando estufa modelo NT 513-D marca Nova Técnica, a 60 °C, até massa constante. A **Equação 18** foi utilizada para o cálculo do teor de umidade.

$$\text{umidade(\%)} = \frac{(m_i - m_f)}{m_i} \times 100 \quad (18)$$

em que m_i é a massa antes da secagem e m_f é a massa de cladódio após a secagem.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DA MUCILAGEM EM PÓ

3.3.1 Análise termogravimétrica (TGA)

A análise termogravimétrica foi realizada em um analisador termogravimétrico da marca TA Instruments modelo SDT Q600. O ensaio

foi feito em atmosfera controlada (nitrogênio a uma taxa de 100 mL.min⁻¹), com taxa de aquecimento de 10 °C.min⁻¹. A massa da amostra foi de 15,014 mg. A temperatura inicial foi de 15 °C e a temperatura final foi de 600 °C. A análise foi realizada no Laboratório de Aplicações de Nanotecnologia em Construção Civil (NANOTEC-Lab), do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

3.3.2 Calorimetria exploratória diferencial (DSC)

A análise de calorimetria exploratória diferencial foi realizada em um equipamento da marca TA Instruments modelo SDT Q600, em célula de platina, atmosfera de nitrogênio (100 mL.min⁻¹) e taxa de aquecimento de 10 °C.min⁻¹. A massa da amostra foi de 15,014 mg. A temperatura inicial foi de 15 °C e a temperatura final foi de 600 °C. A análise foi realizada no Laboratório de Aplicações de Nanotecnologia em Construção Civil (NANOTEC-Lab), do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

3.3.3 Difractometria de raios X (DRX)

A medida de difratometria de raios X foi feita com um difratômetro marca Shimadzu modelo XRD-6000, com variação angular de 10° a 80° (2θ), operado com 30,0 kV e 30,0 mA. A análise foi realizada no laboratório do Instituto de Tecnologia e Engenharia da UNESC.

3.3.4 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)

O espectro de FT-IR da amostra de mucilagem foi obtido utilizando um espectrômetro de infravermelho marca Shimadzu modelo IR Prestige-21. A amostra foi misturada com KBr e macerada em ambiente seco e em seguida foi feita a pastilha. A análise foi realizada no laboratório do Instituto de Tecnologia e Engenharia da UNESC.

3.3.5 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

As imagens microscópicas foram obtidas utilizando o microscópio eletrônico de varredura JEOL JSM-6390LV, do Laboratório Central de Microscopia Eletrônica – LCME da UFSC. As amostras foram recortadas com ouro utilizando o aparelho SCD 500 marca LEICA.

3.4 COMPORTAMENTO DA MUCILAGEM EM SOLUÇÃO AQUOSA

3.4.1 Ponto de carga zero (pH_{pcz})

Na determinação do pH_{pcz} , 50 mL de cloreto de sódio 0,01 mol.L⁻¹ foram transferidos a frascos erlenmeyers de 50 mL, e quantidades adequadas de ácido clorídrico ou hidróxido de sódio foram adicionados para se obter valores de pH entre 2 e 12, medidos em pHmetro modelo DM-23 marca Digimed. Em seguida, 0,15 g de mucilagem foram acrescentados em cada frasco e os mesmos agitados em shaker marca DIST, a temperatura ambiente, por 3 horas. Após esse período, as soluções foram filtradas em microfiltro de fibra de vidro, GF3, marca MACHEREY-NAGEL e o pH de equilíbrio foi medido. O pH_{pcz} é o ponto onde a curva de pH_{final} vs $\text{pH}_{\text{inicial}}$ cruza a linha $\text{pH}_{\text{inicial}} = \text{pH}_{\text{final}}$ (adaptado de FERRO-GARCÍA et al., 1998).

3.4.2 Solubilidade

Para determinação da solubilidade da mucilagem em água foi utilizada metodologia modificada da proposta por Iturriaga et al. (2007). Foram preparadas dispersões de mucilagem a 1% (m/v). Em um reator encamisado com capacidade para 160 mL, acoplado a um banho ultratermostático com circulador, rampas e patamares, modelo Q214S, marca Quimis, com sensibilidade de $\pm 0,1$ °C foram adicionados 25 mL da dispersão de mucilagem, a mistura foi termostatizada até temperatura desejada (10, 30, 50 e 70 °C) e agitada por 6 h em agitador magnético. Em seguida, a mistura foi centrifugada em centrífuga modelo 2K15 marca Sigma por 10 minutos a 10000 rpm, e o sobrenadante foi seco em estufa modelo NT 513-D marca Nova Técnica a 45 °C até massa constante. A solubilidade para cada temperatura foi medida como a massa seca do sobrenadante de cada solução após centrifugação, ajustada para 100 mL de água. As análises foram feitas em duplicata.

3.5 CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA DA MUCILAGEM

3.5.1 Determinação de parâmetros relativos ao polímero isolado

Foi preparada uma solução aquosa de mucilagem de concentração 0,5 mg.mL⁻¹. Volumes adequados desta solução foram transferidos com uma micropipeta em frascos de 15 mL para obter concentrações

finais variando entre 0,1 a 0,5 mg.mL⁻¹, adicionando-se água com a micropipeta até o volume final de 10 mL para todas as soluções. Em um viscosímetro capilar modelo Cannon-Fenske nº 75 marca SCHOTT acoplado a um sistema de detecção automatizado do tempo inicial e final da passagem do menisco da solução, imerso em um banho termoeletrizado a 30,0 °C, os tempos de escoamento da água pura e das soluções foram medidos, a fim de se obter a viscosidade relativa das soluções. A densidade das soluções diluídas de mucilagem foi considerada igual à densidade da água pura. As determinações foram realizadas em triplicata.

3.5.2 Influência da concentração e da temperatura na viscosidade de soluções de mucilagem

3.5.2.1 Preparo das soluções de mucilagem

Foram preparadas amostras com concentrações distintas: 1,00% (m/v); 0,85% (m/v); 0,50% (m/v) e 0,10% (m/v). Água destilada foi acrescentada às respectivas massas e as misturas foram submetidas à agitação e aquecimento (60 °C) até completa solubilização.

3.5.2.2 Medidas reológicas

O comportamento reológico das soluções foi determinado utilizando um viscosímetro rotacional de cilindros concêntricos do modelo VT 550 marca Thermo Haake DC 10. As medidas foram realizadas nas temperaturas de 10 a 70 °C, com incremento de 5 °C em cada medida, ajustadas com banho termostático acoplado ao equipamento. O aparelho fornece diretamente os dados de tensão de cisalhamento, taxa de deformação e viscosidade.

As varreduras foram realizadas com taxa de deformação controlada, variando de 0 a 3200 s⁻¹ (curva ascendente) e de 3200 a 0 s⁻¹ (curva descendente), totalizando 6 minutos de varredura. Foram gerados 100 pontos de subida e 100 pontos de descida para cada ensaio realizado.

4.1 EXTRAÇÃO E PRECIPITAÇÃO DA MUCILAGEM E PROPRIEDADES DO SÓLIDO OBTIDO

4.1.1 Extração e precipitação da mucilagem

A secagem do cladódio a 60 °C forneceu teor de umidade de 93,3%. Este valor é levemente maior do que o encontrado para umidade de *Ofi* por Pimienta (1990). A mucilagem presente no cladódio de *C. hildmaniannus* representa 20,3% da massa seca de cladódio. Este valor é próximo ao valor de 17,9%, obtido por Sepúlveda et al. (2007). O rendimento da extração e da precipitação da mucilagem foi de 1,36%, valor semelhante ao obtido para a mucilagem de *Ofi* (SÁENZ et al., 2004).

De maneira semelhante para *Ofi* e correlacionando com o reportado por Golstein et al. (1991), o conteúdo de mucilagem pode variar dependendo das condições climáticas, tais como baixas temperaturas e chuvas, devido à habilidade desses polissacarídeos de absorver água como defesa da planta contra condições de estresse.

Água foi utilizada para a extração da mucilagem, de forma semelhante ao empregado por outros autores para a extração da mucilagem de *Ofi* (CÁRDENAS et al., 1997; MATSUHIRO et al., 2006; SEPÚLVEDA et al., 2007; CAI et al., 2008; LEÓN-MARTÍNEZ et al., 2010). Foi empregada a extração aquosa a quente, com temperatura igual a 60 °C. O uso de temperaturas mais altas pode diminuir o rendimento da extração pelo aumento da hidrólise dos polissacarídeos. O tempo de extração foi de 1 hora, visto que um tempo de extração excessivo pode induzir a mudança na estrutura dos polissacarídeos e como resultado o rendimento da extração pode reduzir (CAI et al., 2008).

A proporção de cladódio/água empregada na extração foi escolhida após vários testes que consideraram a miscibilidade do cladódio em água e a facilidade no processo de precipitação após a adição de etanol. A melhor proporção para a extração foi de 1:1 (m/m). Nesta proporção a massa de cladódio foi facilmente misturada com a água e o processo de precipitação com etanol foi eficiente.

Segundo Iturriaga et al. (2007), freqüentemente ao longo do processo de extração e purificação, não-solventes são utilizados e podem gerar mudanças conformacionais que podem ser reversíveis ou não. Isto afeta tanto a ressuspensão quanto o retorno das propriedades funcionais

do sistema. Os autores concluíram que o método mais adequado para obtenção da mucilagem de *Ofi* é o que utiliza etanol para precipitação, sendo este um método rápido, barato e atóxico que demonstrou alta porcentagem de ressuspensão quando comparado ao método de precipitação com acetona. Liofilização também é um método atóxico, entretanto os autores indicam que é muito demorado e caro.

Em concordância com Sepúlveda et al. (2007), a precipitação e purificação da mucilagem de *C. hildmaniannus* com etanol produz um pó amarelo esbranquiçado, similar a outras gomas comerciais usadas na indústria de alimentos. O etanol dissolve parte da clorofila presente nos cladódios e purifica o precipitado.

4.1.2 Propriedades do sólido obtido

4.1.2.1 Infravermelho com transformada de Fourier

Os principais grupos funcionais característicos presentes na mucilagem foram identificados utilizando a técnica de infravermelho. A **Figura 6** mostra o espectro de FTIR da mucilagem de *C. hildmaniannus*.

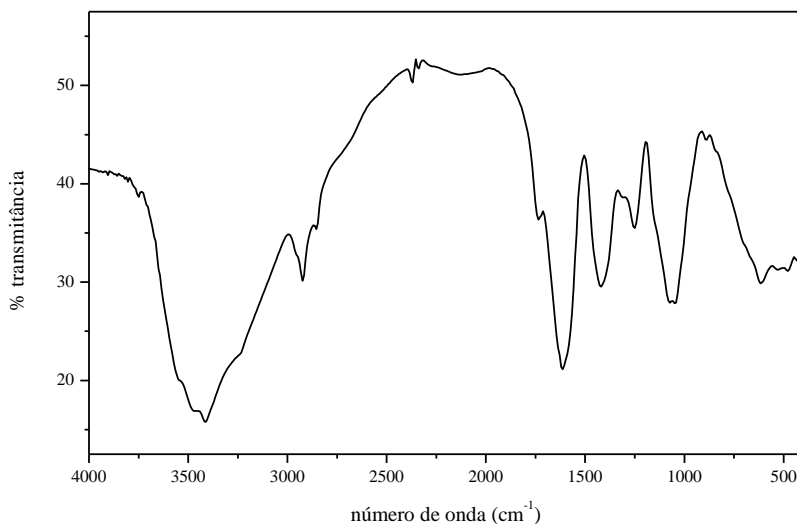


Figura 6. Espectro de FT-IR da mucilagem.

O espectro de FTIR apresentado na **Figura 6** apresentou uma banda forte entre 1300 e 1000 cm^{-1} , atribuída às vibrações de estiramento do anel piranose. Uma absorção característica em 890 cm^{-1} também foi observada, indicando a α -configuração para as unidades dos açúcares. Não houve absorção para ser observada em 897 cm^{-1} para a β -configuração (CAI et al., 2008).

A banda larga entre 3000 e 3600 cm^{-1} é referente ao estiramento de OH. Outros picos no espectro de FTIR foram assinalados como: estiramento C-O em polissacarídeos complexos em 1250 cm^{-1} , estiramento do grupo C-O-C em polissacarídeos em 1071 cm^{-1} , estiramento assimétrico do grupo CH_2 em 2924 cm^{-1} (SILVERSTEIN, 2000).

4.1.2.2 Difração de raios X

A difração de raios X fornece informações sobre a estrutura do sólido, em que o padrão de difração pode apresentar perfil amorfo, parcialmente cristalino e cristalino. O difratograma de raios X da amostra da mucilagem extraída do *C. hildmaniannus* está mostrado na **Figura 7**.

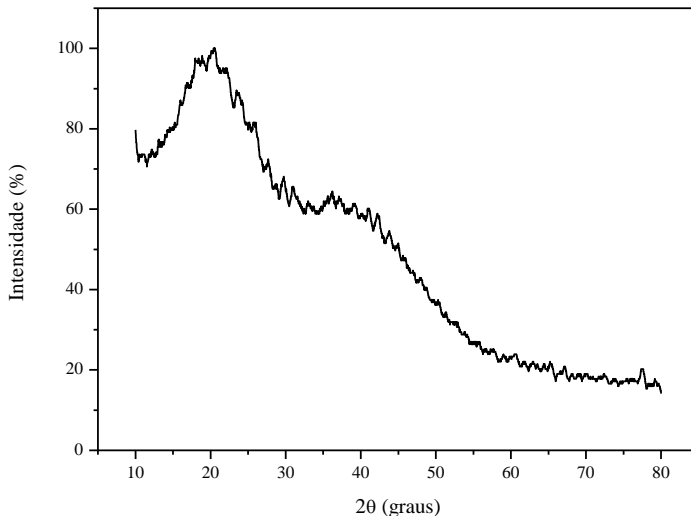


Figura 7. Difratograma de raios X da mucilagem.

Na faixa de $10^\circ < 2\theta < 80^\circ$, a amostra apresenta padrões característicos de estado parcialmente cristalino, o que é coerente em processos de rápida precipitação em solução como realizado para a mucilagem nesse estudo.

Mishra et al. (2006) obtiveram o difratograma de raios X para a mucilagem de fenu-greek, em que observaram uma estrutura parcialmente cristalina, como ocorre em todos os polímeros naturais e também no caso da mucilagem de *C. hildmaniannus*. O difratograma obtido pelos autores mostrou um padrão semelhante ao obtido para a mucilagem de *C. hildmaniannus*.

4.1.2.3 Análise termogravimétrica

A análise termogravimétrica gera como resultado uma curva de decomposição térmica (**Figura 8**) que fornece os percentuais dos fragmentos do massa perdidos em função da temperatura.

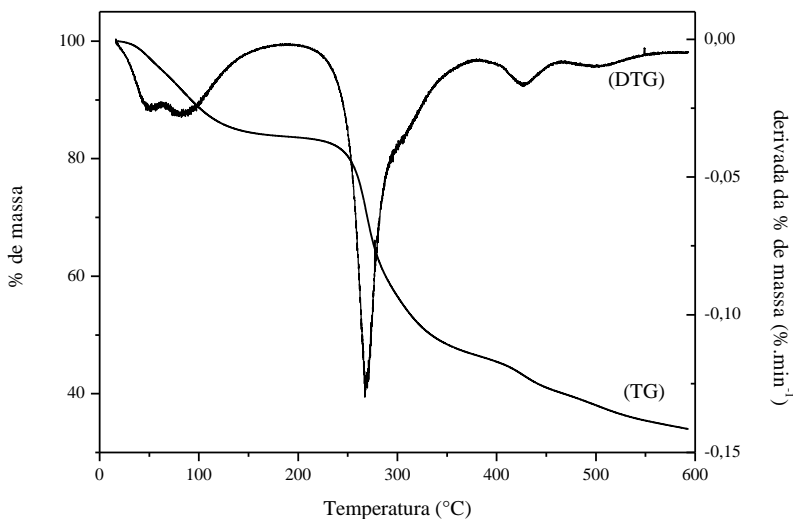


Figura 8. Curvas da análise termogravimétrica (TGA) da mucilagem.

Nos resultados apresentados na **Figura 8**, a primeira perda de massa que ocorre entre 25°C a 150°C é atribuída à perda de água adsorvida e estrutural do biopolímero (KITUR et al., 2002). São observadas etapas de decomposição térmica. O primeiro decréscimo de massa

na decomposição inicia em aproximadamente 200 °C e atinge a taxa de velocidade máxima de decomposição em 268 °C. Até este ponto, ocorreram aproximadamente 30% de perda de massa.

Também ocorre decomposição térmica em 428 °C. O resíduo final em 595 °C corresponde a 33,8% da massa inicial da amostra. A curva indica que, caso a temperatura fosse ainda aumentada, ocorreria mais decomposição (não foi observado valor constante na porcentagem de massa).

A mucilagem apresenta boa estabilidade térmica até aproximadamente 200 °C, temperatura em que inicia decomposição.

A porcentagem de perda de massa com o aumento da temperatura está sumarizada na **Tabela 1**.

Tabela 1. Porcentagem de perda de massa da mucilagem com a variação da temperatura.

Faixa de temperatura (°C)	T _{máx} (°C)	% de perda de massa
0 – 200	–	16,53
200 – 250	–	3,11
250 – 300	268	24,05
300 – 350	–	7,92
350 – 400	–	2,83
400 – 500	428	7,36
500 – 600	–	4,24

A maior taxa de decomposição térmica da mucilagem ocorre em temperaturas semelhantes às obtidas para a hemicelulose (SHEN et al., 2010), entretanto para a hemicelulose são observados dois picos de temperatura próximos, os quais são relacionados à degradação das unidades laterais e da cadeia principal de xilana. No caso da mucilagem é observada apenas uma etapa de decomposição térmica, possivelmente correspondente à degradação da cadeia principal do polímero.

4.1.2.4 Calorimetria exploratória diferencial

A técnica de DSC mede a diferença de energia fornecida à substância a um material de referência, em função da temperatura, em que a substância e o material são mantidos a uma temperatura controlada (ROLEMBERG, 2002). Desta forma, a análise de DSC informa, qualitativa e quantitativamente, sobre mudanças físicas e químicas que envolvem processos endotérmicos (absorção de calor), exotérmicos (liberação

de calor) ou mudanças na capacidade calorífica (MOTHÉ e AZEVEDO, 2002).

A **Figura 9** apresenta a curva de DSC para a mucilagem de *C. hildmaniannus*.

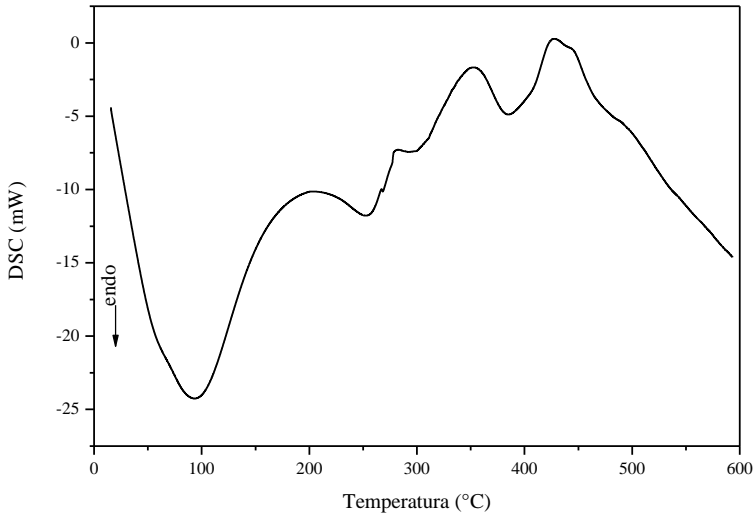


Figura 9. Curva de DSC para a mucilagem de *C. hildmaniannus*.

Como pode ser observado na **Figura 9**, foi verificado um evento endotérmico próximo a 93,7 °C, associado à evaporação da água (VENDRUSCOLO et al., 2009), em concordância com o resultado obtido pela análise termogravimétrica.

Os eventos exotérmicos em 351,7 °C e 428,2 °C são atribuídos à decomposição do polímero.

De acordo com a análise termogravimétrica, em 268 °C há um evento térmico de decomposição associado ao material, evidenciado na curva de DSC no pico exotérmico próximo a 277 °C. Não foi observado nenhum evento térmico associado à fusão na varredura de temperatura realizada.

4.1.2.5 Microscopia eletrônica de varredura

O MEV é um equipamento que permite a obtenção de informações estruturais de amostras diversas. Um feixe fino de elétrons de alta

energia incide na superfície da amostra onde, ocorrendo uma interação, parte do feixe é refletida e coletada por um detector que converte o sinal em imagem de elétrons retroespalhados. Na interação a amostra também pode emitir elétrons produzindo a chamada imagem de elétrons secundários.

As imagens da superfície da amostra de mucilagem obtidas por MEV, na ampliação de 50, 250, 500, 1000 e 7000 vezes estão apresentadas na **Figura 10**. As cavidades observadas na ampliação de 50 vezes são devidas ao suporte da amostra.

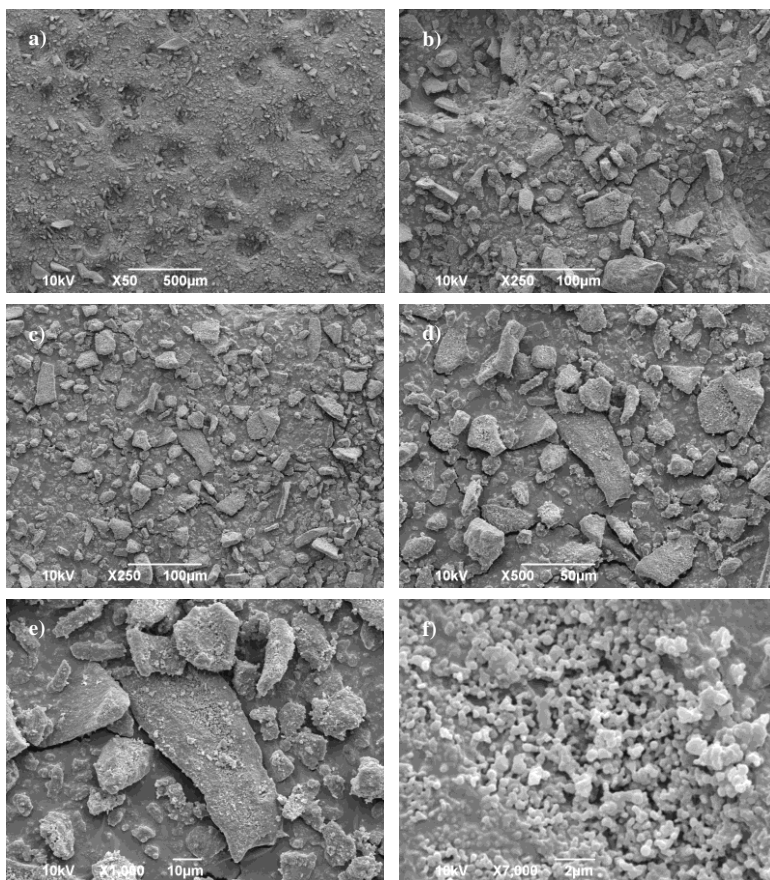


Figura 10. Micrografias da mucilagem de *C. hildmaniannus*. Ampliações: a) 50 vezes; b), c) 250 vezes; d) 500 vezes; e) 1000 vezes; f) 7000 vezes.

A análise das micrografias de MEV da **Figura 10** mostra partículas do pó, com um tamanho de partícula variando de 100 a 2 μm . As partículas com estrutura de aglomerado são compostas de grãos individuais do material ligados por poeira sub-microscópica (do mesmo material) e as estruturas de aglomerado se unem da mesma forma (WALTON e MUMFORD, 1999).

Coerente com o resultado da difração de raios X (**Figura 7**), as micrografias mostraram partículas parcialmente cristalinas, com organização variável e sem forma predominante.

4.2 PROPRIEDADES DA MUCILAGEM EM SOLUÇÃO AQUOSA

4.2.1 Solubilidade

A solubilidade de macromoléculas depende das suas propriedades de superfície e está relacionada à composição química, à flexibilidade molecular, bem como à forma e ao tamanho da molécula (ITURRIAGA et al., 2007). Em muitos casos, agitação é necessária para favorecer a penetração das moléculas de água nos polissacarídeos (BEMILLER, 1996).

A solubilidade da mucilagem extraída de *C. hildmaniannus* varia pouco com o aumento da temperatura. Conforme pode ser observado da **Tabela 2**, a 10 °C a solubilidade é de 0,77% e a 70 °C é de 0,85%. A partir de 30 °C a solubilidade mantém-se praticamente constante.

Tabela 2. Solubilidade em função da temperatura para a mucilagem de *C. hildmaniannus*.

Temperatura (°C)	Solubilidade (g/100 mL)
10,0	0,770 \pm 0,004
30,0	0,842 \pm 0,002
50,0	0,852 \pm 0,012
70,0	0,847 \pm 0,001

Quando comparada à solubilidade da mucilagem de *Ofi* obtida por Iturriaga et al. (2007), pode-se observar que a mucilagem de *C. hildmaniannus* possui aproximadamente a mesma solubilidade, e que o valor da mesma mantém-se praticamente constante com o aumento da temperatura, o que também foi observado para a mucilagem de *Ofi*.

Sheth et al. (2010) estudaram as propriedades da mucilagem extraída das sementes de *Ocimum americanum* Linn com vistas a utilizá-la como desintegrante em formulações farmacêuticas. No estudo os autores observaram que a mucilagem das sementes é levemente solúvel em água, praticamente insolúvel em etanol, acetona, éter e clorofórmio. Estas informações são concordantes com os resultados encontrados para a mucilagem de *C. hildmaniannus*, em que o polissacarídeo é fracamente solúvel em água e insolúvel em etanol, o qual é utilizado para a precipitação da mucilagem na etapa de extração.

4.2.2 Ponto de carga zero

As propriedades eletrocinéticas dos sólidos dependem diretamente da química de sua superfície. Neste sentido, é importante a determinação do pH do ponto de carga zero (pH_{pcz}), que é o pH no qual a superfície é neutra (GUILARDUCI et al., 2006).

A **Tabela 3** a seguir apresenta a distribuição das cargas na superfície do material de acordo com o pH da solução (adaptado de FERNANDES, 2008).

Tabela 3. Distribuição de cargas na superfície de acordo com o pH_{pcz} .

Condição	Ponto de carga zero		
	$\text{pH} < \text{pH}_{\text{pcz}}$	$\text{pH} = \text{pH}_{\text{pcz}}$	$\text{pH} > \text{pH}_{\text{pcz}}$
Cargas na superfície	+ > -	+ = -	+ < -
Comentário	Atração preferencial de ânions	Carga zero sobre a superfície	Atração preferencial de cátions

Os resultados experimentais apresentados na **Figura 11** indicam que o pH_{pcz} possui valor de $6,95 \pm 0,09$ para a mucilagem de *C. hildmaniannus*.

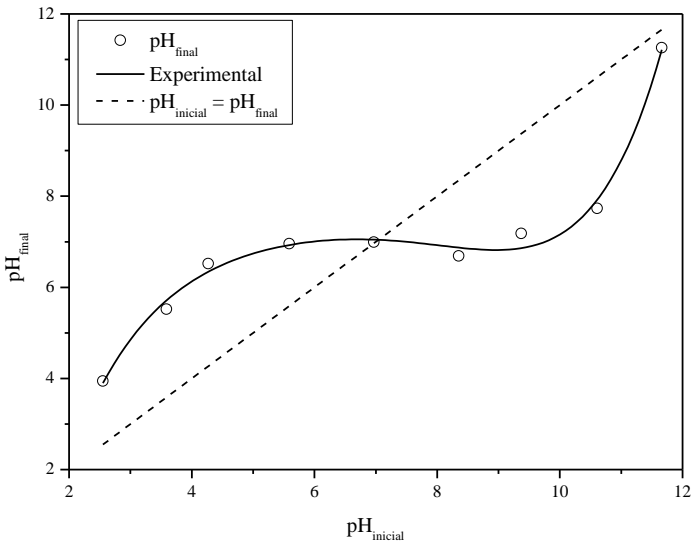


Figura 11. Gráfico para obtenção do pH_{pcz} .

Em uma solução de mucilagem com pH abaixo de 6,95, a superfície do polímero atrairá preferencialmente ânions por estar protonada e carregada positivamente. De maneira oposta, acima de pH 6,95, a superfície da mucilagem encontra-se desprotonada e negativamente carregada, exercendo atração preferencial sobre cátions.

4.3 COMPORTAMENTO REOLÓGICO DA MUCILAGEM EM SOLUÇÃO

4.3.1 Propriedades reológicas do polímero isolado

Graficamente, as viscosidades intrínsecas de Huggins, Kraemer e Schulz-Blaschke são os coeficientes lineares dos gráficos de $\frac{\eta_{\text{esp}}}{C}$ versus C (**Figura 12**); $\frac{\ln(\eta_{\text{rel}})}{C}$ versus C (**Figura 13**); $\frac{\eta_{\text{esp}}}{C}$ versus η_{esp} (**Figura 14**), respectivamente.

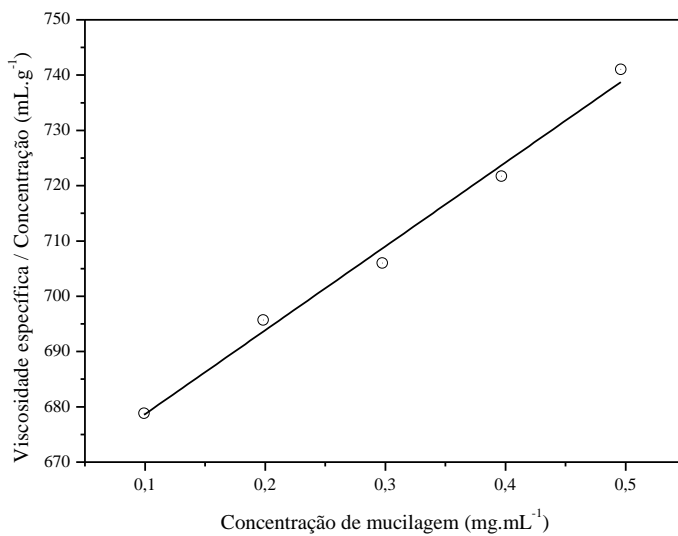


Figura 12. Gráfico de Huggins.

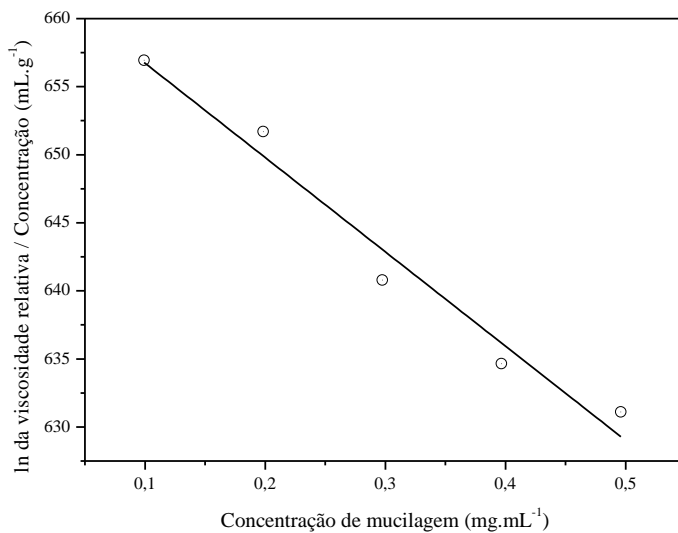


Figura 13. Gráfico de Kraemer.

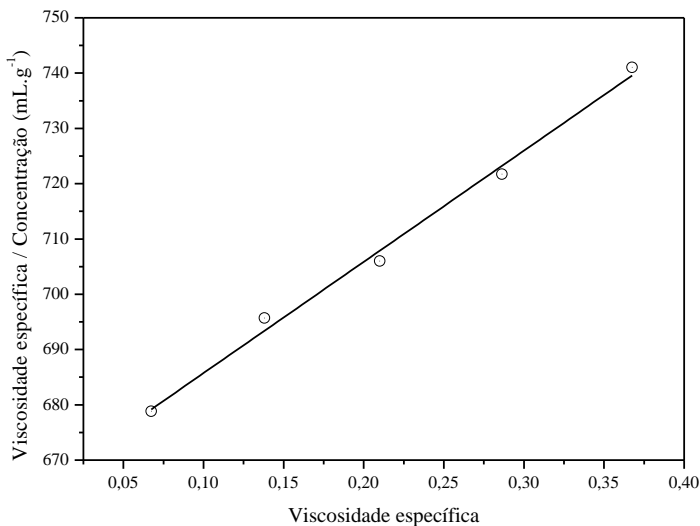


Figura 14. Gráfico de Schulz-Blaschke.

Pela interação das macromoléculas em solução, existem três regimes dinâmicos de concentração para soluções poliméricas: diluto (interação pequena entre as moléculas), semi-diluto (área de transição em uma concentração intermediária chamada concentração crítica de overlap – C^* , **Equação 19**) e concentrado (interpenetração dos novos poliméricos) (LAUNAY et al., 1997).

$$C^* = \frac{1}{[\eta]} \quad (19)$$

A **Tabela 4** apresenta os parâmetros obtidos de cada equação para a mucilagem em solução aquosa.

Tabela 4. Valores de viscosidade intrínseca e constantes de cada equação para mucilagem em água a 30,0 °C.

Equação	Huggins	Kraemer	Schulz-Blaschke
Visc. intrínseca (mL.g ⁻¹)	663,51	663,65	665,62
Constante	0,34	- 0,15	0,30
C^* (g.L ⁻¹)	1,51	1,51	1,50

Os dados apresentados na **Tabela 4** indicam que a água é um bom solvente para a mucilagem pelo valor de constante de Huggins. A constante de Kraemer possui um valor menor do que zero, que indica que nesse sistema há boa solvatação da cadeia polimérica, ou seja, há boa interação polímero-solvente (MELLO et al. 2006).

O valor da constante de Schulz-Blaschke também foi coerente com o esperado, diferindo em apenas 7,1% do valor obtido para a maioria dos polímeros (0,28).

A viscosidade intrínseca obtida por todos os métodos é praticamente igual. É válido destacar que a obtenção de retas em todos os modelos indica que o fluido possui comportamento newtoniano (MELLO et al., 2006), ou seja, em soluções diluídas, a mucilagem comporta-se como fluido newtoniano.

O valor da concentração crítica de overlap indica que acima da concentração de 0,15% de mucilagem em solução haverá a interpenetração dos novelos poliméricos, ou seja, a solução não estará em regime diluto e sim em regime concentrado. É importante ressaltar que a solubilidade da mucilagem a 30 °C obtida neste trabalho possui valor de 0,84%, ou seja, o sistema experimenta, até alcançar o limite de solubilidade, um regime já concentrado em que as cadeias poliméricas da mucilagem já se encontram enoveladas.

Goycoolea e Cárdenas (2003) determinaram a viscosidade intrínseca da mucilagem e da pectina de *Ofi* a 20 °C. Os autores obtiveram, respectivamente, os valores de 1050 mL.g⁻¹ e de 234 mL.g⁻¹. Já Majdoub et al. (2001) obtiveram o valor da viscosidade intrínseca para mucilagem de *Ofi* liofilizada (840 mL.g⁻¹). Estes valores podem indicar que a mucilagem de *C. hildmaniannus* possui uma cadeia menos estendida (WANG e CUI, 2005) do que a mucilagem de *Ofi*, pois cadeias mais lineares implicam em valores maiores de viscosidade devido ao aumento nas interações entre as cadeias poliméricas. Desta forma, a mucilagem de *C. hildmaniannus* possui menor volume hidrodinâmico que a mucilagem da *Ofi*.

4.3.2 Influência da concentração da viscosidade de soluções de mucilagem

As medidas reológicas possibilitam a caracterização de polímeros em soluções e géis, fornecendo dados importantes para o desenvolvimento dos processos tecnológicos, para o controle de qualidade das matérias-primas e produtos padronizados, e para a determinação de

dados na pesquisa e desenvolvimento de um material específico (TO-SIN, 2008).

Nesse sentido, a seguir estão apresentadas na **Figura 15** as curvas de fluxo para as concentrações estudadas de mucilagem, a 25 °C.

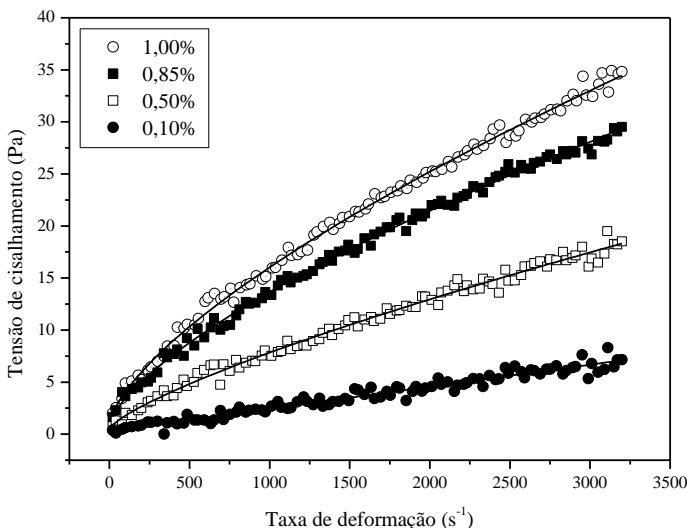


Figura 15. Curvas de fluxo para as concentrações estudadas de mucilagem, a 25 °C.

Os resultados apresentados na **Figura 15** indicam um comportamento de fluxo de líquidos não-newtonianos para as quatro concentrações estudadas. Em todos os casos foi observado limite de escoamento; na concentração de 0,10%, a solução ficou mais bem ajustada pelo modelo de Bingham, e nas demais soluções o melhor ajuste foi o do modelo de Herschel-Bulkley (os parâmetros reológicos obtidos utilizando os modelos de Newton, Bingham, Ostwald-de Waele, Herschel-Bulkley, Casson e Mizrahi-Berk estão no apêndice).

Para a solução menos concentrada (0,10%), o ajuste ao modelo de Bingham (o modelo não-newtoniano mais semelhante ao modelo de Newton, em que a viscosidade também possui valor constante independente da taxa de deformação) é coerente com o valor da concentração crítica de overlap para a mucilagem (0,15%). Este valor indica que abaixo da concentração crítica de overlap a solução está em estado diluído e,

portanto, há pouca interação entre as cadeias poliméricas, situação que ocorre com os fluidos newtonianos.

Já em concentrações acima da concentração crítica de overlap, as soluções de mucilagem são fluidos reofluidificantes, os quais diminuem a viscosidade à medida que a taxa de deformação aumenta, resultado do comportamento não-newtoniano proporcionado pelas interações das cadeias poliméricas, conforme pode ser observado na **Figura 16**, que apresenta a variação da viscosidade com a taxa de deformação para as quatro concentrações estudadas, a 25 °C.

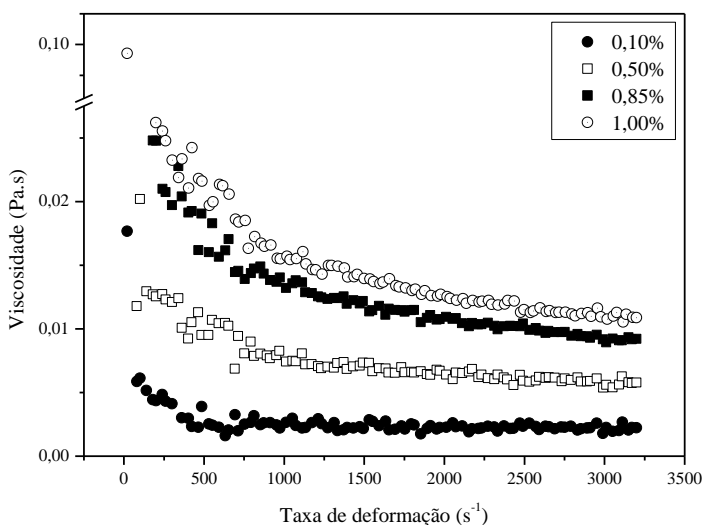


Figura 16. Efeito da concentração na viscosidade a 25 °C.

O fluxo pseudoplástico pode ser caracterizado pela ruptura progressiva da estrutura do meio, quando a taxa de cisalhamento é aumentada (RAMIREZ et al., 1999).

A **Tabela 5** apresenta os parâmetros reológicos obtidos dos ajustes aos modelos de Bingham e Herschel-Bulkley.

Tabela 5. Parâmetros reológicos para as concentrações estudadas, a 25 °C.

Concentração (m/v)	Modelo de Bingham			
	$\tau = \tau_0 + \eta_\infty (\dot{\gamma})$			
	Parâmetros			
	τ_0	η_∞	R^2	
0,10%	0,32623	0,00212	0,95315	
	Modelo de Herschel-Bulkley			
	$\tau = \tau_0 + K_{hb} (\dot{\gamma})^{n_{hb}}$			
	Parâmetros			
	τ_0	K_{hb}	n_{hb}	R^2
0,50%	0,52554	0,03708	0,76493	0,98909
0,85%	0,77359	0,11390	0,68441	0,99651
1,00%	0,99679	0,12979	0,68790	0,99637

A análise da **Tabela 5** indica que existe um pequeno limite de escoamento para as soluções de mucilagem, e que quanto menos concentrada é a solução, mais o índice de comportamento de fluxo se aproxima da unidade, o que indica comportamento mais newtoniano.

Os resultados apresentados na **Tabela 5** são coerentes com o observado pelos autores Wanchoo et al. (1996), os quais reportaram que o índice de consistência é fortemente dependente da concentração da solução, ao passo que o índice de comportamento de fluxo não apresenta grande dependência com a concentração em soluções poliméricas.

Medina-Torres et al. (2000) investigaram o comportamento de soluções de mucilagem extraída de *Ofi* e verificaram que as soluções também apresentavam comportamento não-newtoniano. Na concentração de 1,00%, o ajuste ao modelo de Ostwald-De Waele (segundo os autores foi o modelo que apresentou os melhores ajustes) forneceu índice de comportamento de fluxo igual a 0,56 e índice de consistência igual a 0,15 Pa.sⁿ, valores semelhantes aos obtidos para as soluções de mucilagem extraídas de *C. hildmaniannus*.

É importante frisar que os modelos de Ostwald-De Waele e de Herschel-Bulkley são muito semelhantes, sendo o último mais abrangente que o primeiro, pois considera a existência de limite de escoamento.

4.3.3 Influência da temperatura na viscosidade de soluções de mucilagem

A **Figura 17** apresenta o gráfico da **Equação 11**, do tipo Arrhenius, obtido utilizando os valores de viscosidade de acordo com a temperatura em taxa de deformação de 1000 s^{-1} , conforme indicado por Medina-Torres et al. (2000).

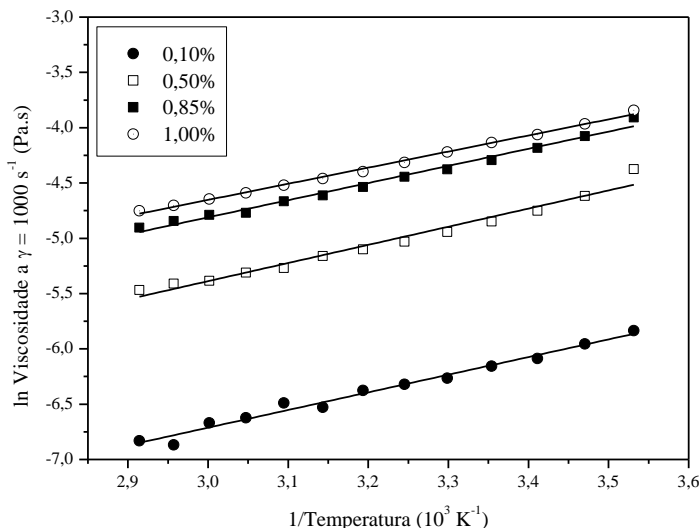


Figura 17. Efeito da temperatura nas soluções de mucilagem. As linhas são o ajuste dado pela Equação 11.

Para as concentrações estudadas neste trabalho, os dados sugerem que as soluções são dependentes da temperatura, na faixa de 10 a 70 °C. Ou seja, à medida que a temperatura aumenta, a viscosidade diminui.

Na faixa de concentrações estudada, a diminuição da viscosidade com a temperatura é fracamente dependente da concentração de mucilagem.

Na **Tabela 6** estão apresentados os valores obtidos pelo ajuste dos dados à **Equação 11**.

Tabela 6. Valores dos ajustes à **Equação 11** para viscosidades obtidas em taxas de deformação igual a 1000 s^{-1} .

Concentração (%)	A (Pa.s)	E_a (kcal.mol ⁻¹)	R^2
0,10	$1,01 \cdot 10^{-5}$	3,17	0,98178
0,50	$3,33 \cdot 10^{-5}$	3,26	0,97099
0,85	$7,79 \cdot 10^{-5}$	3,08	0,98714
1,00	$1,20 \cdot 10^{-4}$	2,89	0,99600

Valores maiores de E_a significam mudanças mais rápidas na viscosidade com a temperatura. A solução de mucilagem em concentração 1,00% apresentou o menor valor de E_a , portanto quanto mais concentrada a solução de mucilagem de *C. hildmaniannus*, menor é a variação da viscosidade com a temperatura com relação às outras concentrações.

É importante notar que vários biopolímeros como xantana e a mucilagem de *Ofi* mostraram propriedades viscosas estáveis com relação à temperatura (KANG e PETTITT, 1983; PAL, 1995, MEDINA-TORRES et al., 2000), assim como a mucilagem de *C. hildmaniannus*.

4.3.4 Influência do aquecimento e do resfriamento na viscosidade de soluções de mucilagem

Com o objetivo de verificar o efeito do aquecimento e do resfriamento nas soluções de mucilagem, as varreduras foram realizadas tanto em regime de aquecimento (de 10 a 70 °C) quanto em regime de resfriamento (de 70 a 10 °C). As **Figuras 18, 19 e 20** apresentam os valores da viscosidade em taxa de deformação igual a 1000 s^{-1} para as soluções de mucilagem nas concentrações 0,50%, 0,85% e 1,00%, respectivamente.

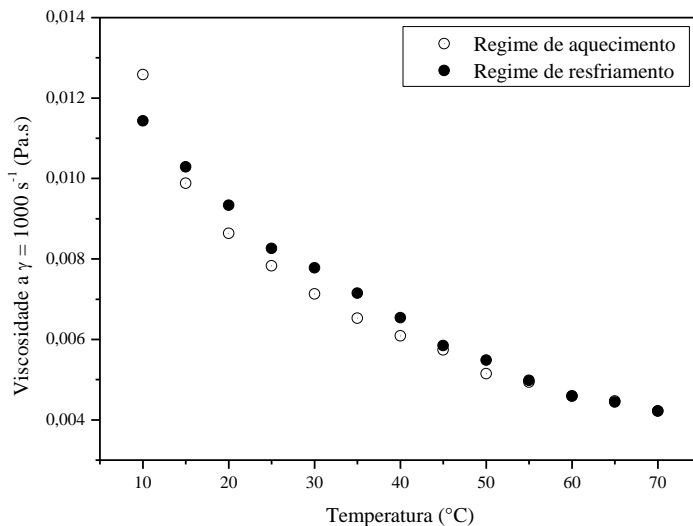


Figura 18. Viscosidade em função da temperatura (concentração de mucilagem = 0,50%) obtida com aquecimento e resfriamento gradual.

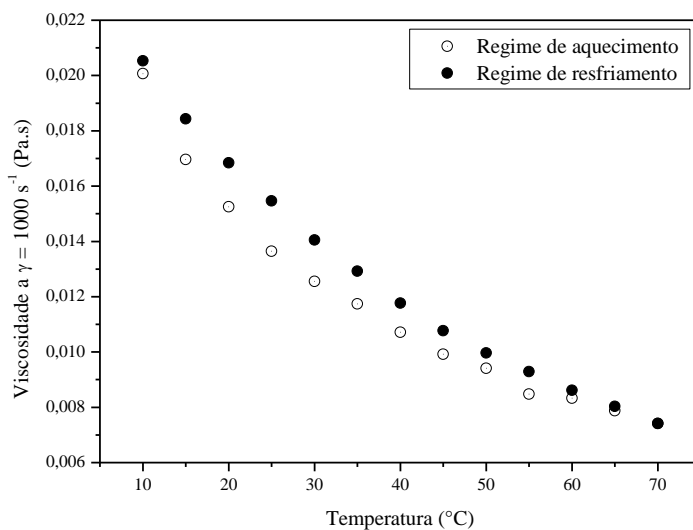


Figura 19. Viscosidade em função da temperatura (concentração de mucilagem = 0,85%) obtida com aquecimento e resfriamento gradual.

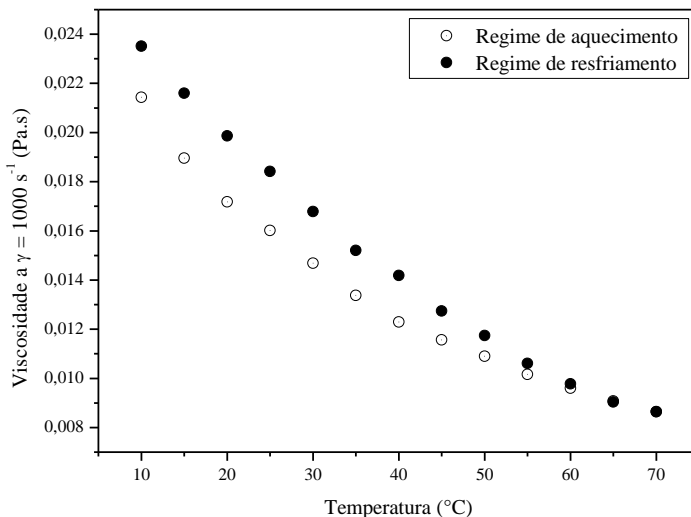


Figura 20. Viscosidade em função da temperatura (concentração de mucilagem = 1,00%) obtida com aquecimento e resfriamento gradual.

Nas dispersões poliméricas a concentração, o emaranhado de macromoléculas (GUPTA e GARG, 2002) e a imobilização do solvente definem a estrutura e, conseqüentemente, o comportamento reológico (DOLZ et al., 1998; RAMIREZ et al., 1999). Por exemplo, as moléculas filiformes flexíveis de metilcelulose em solução aquosa interagem constantemente com as moléculas de água circundantes através da agitação térmica. Isto causa o movimento contínuo dos segmentos de cadeias por translação e rotação ao redor das ligações entre átomos de carbono e oxigênio, que formam a cadeia principal do polímero. Ao aplicar a força ou tensão de cisalhamento, um movimento laminar unidirecional se sobrepõe ao movimento térmico das moléculas de água e dos segmentos de cadeias. As cadeias de polímeros, que formam espirais, tendem a separar-se e alinhar-se na direção do fluxo (SCOOT, 2000). Como a tensão de cisalhamento é aumentada, as moléculas normalmente dispersas começam a alinhar-se em direção ao fluxo. Esta orientação reduz a resistência interna do material.

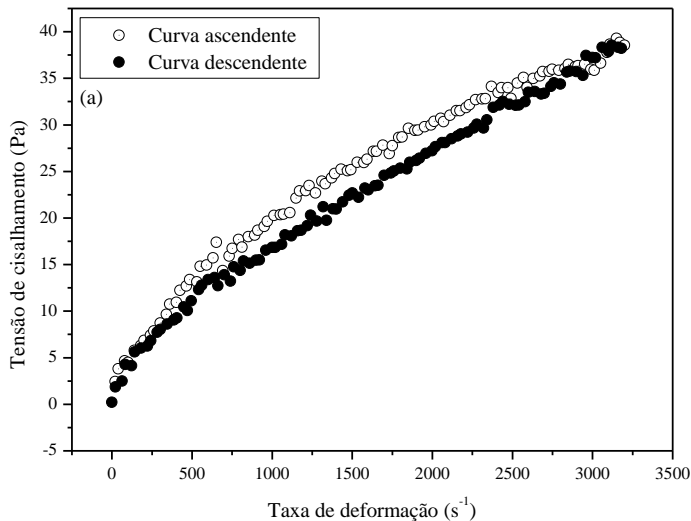
Os resultados apresentados nas **Figuras 18 a 20** indicam que ao resfriar a solução aquecida, a viscosidade é maior do que a viscosidade obtida na mesma condição durante o aquecimento. É provável que quando a solução está sendo resfriada haja maior desordem do sistema,

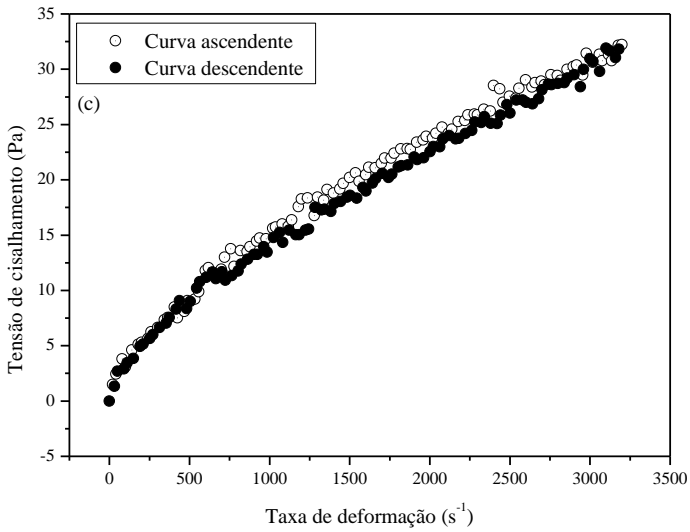
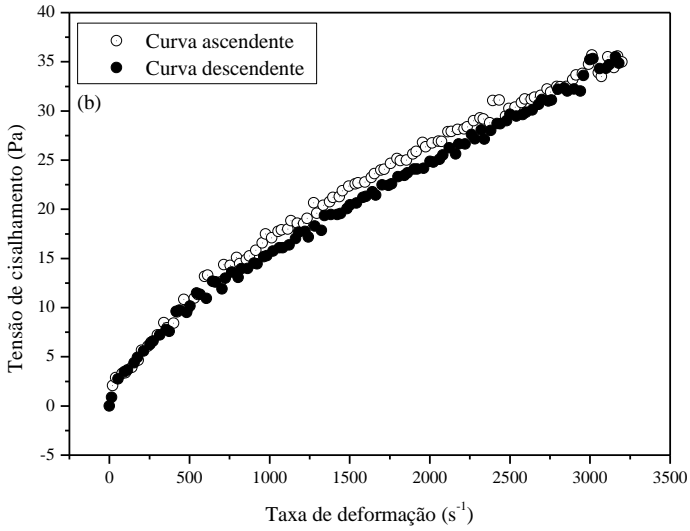
o que implica em maior resistência ao fluxo. Desta forma, à medida que a solução é resfriada, a viscosidade possui valor maior do que na condição análoga obtida com aumento da temperatura.

4.3.5 Curvas de histerese

Testes reológicos em que a amostra é submetida ao aumento da taxa de deformação seguido pela diminuição da mesma, servem para observar a tixotropia do material. A ocorrência é verificada quando a curva de aumento da taxa não coincide com a curva de decréscimo no gráfico de tensão de cisalhamento *versus* taxa de deformação, formando uma curva denominada de histerese (BONGIOVANI et al., 2009).

As soluções de mucilagem apresentaram histerese em todas as concentrações estudadas, entretanto apenas na faixa de temperatura de 10 °C a 25 °C, em que a partir desta última temperatura as curvas ascendentes e descendentes se sobrepunham. As curvas de histerese da solução de mucilagem a 0,85% estão apresentadas nas **Figuras 21 (a-d)**. Para as outras concentrações o comportamento foi semelhante.





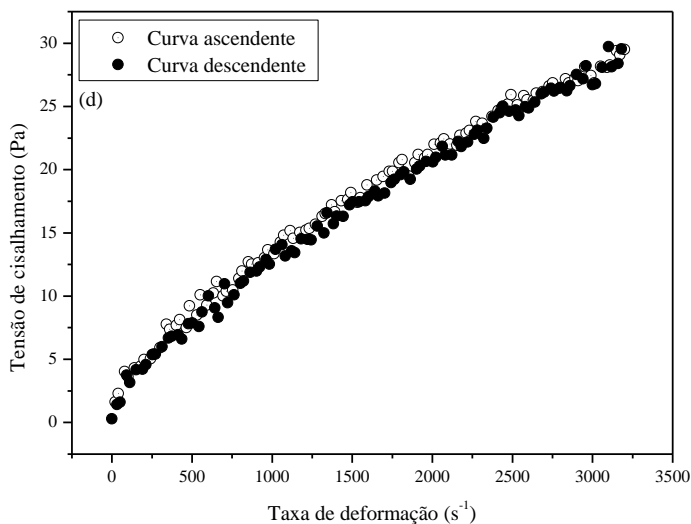


Figura 21 (a-d). Curvas de histerese da solução de mucilagem em concentração 0,85%: (a) 10 °C; (b) 15 °C; (c) 20 °C; (d) 25 °C.

A ausência de histerese nas curvas de fluxo acontece quando a reconstrução da estrutura por movimento browniano é mais rápida que a ruptura estrutural induzida por deslizamento ou o tempo de resposta do viscosímetro (SCOOT, 2000).

A existência de histerese indica que o fluido apresenta comportamento dependente do tempo (STEFFE, 1996). Para Oriol (1974), as curvas de histerese devem passar pela origem para que se considere o fluido tixotrópico. Essa situação pode ser observada nas curvas apresentadas nas **Figuras 21 (a-d)**.

A tixotropia é um fenômeno que ocorre muito frequentemente nos sistemas dispersos (LEIBERMAN et al., 1996; BRICEÑO, 2000). Caracteriza-se pela diminuição da viscosidade em função do tempo de deformação, sendo uma propriedade desejável em sistemas farmacêuticos, por exemplo.

Os géis produzidos por polissacarídeos de elevada massa molecular são estabilizados por um grande número de ligações secundárias. Estes sistemas sofrem uma extensiva reorganização sob cisalhamento, e a estrutura tridimensional é reduzida a uma estrutura bidimensional (MARRIOT, 2005).

A metodologia de extração e precipitação proposta envolve a utilização de água e etanol, respectivamente, os quais são amplamente disponíveis e de baixo custo. O tempo de extração, a proporção de cloróidio/água, a temperatura e a agitação foram propostos após diversos testes, os quais indicaram que as condições utilizadas neste trabalho são adequadas para um bom rendimento. Entretanto, estudos futuros poderiam determinar as condições ideais para o melhor rendimento na obtenção da mucilagem.

As análises realizadas no sólido obtido indicaram que a mucilagem possui estrutura parcialmente cristalina, com imagem de MEV indicativa de organização variável e sem forma predominante. O composto é estável em temperaturas até aproximadamente 200 °C e não é higroscópico.

Em solução aquosa, a mucilagem é pouco solúvel e apresenta pH_{pcz} próximo a 7,0, características que referem a este hidrocolóide potencialidade para ser utilizado como agente floculante ou em sistemas biológicos pela proximidade do valor do pH sanguíneo.

A medida da viscosidade intrínseca indicou que a mucilagem de *C. hildmaniannus* possui cadeia polimérica mais ramificada do que a cadeia da mucilagem extraída de *Ofi*, pois a primeira apresentou valor menor de viscosidade intrínseca do que a segunda. Desta forma, as cadeias poliméricas da mucilagem de *C. hildmaniannus* interagem menos entre si do que as cadeias poliméricas mais lineares da mucilagem de *Ofi*.

A constante de Huggins indicou que a água é um bom solvente para a mucilagem. A constante de Kraemer indicou há boa solvatação da cadeia polimérica pela água, ou seja, há boa interação polímero-solvente. A constante de Schulz-Blaschke diferiu em apenas 7,1% do valor obtido para a maioria dos polímeros.

A concentração crítica de overlap foi coerente com os resultados obtidos para o comportamento reológico das soluções.

As soluções aquosas de mucilagem apresentaram nas medidas reológicas um comportamento não-newtoniano que pode ser ajustado adequadamente ao modelo de Bingham para as soluções menos concentradas (abaixo de 0,10%) e ao modelo de Herschel-Bulkley para as soluções mais concentradas (acima de 0,50%). Comparando os resultados

obtidos com dados da literatura para outros biopolímeros, sugere-se uma configuração espiral aleatória para a mucilagem.

A viscosidade das soluções de mucilagem mostrou-se fracamente dependente da temperatura e este fenômeno é praticamente independente da concentração.

Foi observada histerese nas soluções aquosas de mucilagem nas temperaturas mais baixas, indicando que nestas condições há uma quebra estrutural cuja reconstrução da estrutura por movimento browniano é mais lenta que a ruptura estrutural induzida por deslizamento ou o tempo de resposta do viscosímetro. Esta característica é desejável para formulações farmacêuticas, por exemplo. Esse comportamento tixotrópico indica que as soluções de mucilagem possuem viscosidade dependente do tempo de cisalhamento.

A mucilagem de *C. hildmaniannus* pode ser utilizada em diversas áreas, porém parece ser adequado um estudo detalhado para cada utilização proposta. Entretanto, dadas as características da mucilagem de *C. hildmaniannus*, este hidrocolóide é promissor para muitas aplicações. Sugere-se avaliar a formação de géis de mucilagem em condições de pH e força iônica controlados; adição de mucilagem à hidrocolóides já utilizados para gelificação; elaboração e aplicação de filmes comestíveis de mucilagem para recobrimento de alimentos e elucidar a estrutura química do polímero.

CAPÍTULO 6: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, M.; COSTA, S. C.; UTUMI, H.; HUBER, A. BECK, R.; FONTANA, J. D. The anionic glycan from the cactus *Cereus peruvianus* – structural features and potencial uses. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 34, p. 283-295, 1992.
- BAI, H. M.; AHN, J. K.; YOON, Y. H.; KIM, H. U. A study of the development of the mixed stabilizer for ice cream manufacture. **Korean Journal of Animal Science**, v. 20, p. 436-445, 1978.
- BARROS, M. J.; NOZAKI, J. Pollutants abatement from effluents of paper and pulp industries by flocculation/coagulation and photochemical degradation. **Química Nova**, v. 25, p. 736-740, 2002.
- BARTHLOTT, W.; HUNT, D. R.. Cactaceae. In:KUBIZTKI, K.; ROHWER, J. G.; BITTRICH, V. (Eds). **The families and genera of vascular plants, v. II flowering plants – Dicotyledons**. Berlin: Springer-Verlag, 1993.
- BEMILLER, J. N. Gums/Hydrocolloids: Analytical Aspects. In: ELIASON, A. C. (Ed). **Carbohydrates in food**. Lund, Sweden: University of Lund, 1996.
- BOBAN, P. T.; NAMBISAN, B.; SUDHAKARAN, P. R. Dietary mucilage promotes regression of atheromatous lesions in hypercholesterolemic rabbits. **Phytotherapy Research**, v. 23, p. 725-730, 2009.
- BOLMSTEDT, U. Viscosity & Rheology. Theoretical and practical considerations in liquid food processing. **New Food**, v. 3, n. 2, p. 15-20, 2000.
- BONGIOVANI, R. A. M.; SILVEIRA, J. L. M. S.; PENNA, A. N.; DEKKER, R. F. H.; BARBOSA, A. N. M.; CORRADI DA SILVA, M. L. Caracterização reológica dos botriosferanas produzidos pelo *Botryosphaeria rhodina* MAMB-05 em glu-

- cose, sacarose e frutose como fontes de carbono. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 12, p. 53-59, 2009.
- BOURNE, M. **Food Texture and Viscosity**. 2 ed. San Diego: Academic Press, 2002.
- BRANCO, I. G.; GASPARETTO, C. A. Comportamento reológico de misturas de polpa de manga e sucos de laranja e cenoura utilizando o modelo de Casson. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 8, p. 183-189, 2005.
- BRICEÑO, M. I. Rheology of suspensions and emulsions. In: NIELLOUD, F.; MARTI-MESTRES, G. (Eds). **Pharmaceutical Emulsions and Suspensions**. New York: Marcel Dekker, 2000.
- BRUXEL, J.; JASPER, A. A família Cactaceae na bacia hidrográfica do Rio Taquari, RS, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 1, p. 71-79, 2005.
- CAI, W.; GU, X.; TANG, J. Extraction, purification, and characterization of the polysaccharides from *Opuntia milpa alta*. **Carbohydrate Polymers**, v. 71, n. 3, p. 403-410, 2008.
- CÁRDENAS, A.; HIGUERA-CIAPARA, I.; GOYCOOLEA, F. M. Rheology and aggregation of cactus (*Opuntia ficus-indica*) mucilage in solution. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, v. 2, p. 152-159. 1997.
- CASSON, N. A. Flow equation for pigment-oil suspensions of the printing ink type. In: MILL, C. C. (Ed). **Rheology of Disperse Systems**. New York: Pergamon Press, 1959.
- DEL-VALLE, V.; HERNÁNDEZ-MUÑOZ, P.; GUARDA, A.; GALOTTO, M. J. Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia ficus-indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life. **Food Chemistry**, v. 91, p. 751-756. 2005.

- DEMBITSKY, V. M.; REZANKA, T. Molecular species of wax in *Cereus peruvianus*. **Phytochemistry**, v. 42, n. 4, p. 1074-1080, 1996.
- DICKINSON, E. **An introduction to food colloids**. Oxford: University Press, 1992.
- DOLZ, M.; HERRÁEZ, M.; GONZÁLEZ, F.; DÍEZ, O.; DELEGIDO, J.; HERNÁNDEZ, M. Flow behavior of Carbopol 940 hydrogels. The influence of concentration and agitation time. **Die Pharmazie**, v. 53, p. 126-131, 1998.
- DURLI, M. J. **Caracterização da distribuição das populações de *Cereus hildmaniannus* no município de Zórtea/SC**. Joaçaba: UNOESC, 2008. 29 p. Monografia (trabalho de conclusão de curso) – Curso de Ciências Biológicas com Ênfase em Biotecnologia, Universidade do Oeste de Santa Catarina, Joaçaba, 2008.
- ELOBEIDY, A. A. Introducing *Cereus* into an arid region as a new fruit crop. **1st International Conference on Water Resources & Arid Environment**, King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia, 2004.
- FERNANDES, F. L. **Carvão de endocarpo de coco da baía ativado quimicamente com $ZnCl_2$ e fisicamente com vapor d'água: produção, caracterização, modificações químicas e aplicação na adsorção de íon cloreto**. João Pessoa: UFPA, 2008. 116 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008.
- FERRO-GARCÍA, M. A.; RIVERA-UTRILLA, J.; BAUTISTA-TOLEDO, I.; MORENO-CASTILLA, C. Adsorption of humic substances on activated carbon from aqueous solutions and their effect on the removal of Cr (III) ions. **Langmuir**, v. 14, p. 1880-1886, 1998.
- SCOOT, H. Rheology. In: REMINGTON, J. P. (Ed). **The science and practice of pharmacy**. Philadelphia: Editora Lippincott, 2000.

- GOLDSTEIN, G.; ANDRADE, J. L.; NOBEL, P. Differences in water relations parameters for the chlorenchyma and parenchyma of *Opuntia ficus indica* under wet Versus dry conditions. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 18, p. 95-107, 1991.
- GOYCOOLEA, F.; CÁRDENAS, A. Pectins from *Opuntia* spp.: a short review. **Journal of the Professional Association for Cactus Development**, v. 5, p. 17-29, 2004.
- GUILARDUCI, V. V. S.; MESQUITA, J. P.; MARTELLI, P. B.; GORGULHO, H. F. Adsorção de fenol sobre carvão ativado em meio alcalino. **Química Nova**, v. 29, n. 6, p. 1226-1232, 2006.
- GUPTA, P.; GARG, S. Recent advances in semisolid dosage forms for dermatological application. **Pharmaceutical Technology**, v. 26, p. 144-161, 2002.
- HOLDSWORTH, S. D. Applicability of rheological models to the interpretation of flow and processing behavior of fluid food products. **Journal of Texture Studies**, v. 2, n. 4, p. 393-418, 1971.
- HUGGINS, M. L. The viscosity of dilute solutions of long-chain molecules. IV. Dependence on concentration. **Journal of the American Chemical Society**, v. 64, p. 2716-2718, 1942.
- HUGHES, J.; RAMOS, G.; MOYNA, P. Main components in *Cereus peruvianus* epicuticular wax. **Journal of Natural Products**, v. 43, n. 5, p. 564-566, 1980.
- ITURRIAGA, L.; SÁNCHEZ, S.; CORVALÁN, M. Solubility of disperses of *Opuntia ficus-indica*. **Proceedings of the VI International Congress on Cactus Pear and Cochineal**, Acta Horticulturae, 811, ISHS, 2007.
- JANI, G. K.; SHAH, D. P.; PRAJAPATI, V. D.; JAIN, V. C. Gums and mucilages: versatile excipients for pharmaceutical formulations. **Asian Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 4, n. 5, p. 309-323, 2009.

- KANG, K. S.; PETTITT, D. J. Xanthan, gellan and rhaman. In: WHISTLER, R. L.; BEMILLER, J. N. (Eds). **Industrial gums**. London: Academic Press, 1983.
- KITTUR, F. S.; HARISH PRASHANTH, K. V.; UDAYA SANKAR, K.; THARANATHAN, R. N. Characterization of chitin, chitosan and their carboxymethyl derivatives by differential scanning calorimetry. **Carbohydrate Polymers**, v. 49, p. 185-193, 2002.
- KOOCHEKI, A.; GHANDI, A.; RAZAVI, S. M. A.; MORTAZAVI, S. A.; VASILJEVIC, T. Effect of different temperature and hydrocolloids on rheological properties of ketchup. In: **Proceedings of the 9th International Hydrocolloids Conference**, Singapore, 2008.
- KOOCHEKI, A.; MORTAZAVI, S. A.; SHAHIDI, F.; RAZAVI, S. M. A.; TAHERIAN, A. R. Rheological properties of mucilage extracted from *Alyssum homolocarpum* seed as a new source o thickening agent. **Journal of Food Engineering**, v. 91, p. 490-496, 2009.
- KRAEMER, E. O. Molecular weights of celluloses and cellulose derivatives. **Industrial and Engineering Chemistry**, v. 30, p. 1200-1203, 1938
- KRUMEL, K. L.; SARKAR, N. Flow properties of gums useful to the food industry. **Food Technology**, v. 29, p. 36-44, 1975.
- LAI, L. S.; TUNG, J.; LIN, P. S. Solution properties of hsian-tsau (*Messona procumbens* Hemsl) leaf gum. **Food Hydrocolloids**, v. 14, p. 287-294, 2000.
- LAUNAY, B.; CUVELIER, G.; MARTINEZ-REYES, S. Viscosity of locust bean, guar, and xanthan gum solutions in the Newtonian domain: a critical examination of the $\log(\eta_{sp})_o - \log C(\eta)_o$ master curves. **Carbohydrate Polymers**, v. 34, p. 385-395, 1997.

- LEÓN-MARTÍNEZ, F. M.; MÉNDEZ-LAGUNAS, L. L.; RODRÍGUEZ-RAMÍREZ, J. Spray drying of nopal mucilage (*Opuntia ficus indica*): Effects on powder properties and characterization. **Carbohydrate Polymers**, v. 81, n. 4, p. 864-870, 2010.
- LIEBERMAN, J. A.; RIEGER, M. M.; BANKER, G. S. **Rheological and Mechanical Properties of Dispersed Systems in Pharmaceutical Dosage Forms: Disperse Systems**. 2 ed. New York: Radebaugh, 1996.
- LINEBACK, D. R. The chemistry of complex carbohydrates. In: CHO, S. S.; PROSKY, L.; DREHER, M. (Eds). **Complex Carbohydrates in Foods**. New York: Marcel Dekker, 1999.
- MAJDOUB, H.; ROUDESLI, S.; DERATANI, A. Polysaccharides from prickly pear peel and nopals of *Opuntia ficus-indica*: extraction, characterization and polyelectrolyte behavior. **Polymer International**, v. 50, n. 5, p. 552-560, 2001.
- MALKIN, A. Y. **Rheology Fundamentals**. Toronto: ChemTec Publishing, 1994.
- MARRIOT, C. **Delineamento de Formas Farmacêuticas**. 2 ed. São Paulo: Artmed, 2005.
- MATSUHIRO, B.; LILLO, L. E.; SÁENZ, C.; URZÚA, C. C.; ZÁRATE, O. Chemical characterization of the mucilage from fruits of *Opuntia ficus indica*. **Carbohydrate Polymers**, v. 63, n. 2, p. 263-267, 2006.
- MAUSETH, J. D. Theoretical aspects of surface-to-volume ratios and water storage capacities of succulents shoots. **American Journal of Botany**, v. 88, p. 1107-1115, 2000.
- MEDINA-TORRES, L.; BRITO-DE LA FUENTE, E.; TORRESTIANA-SANCHEZ, B.; KATTHAIN, R. Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*). **Food Hydrocolloids**, v. 14, p. 417-424, 2000.

- MEDINA-TORRES, L.; BRITO-DE LA FUENTE, E.; TORRESTIANA-SANCHEZ, B.; ALONSO, S. Mechanical properties of gels formed by mixtures of mucilage gum (*Opuntia ficus indica*) and carrageenans. **Carbohydrate Polymers**, v. 52, p. 143-150, 2003.
- MELLO, I. L.; DELPECH, M. C.; COUTINHO, F. M. B.; ALBINO, F. F. M.; SANTOS, S. M. Polibutadieno alto-*cis*: Estudo viscosimétrico em tolueno e ciclo-hexano. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 16, n. 1, p. 53-60, 2006.
- MILLER, S. M.; FUGATE, E. J.; CRAVER, V. O.; SMITH, J. A.; ZIMMERMAN, J. B. Toward understanding the efficacy and mechanism of *Opuntia* spp. as a natural coagulant for potential application in water treatment. **Environmental Science & Technology**, v. 42, n. 12, p. 4274-4279. 2008.
- MISHRA, A.; YADAV, A.; AGARWAL, M.; BAJPAI, M. Fenugreek mucilage for solid removal from tannery effluent. **Reactive & Functional Polymers**, v. 59, p. 99-104, 2004.
- MISHRA, A.; YADAV, A.; PAL, S.; SINGH, A. Biodegradable graft copolymers of fenugreek mucilage and polyacrylamide: A renewable reservoir to biomaterials. **Carbohydrate Polymers**, v. 65, p. 58-63, 2006.
- MIYOSHI, E.; NISHINARI, K. Rheological and thermal properties near the sol-gel transition of gellan gum aqueous solutions. In: PHILLIPS, G. O.; WILLIAMS, P. A. (Eds). **Gums and stabilizers for the food industry**, v. 10. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2000..
- MIZRAHI, S.; BERK, Z. Flow behavior of concentrated orange juice: mathematical treatment. **Journal of Texture Studies**, v. 3, n. 1, p. 69-79, 1971.
- MIZRAHI, Y.; NERD, A.; SITRIT, Y. New Fruits for Arid Climates. In: JANICK, J.; WHIPKEY, A. (Eds). **Trends in new crops and new uses**. Alexandria, VA: ASHS Press, 2002.

- MOTHÉ, C. G.; AZEVEDO, A. D. **Análise térmica de materiais**. São Paulo: Editora Artliber, 2002.
- NINIO, R.; LEWINSOHN, E.; MIZRAHI, Y.; SITRIT, Y. Changes in Sugars, Acids, and Volatiles during Ripening of Koubo [*Cereus peruvianus* (L) Miller] Fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, p. 797-801, 2003.
- NOZAKI, J.; MESSERASCHMIDT, I.; RODRIGUES, D. G. Tannery waters cleaning with natural polyelectrolytes: Chemical speciation studies of chromium. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. 36, p. 761-770, 1993.
- NUSSINOVITCH, A. **Hydrocolloid applications: gum technology in the food and other industries**. London: Chapman & Hall, 1997.
- ORIOLO, P. J. Caracterización de fenómenos tixotrópicos. **Afinidad**, v. 31, n. 1, p. 19-30, 1974.
- PAL, R. Oscillatory, creep and steady flow behavior of xanthan-thickened oil-in-water emulsions. **AIChE Journal**, v. 41, p. 783-794, 1995.
- PEREIRA, J. L. **Estrutura demográfica e fenologia reprodutiva de *Cereus hildmaniannus* K. Schum. (Cactaceae), em uma restinga arbustiva do Município de Jaguaruna, Santa Catarina**. Florianópolis: UFSC, 2009. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.
- PIMIENTA, E. **El Nopal Tunero**. México: Universidade de Guadalajara, 1990.
- PORTO, M. R. A. **Caracterização físico-química e comportamento reológico da polpa do fruto de *Cereus hildmaniannus***. Florianópolis: UFSC, 2009. 94 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

- QADRY, J. S. **Shah and Qadry's Pharmacognosy**. Ahmedabad, Índia: B S Shah Prakashan, 2008.
- RAMÍREZ, A.; FRESNO, M. J.; JIMÉNEZ, M. M.; SELLÉS, E. Rheological study of *Carbopol*[®] *Ultrez*[™] 10 hydroalcoholic gels. I: flow and thixotropic behavior as a function of pH and polymer concentration. **Pharmazie**, v. 54, p. 444-447, 1999.
- REZANKA, T.; DEMBITSKY, V. M. Very-long-chain alkyl esters in *Cereus peruvianus* wax. **Phytochemistry**, v. 47, n. 6, p. 1145-1148, 1998.
- ROBBINS, S. R. J. Gum arabic. A review of recent trends in selected markets for water-soluble gums. **ODNRI Bulletin**, v. 108, p. 18-33, 1988.
- ROLEMBERG, M. P. **Equilíbrio sólido-líquido de ácidos graxos e triglicerídeos: determinação experimental e modelagem**. Campinas: UNICAMP, 2002. 196 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade de Campinas, Campinas, 2002.
- ROSELL, C. M.; ROJAS, J. A.; BENEDITO DE BARBER, C. Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. **Food Hydrocolloids**, v. 15, p. 75-81, 2001.
- SAAG, L. M. K.; SANDERSON, G. R.; MOYNA, P.; RAMOS, G. Cactaceae mucilage composition. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 26, n. 7, p. 993-1000, 1975.
- SÁENZ, C.; ESTÉVEZ, A. M.; SEPÚLVEDA, E.; MECKLENBURG, P. Cactus pear fruit: A new source for a natural sweetener. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 52, p. 141-149. 1998.
- SÁENZ, C.; SEPÚLVEDA, E.; MATSUHIRO, B. *Opuntia* spp mucilage's: a functional component with industrial perspectives. **Journal of Arid Environments**, v. 57, p. 275-290, 2004.
- SALIS, S. M.; ASSIS, M. A.; CRISPIM, S. M. A.; CASAGRANDE, J. C. Distribuição e abundância de espécies arbóreas em cerrada

- dões no Pantanal, Estado do Mato Grosso do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 29, n. 3, p. 339-352, 2006.
- SCHEINVAR, L. Cactáceas. **Flora Ilustrada Catarinense**, Itajaí. 1985.
- SCHULZ, G. V.; BLASCHKE, F. **Journal Prakt Chemie**, v. 158, p. 130, 1941
- SEISUN, D. Introduction. In: IMESON, A. (Ed). **Food stabilizers, thickeners and gelling agents**. United Kingdom: Wiley-Blackwell, 2010.
- SEPÚLVEDA, E.; SÁENZ, C.; ALIAGA, E.; ACEITUNO, C. Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. **Journal of Arid Environments**, v. 68, p. 534-545, 2007.
- SHEN, D. K.; GU, S.; BRIDGWATER, A. V. The thermal performance of the polysaccharides extracted from hardwood: Cellulose and hemicellulose. **Carbohydrate Polymers**, v. 82, n. 1, p. 39-45, 2010.
- SHETH, N. S.; SHAH, N. V.; SHAH, N. C. Extraction of mucilage from *Ocimum americanum* Linn & its role as disintegrant in tablets formulation. **Journal of Global Pharma Technology**, v. 2, n. 12, p. 26-31, 2010.
- SILVERSTEIN, R. M.; WEBSTER, F. X. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos**. Tradução de Paula Fernandes de Aguiar e Ricardo Bicca de Alencastro. Rio de Janeiro: LTC, 2000. 460 p. Título original: Spectrometric identification of organic compounds.
- SKELLAND, A. H. Asymptotic rates of heat or mass transfer in non-newtonian laminar flow. **Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals**, v. 6, n. 1, p. 148-151, 1967.
- SOBRAL, M.; JARENKOW, J. A.; BRACK, P.; IRGANG, B. LA-ROCCA, J.; RODRIGUES, R. S. **Flora arbórea e arborescente do Rio Grande do Sul, Brasil**. São Carlos: RiMA/Novo Ambiente, 2006.

- SPEERS, R. A.; TUNG, M. A. Concentration and temperature dependence of flow behavior of xanthan gum dispersions. **Journal of Food Science**, v. 51, p. 96-98, 1986.
- STEFFE, J. F. **Rheological methods in food process engineering**. 2 ed. Michigan: Freeman Press, 1996.
- TAGER, A. **Physical Chemistry of Polymers**. Moscow: Mir Publishers, 1972.
- TANAKA, L. Y. A.; OLIVEIRA, A. J. B. de; GONÇALVES, J. E.; CIPRIANI, T. R.; SOUZA, L. M. de; MARQUES, M. C. A.; WERNER, M. F. de P.; BAGGIO, C. H.; GORIN, P. A. J.; SASSAKI, G. L.; IACOMINI, M. An arabinogalactan with anti-ulcer protective effects isolated from *Cereus peruvianus*. **Carbohydrate Polymers**, v. 82, p. 714-721, 2010.
- TORRES-ACOSTA, A. A. *Opuntia ficus-indica* (Nopal) mucilage as a steel corrosion inhibitor in alkaline media. **Journal of Applied Electrochemistry**, v. 37, p. 835-841. 2007.
- TOSIN, F. F. S. **Polissacarídeos da goma de exsudato e da polpa dos frutos de *Prunus Persica*: caracterização estrutural e análises reológicas**. Curitiba: UFPR, 2008. 228 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Bioquímica, Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.
- TRACHTENBERG, S.; MAYER, A. M. Compositions and properties of *Opuntia ficus-indica* mucilage. **Phytochemistry**, v. 20, n. 12, p. 2665-2668, 1981.
- USDA Plants Profile. ***Cereus hildmaniannus* K. Schum. hedge cactus**. Disponível em: <<http://plants.usda.gov/java/profile?symbol=CEHI3>>. Acesso em: 11 de abril de 2011.
- VANDRESEN, S. **Caracterização físico-química e comportamento reológico de sucos de cenoura e laranja e suas misturas**. Florianópolis: UFSC, 2007. 134 p. Dissertação (Mestrado) –

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

VENDRUSCOLO, C. W.; FERRERO, C.; PINEDA, E. A. G.; SILVEIRA, J. L. M.; FREITAS, R. A.; JIMENEZ-CASTELLANOS, M. R.; BRESOLIN, T. M. B. Phy-sicochemical and mechanical characterization of galactomannan from *Mimosa scabrella*: Effect of drying method. **Carbohydrate Polymers**, v. 76, p. 86-93, 2009.

VIDAL, J. R. B.; PELEGRINE, D. H.; GASPARETTO, C. A. Efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, n. 2, p. 69-76, 2000.

VILLASEÑOR, M. A. A. **Efecto del método de extracción em las características químicas y físicas del mucílago del nopal (*Opuntia ficus indica*) y estudio de su aplicación como recubrimiento comestible**. Valência: UPV, 2008. Tese (Doutorado), Universidade Politécnica de Valência. Departamento de Tecnologia de Alimentos, Valência, Espanha, 2008.

WALTON, D. E.; MUMFORD, C. J. Spray dried products – Characterization of particle morphology. **Chemical Engineering Research and Design**, v. 77, n. 1, p. 21-38, 1999.

WANCHOO, R. K.; SHARMA, S. K.; BANSAL, R. Rheological parameters of some water-soluble polymers. **Journal of Polymer Materials**, v. 13, p. 49-55, 1996.

WANG, Q.; CUI, S. W. Understanding the physical properties of food polysaccharides. In S. W. CUI (Ed.) **Food Carbohydrates: Chemistry, Physical Properties, and Applications**. Florida: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2005.

WINTER, K.; SMITH, J. A. C. **Crassulacean acid metabolism – Biochemistry, ecophysiology and evolution**. New York: Springer Verlag, 1996.

APÊNDICE

Tabela 7. Parâmetros reológicos para solução de mucilagem (concentração 0,10%) obtidos pelos ajustes aos modelos reológicos.

Temperatura (°C)	Parâmetros			Parâmetros			
	Newton: $\tau = \mu(\dot{\gamma})$			Bingham: $\tau = \tau_0 + \eta_c(\dot{\gamma})$			
	μ	R^2		τ_0	η_c	R^2	
10	0,00315	0,96468		0,50279	0,00292	0,97274	
15	0,00277	0,96518		0,40067	0,00259	0,97162	
20	0,00250	0,94877		0,49178	0,00227	0,96185	
25	0,00227	0,94708		0,32623	0,00212	0,95315	
30	0,00211	0,94086		0,45496	0,00190	0,95653	
35	0,00196	0,91333		0,34380	0,00180	0,92229	
40	0,00183	0,93883		0,27040	0,00170	0,94528	
45	0,00163	0,88573		0,36317	0,00146	0,90091	
50	0,00159	0,92249		0,14472	0,00152	0,92420	
55	0,00147	0,87554		0,30239	0,00133	0,88762	
60	0,00140	0,88992		0,28002	0,00127	0,90142	
65	0,00121	0,77258		0,37616	0,00104	0,80114	
70	0,00120	0,83298		0,26807	0,00108	0,84659	
	Lei da Potência: $\tau = K_p(\dot{\gamma})^{n_p}$			Herschel-Bulkley: $\tau = \tau_0 + K_{hb}(\dot{\gamma})^{n_{hb}}$			
	K_p	n_p	R^2	τ_0	K_{hb}	n_{hb}	R^2
10	0,00785	0,88207	0,97173	0,39858	0,00381	0,96766	0,97258
15	0,00656	0,88889	0,97142	0,24280	0,00404	0,94603	0,97168
20	0,00732	0,86100	0,95880	0,51026	0,00213	1,00776	0,96145
25	0,00516	0,89372	0,95235	0,25700	0,00270	0,97030	0,95277
30	0,00697	0,84551	0,95371	0,41772	0,00221	0,98188	0,95611
35	0,00474	0,88577	0,91892	0,43903	0,00117	1,05210	0,92175
40	0,00418	0,89299	0,94403	0,24549	0,00190	0,98641	0,94473
45	0,00593	0,83261	0,89992	0,24852	0,00257	0,93147	0,90041
50	0,00246	0,94351	0,92316	0,19501	0,00117	1,03225	0,92352
55	0,00490	0,84424	0,88675	0,20957	0,00221	0,93838	0,88684
60	0,00426	0,85632	0,89954	0,24215	0,00159	0,97311	0,90046
65	0,00923	0,73726	0,81291	-0,1307	0,01431	0,68678	0,81146
70	0,00380	0,85116	0,84185	0,34084	$6,2 \cdot 10^{-4}$	1,06741	0,84538
	Casson: $(\tau)^{\frac{1}{2}} = K_{0,c} + K_c(\dot{\gamma})^{\frac{1}{2}}$			Mizrahi & Berk: $(\tau)^{\frac{1}{2}} = K_{0,mb} + K_{mb}(\dot{\gamma})^{n_{mb}}$			
	$K_{0,c}$	K_c	R^2	$K_{0,mb}$	K_{mb}	n_{mb}	R^2
10	-53,809	2,22754	0,87412	0,34373	$4,3 \cdot 10^{-5}$	1,80882	0,97227
15	-41,836	1,73156	0,89080	0,24011	$3,1 \cdot 10^{-5}$	1,81800	0,97197
20	-25,546	1,19593	0,84450	0,40444	$2,8 \cdot 10^{-5}$	1,80547	0,96008
25	-30,090	1,20630	0,87016	0,18247	$1,8 \cdot 10^{-5}$	1,83406	0,95273
30	-20,764	0,91793	0,84957	0,32113	$2,4 \cdot 10^{-5}$	1,77883	0,95563
35	-17,332	0,77744	0,81309	0,31127	$9,7 \cdot 10^{-6}$	1,87768	0,92069
40	-15,880	0,69530	0,84339	0,12164	$1,2 \cdot 10^{-5}$	1,83521	0,94414
45	-12,429	0,54862	0,80344	0,14022	$2,1 \cdot 10^{-5}$	1,72771	0,90021
50	-15,058	0,59621	0,83923	0,10038	$3,9 \cdot 10^{-6}$	1,94363	0,92365
55	-8,9838	0,41978	0,79510	0,08092	$1,7 \cdot 10^{-5}$	1,73513	0,88620
60	-8,5244	0,39071	0,80251	0,10248	$1,1 \cdot 10^{-5}$	1,77542	0,89993
65	-6,1758	0,28968	0,76705	-0,0200	$9,5 \cdot 10^{-5}$	1,46065	0,81112
70	-5,9580	0,27919	0,73194	0,15367	$4,9 \cdot 10^{-6}$	1,83719	0,84299

Tabela 8. Parâmetros reológicos para solução de mucilagem (concentração 0,50%) obtidos pelos ajustes aos modelos reológicos.

Temperatura (°C)	Parâmetros			Parâmetros			
	Newton: $\tau = \mu(\dot{\gamma})$			Bingham: $\tau = \tau_0 + \eta_{\infty}(\dot{\gamma})$			
	μ	R^2		τ_0	η_{∞}	R^2	
10	0,00914	0,84524		4,54144	0,00702	0,96087	
15	0,00782	0,92972		2,84031	0,00650	0,98383	
20	0,00701	0,93357		2,43675	0,00587	0,98223	
25	0,00627	0,93005		2,24049	0,00522	0,98206	
30	0,00577	0,93604		1,93050	0,00487	0,98032	
35	0,00541	0,94625		1,69342	0,00462	0,98428	
40	0,00492	0,92730		1,73460	0,00411	0,97727	
45	0,00462	0,92281		1,67873	0,00384	0,97651	
50	0,00434	0,94237		1,24844	0,00376	0,97301	
55	0,00407	0,93536		1,34837	0,00344	0,97848	
60	0,00389	0,95261		1,06977	0,00339	0,98065	
65	0,00372	0,93507		1,16638	0,00317	0,97276	
70	0,00345	0,93004		1,16865	0,00290	0,97550	
	Lei da Potência: $\tau = K_p(\dot{\gamma})^{n_p}$			Herschel-Bulkley: $\tau = \tau_0 + K_{hb}(\dot{\gamma})^{n_{hb}}$			
	K_p	n_p	R^2	τ_0	K_{hb}	n_{hb}	R^2
10	0,17589	0,61705	0,99131	-1,3705	0,29096	0,56037	0,99206
15	0,07237	0,71210	0,99414	0,22448	0,06393	0,72644	0,99412
20	0,05563	0,73191	0,98557	0,95128	0,02885	0,80856	0,98646
25	0,05436	0,72047	0,98882	0,52554	0,03708	0,76493	0,98909
30	0,04447	0,73576	0,98680	0,39617	0,03244	0,77245	0,98693
35	0,03498	0,75852	0,98617	0,75590	0,01738	0,84041	0,98722
40	0,04027	0,72801	0,98142	0,62392	0,02204	0,79827	0,98214
45	0,03966	0,72180	0,97995	0,67975	0,01957	0,80414	0,98096
50	0,02378	0,78013	0,97341	0,66612	0,01073	0,87363	0,97461
55	0,02852	0,74816	0,97933	0,70044	0,01192	0,85037	0,98090
60	0,02018	0,78698	0,98180	0,50369	0,01039	0,86488	0,98269
65	0,02374	0,76007	0,97363	0,59560	0,01049	0,85586	0,97493
70	0,02585	0,73929	0,97836	0,48422	0,01304	0,81923	0,97930
	Casson: $(\tau)^{\frac{1}{2}} = K_{0,c} + K_c(\dot{\gamma})^{\frac{1}{2}}$			Mizrahi & Berk: $(\tau)^{\frac{1}{2}} = K_{0,mb} + K_{mb}(\dot{\gamma})^{n_{mb}}$			
	$K_{0,c}$	K_c	R^2	$K_{0,mb}$	K_{mb}	n_{mb}	R^2
10	-235,16	13,79607	0,94989	-0,7844	0,03288	1,22648	0,99131
15	-220,09	11,17874	0,92387	0,77319	0,00475	1,43636	0,99420
20	-151,67	8,33739	0,89809	1,67388	0,00236	1,49786	0,98597
25	-140,52	7,14479	0,90455	0,79104	0,00253	1,46059	0,98894
30	-120,94	6,09459	0,90843	0,63702	0,00170	1,49077	0,98689
35	-120,97	5,70005	0,89495	1,22741	$8,6 \cdot 10^{-4}$	1,56116	0,98674
40	-87,293	4,41766	0,89308	0,90605	0,00121	1,49286	0,98185
45	-76,095	3,87403	0,89105	0,91317	0,00113	1,48538	0,98042
50	-78,593	3,68586	0,87838	0,90072	$3,7 \cdot 10^{-4}$	1,61238	0,97405
55	-60,273	3,03033	0,88433	0,89478	$5,2 \cdot 10^{-4}$	1,55206	0,98008
60	-62,651	2,94407	0,88988	0,63779	$2,8 \cdot 10^{-4}$	1,62049	0,98244
65	-56,513	2,67545	0,88022	0,69220	$3,7 \cdot 10^{-4}$	1,57282	0,97440
70	-43,269	2,17598	0,89147	0,53620	$4,6 \cdot 10^{-4}$	1,52413	0,97892

Tabela 9. Parâmetros reológicos para solução de mucilagem (concentração 0,85%) obtidos pelos ajustes aos modelos reológicos.

Temperatura (°C)	Parâmetros			Parâmetros			
	Newton: $\tau = \mu(\dot{\gamma})$			Bingham: $\tau = \tau_0 + \eta_\infty(\dot{\gamma})$			
	μ	R^2		τ_0	η_∞	R^2	
10	0,01418	0,79941		7,99444	0,01046	0,96111	
15	0,01263	0,87686		5,85066	0,00991	0,97476	
20	0,01140	0,87834		5,28083	0,00895	0,97636	
25	0,01030	0,88399		4,76410	0,00809	0,98232	
30	0,00951	0,89077		4,19604	0,00756	0,97760	
35	0,00883	0,88160		4,07834	0,00693	0,97920	
40	0,00826	0,90216		3,52043	0,00663	0,98206	
45	0,00770	0,90680		3,22164	0,00620	0,98331	
50	0,00728	0,90831		3,04323	0,00587	0,98464	
55	0,00687	0,90496		2,88208	0,00553	0,98198	
60	0,00659	0,92160		2,55734	0,00540	0,98532	
65	0,00620	0,91955		2,41893	0,00508	0,98385	
70	0,00582	0,90881		2,35957	0,00473	0,97902	
	Lei da Potência: $\tau = K_{ip}(\dot{\gamma})^{n_{ip}}$			Herschel-Bulkley: $\tau = \tau_0 + K_{hb}(\dot{\gamma})^{n_{hb}}$			
	K_{ip}	n_{ip}	R^2	τ_0	K_{hb}	n_{hb}	R^2
10	0,36206	0,58035	0,99529	-1,4892	0,50938	0,54213	0,99563
15	0,20113	0,64168	0,99676	-0,6574	0,24386	0,61975	0,99684
20	0,17837	0,64397	0,99615	-0,1809	0,18945	0,63710	0,99612
25	0,15465	0,64932	0,99627	0,77359	0,11390	0,68441	0,99651
30	0,13216	0,65933	0,99378	0,14567	0,12436	0,66630	0,99372
35	0,13428	0,64765	0,99507	0,35955	0,11421	0,66619	0,99509
40	0,10251	0,67407	0,99247	0,74751	0,06961	0,71872	0,99281
45	0,09090	0,68047	0,99202	0,83624	0,05648	0,73547	0,99256
50	0,08662	0,67954	0,99441	0,66188	0,05849	0,72488	0,99478
55	0,08165	0,67953	0,99051	0,76902	0,04993	0,73640	0,99107
60	0,06538	0,70299	0,99104	0,85833	0,03590	0,77261	0,99189
65	0,06288	0,70028	0,99079	0,69169	0,03800	0,75870	0,99137
70	0,06289	0,69207	0,98488	0,82402	0,03296	0,76702	0,98581
	Casson: $(\tau)^{\frac{1}{2}} = K_{0,c} + K_c(\dot{\gamma})^{\frac{1}{2}}$			Mizrahi & Berk: $(\tau)^{\frac{1}{2}} = K_{0,mb} + K_{mb}(\dot{\gamma})^{n_{mb}}$			
	$K_{0,c}$	K_c	R^2	$K_{0,mb}$	K_{mb}	n_{mb}	R^2
10	-475,02	31,05668	0,94870	-1,6635	0,13747	1,15476	0,99528
15	-449,61	26,27955	0,94026	0,04586	0,04037	1,28359	0,99673
20	-404,92	22,34514	0,93396	0,51922	0,03099	1,29123	0,99612
25	-297,69	17,40828	0,92275	3,00237	0,01984	1,32203	0,99656
30	-277,98	15,42793	0,92607	1,00064	0,01620	1,32812	0,99379
35	-219,84	12,82417	0,92502	1,02308	0,01653	1,30619	0,99510
40	-211,40	11,66331	0,91457	2,05035	0,00852	1,37447	0,99276
45	-185,15	10,15662	0,91243	2,05824	0,00646	1,39185	0,99239
50	-164,65	9,06752	0,91702	1,47991	0,00616	1,38388	0,99470
55	-146,19	8,05113	0,90988	1,59291	0,00524	1,38913	0,99086
60	-135,60	7,42030	0,90356	1,78056	0,00315	1,44434	0,99157
65	-120,27	6,58520	0,90626	1,29128	0,00308	1,43173	0,99116
70	-105,12	5,78550	0,89961	1,60147	0,00281	1,42722	0,98550

Tabela 10. Parâmetros reológicos para solução de mucilagem (concentração 1,00 %) obtidos pelos ajustes aos modelos reológicos.

Temperatura (°C)	Newton: $\tau = \mu(\dot{\gamma})$		Bingham: $\tau = \tau_0 + \eta_s(\dot{\gamma})$				
	Parâmetros		Parâmetros				
	μ	R^2	τ_0	η_s	R^2		
10	0,01604	0,87944	7,46821	0,01257	0,97915		
15	0,01436	0,89306	6,33851	0,01141	0,98032		
20	0,01302	0,88879	5,87357	0,01029	0,98092		
25	0,01210	0,88426	5,60464	0,00950	0,98296		
30	0,01118	0,89417	4,96559	0,00887	0,98294		
35	0,01029	0,90674	4,29600	0,00829	0,98273		
40	0,00963	0,91859	3,84730	0,00784	0,98703		
45	0,00904	0,91289	3,69460	0,00732	0,98517		
50	0,00847	0,90775	3,53191	0,00682	0,98369		
55	0,00799	0,91610	3,24690	0,00648	0,98746		
60	0,00759	0,92312	2,92546	0,00623	0,98580		
65	0,00719	0,92026	2,78131	0,00590	0,98326		
70	0,00680	0,91234	2,77928	0,00551	0,98466		
	Lei da Potência: $\tau = K_{ip}(\dot{\gamma})^{n_{ip}}$			Herschel-Bulkley: $\tau = \tau_0 + K_{hb}(\dot{\gamma})^{n_{hb}}$			
	K_{ip}	n_{ip}	R^2	τ_0	K_{hb}	n_{hb}	R^2
10	0,25038	0,64424	0,99717	0,34145	0,23051	0,65369	0,99716
15	0,19997	0,65903	0,99701	0,14829	0,19197	0,66370	0,99698
20	0,18586	0,65584	0,99521	0,77238	0,14606	0,68349	0,99533
25	0,18202	0,64906	0,99608	0,99679	0,12979	0,68790	0,99637
30	0,15425	0,66027	0,99636	0,70000	0,11926	0,68984	0,99652
35	0,12499	0,67683	0,99573	0,43370	0,10497	0,69692	0,99577
40	0,10293	0,69342	0,99500	0,99361	0,06511	0,74645	0,99552
45	0,10040	0,68842	0,99203	1,16168	0,05629	0,75549	0,99284
50	0,09930	0,68132	0,99194	0,95353	0,06043	0,73878	0,99252
55	0,08610	0,69239	0,99261	1,23855	0,04213	0,77539	0,99387
60	0,07492	0,70369	0,99253	0,85679	0,04491	0,76307	0,99316
65	0,07107	0,70355	0,98902	0,92005	0,03946	0,77189	0,98982
70	0,07386	0,69125	0,98915	1,13129	0,03405	0,78124	0,99058
	Casson: $(\tau)^{\frac{1}{2}} = K_{0,c} + K_c(\dot{\gamma})^{\frac{1}{2}}$			Mizrahi & Berk: $(\tau)^{\frac{1}{2}} = K_{0,mb} + K_{mb}(\dot{\gamma})^{n_{mb}}$			
	$K_{0,c}$	K_c	R^2	$K_{0,mb}$	K_{mb}	n_{mb}	R^2
10	-794,106	44,02669	0,93122	4,12879	0,05644	1,30162	0,99727
15	-641,794	35,36567	0,93147	2,50003	0,03682	1,32839	0,99707
20	-526,955	29,05976	0,92301	4,20864	0,02925	1,33251	0,99542
25	-449,810	24,98312	0,92279	3,71132	0,02801	1,31915	0,99630
30	-383,912	21,30431	0,92246	2,75465	0,02048	1,33931	0,99655
35	-330,705	18,15109	0,92382	1,85691	0,01381	1,36914	0,99586
40	-289,897	15,88613	0,91323	3,05637	0,00834	1,41686	0,99544
45	-254,941	13,98507	0,90828	3,24033	0,00757	1,41281	0,99253
50	-220,243	12,19164	0,91119	2,35933	0,00780	1,39204	0,99232
55	-199,087	10,9157	0,90365	3,41408	0,00502	1,43362	0,99346
60	-180,081	9,85336	0,90676	2,17330	0,00424	1,44258	0,99303
65	-160,837	8,82603	0,90319	2,05135	0,00376	1,44422	0,98956
70	-143,880	7,89389	0,89949	2,62245	0,00361	1,43435	0,99002

