

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

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E
COMPORTAMENTO REOLÓGICO DA POLPA DO FRUTO DE
Cereus hildmannianus K. Schum**

MARIA RITA ALANIZ PORTO

**FLORIANÓPOLIS – SC
MARÇO DE 2009**

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

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E
COMPORTAMENTO REOLÓGICO DA POLPA DO FRUTO DE
Cereus hildmannianus K. Schum**

MARIA RITA ALANIZ PORTO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Química.

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

Co-orientador: Prof. Dr. José Antonio Ribeiro de Souza

Florianópolis, março de 2009.

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E
COMPORTAMENTO REOLÓGICO DA POLPA DO FRUTO
DE *Cereus hildmannianus* K. Schum**

Por

Maria Rita Alaniz Porto

Dissertação julgada para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Química** aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina.

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

Orientadora

Prof. Dr. José Antonio Ribeiro de Souza

Co-orientador

Prof. Dr. Leonel Teixeira Pinto –

**Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Química**

Banca Examinadora:

Prof^ª. Dr^ª. Mara Gabriela Novy Quadri (CPGEA-UFSC)

Prof. Dr. José Antonio Ribeiro de Souza (CPGEA-UFSC)

Prof. Dr. Carlos Henrique Lemos Soares (CPGEA-UFSC)

Prof. Dr. Toni Jefferson Lopes (UNOCHAPECÓ)

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores Mara Gabriela Novy Quadri e José Antonio Ribeiro de Souza pela paciência e atenção, por todo seu apoio e dedicação.

Ao CNPq pela bolsa concedida.

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

As colegas e amigas do Laboratório, Andréia, Marta, Raquel, Taiana e especialmente a grande amiga Solange não só pelos ensinamentos, dicas e sugestões, pelos “helps”, mas principalmente pela sua amizade.

À minha mãe Clara Eli, em quem busco força, amor, e para quem dedico todos os meus dias. É por ela e para ela que cheguei até aqui.

Ao meu amor Pedro Henrique que esteve sempre do meu lado, seja pessoalmente ou por web me dando apoio, me motivando e com todo seu amor me fez tão feliz mesmo nos dias mais difíceis do meu trabalho.

Às minhas grandes amigas da graduação por continuarem tão presentes na minha vida, apesar destes 2 anos de “distância”, e à minha grande amiga que conheci nesta pós Gheise, obrigada por tudo Gatona.

A todos que sofreram com o meu stress e mau-humor, agradeço imensamente o apoio, a atenção e por contribuírem, de alguma forma, para “amenizar” estes momentos difíceis.

Ao professor Dachamir Hotza e sua aluna Priscila, por disponibilizar o uso do viscosímetro do Laboratório de Materiais (LABMAT) para a realização dos ensaios reológicos.

Enfim, a todos aqueles que sempre estiveram presentes ao meu lado ou em pensamento, e que de alguma forma contribuíram para a elaboração deste trabalho, muito obrigada.

O Brasil é um dos principais produtores e exportadores de inúmeras espécies de frutas, apresentando uma grande quantidade de espécies ainda não aproveitadas em todo seu potencial, como é o caso de frutos de diferentes cactáceas encontradas no país. O *Cereus hildmannianus* K. Schum é uma cactácea de nome popular “tuna” que ocorre na região oeste de Santa Catarina, onde seus frutos são consumidos pela população desta região por possuir uma polpa suculenta e levemente doce, cujas propriedades e comportamento são ainda desconhecidas. Os frutos desta cactácea, assim como os do gênero *Opuntia*, apresentam uma polpa mucilaginosa de alta viscosidade, o que coloca dificuldades para processamento em uma indústria. Este trabalho estuda a caracterização físico-química e o comportamento reológico em função da temperatura da polpa do fruto de *Cereus hildmannianus* K. Schum para avaliar seu potencial nutricional, funcional e industrial e também a aplicação de enzimas pectinolíticas comerciais (Pectinex Clear e Cellubrix) em diferentes concentrações e temperaturas de incubação no rendimento e viscosidade da polpa de *Cereus hildmannianus*, utilizando a metodologia de superfície resposta. Os resultados da caracterização físico-química de *Cereus hildmannianus* são similares às dos frutos já normalmente consumidos e comercializados mundialmente de *Opuntia ficus-indica* e *Opuntia dillenii*, destacando-se os altos teores de fibras solúveis, potássio e cálcio, e baixo teor de lipídeos e sódio, fazendo-o um produto adequado a dietas especiais. Além disso, o fruto tem um rendimento bruto de polpa de 61,25 %, conferindo a este um potencial como matéria-prima para a industrialização, que pode vir a ser explorado como alternativa alimentar e/ou fonte de renda complementar para a agricultura familiar. O comportamento reológico para a polpa integral, com sementes, e diluída com água na proporção 1:2 mostrou ser pseudoplástico, com viscosidade aparente variando de 7 a 32 mPa.s para a polpa integral, e de 3 a 8 mPa.s para a polpa diluída. Quatro modelos foram empregados para o ajuste dos dados experimentais: Ostwald-De-Waele, Herschel-Bulkley, Casson e Mizrahi & Berk. O modelo de Mizrahi & Berk foi considerado o mais adequado para representar o comportamento reológico da polpa integral e diluída nas diferentes temperaturas estudadas. O efeito da temperatura sobre a

viscosidade pôde ser descrito pela equação de Arrhenius, sendo observada a diminuição da viscosidade com o aumento da temperatura. As energias de ativação do escoamento viscoso para a polpa integral e diluída foram 3,88 e 2,69 kcal.mol⁻¹, respectivamente. O tratamento enzimático mostrou influência das 3 variáveis estudadas: as concentrações de pectinases/pectinálises e celulases, e da temperatura, a um nível de significância de 25%. Os modelos foram adequados para descrição dos resultados.

Palavras-chave: Análise centesimal, tratamento enzimático, viscosidade; mucilagem; planejamento experimental.

Brazil is one of the most important producer and exporter of many kinds of fruits, but its full potential is not exploited since many species are not yet known. It is the case of many cactaceae fruits found in the country such as *Cereus hildmannianus* K. Schum cacti, which the popular name is "tuna". It occurs in the western region of Santa Catarina, where its fruits are consumed by the regional population due to the slightly sweet and juicy flesh, whose properties and behavior was not yet studied. The fruits of that Cacti, as the ones from the genus *Opuntia*, have mucilaginous pulp of high viscosity which hamper the industry processing of the fruit. This work studies the chemical characterization and rheological behavior as a function of the temperature of the *Cereus hildmannianus* K. Schum pulp in order to evaluate the nutritional, functional and industrial potentials. The effects of commercial enzymes Pectinex Clear and Cellubrix, applied at different concentrations and incubation temperatures, on the yield and pulp viscosity of *Cereus hildmannianus* were also studied using the response surface methodology. The results of physical-chemical characterization of *Cereus hildmannianus* were similar to those *Opuntia ficus-indica* and *Opuntia dillenii*, already consumed and marketed worldwide. Special attention must be done to the high levels of soluble fibers, potassium and calcium, and low content of lipids and sodium, making it a product suitable for special diets. Furthermore, the 61.25% pulp yield is consistent to a potential raw material for industrialization, therefore it can be explored as an alternative food and/or source of additional income for farming families. The rheological behavior of the integral and 1:2 water diluted pulps have shown to be pseudoplastic, with apparent viscosity ranging from 7 to 32 mPa.s and 3 to 8 mPa.s for the integral and diluted samples, respectively. Four models were fitted to experimental data: Ostwald-De Waele, Herschel-Bulkley, Casson and Mizrahi & Berk. The Mizrahi & Berk model was considered the most suitable to represent the obtained results. The effect of temperature on the viscosity could be described by the Arrhenius equation and a viscosity decrease was observed with increasing of the temperature. The activation energy of the viscous flow for the whole and diluted pulps were 3.88 and 2.69 kcal.mol⁻¹, respectively. Enzyme treatment showed

influence of the three variables studied: pectinases/pectinaliases and celulasas concentrations, concentrations and temperature at a significant level of 25%. The models were suitable to describe the results.

Keywords: Centesimal analysis; enzyme treatment; viscosity; mucilage; experimental design.

RESUMO	ix
ABSTRACT.....	xi
LISTA DE FIGURAS	xvii
LISTA DE TABELAS	xix
INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	1
1.1 INTRODUÇÃO.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	2
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 CACTÁCEAS	5
2.1.1 Cactáceas de Gênero Cereus.....	7
2.1.2 Cereus hildmannianus K. Schum.....	7
2.2 VALORES NUTRICIONAIS DAS CACTÁCEAS	9
2.3 MUCILAGENS.....	10
2.4 REOLOGIA.....	11
2.4.1 Fluidos Newtonianos	13
2.4.2 Fluidos Não Newtonianos	13
2.4.3 Modelos Reológicos	17
2.4.4 Efeito da Temperatura sobre o Comportamento Reológico	21
2.5 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL	22
2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA POLPA DE TUNA (<i>CEREUS HILDMANNIANUS</i> K. SCHUM)	29
RESUMO	29
ABSTRACT	30
3.1 INTRODUÇÃO	30
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	32
3.2.1 Extração da polpa.....	32
3.2.2 Cálculo do rendimento	32
3.2.3 Análises de Caracterização Físico-Química.....	33
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
3.3.1 Rendimento da Polpa	34
3.3.2 Caracterização química	34
3.4. CONCLUSÃO.....	37
3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
EFEITO DA TEMPERATURA SOBRE O COMPORTAMENTO REOLÓGICO DA POLPA E SUCO DE <i>CEREUS HILDMANNIANUS</i> K. SCHUM	41
RESUMO	41
ABSTRACT	41
4.1 INTRODUÇÃO.....	42
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	43
4.2.1 Polpa.....	43
4.2.2 Caracterização reológica das polpas integral e diluída.....	44
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
4.3.1 Comportamento reológico.....	44
4.3.2 Efeito da temperatura	56
4.4 CONCLUSÃO.....	58
4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

EFEITO DO TRATAMENTO ENZIMÁTICO NO RENDIMENTO E VISCOSIDADE DA POLPA DE <i>CEREUS HILDMANNIANUS</i> K. SCHUM	61
RESUMO.....	61
ABSTRACT.....	62
5.1 INTRODUÇÃO.....	62
5.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	65
5.2.1 Polpa.....	65
5.2.2 Enzimas.....	66
5.2.3 Tratamento Enzimático.....	66
5.2.4 Planejamento experimental.....	67
5.2.5 Determinação do rendimento.....	67
5.2.6 Determinação da viscosidade.....	68
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	68
5.4 CONCLUSÃO.....	78
5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
CONCLUSÕES FINAIS.....	83

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - Distribuição Geográfica da Família.....	5
FIGURA 2.2 - <i>Cereus hildmannianus</i>	8
FIGURA 2.3 - <i>Opuntia ficus-Indica</i>	9
FIGURA 2.4 - Classificação do Comportamento Reológico de Flúidos.....	14
FIGURA 2.5 - Flúidos Newtonianos e Não Newtonianos de acordo com o tempo.....	15
FIGURA 3.1 - <i>Cereus hildmannianus</i> : Frutos Lavados e Cortados.....	36
FIGURA 4.1 - Viscosidade em Função da Taxa de Deformação.....	45
FIGURA 4.2 - Tensão de Cisalhamento em Função da Taxa de Deformação.....	47
FIGURA 4.3 - Resultado dos Ajustes aos Modelos de Mizhari-Berk, Casson, Herschel-Bulkley e Ostwald-de-Waele para os Dados de Tensão de Cisalhamento em Função da Taxa de Deformação para a Polpa Integral sem Sementes de <i>Cereus hildmannianus</i> a 25°C.....	52
FIGURA 4.4 - Resultado dos Ajustes aos Modelos de Mizhari-Berk, Casson, Herschel-Bulkley e Ostwald-de-Waele para os Dados de Tensão de Cisalhamento em Função da Taxa de Deformação para a Polpa Diluída de <i>Cereus hildmannianus</i> a 25°C.....	54
FIGURA 4.5 - Ajuste da Equação de Arrhenius à Viscosidade da Polpa Integral e da Polpa Diluída de <i>Cereus hildmannianus</i> em função da Temperatura	57

- FIGURA 5.1** - Superfície de resposta para o rendimento da polpa de *Cereus hildmannianus* **a)** em função da concentração de Pectinex Clear e temperatura de incubação para Cellubrix no ponto zero e **b)** em função da concentração de Cellubrix e temperatura de incubação para Pectinex Clear no ponto zero..... 72
- FIGURA 5.2** - Curvas de nível para o rendimento da polpa de *Cereus hildmannianus* **a)** em função da concentração de Pectinex Clear e temperatura de incubação para Cellubrix no ponto zero e **b)** em função da concentração de Cellubrix e temperatura de incubação para Pectinex Clear no ponto zero 74
- FIGURA 5.3** - Superfície de resposta para a viscosidade da polpa de *Cereus hildmannianus* **a)** em função da concentração de Pectinex Clear e temperatura de incubação para Cellubrix no ponto zero e **b)** em função da concentração de Cellubrix e temperatura de incubação para Pectinex Clear no ponto zero..... 75
- FIGURA 5.4** - Curvas de nível para a viscosidade da polpa de *Cereus hildmannianus* **a)** em função da concentração de Pectinex Clear e temperatura de incubação para Cellubrix no ponto zero e **b)** em função da concentração de Cellubrix e temperatura de incubação para Pectinex Clear no ponto zero..... 77

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.7 - Valores dos Parâmetros e Aplicações do Modelo Newtoniano.....	20
TABELA 3.1 - Propriedades Químicas da Polpa de <i>Cereus hildmannianus</i>	35
TABELA 4.1 - Viscosidades Aparentes Médias a Temperaturas de 8 a 85°C.....	48
TABELA 4.2 - Parâmetros Reológicos dos Modelos Ajustados aos Resultados da Polpa Integral sem Sementes de <i>Cereus hildmannianus</i>	50
TABELA 4.3 - Parâmetros Reológicos dos Modelos Ajustados aos Resultados da Polpa Diluída de <i>Cereus hildmannianus</i>	51
TABELA 4.4 - Parâmetros da Equação de Arrhenius para a Polpa Integral sem Sementes e Diluída de <i>Cereus hildmannianus</i>	56
TABELA 5.1 - Níveis e Codificações para o Planejamento Experimental 2 ³	66
TABELA 5.2 - Planejamento Composto Central para o Estudo do Rendimento e Viscosidade por Tratamento Enzimático da Polpa de <i>Cereus hildmannianus</i>	69
TABELA 5.3 - Efeitos, Desvio Padrão, <i>p</i> e R ² para o Rendimento e Viscosidade do Suco Obtido da Polpa de <i>Cereus hildmannianus</i>	70
TABELA 5.4 - ANOVA para o Rendimento da Polpa de <i>Cereus hildmannianus</i>	71
TABELA 5.5 - ANOVA para a Viscosidade da Polpa de <i>Cereus hildmannianus</i>	71

1.1 INTRODUÇÃO

O cultivo da cactácea *Cereus hildmaniannus* é de conhecimento pela maioria da população na região do meio-oeste de Santa Catarina, cujo fruto carnoso de sabor suave é comestível e muito apreciado pela população rural da região. Este fruto é, no entanto, pouco conhecido na grande maioria da zona urbana.

Esta cactácea nativa, de nome popular “tuna”, vegeta naturalmente em solos pedregosos frutificando no verão. Dados científicos sobre a espécie são raros e a única referência disponível é o trabalho realizado por BRUXEL e JASPER (2005), os quais fizeram um levantamento de famílias de cactáceas da Bacia do Rio Taquari no Rio Grande do Sul. Estes dados, no entanto, são apenas superficiais e baseados em alguns exemplares. Faltam ainda informações sobre a biologia da planta (ciclo de vida, fenologia, anatomia, ecologia) e sobre as propriedades sensoriais e químicas do fruto.

Um dos programas a nível federal que visa encontrar uma alternativa para a renda da agricultura familiar contribuindo para minimizar os problemas de êxodo rural é o projeto “Plantas do Futuro” do Ministério do Meio Ambiente, (MMA) o qual visa identificar plantas nativas novas ou já usadas pelas populações locais que poderão ter seu uso ampliado como alimento ou como insumos para os mais variados ramos da indústria .

A “tuna” tem se mostrado promissora dentro do contexto “Plantas do Futuro”, podendo tornar-se mais uma opção de renda ao pequeno produtor por se tratar de uma espécie nativa, ocorrendo naturalmente em regiões onde as demais atividades agrícolas são dificultadas devido ao solo raso, pedregoso e com escassez de água. Apresenta potencial extrativista, de domesticação e cultivo em escala, como já ocorreu com outras plantas nativas como a goiaba serrana, butiá, abacaxi, amendoim, entre outras além de cactáceas como a *Opuntia ficus-indica*, ou “figo da Índia”. Além disso, há relatos do uso da planta *Cereus hildmannianus* K. Schum na medicina popular: seus cladódios (caules) são usados na alimentação animal em épocas de escassez de pasto. O fruto possui em sua composição uma substância mucilaginosa também ocorrente em

outras cactáceas que são exploradas como subprodutos pela indústria alimentícia e de cosméticos.

1.2 OBJETIVOS

A ausência de estudos sobre o fruto da cactácea *Cereus hildmannianus* K. Schum (tuna) e, principalmente, sobre seu possível potencial na indústria alimentícia, seja em subprodutos como sucos ou na obtenção de sua mucilagem, deixam evidente a necessidade de se estudar o comportamento da polpa deste fruto. A esses fatores, alia-se a necessidade do estudo das condições de processos objetivando conhecimento das características físico-químicas e reológicas da polpa.

O presente estudo teve como objetivo a caracterização físico-química da polpa de *Cereus hildmannianus*, visando avaliar seu potencial nutritivo e funcional. Além disso, objetiva-se estudar suas características reológicas em função da temperatura e diluição, e bem como efeito de tratamento enzimático sobre a viscosidade e o rendimento.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho encontra-se dividido em cinco capítulos. No capítulo 2 é feita uma revisão bibliográfica sobre a família Cactaceae, o gênero *Cereus*, para finalmente citar sobre o gênero *Cereus hildmannianus* K. Schum, o qual tem seu fruto estudado nos demais capítulos do trabalho. O capítulo traz ainda o valor nutricional de cactáceas já bastante conhecidas mundialmente, o que é mucilagem e sua composição, visto que esta compõe a polpa dos frutos das cactáceas, e por último, fala dos fundamentos e da importância do conhecimento do comportamento reológico e análises sensoriais na área de alimentos.

Os resultados são apresentados do capítulo 3 ao 5 em forma de artigo abordando as três temáticas do estudo realizado, sendo que todos apresentam resumo, introdução, materiais e métodos utilizados, tanto para o processamento da polpa e do suco estudados como também para todas as análises realizadas, e finalmente os resultados e discussão com consequente conclusão de cada estudo. Sendo que:

- Capítulo 3: Aborda as características físico-químicas da polpa de *Cereus hildmannianus* sem sementes, assim como o rendimento de polpa no fruto e valores de alguns minerais presentes;

- Capítulo 4: Apresenta a modelagem reológica para a polpa integral sem sementes e polpa diluída em água, bem como a influência da temperatura sobre esses parâmetros;
- Capítulo 5: Avalia o efeito do tratamento enzimático em diferentes condições de concentração de duas enzimas comerciais (Pectinex Clear e Cellubrix) sobre a viscosidade e o rendimento da polpa através da otimização por metodologia de superfície de resposta.

Ao final dos capítulos têm-se as conclusões finais e as referências bibliográficas.

2.1 CACTÁCEAS

As Cactáceas são dicotiledôneas suculentas de diversos hábitos, podendo ser árvores, arbustos, trepadeiras, epífitas ou geófitas; as hastes (talos) podem ser colunares, roliços, globulares, tuberculados, em forma de costeletas, asas ou achatados, geralmente segmentados sem folhas e com espinhos (BARTHLOTT e HUNT, 1993).

A família Cactaceae apresenta aproximadamente 125 gêneros e 1.900 espécies (ARECES 2004), ocorrendo nas regiões tropicais e temperadas do continente americano (Figura 2.1). Encontra-se distribuída em uma ampla variedade de *habitats*, desde regiões áridas até as florestas úmidas (HUNT e TAYLOR 1990).



Figura 2.1 Distribuição geográfica da família.

FONTE: www.omnicyber.org/Bio/Families/FamIndex.html

Segundo RIZZINI (1987), as espécies de Cactaceae que ocorrem no Brasil podem ser classificadas em cinco grupos, de acordo com o seu *habitat*: 1) silvícolas - que habitam florestas pluviais: amazônica e atlântica, com predominância de espécies epífitas; 2) savanícolas no cerrado; 3) campestres em campos rupestres de Minas Gerais; 4)

litorâneas - no litoral brasileiro; 5) xerófilas - bioma caatinga, abrangendo maior número de espécies.

A família Cactaceae é predominantemente neotropical e encontrada principalmente em ambientes áridos e semi-áridos, porém cerca de 220 espécies estão adaptadas à vida epifítica em florestas tropicais e subtropicais úmidas (BARTHLOTT, 1983). Esse epifitismo acidental pode ser encontrado nas subfamílias e tribos, como em Opuntioideae e Cereeae (WAECHTER 1998; GONÇALVES e WAECHTER 2003).

Os principais estudos com cactáceas epifíticas no Brasil foram realizados por SCHUMANN (1890), LOEFGREN (1915; 1917) e RITTER (1979), além de trabalhos regionais como o de SCHEINVAR (1985) para o estado de Santa Catarina, LOMBARDI (1991; 1995) para o estado de São Paulo e FREITAS (1992; 1996; 1997) para o estado do Rio de Janeiro.

A família 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; *Cactoideae* não têm folhas, possuem hastes suculentas com aréolas bem desenvolvidas (BARTHLOTT e HUNT, 1993).

Além de importante na manutenção de vários organismos vertebrados e invertebrados das regiões de Caatinga, as cactáceas apresentam importância econômica, podendo ser utilizadas na alimentação animal ou humana e como fonte de madeira e para o paisagismo (LIMA 1996).

Com relação às características de seus frutos, SHEINVAR (1985) o descreve como fruto baga, na qual interferem outros órgãos como pericarpelo e zona pedicelar e que formam as suas paredes, o epicarpo, mesocarpo e endocarpo constituem as finas paredes que circundam os fenículos que acumulam açúcares durante a maturação.

A família Cactaceae é caracterizada pela sua grande quantidade de mucilagem, sendo essa distribuída nas diferentes partes das plantas, indo desde os cladódios até os frutos (polpa e casca). A mucilagem é um complexo de carboidratos classificada como fibra solúvel. Este hidrocolóide apresenta uma grande capacidade de absorver água, e por isso observa-se na polpa dos cactus, uma alta viscosidade.

2.1.1 Cactáceas de Gênero *Cereus*

O gênero *Cereus* pertence à subfamília *Cactoideae*, grupo *Cereoideae*; são plantas tipo árvore ou arbustos de hastes eretos e significa, tanto em grego quanto em latim, “tocha”, provavelmente devido ao formato de candelabro do primeiro cacto conhecido. O gênero *Cereus* foi primeiramente descrito por Hermann, em 1698 e depois por Miller em 1754, e inclui 900 espécies catalogadas.

Em 1909, Riccobono dividiu o gênero e criou a denominação *Piptanthocereus*, hoje com 24 espécies. Estas espécies possuem flores, frutos e espinhos semelhantes e estão presentes desde as Índias até a América do Sul (BRITTON e ROSE, 1919). SHEINVAR (1985) cita que no século XIX incluíam-se, entre todos os *Cereus* todos os cactos colunares ou angulados, eretos ou rasteiros, e que atualmente estão distribuídos nas subtribos *Cereanae* e *Hylocereanae*, bem como em alguns gêneros da subtribo *Echinocereanae*.

Britton e Rose incluem neste gênero 26 espécies (os verdadeiros Cerei), dos quais 13 estão distribuídos no Brasil. Trata-se de um gênero muito homogêneo, e por isto, suas espécies são muito difíceis de distinguir. Distribuem-se desde Argentina até a América Central e Antilhas. Em Santa Catarina encontram-se 2 espécies: uma localizada na região Sul e outra no Norte. A primeira, *Cereus jamacaru*, é nativa, e a outra, *Cereus uruguianus* é cultivada.

Os frutos do gênero *Cereus* são carnosos, grandes, vermelhos, raramente amarelos, desnudo, com deiscência longitudinal quando bem maduros, com restos florais caducos depois da fertilização, mas o estilo é persistente; comestível (SHEINVAR, 1985).

2.1.2 *Cereus hildmannianus* K. Schum

Uma das poucas descrições encontradas para esta espécie é de uma planta ereta, colunar, arbórea ou arbustiva, terrícola, rupícola e eventualmente epífita, de até 8 metros de altura. Cladódios articulados

com condições de crescimento características; coloração geralmente verde. Costelas 6-9; aréolas inclusas com tomento cinza. Espinhos 5-10, radiais, rígidos, castanhos a pretos. Flores campanuladas com 10-18 cm de comprimento, segmentos externos do perianto crassos, verdosos com ápice avermelhado; estames numerosos, estilete cilíndrico; estigma com 12 lóbulos. Fruto carnoso, oval-alongado, amarelo quando maduro, estilete persistente e deiscente por fenda lateral. Sementes obovadas e pretas (BRUXEL e JASPER, 2005).

É uma espécie com distribuição no Paraguai, Bolívia, Uruguai, Argentina e Brasil. Segundo SCHUMANN (1890) e SCHEINVAR (1985), existem registros para São Paulo, Rio de Janeiro e ainda região sul do Brasil.

SHEINVAR (1985) descreve o *Cereus hildmannianus* (Figura 2.2) como uma forma “variegatus” de *Cereus jamacaru*, e apenas o caracteriza como um cactus ornamental de excelência bastante cultivado no estado de Santa Catarina, e por ter a forma *variegatus* é um cactus verde com grandes manchas amarelas ao longo das costelas dos artículos. Seu tronco eleva-se até 5 m de altura e é muito ramificado. É possível que o *Cereus hildmannianus* K. Schumann seja originário do Estado do Rio de Janeiro.



Figura 2.2 *Cereus hildmannianus*.

O trabalho mais recente encontrado sobre esta espécie foi o publicado em resumo por CASTELLANI (2008) onde ele estudou 30 indivíduos de *C. hildmannianus* em uma restinga arbustiva, no município de Jaguaruna, sul de Santa Catarina. Observaram-se as fases de floração e frutificação entre dezembro de 2007 e maio de 2008, com periodicidade quinzenal, estando estas ainda em andamento. Os resultados encontrados foram que o *C. hildmannianus* apresentou baixa sincronia para ambas as fases quanto ao início da atividade. A floração iniciou-se em dezembro e estendeu-se até a primeira quinzena de maio, com pico de atividade em fevereiro e 60% da população em flor. De modo geral, a população apresentou curto período de floração. A frutificação iniciou-se em janeiro com poucos frutos presentes ainda em maio. O pico de atividade ocorreu em março, com 55% da população apresentando frutos. Com relação à produção de flores e frutos, março apresentou o maior número de estruturas, com 231 flores e 106 frutos.

2.2 VALORES NUTRICIONAIS DAS CACTÁCEAS

Podem ser encontrados na literatura diversos trabalhos citando o potencial de algumas cactáceas como alimento funcional, porém na sua maioria as pesquisas se concentram para a espécie *Opuntia ficus-indica*, mais conhecida no Brasil como “figo da índia” (Figura 2.3) e mundialmente como cactus pêra ou também “tuna”, além de outras espécies do gênero *Opuntia*. São poucas as pesquisas para o gênero *Cereus* se destacando apenas a espécie *Cereus jamacaru*. Outra dificuldade encontrada é a busca de pesquisas com o fruto desta espécie, visto que o “nopal” parte da folhagem destes cactos é mais focado em suas qualidades nutricionais.



Figura 2.3 *Opuntia ficus-indica*.

Com isso, o presente trabalho teve como base principal de apoio à literatura os amplos estudos já realizados em diferentes países com o “figo-da-índia”, visto que apesar de não pertencerem ao mesmo gênero, *Opuntia ficus-indica* e *Cereus hildmannianus* são da mesma família das cactáceas.

O cactus pêra (*Opuntia ficus-indica*) é originário da América tropical (RUSSEL e FELKER, 1987) e pode ser encontrado em áreas subtropicais e tropicais (BARBERA, 1995). Os frutos são bagas carnudas, variando de forma, tamanho e cor contendo sementes duras. Eles têm um grande interesse devido às suas propriedades nutricionais e antioxidantes principalmente devido à presença de ácido ascórbico, fibras e aminoácidos (STINTZING, SCHIEBER e CARLE, 2001). Em particular o nível de ácido ascórbico pode atingir valores de 40 mg/100 g (RODRIGUEZ et al., 1996); sais minerais como o cálcio e o fósforo estão presentes em níveis de 15,4-32,8 mg/100 g e 12,8-27,6 mg/100 g, respectivamente. O potássio é outro importante fonte de minerais contidos em níveis a cerca de 27,6 mg/100 g (SEPÚLVEDA e SÁENZ, 1990).

2.3 MUCILAGENS

Mucilagens são polímeros naturais, complexos de polissacarídeos ácidos ou neutros, de alto peso molecular, contendo mais de 30.000 açúcares diferentes, solúveis em água, comumente encontrados em plantas superiores (MACGARVIE e PAROLIS, 1981 citado por MEDINA-TORRES et al., 2000; CASTRO e MACHADO, 2003). Sua função fisiológica na maioria dos casos é incerta, podendo servir como substâncias de reserva ou contribuir para o balanço hídrico e/ou resistência ao dessecamento (DISTELBARTH e KULL, 1985). A pectina, polissacarídeo ácido, é o principal componente da mucilagem (WESTERN et al., 2000).

De acordo com a recomendação da FAO (2007) e do ponto de vista fisiológico, as fibras podem ser classificadas em relação ao seu grau de polimerização como polissacarídeos estruturais (celulose, hemicelulose, pectina e amido resistente), polissacarídeos não estruturais (gomas e mucilagens) e compostos não polissacarídeos (lignina).

Já as fibras solúveis são compostas por polissacarídeos não amiláceos, tais como β -glucanas e arabinoxilanas; são citadas como fibras solúveis as gomas, as mucilagens, hemiceluloses tipo A,

polissacarídeos de reserva da planta e as pectinas (MANTHEY, HARELAND e HUSEBY, 1999).

O gênero *Opuntia* é o único dentre as cactáceas da qual se encontram estudos sobre sua mucilagem, o qual é distribuída nas diferentes partes da planta, cladódios e frutos (polpa e casca). Este hidrocolóide apresenta uma grande capacidade de absorver água. Desempenhando um papel muito importante na fisiologia vegetal, uma vez que espécies de *Opuntia* comumente crescem sob condições de falta de água (NOBEL et al., 1992). São responsáveis pela capacidade da Cactaceae para reter água, mesmo sob condições climáticas desfavoráveis (SAAG et al., 1975)

Em geral as pesquisas sugerem que a mucilagem contém quantidades variáveis de L-arabinose, D-galactose, L-ramnose, e D-xilose, como principais açúcares neutros. A presença de ácido galacturônico também foi indicada. A presença deste componente tem sido um motivo de confusão para os diversos autores que têm referido a mucilagem como pectina ou um pectinóide. A mucilagem de *Opuntia ficus-indica* é composto de 24,6-42% de arabinose; 21-40,1% de galactose; 8-12,7% de ácido galacturônico; 7-13,1% da ramnose e 22-22,2% de xilose (TRACHTENBERG e MAYER, 1981; NOBEL et al., 1992).

Vários autores estudaram e atribuíram à mucilagem dos cladódios da *Opuntia* diferentes benefícios a saúde devido ao seu potencial como fibra solúvel, e ainda citam outros usos importantes deste hidrocolóide na indústria de alimentos, como por exemplo, um substituinte de gordura.

Porém, pesquisas sobre a caracterização e importância da mucilagem presente nos frutos de cactáceas não são facilmente encontrados, e sim apenas em seus cladódios, além de nem haver investigação sobre este polissacarídeo no gênero *Cereus*. Com isso, vê-se a importância e necessidade de estudos sobre a polpa mucilagínosa de frutos de cactáceas normalmente cultivadas e consumidas em algumas regiões do Brasil, como é o caso do *Cereus hildmannianus* encontrado no oeste do Estado de Santa Catarina.

2.4 REOLOGIA

A reologia é a ciência que estuda as propriedades mecânicas dos materiais quanto ao escoamento promovido por forças externas. O

campo da reologia estende-se desde a mecânica de fluidos newtonianos até a elasticidade de Hooke (BIRD et al., 1960).

O termo reologia vem do grego *rheo* (fluxo) e *logos* (ciência) e foi sugerido por Bingham e Crawford para descrever as deformações de sólidos e a fluidez de líquidos (LABA, 1993; LEONARDI et al., 2001).

Segundo MCCLEMENTS (2005), a reologia é importante em diferentes áreas da ciência dos alimentos. Muitas das propriedades texturais que os humanos percebem quando consomem alimentos são basicamente reológicas na natureza, isto é, cremosidade, suculência, maciez, suavidade e dureza. A estabilidade e aparência dos alimentos freqüentemente dependem das características reológicas e de seus componentes.

Segundo HOLDSWORTH (1993) o estudo do comportamento reológico é de grande importância para a indústria de alimentos, pois apresenta diversas finalidades como:

- Cálculos em processos de engenharia, como por exemplo: cálculo de vazão, seleção de bombas, determinação da perda de carga em tubulações, etc;
- Determinação da funcionalidade de um ingrediente no desenvolvimento de um produto;
- Controle de qualidade e vida-de-prateleira;
- Correlação com dados obtidos por análise sensorial.

Em 1687, Isaac Newton introduziu o conceito de viscosidade, especialmente para líquidos, e apresentou hipóteses associadas com o escoamento dos fluidos entre duas placas paralelas. A viscosidade é a medida da resistência ao escoamento entre as camadas de moléculas de um fluido (SILVA, 2000).

Um fluido define-se como uma substância que se deforma continuamente quando submetida a um esforço constante, não importando quão pequeno seja este esforço. De todas as propriedades dos fluidos, a viscosidade requer uma maior atenção no estudo do fluxo de um fluido (STREETER, 1996).

A viscosidade é considerada um dos principais parâmetros reológicos e mede a resistência do fluido ao escoamento, quando uma taxa de deformação é aplicada. O comportamento de um alimento durante o seu processo pode variar significativamente, pois a consistência e a composição do material podem ser alteradas devido a etapas de mistura, aquecimento, resfriamento, homogeneização, aeração,

fermentação, cristalização e etc.; contribuindo, portanto, na modificação da viscosidade (BHATTACHARYA, 1997; LEWIS, 2003).

O conhecimento da viscosidade pode contribuir para a otimização de processos, redução dos custos nos ingredientes e melhoria da consistência do produto (LEWIS, 1993). Os fluidos alimentícios são caracterizados quanto ao seu comportamento reológico em Newtonianos e não-Newtonianos dependendo da relação que apresentam entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação aplicada (BHATTACHARYA, 1997, em TABILO-MUNIZAGA e BARBOSA-CÁNOVAS, 2005).

2.4.1 Fluidos Newtonianos

As propriedades reológicas de fluidos newtonianos são independentes da taxa de cisalhamento e seu histórico, e dependentes somente da composição e temperatura (VIDAL, 2000). Para um fluido newtoniano ideal, a tensão de cisalhamento é uma função linear da taxa de cisalhamento, e a constante de proporcionalidade para esta relação μ é chamada de viscosidade newtoniana (SHARMA et al., 2000).

A equação matemática que descreve a viscosidade é dada pela equação 2.1:

$$\tau = \mu \gamma \quad (2.1)$$

onde:

τ = tensão de cisalhamento (Pa)

γ = taxa de deformação (s^{-1})

μ = viscosidade (Pa.s)

Alguns exemplos de alimentos que apresentam comportamento Newtoniano são os sucos de frutas clarificados, leite, óleo refinado e soluções de sacarose (HOLDSWORTH, 1971), leite, suco de maçã, suco de laranja, vinho e cerveja (SHARMA et al., 2000).

2.4.2 Fluidos Não Newtonianos

Os fluidos viscosos não newtonianos não apresentam proporcionalidade entre a taxa de cisalhamento e a tensão cisalhamento (IBARZ e BARBOSA-CÁNOVAS, 1999).

O termo viscosidade aparente (η_{ap}) é geralmente reservado para fluidos Newtonianos. Para fluidos não-Newtonianos, a viscosidade a

uma determinada taxa de deformação é denominada “viscosidade aparente” (η_{ap}), que é definida como a razão entre a tensão de cisalhamento (τ) e a taxa de cisalhamento ($\dot{\gamma}$).

$$\eta_{ap} = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (2.2)$$

onde:

η_{ap} = viscosidade aparente (Pa.s)

τ = tensão de cisalhamento (Pa)

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

Os fluidos não-Newtonianos, que não apresentam viscosidade constante, são classificados em independentes ou dependentes do tempo. (Figura 2.4)

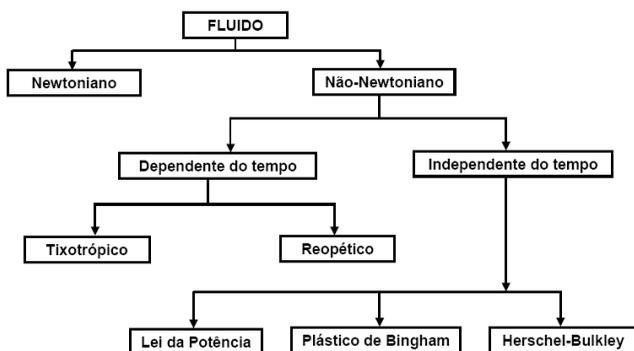


Figura 2.4 Classificação do comportamento reológico de fluidos.

Dentre os fluidos independentes do tempo (Figura 2.5 a) estão os fluidos plásticos de Bingham (margarina, óleos vegetais); os fluidos pseudoplásticos (sucos e polpas de frutas e vegetais) e os fluidos dilatantes (suspensões de amido, mel). Para os fluidos não-Newtonianos independentes do tempo, submetidos à temperatura e concentração constantes, a viscosidade aparente depende somente da taxa de deformação. Já os fluidos dependentes do tempo (Figura 2.5 b), cuja viscosidade depende não somente da taxa de deformação, mas também do tempo de escoamento, estão divididos em tixotrópicos (maionese, iogurte) e reopéticos (HOLDSWORTH, 1993).

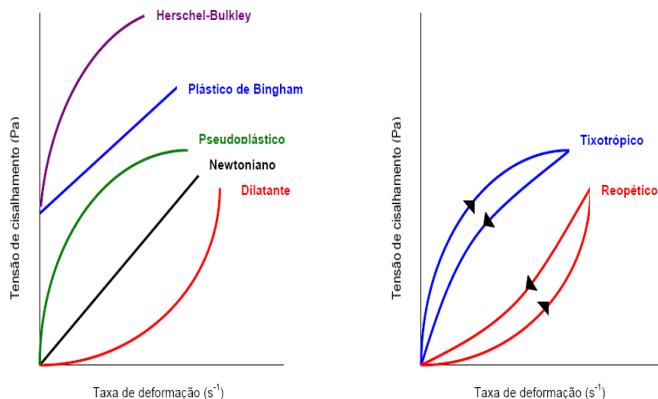


Figura 2.5 Fluidos a) Newtoniano e não-Newtonianos independentes do tempo; b) Fluidos não-Newtonianos dependentes do tempo.

As polpas de frutas, dispersões de moléculas ou partículas assimétricas, apresentam, quando em repouso um estado desordenado e quando submetidas a uma tensão de cisalhamento suas moléculas ou partículas tendem a orientar-se na direção da força aplicada. Quanto maior a força aplicada, maior será a ordenação, e conseqüentemente, menor a viscosidade aparente. Como a viscosidade aparente das polpas de frutas decresce com o aumento da tensão de cisalhamento, estas são classificadas como fluidos pseudoplásticos (SUGAI, 2002).

2.4.2.1. Fluidos pseudoplásticos

Neste grupo encontra-se a maioria dos fluidos de componentes de comportamento não-newtoniano. São fluidos independentes do tempo, sem tensão residual, que começam a escoar sob a ação de tensões de cisalhamento infinitesimais (VIDAL, 2000). Este tipo de fluido demonstra um decréscimo na viscosidade com um aumento na tensão de cisalhamento (MCCLEMENTS, 2005), sendo que a taxa de cisalhamento versus a tensão de cisalhamento forma uma linha convexa (SHARMA et al., 2000). Esses fluidos em repouso apresentam um estado desordenado, e quando submetidos a uma tensão de cisalhamento, as 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).

Alguns exemplos de fluidos pseudoplásticos são: sucos de frutas concentrados, purê de maçã, pasta de amido e proteínas (RHA, 1978). Em geral, os purês de frutas e vegetais são fluidos pseudoplásticos. A consistência desses produtos é um importante parâmetro de qualidade industrial (IBARZ e BARBOSA CÁNOVAS, 1999).

Polpas de frutas como tomate, manga, acerola, cajá, graviola, melão e morango também foram caracterizadas na literatura como sendo fluidos pseudoplásticos com tensão residual (SHARMA et al., 1996; BHATTACHARYA, 1999; FREITAS, 2002).

2.4.2.2. Fluidos dilatantes

Os fluidos dilatantes apresentam o comportamento inverso ao fenômeno da pseudoplasticidade, ou seja, a viscosidade do fluido aumenta à medida que aumenta a taxa de cisalhamento. Esse tipo de fluxo somente é encontrado em líquidos que contém uma alta proporção de partículas rígidas insolúveis em suspensão (BOURNE, 1982). Alguns tipos de mel e suspensões de amido se enquadram nessa categoria (SHARMA et al., 2000; STEFFE, 1996).

2.4.2.3. Fluidos de Bingham

Segundo MCCLEMENTS (2005), o fluido de Bingham se comporta como um sólido sob condições estáticas. Uma certa quantidade de força deve ser aplicada antes que o fluxo seja induzido (tensão crítica).

Alguns exemplos de fluidos alimentícios que representam esse comportamento são: maionese, margarina, catchup de tomate e substâncias de cobertura, onde o fluxo não é desejado sob condições estáticas (COSTA, 2006).

2.4.2.4. Fluidos tixotrópicos

Fluidos desse grupo apresentam um comportamento reológico dependente do tempo. Um fluido tixotrópico é aquele no qual a viscosidade aparente diminui com o tempo quando o fluido é submetido a uma taxa de cisalhamento constante. Fluidos desse tipo são conhecidos por conter pequenas partículas (cristais ou biopolímeros) que são mantidos juntos por forças fracas. O cisalhamento do material separa as partículas agregadas e então ocorre uma menor resistência ao

escoamento e a viscosidade decresce com o tempo até um valor constante ser alcançado (MCCLEMENTS, 2005). Exemplos desse fluido são gelatinas, cremes, manteigas, molhos para saladas, entre outros (SHARMA et al., 2000).

2.4.2.5. Fluidos reopéticos

Em alguns alimentos, a viscosidade aparente do fluido aumenta com o tempo quando sujeito a uma taxa constante de cisalhamento. Há diferentes razões para este comportamento. A mais importante é que o cisalhamento aumenta a frequência das colisões entre as moléculas ou partículas dos fluidos, que pode levar para um aumento de agregados e conseqüentemente um aumento na viscosidade aparente (MCCLEMENTS, 2005). Este tipo de comportamento não é comum em alimentos, mas pode ocorrer em soluções de amido altamente concentradas (SHARMA et al., 2000).

2.4.2.6. Fluidos viscoelásticos

Muitos produtos alimentícios não são líquidos puros ou sólidos puros, mas possuem propriedades reológicas que são parcialmente viscosas e parcialmente elásticas (MCCLEMENTS, 2005). Quase todas as soluções, de polímeros, mesmo diluídas, apresentam comportamento viscoelástico, e muitas vezes, este comportamento não é detectado por instrumentos não preparados para essas medidas. Clara de ovo é o exemplo típico do comportamento viscoelástico (VIDAL, 2000).

2.4.3 Modelos Reológicos

Os modelos reológicos são úteis para relacionar propriedades reológicas de um fluido com grandezas práticas, como concentração, temperatura, pH, índice de maturação, entre outros. Esses modelos podem ser isotérmicos ou não isotérmicos. No primeiro caso, descrevem o comportamento de um fluido a uma temperatura fixa, e no último, incluem relações específicas, como funções da temperatura. Dependendo do modelo utilizado, possuem ou não tensão inicial (VIDAL, 2000).

O modelo reológico mais simples é o newtoniano, que apresenta uma relação linear entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação. No entanto, a maioria dos alimentos fluidos não apresenta esse tipo de

comportamento e requer modelos mais complexos para sua caracterização (HOLDSWORTH, 1971; TABILO-MUNIZAGA e BARBOSA-CÁNOVAS, 2005).

Conforme (HOLDSWORTH, 1993), os modelos reológicos que geralmente descrevem o comportamento reológico de sucos e polpas de frutas são os Modelos de Ostwald-de-Waele (ou Lei da Potência) e o de Herschel-Bulkley (ou Lei de Potência Generalizada), sendo que este último se diferencia do primeiro apenas pela inclusão do parâmetro de tensão inicial de cisalhamento (τ_0). Na literatura, porém existem muitos modelos reológicos propostos. A escolha do modelo a ser utilizado é uma função das características do fluido (RAO e ANANTHESWARAM, 1982). Os modelos mais comumente utilizados são: Ostwald-De-Waele, Bingham, Herschel-Bulkley, Casson e Mizrahi & Berk.

2.4.3.1. Modelo de Ostwald-De-Waele (Lei da Potência)

Muitos fluidos alimentícios exibem comportamento pseudoplástico e são caracterizados através do modelo Lei da Potência (STEFFE, 1996), sendo assim este modelo é bastante utilizado para descrever o comportamento de alimentos devido à sua simplicidade e ampla aplicabilidade (BRANCO, 2001). A representação matemática do modelo é dada pela Equação 2.3.

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad (2.3)$$

onde:

K = índice de consistência (Pa.s)

n = índice de comportamento (adimensional)

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

τ = tensão de cisalhamento (Pa)

A viscosidade aparente é determinada com a Equação 2.4.

$$\eta = K \dot{\gamma}^{n-1} \quad (2.4)$$

O valor de n é uma medida da pseudoplasticidade do fluido. Quando n é maior que 1, o fluido apresenta comportamento dilatante. Se n é menor que 1, o material apresenta um comportamento

pseudoplástico e, ainda, quanto menor o valor de n , maior a pseudoplasticidade do fluido. Para valores de n igual a unidade, o fluido se comporta como Newtoniano e $\eta = K$ (SANTOS, 2004).

2.4.3.2. Modelo de Bingham

O modelo de Bingham é uma adaptação do modelo de Ostwald-De-Waele para fluidos newtonianos. O que difere é a presença de uma tensão inicial de cisalhamento, sendo que o fluido só inicia o processo de escoamento quando a tensão de cisalhamento aplicada supera essa tensão inicial (VIDAL, 2000). A Equação 2.5 descreve o modelo de Fluido de Bingham.

$$\tau = \tau_0 + \eta_{pl} \gamma \quad (2.5)$$

onde:

τ = tensão de cisalhamento (Pa)

τ_0 = tensão crítica de cisalhamento (Pa)

η_{pl} = viscosidade plástica de Bingham

γ = taxa de deformação (s^{-1})

2.4.3.3. Modelo de Herschel-Bulkley

A relação geral que descreve o comportamento dos fluidos não-newtonianos é o modelo de Herschel-Bulkley (STEFFE, 1996). Representado pela equação 2.6, este modelo é uma forma modificada do modelo proposto por Ostwald-De-Waele, diferindo apenas pela existência de uma tensão inicial, a partir da qual o fluido começa a escoar (COSTA, 2006).

$$\tau = \tau_0 + K \gamma^n \quad (2.6)$$

onde:

τ = tensão de cisalhamento (Pa)

τ_0 = tensão crítica de cisalhamento (Pa)

γ = taxa de deformação (s^{-1})

K = índice de consistência (Pa.s)

n = índice de comportamento

De maneira geral, o modelo Herschel-Bulkley (Equação 2.6) pode ser usado para descrever o comportamento de diversos tipos de fluidos, pois engloba diversos modelos.

Na Tabela 2.7 são apresentados os valores típicos dos parâmetros da equação 2.6 para os diferentes fluidos (STEFFE, 1996).

Tabela 2.7 Valores dos parâmetros e aplicações do modelo newtoniano, pseudoplástico, dilatante e plástico de Bingham, considerados como casos especiais do modelo Herschel-Bulkley (STEFFE, 1996).

Fluido	k	n	σ_0	Exemplos típicos
Herschel-Bulkley	> 0	$0 < n < \infty$	> 0	Pasta de peixe picada, pasta de uva passa
Newtoniano	> 0	1	0	Água, suco de fruta clarificado, leite, mel, óleo vegetal
Pseudoplástico	> 0	$0 < n < 1$	0	Molho de maçã, purê de banana, suco concentrado de laranja
Dilatante	> 0	$1 < n < \infty$	0	Alguns tipos de mel, solução de 40% de amido de milho
Plástico de Bingham	> 0	1	> 0	Pasta de dente, pasta de tomate

2.4.3.4. Modelo de Casson

CASSON (1959) desenvolveu um modelo (Equação 2.7) para uma suspensão de partículas interagindo em um meio newtoniano, dado pela seguinte expressão matemática:

$$\tau^{1/2} = K_{OC} + K_C \gamma^{1/2} \quad (2.7)$$

onde:

γ = taxa de deformação (s^{-1})

τ = tensão de cisalhamento (Pa)

K_{OC} = tensão inicial (Pa)

K_C = viscosidade de Casson (Pa.s)

No caso do modelo de Casson, a curva da tensão de cisalhamento versus a taxa de deformação pode ser transformada em uma linha reta pela plotagem da raiz quadrada da tensão de cisalhamento versus a raiz

quadrada da taxa de cisalhamento. Chocolate é um exemplo notável deste tipo de fluido (SHARMA et al., 2000).

VIDAL (2000) estudando o comportamento reológico de polpa de manga despectinizada, em diferentes temperaturas, observou que o modelo de Casson foi o que melhor se ajustou aos dados reológicos.

2.4.3.5. Modelo de Mizhari & Berk

Este modelo foi obtido pela modificação da equação de Casson, este modelo foi criado para ser utilizado no estudo do escoamento de suco de laranja concentrado e suspensões de partículas interagindo entre si em um meio pseudoplástico (PELEGRINE, 1999) e tem se ajustado à maioria dos reogramas de polpas e sucos de frutas.

Para descrever o comportamento reológico do suco de laranja concentrado, MIZRAHI & BERK (1972), desenvolveram a seguinte equação reológica:

$$\tau^{1/2} = K_{0M} + K_M \gamma^{n_M} \quad (2.8)$$

onde:

τ = tensão de cisalhamento (Pa)

K_M = índice de consistência ($\text{Pa}^{1/2} \text{s}^n$)

n_M = índice de comportamento do fluido

K_{0M} = raiz quadrada da tensão inicial de cisalhamento ($\text{Pa}^{1/2}$)

γ = taxa de deformação (s^{-1})

2.4.4 Efeito da Temperatura sobre o Comportamento Reológico

A temperatura é um dos fatores que mais afeta a viscosidade das polpas de frutas, visto que a maioria destas apresentam-se na forma de sólidos dispersos em meios líquidos. Um aumento da temperatura neste caso faz com que a viscosidade da fase líquida diminua, aumentando o movimento das partículas em suspensão, causando um decréscimo na viscosidade (PELEGRINE, 1999).

Segundo KROKIDA et al. (2001), a temperatura tem um maior efeito no índice de consistência (K) em fluidos alimentícios não-newtonianos, sendo que o índice de comportamento (n) é afetado de forma moderada pela temperatura, mostrando um pequeno aumento em temperaturas elevadas.

Em geral, o efeito da temperatura na viscosidade aparente (η), a uma taxa de deformação específica, tem sido expresso por uma equação análoga à de Arrhenius (Equação 2.9) (HOLDSWORTH, 1971; VITALI, ROIG e RAO, 1974; RAO, BOURNE e COOLEY, 1981).

$$\eta = \eta_{\infty} \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \quad (2.9)$$

onde:

η = viscosidade aparente (Pa.s);

η_{∞} = constante empírica (Pa.s), também conhecida como fator pré-exponencial,

E_a = energia de ativação (kcal.gmol⁻¹);

R = constante dos gases;

T = temperatura absoluta (K).

A Equação 2.9 indica a tendência à diminuição da viscosidade aparente com o aumento da temperatura. De um modo geral, quanto maior for a energia de ativação, maior será o efeito da temperatura sobre a viscosidade (HOLDSWORTH, 1971; RAO, 1986).

Segundo FALCONE et al. (2007), altos valores para a energia de ativação indicam que a viscosidade é altamente dependente da temperatura.

2.5 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

O uso de técnicas de planejamentos experimentais, baseados em princípios estatísticos, pode fornecer o máximo de informação útil realizando-se um número mínimo de experimentos, com melhor qualidade de informação nos resultados. A análise multivariável permite verificar e quantificar efeitos sinérgicos e antagônicos entre as variáveis estudadas, e é possível otimizar mais de uma resposta ao mesmo tempo (BARROS NETO; SCARMINIO e BRUNS, 2002; RODRIGUES, 2004).

No planejamento de qualquer experimento, a primeira etapa é decidir quais os fatores e as respostas de interesse. Os fatores ou variáveis independentes, em geral, são as variáveis que o experimentador tem condições de controlar, e podem ser qualitativas ou quantitativas. As respostas são as variáveis dependentes, que serão ou

não afetadas por modificações provocadas nos fatores, e muitas vezes precisam ser consideradas simultaneamente (BARROS NETO; SCARMINIO e BRUNS, 2002).

A metodologia de superfícies de resposta (ou RSM, de *Response Surface Methodology*) é uma técnica de otimização baseada em planejamentos fatoriais, e que tem sido usada com grande sucesso na modelagem de diversos processos industriais.

2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARECES, A. Cactaceae In Flowering plants of the Neotropics. (N. Smith, S.A. Mori, A. Henderson, W.D. Stevenson & S.V. Heald, eds.). Princeton and Oxford University Press, p. 73-76, 2004.

BARBERA, G., History, economic and agro-ecological importance. In Barbera, G., Inglese, P., & Pimienta-Barrios, P. (Eds.), Agro-ecology cultivation and uses of cactus pear v. 132, p. 1-11. FAO plant production and protection paper, 1995.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I.S.; BRUNS, R.E. Como fazer experimentos: Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria. Campinas: UNICAMP, p. 401, 2002.

BARTHLOTT, W., Biogeography and evolution in neo and paleotropical Rhipsalinae (Cactaceae). Verhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereins in Hamburg 7, p. 241-248, 1983.

BARTHLOTT, W; HUNT, DR. Cactaceae. In: The families and genera of vascular plants, v. II flowering plants – Dicotyledons. KUBIZTKI, K; ROHWER, JG; BITTRICH, V. Berlin: Springer-Verlag, p. 161-197. 1993.

BHATTACHARYA, S.N. Rheology: fundamentals and measurements. Australia: Royal Melbourne Institute of Technology. 1997.

BRANCO, I.G. Estudo do comportamento reológico de misturas ternárias com manga, laranja e cenoura. Dissertação de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, 2001.

BIRD, R.B.; STEWART, W.E.; LIGHTFOOT, E.N. Transport Phenomena. John Wiley & Sons Inc, New York – London, 1960.

BOURNE, M. C., Food texture and viscosity: concept and measurement. New York : Academic Press, p. 325, 1982.

BRITTON, N.; ROSE, J. The Cactaceae: descriptions and illustrations of plants of the cactus family. V. I e II. New York: Dover Publications. p. 3-23; p. 197-209, 1919.

BRUXEL, J.; JASPER, A., A família Cactaceae na Bacia Hidrográfica do Rio Taquari, RS, Brasil. Acta Botanica Brasilica v. 19, p. 71-79, 2005.

CASTELLANI, T.T.; PEREIRA, J. L., Aspectos fenológicos de *Cereus hildmannianus* K. SCHUM. (cactaceae) em uma restinga do município de Jaguaruna, Santa Catarina, Brasil, X Semana da Biologia, XI Mostra de Trabalhos do Curso de Ciências Biológicas, R43, 2007.

CASSON, N. "A flow equation for pigment-oil suspensions of the printingink type, in rheology of disperse suspensions" C. C. Mill (ed), Pergaman press, New York, p. 613, 1959.

CASTRO, M. M.; MACHADO, S.R. Células e tecidos secretores. In: APPEZZATO-DA-GLORIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. Anatomia Vegetal, Viçosa, UFV, p. 438, 2003.

COSTA, L.T. Características físicas e físico-químicas do óleo de duas cultivares de mamona. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, p. 112, 2006.

DISTELBARTH, H.; KULL, U. Physiological investigations of leaf mucilages II. The mucilage of *Taxus baccata* L. and of *Thuja occidentalis* L. Israel Journal of Botany. Jerusalem, v. 34, p. 113-128, 1985.

FALCONE, P.M.; CHILLO, S. GIUDICI P. DEL NOBILE, M.A. Measuring rheological properties for applications in quality assessment of traditional balsamic vinegar: description and preliminary evaluation of a model. Journal of Food Engineering, v. 80, p. 234-240, 2007.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em http://www.fao.org/infofoods/tables_int_en.stm Acesso em: 17/7/2008.

FREITAS, M.F., Cactaceae da Área de Proteção Ambiental da Massambaba, Rio de Janeiro, Brasil. Rodriguésia 42/44: p. 67-91, 1992.

FREITAS, M.F., Cactaceae. Pp. 153-163. In: Reserva Ecológica de Macaé de Cima, Nova Friburgo, Rio de Janeiro. Aspectos Florísticos das espécies vasculares. v.2. Rio de Janeiro, Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 1996.

FREITAS, M.F., Cactaceae. Pp. 105-117. In: Flórmula da APA Cairuçu, Parati, Rio de Janeiro: espécies vasculares. Série Estudos e Contribuições 14. Rio de Janeiro, Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 1997.

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

HOLDSWORTH, S.D. Rheological models used for the prediction of the flow properties of food products: a literature review. *Transactions of the institution of chemical engineers. Part C*, v. 71, p. 139-179, 1993.

HUNT, D. & TAYLOR, N., The genera of Cactaceae - Progress Toward Consensus. *Bradleya* v. 8, p. 85-107, 1990.

KROKIDA, M.K.; MAROULIS, Z.B.; SARAVACOS, G.D. Rheological properties of fluid fruit and vegetable puree products: compilation of literature data. *International Journal of Food Properties*, v. 4, p.179-200, 2001.

LABA, D. Rheological properties of cosmetics and toiletries. New York: Marcel Dekker, p. 09-33, 1993.

LEONARDI, G.R.; MAIA CAMPOS, P.M.B.G. Estabilidade de formulações cosméticas. *International Journal of Pharmaceutical Compounding*, v. 3, p. 154-156, 2001.

LEWIS, M.J. Propriedades físicas dos alimentos y de los sistemas de procesado. 1 ed. Ed. Acribia: Zaragoza, 1993.

LIMA, J.L.S., Plantas forrageiras das caatingas – usos e potencialidades. Petrolina, EMBRAPA-CPATSA, PNE, RBG-KEW, p. 37, 1996.

LOEFGREN, A., O gênero *Rhipsalis*. *Archivos do Jardim Botânico do Rio de Janeiro*, p. 61-104, 1915.

LOEFGREN, A., Novas contribuições para o gênero *Rhipsalis*. *Archivos do Jardim Botânico do Rio de Janeiro* p. 34-45, 1917.

LOMBARDI, J.A., O gênero *Rhipsalis* Gärtner (Cactaceae) no Estado de São Paulo I. Espécies com ramos cilíndricos ou subcilíndricos. *Acta Botanica Brasilica* 5(2), p. 53-76, 1991.

LOMBARDI, J.A., O gênero *Rhipsalis* Gärtner (Cactaceae) no Estado de São Paulo II. Espécies com ramos aplanados. *Acta Botanica Brasilica* 9(1), p. 151-161, 1995.

MCCLEMENTS, J. Food Biopolymers and Colloids Research Laboratory, University of Massachusetts Amherst. Disponível em: <<http://www.unix.oit.umass.edu/~mcclemen/581Rheology.html>> Acesso em 03/07/2008.

MEDINA-TORRES, L.; BRITO-DE LA FUENTE, E.; TORRESTIANA SANCHEZ, B.; KATTAHAIN, R. Rheological properties of the mucilage gum *Opuntia ficus indica*. *Food Hydrocolloids*, Oxford, v. 14, p. 417- 424, 2000.

MIZRAHI, S.; BERK, Z. “Flow behaviour of concentrated orange juice: mathematical.” *Journal of Texture*, v.3, p. 69-79, 1972.

NOBEL, P., CAVELIER, J., ANDRADE, J.L., Mucilage in cacti: its apoplastic capacitance, associated solutes, and influence on tissue water relations. *Journal of Experimental Botany*, v. 43, p. 641–648, 1992.

RAO, M.A. and ANANTHESWARAN, R.C. Rheology of fluids in food processing. *Food Technology*. v. 36, p. 116, 1982.

RHA, C. Rheology of fluid food. *Food technology*. v.32, p. 77-82, 1978.

RITTER, F., *Kakteen in Südamerika*, v.1. Germany, Friedrich Ritter, Spangenberg 1979.

RIZZINI, C., *Cactáceas: Os segredos da sobrevivência*. *Ciência Hoje* n. 30, p. 30–39, 1987.

RODRIGUEZ, S., ORPHEE, C., MACIAS, S., GENEROSO, S., & GOMES GARCIA, L., Tuna: propriedades físico-químicas de dos variedades. *La Alimentacion Latinoamericana*, v. 210, p. 34–37, 1996.

RUSSEL, C. H., & FELKER P., The prickly pears (*Opuntia* spp Cactaceae) A source of human and animal food in semiarid regions. *Economic Botany*, v. 41, p. 433–445, 1987.

SAAG, K.M.L., SANDERSON, G., MOYNA, P., RAMOS, G., Cactaceae mucilage composition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 26, p. 993–1000, 1975.

SANTOS, F.J.C. Análise de reologia e filtração de fluidos de fraturamento hidráulico e sua influência na otimização de projetos. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual do Norte Fluminense, p. 105, 2004.

SHARMA, S. K.; LeMAGUER, M.; LIPTAY, A.; POYSA, V. Effect of composition on the rheological properties of tomato thin pulp. *Food Research International*, v.29, p.175–179, 1996.

SHARMA, S.K., MULVANEY, S.J., RIZVI, S.S.H. Food processing engineering: theory and laboratory experiments. United States of America: Wiley-Interscience, p. 348, 2000.

SCHEINVAR, L., Cactáceas. *Flora Ilustrada Catarinense*, 1985.

SCHUMANN, K., Cactaceae. In: C.F.P. Martius & A.G. Eichler (eds.). *Frid. Fleischer in Comm. Flora Brasiliensis* 4(2) p. 186–334, 1890.

SEPÚLVEDA, E., & SAÉNZ, C., Chemical and physical characteristics of prickly pear (*Opuntia ficus indica*) pulp. *Revista de Agroquímica Y Tecnología de Alimentos*, v. 30, p. 551–555, 1990.

SILVA, F.C. da. Reologia do suco de acerola: efeito da concentração e da temperatura. 110f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

STEFFE, J. F. *Rheological Methods in Food Process Engineering*, 2ª Ed. Freeman Press, East Lansing, Michigan State, USA. p. 418, 1996.

STINTZING, F. C., SCHIEBER, A., & CARLE, R., Phytochemical and nutritional significance of Cactus pear. *Food Research and Technology International*, v. 212, p. 396–407, 2001.

STREETER, V.L. *Mecânica de fluidos*. México: McGraw Hill. p. 594, 1996.

SUGAI, A.Y.; SHIGEOKA, D.S.; BADOLATO, G.G.; TADINI, C.C. Physico – chemical and microbiological analyses of minimally processed orange juice stored in aluminium cans. *Campinas, Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 22, p. 3, 2002.

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

TRACHTENBERG, S., MAYER, A.M., Composition and properties of *Opuntia ficus indica* mucilage. *Phytochemistry*, v. 20, p. 2665–2668, 1981.

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

VIDAL, J.R.M.B.; GASPARETTO, C.A. Comportamento reológico da polpa de manga (*Mangífera indica* L) – efeito dos sólidos insolúveis. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 20, p. 2, 2000.

VIDAL-BEZERRA, J.R.M. Comportamento reológico da polpa de manga (*Mangífera indica* LKeitt). Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. p. 159, 2000.

VITALI, A.A.; ROING, S.M. & RAO, M.A. Viscosity behavior of concentrated passion fruit juice. *Confrutca*, v. 19, p. 201-206, 1974.

WESTERN, T. L.; SKINNER, D. J.; HAUGHN, G. W. *Plant Physiology*, Minneapolis, v. 122, p. 345- 355, 2000.

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA POLPA DE TUNA (*CEREUS HILDMANNIANUS* K. SCHUM)

RESUMO

Cereus hildmannianus é uma cactácea de nome popular “tuna” que ocorre na região oeste de Santa Catarina, cujo fruto carnoso de sabor suave é comestível e muito apreciado pela população rural da região, mas que ainda não foi objeto de nenhuma pesquisa até o momento. Esta planta vegeta naturalmente em solos pedregosos da região frutificando no verão, porém não se tem dados científicos sobre a espécie. Tem se mostrado promissora dentro do contexto “Plantas do Futuro”, podendo tornar-se mais uma opção de renda ao pequeno produtor por se tratar de uma espécie nativa, ocorrer naturalmente em regiões onde as demais atividades agrícolas são dificultadas devido ao solo raso, pedregoso e com escassez de água. Sua vantagem é apresentar potencial extrativista, de domesticação e cultivo em escala. Este trabalho teve como objetivo realizar a caracterização físico-química da polpa do fruto de *Cereus hildmannianus* para avaliar seu potencial nutricional, funcional e industrial. Os frutos tiveram seu rendimento avaliado no que se refere à polpa. As polpas “*in natura*” foram extraídas, embaladas e congeladas a -4°C até o momento das análises. A caracterização química foi feita para medir umidade, teor de sólidos solúveis, proteínas, lipídios, cinzas, pH, acidez, fibras, carboidratos e minerais. Os resultados mostraram que o rendimento da polpa com sementes foi de 61,25 %. As análises físico-químicas mostraram valores de 5,3 para o pH, acidez de 0,18 g/100mL, 81,17% de umidade, 10,5 g de sólidos.sol/100 mL, 0,865 g/100 mL de proteínas, 0,03% de lipídios, 0,13 g/100g de cinzas e 8,87 g/100g de carboidratos totais. Foram investigadas os teores de Na, K, Ca, Fe, Mg, Se, Mn e Zn. Dentre estes, destaca-se a elevada quantidade de cálcio e potássio.

Palavras-chave: Cactácea; rendimento; minerais; composição química.

ABSTRACT

Cereus hildmannianus is a cacti of popular name "tuna" that occurs in the western region of Santa Catarina, the taste of soft fleshy fruit is edible and very appreciated by the rural population of the region, but not yet subject to no research to date. This plant vegetation naturally stony soils in the region bear fruit in the summer, but there is no scientific data about the species. Has shown promise into the context "Plants of the Future" and may become an option to increase the gain of the small producer, due to be a native species, occur naturally in areas where other agricultural activities are hampered due to the shallow soil, rocky and with water scarcity. Its advantage is to provide potential extractive of domestication and cultivation in scale. This study aimed to achieve a chemical characterization of pulp of the fruit of *Cereus hildmannianus* to assess their potential nutritional, functional and industrial. The fruits have their performance assessed in relation to the pulp. The pulps "in natura" were extracted, packaged and frozen at -4°C until the time of analysis. The chemical characterization was performed to measure moisture, soluble solids content, proteins, lipids, ash, pH, acidity, fiber, carbohydrates and minerals. The results showed that the yield of the pulp with seeds was 61.25%. The physico-chemical analysis showed values of 5.3 for pH, acidity of 0.18 g/100mL, 81.17% moisture, 10.5 g of sólidos.sol/100 mL, 0,865 g/100 mL of protein , 0.03% of fat, 0.13 g/100 g ash and 8.87 g/100g of total carbohydrates. We investigated the levels of Na, K, Fe, Mg, Se, Zn and Mn. Among these, there is a high amount of calcium and potassium.

Keywords: Cacti, revenue, mineral, chemical composition

3.1 INTRODUÇÃO

Segundo MATSURRA e ROLIM (2002), o hábito do consumo de sucos e polpas de frutas industrializadas tem aumentado por diversos motivos, dentre eles, a falta de tempo da população no preparo dos mesmos, praticidade oferecida e a preocupação com o consumo de alimentos mais saudáveis e acarretando grandes benefícios à saúde da população. Os autores ressaltam que as frutas consistem em fonte

nutricional de vitaminas, minerais e carboidratos solúveis, sendo que algumas possuem teor mais elevado de um ou de outro nutriente.

A principal cactácea produtora de forragem e frutos que tem se destacado é a *Opuntia ficus-indica*, sendo também a mais estudada, utilizada e difundida nas regiões semi-áridas do planeta. No Brasil, o cultivo para a produção de frutos concentra-se no estado de São Paulo, do total, uma pequena parte é destinada ao mercado interno, e a maior parcela é exportada para a Europa e Estados Unidos, onde existe o hábito do consumo do fruto (GARCIA e VALDEZ, 2003; GLASS, 2005).

A valorização dos frutos da *O. ficus-indica* nos mercados nacional e internacional abre perspectivas para outras cactáceas regionais. Com isso vê-se a importância de estudar espécies de frutos ainda não pesquisados, como de *Cereus hildmannianus* K.Schum na região Sul do Brasil, visando desvendar seu potencial nutricional e comercial quanto às suas características físicas, químicas e sensoriais.

O *Cereus hildmannianus* K. Schum ocorre no Oeste de Santa Catarina. O fruto carnoso, de sabor suave, é comestível e muito apreciado pela população rural da região, que manteve os conhecimentos culturais repassados de geração em geração, mas que é pouco conhecido pela grande maioria da população da zona urbana.

Esta planta cresce naturalmente em solos pedregosos frutificando no verão, porém não se tem dados científicos sobre a espécie. Ocorre naturalmente em regiões onde as demais atividades agrícolas são difíceis devido ao solo raso, pedregoso e com escassez de água, apresentando potencial extrativista, de domesticação e cultivo em escala.

O presente trabalho teve como objetivo realizar a caracterização química da polpa do fruto de *Cereus hildmannianus* K. Schum para avaliar seu potencial nutricional e comercial, contribuindo para o desenvolvimento do extrativismo do fruto, sua comercialização, domesticação e cultivo. Deste modo pode vir a constituir-se em uma alternativa de renda sustentável para agricultura familiar ao mesmo tempo em que conserva a biodiversidade genética nativa da propriedade, além de resgatar os conhecimentos culturais das comunidades humanas da região.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Extração da polpa

Frutos de *Cereus hildmannianus* K.Schum, provenientes de Joaçaba, SC, safras 2007 e 2008 foram selecionados, lavados com água e mergulhados em solução 100 ppm de hipoclorito de sódio, onde permaneceram por aproximadamente 30 minutos. Em seguida foram novamente lavados com água e as partes indesejáveis foram eliminadas. Após a limpeza e seleção, os frutos foram pesados e cortados longitudinalmente (Figura 3.1b). A polpa com sementes foi separada com auxílio de uma colher, higienizada e em seguida pesada; posteriormente as sementes foram separadas da polpa. Procedeu-se a homogeneização manual e posterior embalagem em sacos plásticos, cada um contendo cerca de 20 g de amostra. As amostras foram armazenadas a -4 °C.

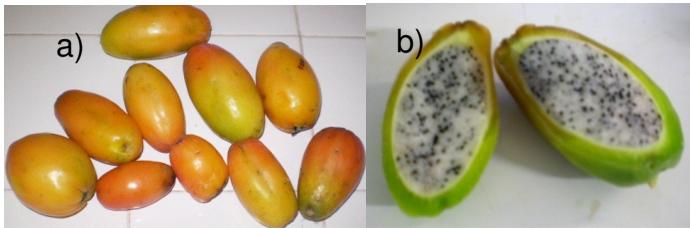


Figura 3.1 *C.hildmannianus*, a) frutos lavados e selecionados e b) cortados longitudinalmente

3.2.2 Cálculo do rendimento

O rendimento bruto da polpa *in natura* (polpa com as sementes) foi calculado através da Equação 3.1, e a polpa sem sementes pela Equação 3.2.

$$\eta = \left| \frac{m_{fcm} - m_{inicial}}{m_{inicial}} \right| * 100\% \quad (3.1)$$

$$\eta = \left| \frac{m_{fsm} - m_{inicial}}{m_{inicial}} \right| * 100\% \quad (3.2)$$

onde:

η = rendimento (%);

m_{fcm} = massa da polpa com as sementes após o descascamento (g);

m_{fsm} = massa da polpa sem as sementes após o descascamento (g);

$m_{inicial}$ = massa do fruto inteiro (g).

3.2.3 Análises de Caracterização Físico-Química

Todas as análises físico-químicas da polpa sem a semente foram feitas em, no mínimo, triplicatas, de acordo com os métodos indicados a seguir:

- pH: foi determinado pelo processo potenciométrico. Para isso foi utilizado um potenciômetro digital da marca Analion, modelo AN 2000, a 24 °C, conforme descrito na AOAC, método 42.1.04, 1997;
- Acidez Titulável: medida realizada conforme o método 37.1.37 da AOAC (1997), através de titulação com solução de NaOH 0,01 mol/L até pH 8,2;
- Cinzas: por gravimetria, de acordo com a AOAC nº 31.1.04 (1997);
- Carboidratos Totais: através do método colorimétrico descrito por Dubois et al. (1956);
- Sólidos Solúveis: Medido em refratômetro digital, marca Reichert Analytical Instruments, modelo AR 200, com resolução de 0,1 °Brix;
- Sólidos Totais: por gravimetria, de acordo com a AOAC nº 934.01 (1997);
- Fibras: Determinadas pelo método enzimático para determinação de Fibra alimentar total, solúvel e insolúvel em alimentos (AOAC, método 991.43, e AACC, método 32-07);
- Proteínas: através do reagente de Bradford (1976);
- Metais Na, K, Ca, Mg, Fe, Mn: Foram determinados por espectroscopia de absorção atômica, de acordo com AOAC (2002);
- Se e Zn: por espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado, com limite de detecção de 4 e 6 µg/kg para cada um dos elementos, respectivamente.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Rendimento da Polpa

Para um peso individual dos frutos de *Cereus hildmannianus*, o rendimento bruto da polpa (com sementes) foi de $61,25 \pm 6,30$ %. Este valor foi aproximado ao de outras cactáceas citadas na literatura. A polpa sem as sementes apresentou o rendimento de $55,50 \pm 4,5$ %, o que nos fornece um valor de 5,75 % de sementes. MEDINA et al. encontrou um peso individual de 40,3 g para a *Opuntia dillenii* e de 98,2 g para *Opuntia ficus indica*. Quanto ao rendimento, eles encontraram um valor de 58,0 % e 46,6 % do peso total para a parte comestível, as quais continham 10,6 e 5,6 % de semente, respectivamente. SAWAYA et al. (1983) encontrou o valor de 52% para o rendimento de *O. ficus-indica* e SOUZA et al. (2007) obteve valor médio de 69 % para a cactácea *Tacinga inamoena*, mais conhecida no Nordeste onde é encontrada como “Quipá”.

Foi observado que uma quantidade significativa de mucilagem ficou aderida às sementes, sendo necessário, portanto, o desenvolvimento de tecnologias adequadas para extração da mesma e aumento do rendimento na extração. Não foram encontrados dados na literatura aos quais estes pudessem ser comparados.

3.3.2 Caracterização química

A Tabela 3.1 mostra os valores obtidos para a caracterização química da polpa de *C. hildmannianus* K. Schum sem sementes, juntamente com o teor encontrado para alguns minerais.

Não foram encontrados dados físico-químicos na literatura para a polpa de *Cereus hildmannianus* K. Schum; sendo assim os resultados aqui mostrados foram comparados ao encontrados para polpas de frutos do gênero *Opuntia*, o qual possui diversos estudos, e por serem as cactáceas mais conhecidas e consumidas mundialmente.

Tabela 3.1 Propriedades químicas da polpa de *Cereus hildmannianus*.

<i>Parâmetros</i>	<i>Polpa</i>
Umidade (%)	81,17 ± 0,975
Sólidos solúveis (°Brix)	10,5 ± 0,015
Carboidratos Totais (g/100 mL)	8,87 ± 0,319
Carboidratos redutores (g/100 mL)	8,89 ± 0,61
Fibras Totais (%)	4,05 ± 0,55
Fibras solúveis (%)	3,67 ± 0,53
Acidez (g/100mL)	0,18 ± 0,011
pH	5,3 ± 0,152
Proteínas (g/100g)	0,865 ± 0,078
Cinzas (g/100g)	0,13 ± 0,036
Lipídios (g/100g)	0,03 ± 0,001
Sódio (mg/100g)	0,444
Potássio (mg/100g)	221,00
Cálcio (mg/100g)	11,20
Magnésio (mg/100g)	14,30
Ferro (mg/100g)	0,310
Selênio (mg/100g)	0,001145
Manganês (mg/100g)	0,56
Zinco (mg/100g)	0,3095

Comparativamente à literatura, os resultados obtidos deste trabalho mostraram que o fruto de *C. hildmannianus* possui valores centesimais dentro da faixa encontrada para frutos da mesma família. No trabalho sobre as cactáceas mais consumidas na Espanha, MEDINA (2007) pesquisou a composição centesimal e valores de alguns minerais encontrados para os frutos de *Opuntia dillenii* e *Opuntia ficus-indica*, onde se observa respectivamente os valores de sólidos solúveis de 10,35 % e 14,98 %, umidade de 81,17 % a 81,68 %, para tais tunas

espanholas. No fruto *Cereus hildmannianus* foram encontrados 10,5 °Brix e 81,17 % de umidade, na mesma faixa de valores que a *Opuntia*.

Observa-se que o teor de carboidratos totais não mostra diferença significativa dos carboidratos redutores. Isto pode ser explicado pelo fato da polpa ser constituída principalmente de mucilagem, que segundo KENNEDY e WHITE (1983) as gomas, mucilagens e pectinas são polissacarídeos ácidos. Pouco se conhece a respeito das mucilagens, mas segundo a literatura, possui um grau de complexidade similar às gomas. Sua caracterização e composição são dependentes da matéria prima, e pode ser composta de diferentes arranjos com diferentes monossacarídeos (KENNEDY e WHITE, 1983; MATSUSHIRO et al., 2006; JIANG e RAMSDEN, 1999). Podem ser classificadas como polissacarídeos neutros, ou ainda misturas de açúcares e proteínas. Tendo em vista que o teor de proteínas encontrado no *Cereus* é baixo (similar ao encontrado por MEDINA (2007), acredita-se que o mesmo tenha composição acídica similar ao fruto da *Opuntia ficus indica* que contém 23,4 % de ácidos galacturônicos, e uma proporção de 1.0:1.7:2.5:4.1 de arabinose, ramnose, xilose e galactose.

O teor de fibras de 4,05 % é superiores aos fornecidos por diversos autores (0,02-3,15 %) (PAREDES e ROJO, 1973; ASKAR e EL SAMAHY, 1981; SAWAYA et al., 1983a; PIMIENTA, 1990; SEPÚLVEDA e SAÉNZ, 1990; RODRIGUEZ et al., 1996), sendo que destes quase 91 % são fibras solúveis, o que o torna um produto altamente desejável em dietas de emagrecimento devido à sua facilidade de digestão.

O *Cereus* mostra um pH ligeiramente ácido (5,3) e baixa acidez (0,18 g/100g). A *Opuntia ficus indica* e a *Opuntia dillenii* possuem um pH de 6,32 e 3,34 respectivamente (MEDINA, 2007). Embora isto confira um sabor suave ao fruto, ele se classifica como um fruto pouco ácido (pH>4,5), exigindo um tratamento térmico a 115,5 °C ou mais para se obter um bom controle de microrganismos (PIMIENTA, 1990; SEPÚLVEDA e SAÉNZ, 1990; SAÉNZ, 1996b). Além disso, o alto valor de pH, juntamente com baixa acidez e um elevado teor de sólidos solúveis, torna a polpa de “tuna” muito atraente para crescimento médio microbiológico (SEPÚLVEDA e SAÉNZ, 1990; SAÉNZ, 1995). O teor de proteínas (0,865 %) está dentro do intervalo encontrado para a *Opuntia* (0,21-1,6 %), sendo mais alto que o da *Opuntia dillenii*. Os teores de lipídios e cinzas, 0,03 % e 0,13 % respectivamente, são valores abaixo daqueles da literatura (0,09-0,7 % e 0,4-1 %, respectivamente), fazendo dele um produto altamente desejável para dietas especiais.

Quanto ao conteúdo de sódio e potássio, a polpa de *Cereus hildmannianus* se mostrou uma boa fonte de potássio (2210 mg/kg) com baixo nível de sódio (4,44 mg/kg), assim como os valores citados na literatura para o figo-da-índia de (2170 mg/kg para potássio e de 6,0 - 11,9 mg/kg para o sódio). Isto coloca o *Cereus* como um fruto adequado a pessoas com insuficiência renal e problemas de pressão arterial (SEPULVEDA e SAÉNZ, 1990; RODRIGUEZ et al., 1996). Cálcio e fósforo representam três quartos de minerais no corpo e são encontrados basicamente em ossos, que servem como um importante reservatório. *Opuntia ficus-indica* é rica em cálcio e fósforo, 154-328 mg/kg e 128-276 mg/kg, respectivamente (SAWAYA et al., 1983a; SEPÚLVEDA e SAÉNZ, 1990), para cálcio na tuna deste trabalho o teor de cálcio também foi elevado 112 mg/kg. O teor de Zn é similar ao do gérmen de trigo e da cenoura (0,35 e 0,30 mg/100g, respectivamente).

3.4. CONCLUSÃO

Os resultados das caracterizações físico-químicas de *Cereus hildmannianus* são similares às de frutos consumidos e comercializados mundialmente de *Opuntia ficus-indica* e *Opuntia dillenii*, destacando-se os altos teores de fibras solúveis, potássio e cálcio, e baixo teor de lipídeos e sódio, fazendo-o um produto adequado a dietas especiais. Além disso, o fruto tem um rendimento bruto de polpa de 61,25 %, que está na média de outras cactáceas, conferindo a este um potencial como matéria-prima para a industrialização, e podendo ser explorado como alternativa alimentar e/ou fonte de renda complementar para a agricultura familiar. O pH ligeiramente ácido, e o baixo valor de acidez exigem que o mesmo seja pasteurizado para a conservação adequada.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASKAR, A. & EL-SAMAHY, S.K. Chemical composition of prickly pear fruits. *Deutsche Lebensmittel-Rundschau*, p. 77: 279–281, 1981.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY (AOAC). Official Methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry. 17 ed., Washington: AOAC. 2002.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). Official Methods of Analysis of A.O.A.C. International. 16 ed., Arlington, Virgínia, VA, v. 2, 1997.

BRADFORD, M.M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, v. 72, p. 248-254, 1976.

DUBOIS, M.; GILLES, K.A.; HAMILTON, J.K.; REBERS, P.A.; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, v. 28, p. 350-428, 1956.

GARCÍA, J. C.; VALDEZ, C. A. F. Nopalitos y tunas: producción, comercialización, poscosecha e industrialización. México: Chapingo, p. 225, 2003.

GLASS, V. Figo-da-índia: sabor entre espinhos. São Paulo. Maio, 2005. Seção: <http://globo rural.globo.com/edic/185/rep_figoa.htm> Acesso em: 25 abril 2008.

JIANG, G.; RAMSDEN, L., Characterisation and yield of the arabinogalactan protein mucilage of tarocorms, *Journal of the Science of Food and Agriculture*. n. 674, p. 79-671, 1999.

KENNEDY, J., WHITE, C.A. Bioactive Carbohydrates: In *Chemistry, Biochemistry and Biology*. Ellis Horwood Ltd. Chichester, 1983.

MATSUHIRO, B.; Lillo, L. E.; SAÉNIZ, C.; URZÚA, C. C.; ZÁRATE, O., Chemical characterization of the mucilage from fruits of *Opuntia ficus indica* *Carbohydrate Polymers*, v. 63, p. 263–267, 2006.

MATSUURA, F. C. A. U., ROLIM, R. B., Avaliação da adição de suco de acerola em suco de abacaxi visando à produção de um “blend” com alto teor de vitamina C. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 138-141, abril, 2002.

MEDINA, E. M. D., RODRÍGUEZ, E. M. R., ROMERO, C. D., Chemical characterization of *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus indica* fruits, *Food Chemistry* v. 103, p. 38–45, 2006.

PAREDES, O. & ROJO, R., Estudio para el enlatado del jugo de tuna. *Tecnología de Alimentos*, p. 237–240, 1973.

PIMIENTA, E., El Nopal tunero (1st Edn). Jalisco, México: Universidad de Guadalajara. p. 246, 1990.

RODRIGUEZ, S., ORPHEE, C., MACIAS, S., GENEROSO, S., & GOMES GARCIA, L., Tuna: propiedades fisico-químicas de dos variedades. *La Alimentacion Latinoamericana*, v. 210, p. 34–37, 1996.

SAÉNZ, C., Food products from cactus pear (*Opuntia ficus indica*). Food Chain, v. 18, p. 10–11, 1996.

SAÉNZ, C., Food Manufacture and by-products. In: Barbera, G., Inglese, P. & Pimienta-Barrios, E. (Eds), Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear, p. 137–143. FAO Plant Production and Protection Paper No. 132, p. 216, 1995.

SAWAYA, W. N.; KHATCHADOURIAN, H. A.; SAFI, W. M.; AL-MUHAMMAD, H. M. Chemical characterization of prickly pear pulp, *Opuntia ficus-indica*, and the manufacturing of prickly pear jam. Journal of Food and Technology, Oxford, v. 18, p. 183-193, 1983.

SEPÚLVEDA, E., & SAÉNZ, C., Chemical and physical characteristics of prickly pear (*Opuntia ficus indica*) pulp. Revista de Agroquímica Y Tecnología de Alimentos, v. 30, p. 551–555, 1990.

SOUZA, A. C. M.; GAMARRA-ROJAS, G., Características físicas, químicas e organolépticas de Quipá (*Tacinga inamoena*, Cactaceae), Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP, v. 29, p. 292-295, 2007.

EFEITO DA TEMPERATURA SOBRE O COMPORTAMENTO REOLÓGICO DA POLPA E SUCO DE *CEREUS HILDMANNIANUS K. SCHUM*

RESUMO

Neste trabalho foi estudado o comportamento reológico da polpa integral com sementes e diluída em água da cactácea *Cereus hildmannianus* K. Schum na faixa de temperatura de 8 a 85°C, em taxa de deformação de 0 a 1600 s⁻¹. Os resultados indicaram que a polpa sem sementes e diluída apresentaram comportamento pseudoplástico, com viscosidade aparente variando de 7 a 32 mPa.s para a polpa e de 3 a 8 mPa.s para a polpa diluída com água na proporção 1:2. Quatro modelos foram empregados para o ajuste dos dados experimentais: Ostwald-De-Waele, Herschel-Bulkley, Casson e Mizrahi & Berk. O modelo de Mizrahi & Berk foi considerado o mais adequado para representar o comportamento reológico da polpa e do suco nas diferentes temperaturas estudadas. Não foi encontrada uma tendência em função da temperatura definida para os parâmetros reológicos índice de consistência (K) e índice de comportamento do fluido (n). O efeito da temperatura sobre a viscosidade pôde ser descrito pela equação de Arrhenius, observando-se a diminuição da viscosidade com o aumento da temperatura. As energias de ativação do escoamento viscoso para a polpa integral e diluída foram 3,88 e 2,69 Kcal.mol⁻¹, respectivamente.

Palavras-chave: Energia de ativação; viscosidade; hidrocolóide.

ABSTRACT

This study has verified the rheological behavior of the whole pulp and pulp diluted of Cacti *Cereus hildmannianus* K. Schum in the range of temperature about 8 to 85 °C in a rate of shear rate from 0 to 1600 s⁻¹. The results indicated that the pulp without seeds and pulp diluted showed pseudoplastic behavior, with viscosity apparent ranging from 7

to 32 mPa.s for the whole pulp and 3 to 8 mPa.s for pulp diluted with water in proportion 1:2. Four models were used to fit experimental data: Ostwald-De Waele, Herschel-Bulkley, Casson and Mizrahi & Berk. The model Mizrahi & Berk was considered the most suitable to represent the rheological behavior of the whole pulp and pulp diluted at the different temperatures about the study. There wasn't a trend according to the temperature specified for the rheological parameters consistency index (K) and the fluid behavior index (n). The effect of temperature on the viscosity could be described by the equation of Arrhenius, observing the decrease in viscosity with increasing temperature. The activation energy of viscous flow for the whole pulp and diluted were 3.88 and 2.69 Kcal.mol⁻¹, respectively.

Key words: Activation energy, viscosity, hydrocolloid.

4.1 INTRODUÇÃO

Na indústria de alimentos, a polpa de fruta pode ser utilizada não somente como matéria-prima, mas também para a obtenção de diversos produtos, como néctares, geléias, sorvetes etc., mas também como produto de venda direta ao consumidor. O conhecimento do comportamento reológico das polpas de frutas, em especial as frutas de origem tropical, é fundamental para a avaliação da qualidade e cálculos em processos de engenharia, como por exemplo: cálculo de vazão, seleção de bombas, determinação da perda de carga em tubulações etc. (HOLDSWORTH, 1993; IBARZ; GONÇALVES; ESPLUGAS, 1996).

TANGLERTPAIBUL e RAO (1987) reportaram que o comportamento reológico de sucos e polpas de frutas está ligado aos teores de sólidos solúveis em suspensão em função da forma, tamanho, concentrações das partículas suspensas e da estrutura do sistema. As referências que tratam da reologia de derivados de frutas estabelecem que a temperatura, a concentração de sólidos solúveis, o teor de pectina e de sólidos insolúveis são os principais responsáveis pelo comportamento reológico (QUEIROZ, 1998). Os frutos de *Cereus hildmannianus* K. Schum apresentam uma polpa mucilaginosa.

Nas diversas etapas do processamento de sucos e polpas de frutas, diferentes temperaturas são aplicadas devido às necessidades dos diversos processamentos como, por exemplo, a pasteurização e o

resfriamento. Por isso, o comportamento reológico desses fluidos deve ser estudado nas várias faixas de temperatura utilizadas nos processos industriais (SARAVACOS, 1970).

A escassez de dados reológicos sobre frutas tropicais na literatura tem levado a indústria nacional a utilizar no processo de fabricação desses sucos condições semelhantes às aplicadas na produção do suco de laranja. Todavia, por terem propriedades diferentes, os resultados não atingem o mesmo nível de qualidade (VIDAL, 1997).

A família Cactaceae é caracterizada pela sua grande quantidade de mucilagem, sendo essa distribuída nas diferentes partes das plantas, indo desde os cladódios até os frutos (polpa e casca). A mucilagem é um complexo de carboidratos classificada como fibra solúvel. Este hidrocolóide apresenta uma grande capacidade de absorver água, e por isso observa-se na polpa dos cactus, uma alta viscosidade.

MEDINA-TORRES et al. (2000) analisaram o comportamento reológico de soluções aquosas de mucilagem de *Opuntia ficus indica*, onde estas mostraram um comportamento pseudoplástico não-newtoniano, sendo suas taxas de cisalhamento ajustadas ao modelo de Ostwald-De-Waele. Soluções viscosas de mucilagem mostraram ser ligeiramente dependentes da temperatura e com o aumento da concentração da mucilagem o comportamento pseudoplástico tornou-se mais característico.

Este trabalho teve como objetivo estudar o comportamento reológico da polpa de *Cereus hildmannianus* K. Schum de modo a avaliar a necessidade de operações adicionais para processamento na indústria.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Polpa

Frutos de *Cereus hildmannianus* K.Schum, provenientes de Joaçaba, SC, safras 2007 e 2008 foram selecionados, lavados com água e mergulhados em solução 100 ppm de hipoclorito de sódio, onde permaneceram por aproximadamente 30 minutos. Em seguida foram novamente lavados com água e as partes indesejáveis foram eliminadas. Após a limpeza e seleção, os frutos foram pesados e cortados longitudinalmente.

A polpa integral com sementes foi separada por ação mecânica, com utensílio higienizado e em seguida a polpa foi pesada. Procedeu-se

à homogeneização manual e posterior embalagem em sacos plásticos, cada um contendo cerca de 20 g de amostra com 10,5 °Brix. As amostras foram armazenadas a -4 °C. A polpa diluída foi obtida por adição de água em uma proporção de 1:2, e em seguida homogeneizada em liquidificador em três períodos de 30 s. O suco da polpa foi então coado para a retirada das sementes, apresentando um valor final de 5,03 °Brix.

4.2.2 Caracterização reológica das polpas integral e diluída

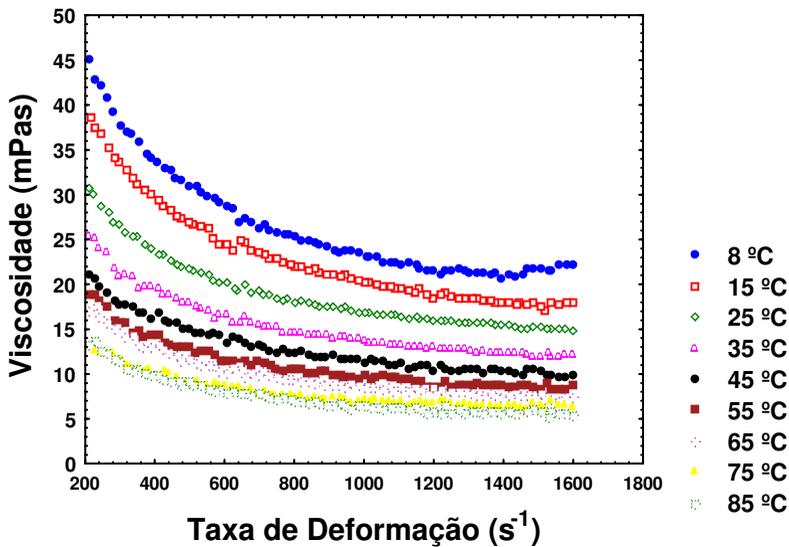
O comportamento reológico foi determinado através de um viscosímetro rotacional de cilindros concêntricos Thermo Haake DC 10, modelo VT 550, com banho termostático acoplado ao equipamento. As medidas foram feitas nas temperaturas de 8, 15, 25, 35, 45, 55, 65, 75 e 85 °C, sendo que as mesmas foram ajustadas através de um banho termostatizado. O aparelho fornece diretamente os dados de tensão de cisalhamento, taxa de deformação e viscosidade.

As análises reológicas foram obtidas com variação da taxa de deformação de 0 a 1600 s⁻¹ (curva ascendente) e de 1600 a 0 s⁻¹ (curva descendente), com um tempo de 3 minutos para cada curva, o que resultou em 90 pontos de subida e 90 de descida para cada ensaio realizado. As leituras foram feitas em duplicata, sendo que em cada medida foi usada uma nova amostra. Os modelos reológicos foram analisados estatisticamente através do software Statistica 6.0[®].

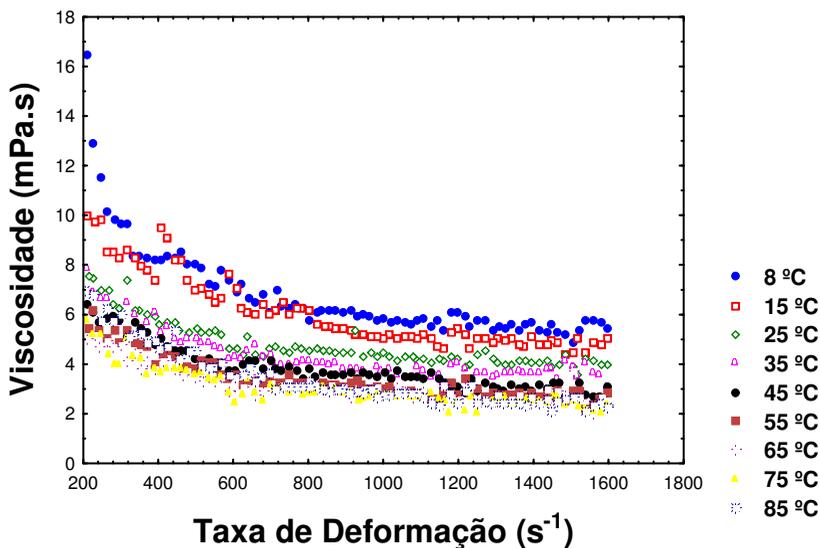
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Comportamento reológico

A viscosidade para a polpa integral sem sementes e diluída de *Cereus hildmannianus* nas temperaturas de 8 até 85 °C, para valores de viscosidades obtidas em taxas de cisalhamento acima de 200 s⁻¹ são mostradas na Figura 4.1. A seleção desta faixa de taxa de deformação deve-se à instabilidade do equipamento a baixos valores. Observa-se que há uma diminuição não linear da viscosidade com os aumentos da temperatura e taxa de deformação.



(a)



(b)

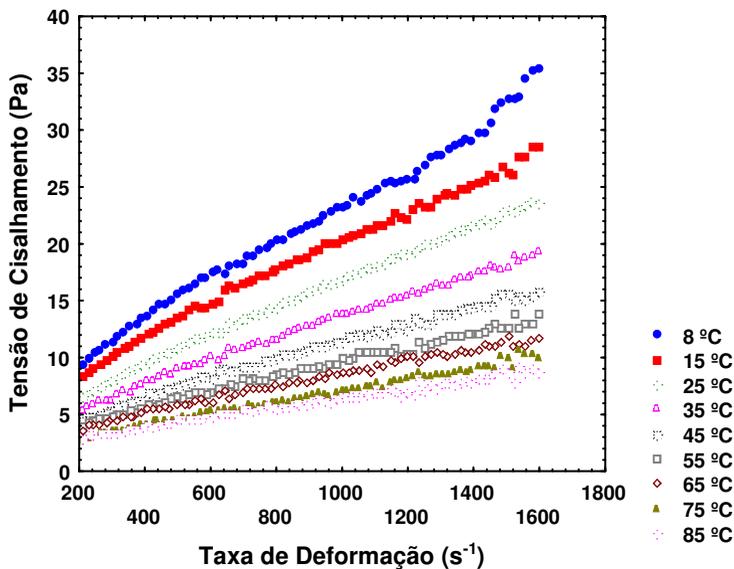
Figura 4.1 Viscosidade em função da taxa de deformação para: **a)** polpa integral sem sementes (10,5 °Brix) e **b)** diluída (5,03 °Brix), de *Cereus hildmannianus* K. Schum a diferentes temperaturas.

Este comportamento está de acordo com HASSAN e HOBANI (1998), que citam que com o aumento da temperatura, a energia térmica e as distâncias moleculares aumentam devido à redução das forças intermoleculares, pois associado ao aumento da temperatura, tem-se um aumento na tensão de cisalhamento, o que faz com que as partículas se reorganizem em direções paralelas, ocorrendo à quebra em partículas menores. Deste modo, as mesmas podem escoar mais facilmente, como um resultado da diminuição da interação partícula-partícula, a qual resulta na diminuição da viscosidade.

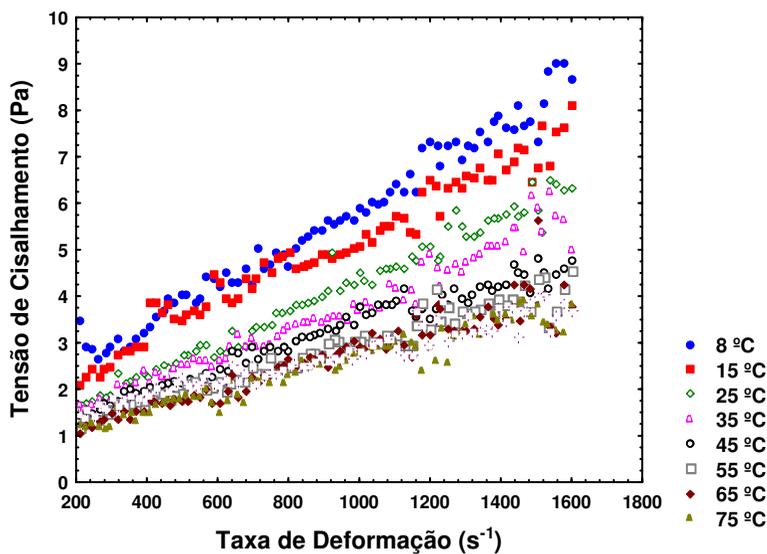
Segundo HOLDSWORTH (1971), a maioria dos fluidos alimentícios apresenta comportamento pseudoplástico, cuja viscosidade aparente decresce com o aumento da taxa de deformação. As viscosidades características da polpa integral (Figura 4.1a) e diluída (Figura 4.1b) mostrou um comportamento pseudoplástico.

Observa-se na Figura 4.1, que os valores de viscosidade aparente são maiores para a polpa integral sem sementes (10,5 °Brix), que para a diluída (5,03 °Brix). Este resultado está de acordo com ADORNO (1997) e SILVA (2000) que afirmam que ocorre diminuição da viscosidade aparente com a diminuição da concentração de sólidos solúveis, à taxa de deformação e temperatura constantes. Observa-se, no entanto, que esta diminuição não é linear: uma diluição 1:2 provoca uma diminuição de cerca de 4 vezes a viscosidade. Como a viscosidade está associada ao número, tamanho e forma das partículas suspensas presentes em sucos e polpas de frutas (SARAVACOS, 1970; VASQUES, 2003) bem como à interação entre as partículas. A inserção de água promove modificações na propriedade em estudo de forma não facilmente previsível.

Observa-se nas Figuras 4.1 e 4.2 que as inclinações das curvas de escoamento diminuem com o aumento da taxa de deformação, mostrando o decréscimo da viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação, o que confirma o comportamento pseudoplástico de ambas as amostras.



(a)



(b)

Figura 4.2 Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para: **a)** polpa integral sem sementes (10,5 °Brix) e **b)** diluída (5,03 °Brix), de *Cereus hildmannianus* K. Schum a diferentes temperaturas.

Comparando as curvas de viscosidade aparente e tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação (Figura 4.1 e 4.2), pode-se observar que a polpa diluída mostrou dados mais dispersos que a polpa integral, o que pode ser devido à uma dificuldade de homogeneização desta segunda amostra. Pode-se atribuir este comportamento à presença de uma grande quantidade de fibras, que incham na presença de água e calor. Na literatura TANGLERTPAIBUL e RAO (1987) mostraram que o comportamento reológico de polpas de frutas está relacionado aos teores de sólidos em suspensão em função da forma, tamanho, concentração das partículas suspensas e da estrutura do sistema.

Os valores médios das viscosidades aparentes foram submetidos ao teste de Duncan para observação de diferenças estatisticamente significativas entre elas. A escolha deste teste estatístico se deve ao fato do mesmo ser mais sensível à variabilidade dos dados e ter a capacidade de encontrar diferenças significativas em situações onde outros testes não encontrariam.

Observa-se da Tabela 4.1, as médias e os desvios das viscosidades em que existe diferença estatística significativa (sobrescritos diferentes indicam diferenças significativas) nas temperaturas 8, 15, 25, 35, 45-55, 65-75 e 85 °C, para as polpas integral sem sementes e diluída.

Tabela 4.1 Viscosidades aparentes médias a temperaturas de 8 a 85 °C.

Temperatura (°C)	Viscosidades aparentes médias (mPa.s)	
	<i>Polpa sem sementes</i>	<i>Suco</i>
08	31,61 ± 1,39 ^a	7,91 ± 0,73 ^a
15	24,45 ± 1,67 ^b	6,08 ± 0,23 ^b
25	19,91 ± 1,51 ^c	4,98 ± 0,14 ^c
35	16,02 ± 0,55 ^d	4,34 ± 0,03 ^{c,d}
45	13,24 ± 0,55 ^e	3,86 ± 0,19 ^{d,e,f}
55	11,11 ± 1,06 ^{e,f}	3,49 ± 0,14 ^{e,f}
65	10,05 ± 0,59 ^{f,g}	3,16 ± 0,24 ^{e,f}
75	8,22 ± 0,69 ^{g,h}	3,05 ± 0,09 ^f
85	7,50 ± 0,91 ^h	3,32 ± 0,19 ^{e,f}

* letras diferentes entre linhas indicam diferença estatística pelo teste de Duncan a nível de significância de 5 %.

O valor médio das viscosidades encontradas na polpa de *Cereus hildmannianus* K. Schum nas temperaturas testadas é considerado alto e indesejável para fabricação de suco, pois de acordo com BRANCO (1995), além do maior consumo de energia para bombear um suco com maior viscosidade, a incorporação de ar acarreta problemas de operação da bomba e ações indesejáveis, como oxidação e contaminação.

Os modelos de Ostwald-De-Waele, Herschel-Bulkley, Casson e Mizrahi & Berk foram ajustados aos resultados experimentais e os parâmetros reológicos e o coeficiente de determinação (R^2) determinados para classes de temperaturas que não apresentaram diferença estatística significativa entre seus dados. Os valores obtidos para a polpa sem sementes e diluída são apresentados nas Tabelas 4.2 e 4.3, respectivamente.

Observa-se nas Tabelas 4.2 e 4.3, que os modelos de Mizrahi & Berk e Casson apresentaram valores mais elevados de R^2 , demonstrando serem os mais adequados para descrever o comportamento reológico da polpa integral sem sementes e diluída de *Cereus hildmannianus* nas temperaturas avaliadas. Apesar dos dois modelos apresentarem valores aproximados, referentes a cada um dos parâmetros estatísticos, o modelo de Mizrahi-Berk proporcionou parâmetros de ajuste um pouco melhores que o de Casson.

Não foi encontrada uma tendência definida para os índices de consistência (K) e comportamento do fluido (n) com o aumento da temperatura.

O caráter pseudoplástico é configurado pelos valores do índice de comportamento (n), que estão abaixo da unidade. Esses valores indicam o grau de pseudoplasticidade de polpas de frutas, sendo que quanto mais afastado da unidade, maior a pseudoplasticidade do produto (SILVA, 2000). Os valores de índice de comportamento (n) para purês de frutas situam-se, em sua maioria, na faixa de 0,30 a 0,50 e a variação desse parâmetro é função de diversas variáveis, tais como: variedade, processamento, grau de maturação e método de determinação dos parâmetros reológicos (HOLDSWORTH, 1971).

Tabela 4.2 Parâmetros reológicos dos modelos ajustados aos resultados da polpa integral sem sementes de *Cereus hildmannianus*.

T (°C)	Modelo de Casson:			Modelo de Ostwald-De-Waele:		
	$\tau^{1/2} = K_{oc} + K_c \gamma^{1/2}$			$\tau = K(\gamma)^n$		
	Parâmetros			Parâmetros		
	k_{oc}	k_c	R	k	n	R
08	1,3209	0,1029	0,9900	0,2196	0,6615	0,9873
15	1,5038	0,0891	0,9976	0,3243	0,5888	0,9968
25	1,0974	0,0915	0,9986	0,1477	0,6793	0,9966
35	1,1653	0,0777	0,9974	0,1853	0,6187	0,9967
45 e 55	1,1621	0,0705	0,9957	0,1959	0,5917	0,9967
65 e 75	1,0077	0,0629	0,9943	0,1434	0,6009	0,9941
85	0,9232	0,0559	0,9923	0,1222	0,5927	0,9915

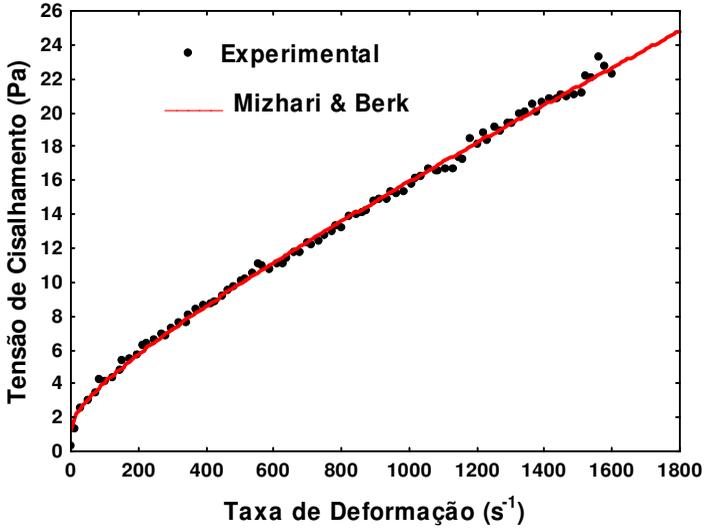
T (°C)	Modelo de Herschel-Bulkley:				Modelo de Mizhari & Berk:			
	$\tau = \tau_0 + K(\gamma)^n$				$\tau^{1/2} = k_{om} + k_m \gamma^{n_m}$			
	Parâmetros				Parâmetros			
	τ_0	k	n	R	k_{om}	k_m	n_m	R
08	2,4575	0,0746	0,7983	0,9892	1,4315	0,0841	0,5241	0,9907
15	1,7509	0,1565	0,6794	0,9979	1,1030	0,1791	0,4188	0,9982
25	1,6758	0,0568	0,8005	0,9982	1,1066	0,0899	0,5021	0,9986
35	1,0182	0,0997	0,6961	0,9975	0,8411	0,1489	0,4243	0,9978
45 e 55	0,5894	0,1347	0,6381	0,9970	0,5836	0,2196	0,3698	0,9972
65 e 75	0,6680	0,0808	0,6724	0,9948	0,6658	0,1424	0,4054	0,9951
85	0,6134	0,0632	0,6747	0,9924	0,6725	0,1124	0,4186	0,9929

Tabela 4.3 Parâmetros reológicos dos modelos ajustados aos resultados da polpa diluída de *Cereus hildmannianus*.

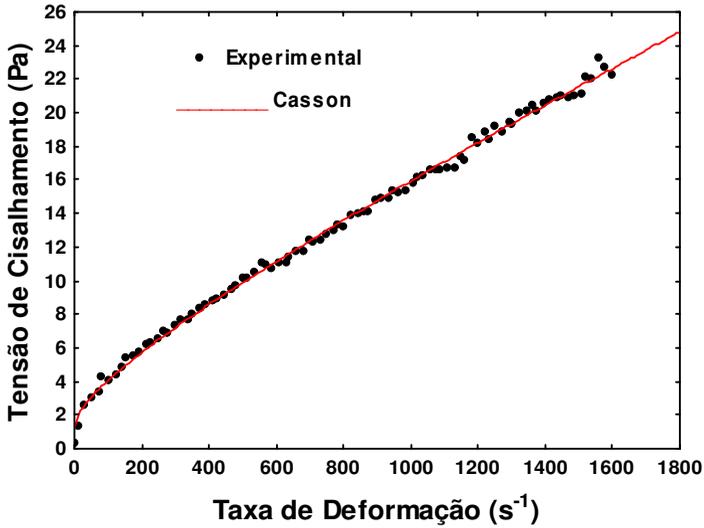
T (°C)	Modelo de Casson:				Modelo de Ostwald-De-Waele:		
	$\tau^{1/2} = K_{OC} + K_C \gamma^{1/2}$				$\tau = K(\gamma)^n$		
	Parâmetros				Parâmetros		
	k_{oc}	k_C	R	k	n	R	
08	0,8411	0,0510	0,9856	0,0896	0,6110	0,9758	
15	0,8212	0,0473	0,9887	0,0915	0,5915	0,9828	
25 e 35	0,5671	0,0483	0,9909	0,0363	0,6954	0,9861	
45 a 65 e 85	0,6543	0,0378	0,9913	0,0591	0,5894	0,9876	
75	0,5427	0,0346	0,9784	0,0399	0,6104	0,9760	

T (°C)	Modelo de Herschel-Bulkley:				Modelo de Mizhari & Berk:			
	$\tau = \tau_0 + K(\gamma)^n$				$\tau^{1/2} = k_{OM} + k_M \gamma^{n_M}$			
	Parâmetros				Parâmetros			
	τ_0	k	n	R	k_{om}	k_m	n_m	R
08	1,5703	0,0051	0,9793	0,9858	1,1830	0,0096	0,7056	0,9885
15	1,0415	0,0154	0,8162	0,9887	0,9388	0,0286	0,5604	0,9890
25 e 35	0,7456	0,0044	0,9511	0,9863	0,8077	0,0161	0,6325	0,9921
45 a 65 e 85	0,3908	0,0079	0,8336	0,9650	0,6430	0,0399	0,4937	0,9913
75	0,3233	0,0144	0,7383	0,9779	0,4926	0,0443	0,4706	0,9784

As Figuras 4.3 e 4.4 ilustram os modelos ajustados aos dados experimentais da polpa integral e diluída de *Cereus hildmannianus*, com destaque para Mizhari & Berk, que mostra o maior valor de R^2 .



(a)



(b)

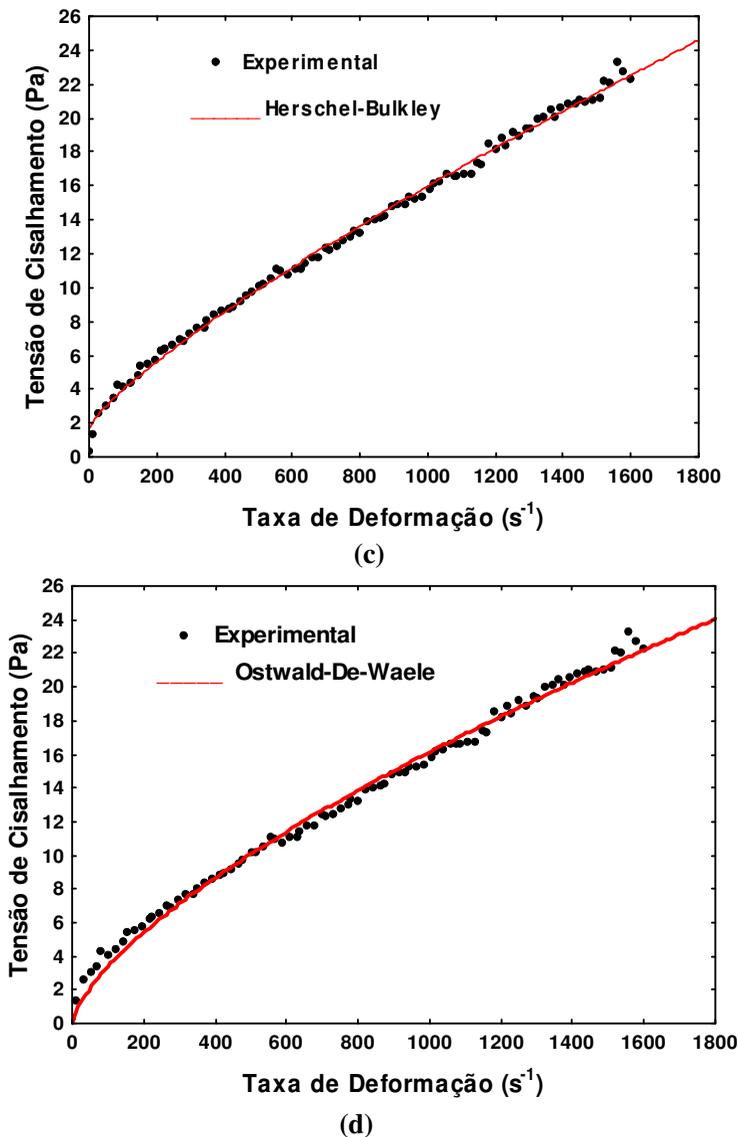
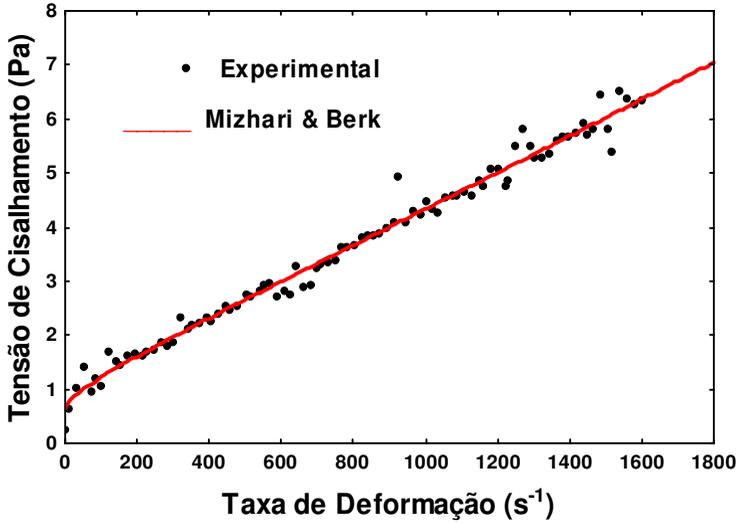
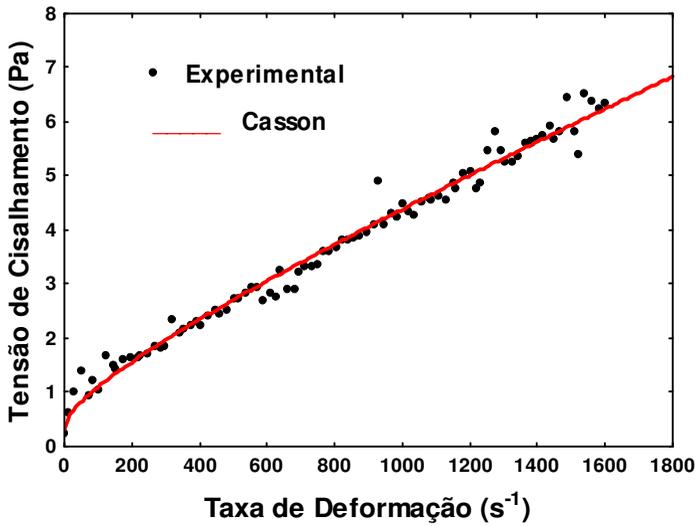


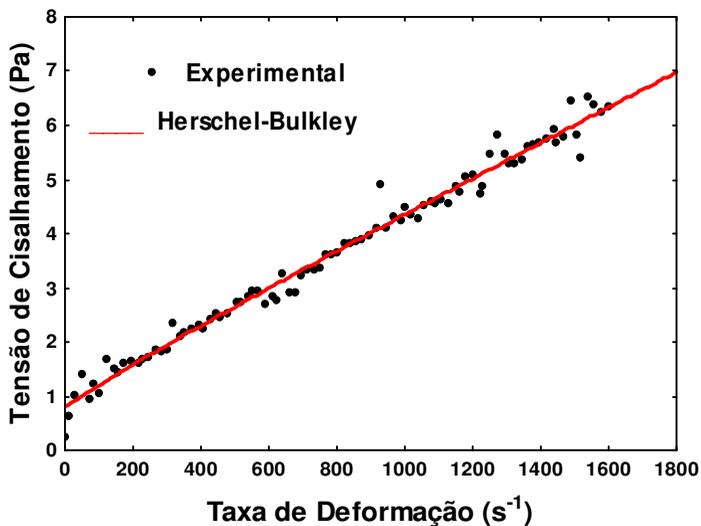
Figura 4.3 Resultado dos ajustes aos modelos de (a) Mizhari & Berk, (b) Casson, (c) Herschel-Bulkley e (d) Ostwald-De-Waele para os dados de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para a polpa integral sem sementes de *Cereus hildmannianus* a 25 °C.



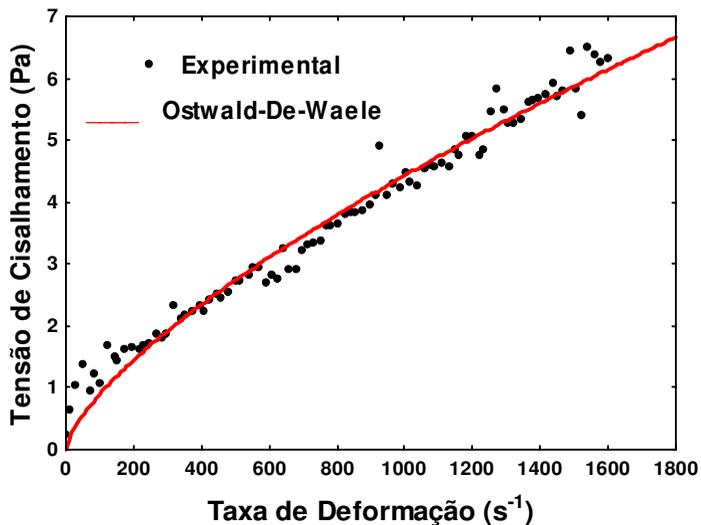
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4.4 Resultado dos ajustes aos modelos de (a) Mizhari & Berk, (b) Casson, (c) Herschel-Bulkley e (d) Ostwald-De-Waele para os dados de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para a polpa diluída de *Cereus hildmannianus* a 25 °C.

4.3.2 Efeito da temperatura

Os resultados do ajuste da equação de Arrhenius aos dados de viscosidade são mostrados na Tabela 4.4, cujo valor do coeficiente de determinação foi bastante satisfatório, indicando a boa explicação da equação tipo Arrhenius para ambas polpa integral sem sementes e diluída de *Cereus hildmannianus*.

Tabela 4.4 Parâmetros da Equação de Arrhenius para a polpa integral sem sementes e diluída de *Cereus hildmannianus*.

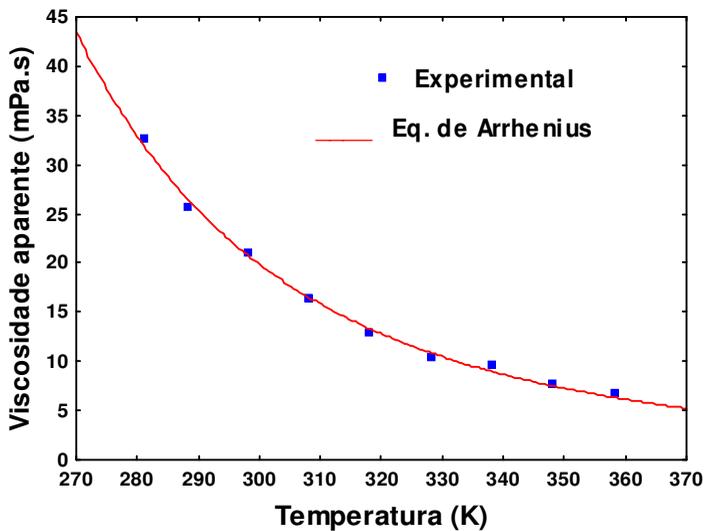
<i>Parâmetro</i>	<i>Polpa integral</i>	<i>Polpa diluída</i>
E_a (kcal mol ⁻¹)	3,88 ± 0,44	2,69 ± 0,18
η_0 (Pa.s)	3,29.10 ⁻² ± 2,18.10 ⁻²	5,89.10 ⁻² ± 1,62.10 ⁻²
R	0,9979	0,9537

O valor da energia de ativação E_a para escoamento viscoso da polpa integral e diluída foi de 3,88 e 2,69 Kcal.mol⁻¹, respectivamente (Tabela 4.4), valores estes maiores que aqueles E_a encontrados na literatura para diversas polpas e sucos de frutas. Acredita-se que este fato se deve à presença de mucilagem na polpa de *Cereus hildmannianus*.

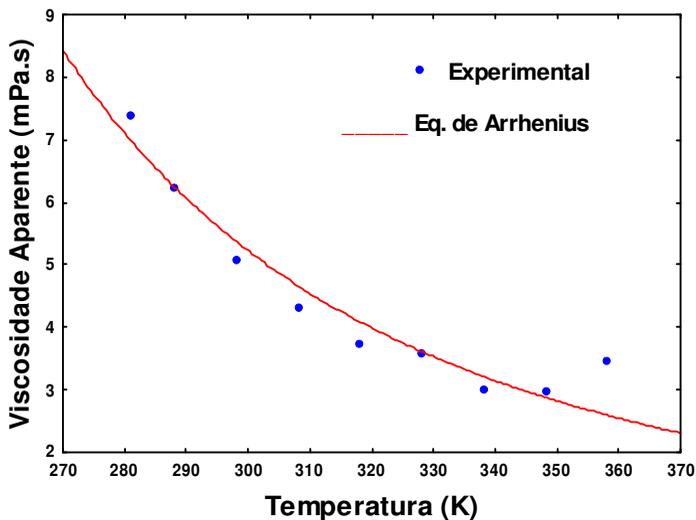
SARAVACOS (1970) relatou ter determinado valores de E_a para escoamento viscoso em purês de maçã (11 °Brix), pêssego (11,7 °Brix) e pêra (16 °Brix), sendo de 1,2, 1,7 e 1,9 kcal.mol⁻¹, respectivamente. VITALI, ROIG e RAO (1974) citam valores de E_a para escoamento viscoso em suco de maracujá (15,6 °Brix) de 4,5 kcal.mol⁻¹.

De acordo com STEFFE (1996), altos valores de E_a indicam uma mudança mais rápida na viscosidade com a temperatura. A energia de ativação é necessária para movimentar as moléculas, sendo uma função do aumento da temperatura. Assim o fluido escoar mais facilmente devido à alta energia de ativação em altas temperaturas (GÜRSES e BAYRAKÇEKEN, 1996).

A Figura 4.3 mostra os ajustes não-lineares da Equação de Arrhenius aos resultados experimentais de viscosidade aparente para as polpas integral e diluída de *Cereus hildmannianus*.



(a)



(b)

Figura 4.5 Ajuste da Equação de Arrhenius à viscosidade **a)** da polpa integral e **b)** polpa diluída de *Cereus hildmannianus* em função da temperatura.

Como mostram a Figura 4.5 e Tabela 4.4, a Equação de Arrhenius descreve bem a dependência da viscosidade com a temperatura. Esta equação tem sido usada com sucesso para prever a dependência da temperatura de fluidos alimentícios ricos em açúcares e sucos de frutas (KHALIL et al., 1989; MANOHAR et al., 1991).

4.4 CONCLUSÃO

O estudo do comportamento reológico da polpa integral e diluída sem sementes de *Cereus hildmannianus* mostrou caráter não-newtoniano, com comportamento pseudoplástico para ambos. Os índices de comportamento foram menores que 1. Os resultados foram bem descritos pelos modelos propostos, sendo o melhor deles o modelo de Mizhari & Berk.

A equação de Arrhenius representou adequadamente o efeito da temperatura na viscosidade da polpa, sendo que os valores da energia de ativação foram de 3,88 e 2,69 Kcal.mol⁻¹, para a polpa integral e diluída sem semente, respectivamente. Os valores de E_a encontrados foram maiores que aqueles fornecidos pela literatura para diversas polpas e sucos de frutas.

4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADORNO, R. A. C. Reologia de sucos de frutas tropicais: manga, maracujá, mamão e goiaba. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, p. 178, 1997.

BRANCO, I. G. Suco de laranja concentrado – comportamento reológico a baixas temperaturas. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade de Campinas, Campinas, p. 91, 1995.

GÜRSES, A., & BAYRAKÇEKEN, S. Deneysel Fizikokimya. Atatürk Üniversitesi Yayın No: 807. K.K. Eğitim Fak. Yayın No: 62. Ders Kitapları Serisi No: 48. Erzurum, Türkiye. In Memnune S., M., Fatih, & E., Mustafa S. (1996). Rheological, physical and chemical characteristics of mulberry pekmez. Food Control, v. 16, p. 73–76, 2005.

- HASSAN, B.H. e HOBANI, A.I. Flow properties of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extract. *Journal of Food Engineering*, Oxford, v.35, p.459-470, 1998.
- HOLDSWORTH, S. D. Applicability of rheological models to the interpretation of flow and processing behaviour of fluid food products. *Journal of Texture Studies*, v.2, p.393-418, 1971.
- HOLDSWORTH, S.D. Rheological models used for the prediction of the flow properties of food products: a literature review. *Transactions of the institution of chemical engineers. Part C*, v. 71, p. 139-179, 1993.
- IBARZ, A.; GONZALEZ, G.; ESPLUGAS, S. Rheology of clarified fruit juices. III: orange juices. *Journal of Food Engineering*, v. 21, p. 485-494, 1994.
- KHALIL, K.E., RAMAKRISHNA, P., NANJUNDASWAMY, A.M., PATWARDHAN, M.V. Rheological behaviour of clarified banana juice: effect of temperature and concentration, 1989.
- MANOHAR, B., RAMAKRISHNA, P., UDAYASANKAR, K. Some physical properties of Tamarind *Tamarindus indica* L. juice concentrates. *Journal of Food Engineering*, p. 241-258, 1991.
- MEDINA-TORRES, L; LA FUENTE, E.B.; TORRESTIANA-SANCHEZ, B.; KATTHAIN, R., Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*), *Food Hydrocolloids*, v.14, p. 417-424, 2000.
- QUEIROZ, A. J. Análise do comportamento reológico dos sucos de abacaxi e manga. Tese de Doutorado (Doutor em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, p. 109, 1998.
- SARAVACOS, G. D; Effect of temperature on viscosity of fruit juices and purees. *Journal of food science*, v.35, p.122-125, 1970.
- SILVA, F.C. da. Reologia do suco de acerola: efeito da concentração e da temperatura. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas, Campinas, p. 100, 2000.
- STATSOFT. *STATISTICA for Windows – Computer program manual*. Tulsa: Statsoft, Inc., 1995.
- STEFFE, J. F. *Rheological Methods in Food Process Engineering*, 2ª Ed. Freeman Press, East Lansing, Michigan State, USA. p. 418, 1996.

TANGLERTPAIBUL, T.; RAO, M.A. Rheological properties of tomato concentrates as affected by particle size and methods of concentration. *Journal of Food Science*, Chicago, v. 52, p. 141-145, 1987.

VASQUES, C. T. Reologia do suco de goiaba: efeito da diluição e do tamanho de partícula. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

VIDAL, J.R.M.B.; Estudo reológico do suco de manga – efeito dos sólidos insolúveis. 81p. Tese de Mestrado, FEA/UNICAMP. Campinas, 1997.

VITALI, A.A.; ROING, S.M. & RAO, M.A. Viscosity behavior of concentrated passion fruit juice. *Confrutca*, v. 19, p. 201-206, 1974.

EFEITO DO TRATAMENTO ENZIMÁTICO NO RENDIMENTO E VISCOSIDADE DA POLPA DE *CEREUS HILDMANNIANUS* K. SCHUM

RESUMO

O Brasil é um dos principais produtores e exportadores de inúmeras espécies de frutas, e apresenta uma grande quantidade de espécies ainda não aproveitadas em todo seu potencial, como é o caso de frutos de diferentes cactáceas encontradas no país. Isso acontece com a cactácea *Cereus hildmannianus* facilmente encontrada no oeste do Estado de Santa Catarina, onde seus frutos são consumidos pela população desta região por possuir uma polpa suculenta e levemente doce, porém nunca estudada anteriormente. Os frutos desta cactácea, assim como os do gênero *Opuntia*, apresentam uma polpa mucilaginosa de alta viscosidade, o que dificultaria seu processamento em indústria processadora de polpas de frutas. Sendo a mucilagem desta polpa ainda desconhecida, não se sabe ao certo de quais unidades de açúcares é composta. Informações são encontradas para a espécie *Opuntia ficus indica*, em que diversos autores afirmam que este hidrocolóide contém quantidades variáveis de L-arabinose, D-galactose, L-ramnose, e D-xilose; alguns citam ainda a presença de ácido galacturônico como componente, o que tem sido motivo de confusão para autores que se referem à a mucilagem como pectina ou pectinóide. O objetivo do presente estudo foi testar a aplicação de enzimas pectinolíticas comerciais contendo pectinases/pectinaliases e celulases/hemicelulases em diferentes concentrações e temperatura de incubação no rendimento e viscosidade da polpa de *Cereus hildmannianus*, utilizando a metodologia de superfície resposta. Foi possível observar que, a partir das diferentes condições estudadas, ambos os preparados enzimáticos, assim como a temperatura, de incubação mostraram ter efeitos significativos no aumento do rendimento e diminuição da viscosidade da polpa. Os modelos foram adequados para descrição dos resultados a um nível de significância de 25%.

Palavras-chave: planejamento experimental; tratamento enzimático; comportamento reológico.

ABSTRACT

Brazil is an important producer and exporter of many kinds and species of fruits, although its full potential is not yet correctly evaluated. Cactacea fruits are found in the country, and among them *Cereus hildmannianus* Cacti is easily grown in the western of Santa Catarina state. In that region, the fruit is currently consumed by the population due to the slightly sweet and juicy flesh. No similar informations were found in the literature. The fruits of Cacti, and the genus *Opuntia*, mucilaginous pulp have a high viscosity, which hamper its processing industry in the processing of fruit pulp. As the mucilage of flesh still unknown, it is not sure which units of sugar is composed. Informations are found for the species *Opuntia ficus indica*, in which various authors argue that this hydrocolloid contains variable amounts of L-arabinose, D-galactose, L-rhamnose and D-xylose, some also cite the presence of galacturonic acid component. This has been a matter of confusion for authors refer to as the mucilage pectin or pectinóide. The objective of this study was to test the application of commercial pectinolytic enzymes (Pectinex Clear and Cellubrix) in different concentrations and incubation temperature on yield and pulp viscosity of *Cereus hildmannianus*, using the methodology of response surface. It was observed that, from the different conditions studied, both enzymes (Pectinex Clear and Cellubrix) and the temperature of incubation showed significant effects in increasing the efficiency and decrease the viscosity of the pulp. With respect to interactions, only the interaction Pectinex Clear versus incubation temperature had significant effect on the viscosity of the pulp. The models were adequate to describe the results of a significance level of 25%.

Keywords: experimental design; rheological behavior.

5.1 INTRODUÇÃO

Mais de 500 frutos comestíveis crescem em florestas tropicais e regiões subtropicais, mas somente um número inferior a 15 são

comercialmente processados. No que diz respeito à produção de suco, são utilizadas apenas 15% das frutas tropicais. Mercados internacionais de frutas tropicais, como abacaxi, manga, goiaba, banana e kiwi já existem. Os produtos populares mais fabricados a partir de frutas tropicais são os sucos de frutas, néctares, e bebidas. O consumo de sucos de fruta de zonas temperadas como maçã, está crescendo mais lentamente do que o total de sucos de frutas cítricas e tropicais, e que hoje representam cerca de 70% do mercado de sucos de frutas (RAMADÃ e MOERSEL, 2007). Esta tendência tem causado uma retomada ascendente desta indústria nos países fruticultores, os quais procuram promover e melhorar a produção, para serem competitivos tanto para a procura interna como para mercados de exportação (ASKAR, 1998).

O Brasil é um grande exportador de frutas tropicais “in natura”, mas não detém informações completas sobre características dos produtos regionais que podem sofrer alterações no processo de produção. Para aproveitar-se deste mercado emergente que, por proporcionar menor perda que a exportação de frutas frescas e poder garantir maiores lucros aos exportadores, algumas indústrias nacionais começam a se preocupar em estudar o comportamento de determinados sucos para projetar novas unidades de processamento. Este conhecimento é indispensável aos projetos de tubulação e dimensionamentos de bombas bem como aos sistemas de agitação e mistura, os quais precedem a chegada dos sucos concentrados às prateleiras dos supermercados (VIDAL, 2000).

Enzimas são ferramentas essenciais em processos de sucos, tanto em termos de melhoria da qualidade como na redução dos custos (RAMADÃ e MOERSEL, 2007). A produção de suco de frutas e vegetais é hoje impensável sem a utilização de enzimas (BAUMANN, 1981). A degradação da parede celular de plantas por tratamento enzimático exógeno resulta na facilidade da liberação dos componentes contidos nas células (JANSER, 1997).

A aplicação de enzimas pectinolíticas, mais precisamente as endopoligalacturonases, aplica-se principalmente em processos industriais que visam produção de suco de frutas, hortaliças e outros vegetais com turbidez estável, alimentos infantis e geriátricos, sopas desidratadas e molhos (ZETELAKI-HORVATHI e GATAI, 1977), reduzindo a polpa indesejável de alimentos fibrosos. A importância dessas enzimas advém do fato de desintegrarem o tecido vegetal em células individuais ou aglomerados celulares (ZETELAKI-HORVATHI

e GATAI, 1977), sem destruição total das células, mantendo o conteúdo intacto (MC CLENDON e SOMMERS, 1960; CODNER, 1971; CALL et al., 1985).

A mucilagem é um polissacarídeo de cadeia longa, que pode, em princípio ser hidrolisada por enzimas pectinolíticas e/ou celulolíticas. Este tratamento deve, portanto, ser afetado pela concentração de enzimas e/ou temperatura de incubação, do mesmo modo que no tratamento enzimático da pectina.

Em geral, tal como anteriormente citado, a mucilagem contém quantidades variáveis de L-arabinose, D-galactose, L-ramnose, e D-xilose, como principais açúcares neutros, e também de ácido D-galacturônico. A presença deste componente tem sido um motivo de confusão para os diversos autores que têm referido a mucilagem como pectina ou um pectinóide. A mucilagem de *Opuntia ficus indica* é composta de 24,6-42% de arabinose; 21-40,1% de galactose; 8-12,7% de ácido galacturônico; 7-13,1% da ramnose e 22-22,2% de xilose, (TRACHTENBERG e MAYER, 1981b; NOBEL et al., 1992).

O primeiro autor descreve a estrutura sugerida como uma molécula linear repetindo no núcleo ligações α (1 \rightarrow 4) de ácido D-galacturônico e ligações β (1 \rightarrow 2) de L-ramnose com cadeias laterais de β (1 \rightarrow 6) D-galactose anexado à resíduos de ramnose. A composição das cadeias periféricas é complexa; pelo menos 20 diferentes tipos de oligossacarídeos foram identificados (a maior parte deles dissacarídeos e trissacarídeos). Estes invariavelmente contêm ligações (1 \rightarrow 5) de resíduos de L-arabinose e D-xilose como grupos terminais, dando uma proporção de xilose:arabinose em torno de 1:2. (MCGARVIE e PAROLIS, 1981a,b).

As hidrolases (Poligalacturonases, PG) são as enzimas que catalisam a hidrólise das ligações glicosídicas α (1 \rightarrow 4) da cadeia de ácido poligalacturônico. As endo-poligalacturonases hidrolisam as ligações glicosídicas α (1 \rightarrow 4) internas de forma randômica, causando a despolimerização da molécula e liberando oligômeros de ácido poligalacturônico, enquanto as exo-poligalacturonases removem as moléculas de ácido D-galacturônico pela hidrólise das ligações glicosídicas α (1 \rightarrow 4) a partir da extremidade não-redutora liberando ácidos mono ou digalacturônicos. As hidrolases, em relação à especificidade e à esterificação do substrato são também classificadas em poligalacturonases, que têm preferência pelo substrato desmetoxilado (ácido péctico) e em polimetilgalacturonases, que têm

preferência pelo substrato altamente metoxilado (ácido pectínico). (JAYANI et al., 2005)

Um planejamento central composto é uma das abordagens mais úteis para determinação das melhores condições de processos. Explora-se a superfície de respostas no delineamento experimental, tornando, assim, a otimização do processo mais eficiente e eficaz (CAPANZANA e BUCKLE, 1997).

A *Metodologia de Superfície de Resposta* (MSR) é definida como instrumento que utiliza dados quantitativos de delineamento experimental adequado para determinar e, simultaneamente, resolver equações multivariadas (GIOVANNI, 1983). A MSR tem sido amplamente utilizada para otimizar processos na produção de suco de frutas tropicais (LEE et al., 2006; WONG et al., 2003; YUSOF et al., 1988).

Este trabalho teve como objetivo estudar, através da metodologia da superfície de resposta, o efeito do tratamento enzimático com duas enzimas comerciais, uma pectinolítica, Pectinex CLEAR, e outra celulolítica, Cellubrix, sobre a eficiência de extração da semente de *Cereus hildmannianus* K. Schum, e a conseqüente variação de viscosidade da polpa mucilagínosa.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Polpa

Frutos de *Cereus hildmannianus* K. Schum, provenientes de Joaçaba, SC, safras 2007 e 2008 foram selecionados, lavados com água e mergulhados em solução 100 ppm de hipoclorito de sódio, onde permaneceram por aproximadamente 30 minutos. Em seguida foram novamente lavados com água e as partes indesejáveis foram eliminadas. Após a limpeza e seleção, os frutos foram pesados e cortados longitudinalmente. A polpa com sementes foi separada com auxílio de uma colher, higienizada e em seguida pesada. Procedeu-se a homogeneização manual e posterior embalagem em sacos plásticos, cada um contendo cerca de 20 g de amostra. As amostras foram armazenadas a -4 °C.

5.2.2 Enzimas

Foram utilizadas as enzimas Pectinex Clear® e Cellubrix L®, ambas fornecidos por Novozymes. Pectinex Clear é um preparado enzimático de poligalacturonase e pectina liase a partir de *Aspergillus aculeatus* e *Aspergillus Níger*, tendo como atividade 5000 PECTU/mL. Cellubrix L é um preparado enzimático composto de celulase produzida por *Trichoderma reesei*, e sendo fornecida com uma atividade declarada de 700 EUG/g. Ambas são utilizadas na indústria alimentar no tratamento de sucos de frutas para clarificação e redução da viscosidade.

5.2.3 Tratamento Enzimático

Para cada experimento, cerca de 18 g de polpa foram submetidos às diferentes condições do tratamento enzimático, sendo adicionados 2 mL de solução enzimática nas concentrações abaixo relacionadas (Tabela 5.1). Ensaio preliminares foram desenvolvidos para definir os intervalos das variáveis a serem estudados. As variáveis independentes estudadas foram: concentração de Pectinex Clear; concentração de Cellubrix e temperatura de incubação, cuja codificação é mostrada na tabela supracitada. A temperatura do tratamento enzimático foi ajustada a valores variando de 25 a 45°C em *shaker* com banho de água a temperatura e agitação constantes. O tempo de incubação foi fixado em 20 min. No final do tratamento enzimático, a enzima em suspensão na amostra foi inativada, imediatamente após o término do tempo de incubação, por resfriamento em banho de gelo por cerca de 1 min. A Tabela 5.1 mostra o planejamento experimental utilizado.

Tabela 5.1 Níveis e codificações para o planejamento experimental 2³

<i>Fatores</i>	<i>Níveis</i>				
	- 1,68	- 1	0	+ 1	+ 1,68
Concentração de Pectinex Clear (%)	0	0,02	0,05	0,08	0,1
Concentração de Cellubrix (%)	0	0,02	0,05	0,08	0,1
Temperatura (°C)	25	29	35	41	45

5.2.4 Planejamento experimental

O processo de tratamento enzimático da polpa de *Cereus hildmannianus* foi otimizado pela Metodologia de Superfície de Respostas descrita por BOX, HUNTER e HUNTER (1998) e BARROS NETO, SCARMINIO e BRUNS (2002). Esta metodologia consiste de um conjunto de técnicas matemáticas e estatísticas, que permite a análise de problemas onde variáveis independentes ou fatores, controlados pelo pesquisador, influenciam uma ou mais variáveis dependentes ou respostas.

Foram executados experimentos em diferentes níveis dos fatores, selecionados de acordo com delineamento estatístico multivariado. O delineamento composto consiste em um planejamento estatístico fatorial 2^3 completo com três pontos centrais e seis pontos axiais (-1,68 e +1,68). Os pontos centrais foram realizados para estimativa do erro experimental.

Os 17 pontos experimentais permitem uma avaliação dos modelos linear e quadrático. Os modelos foram testados através da Análise de Variância (ANOVA) e do teste F, ao nível de significância de 25 %, considerando o erro puro. As respostas ou variáveis dependentes utilizadas para avaliar o suco obtido da polpa foram rendimento (Y_1) e viscosidade (Y_2).

5.2.5 Determinação do rendimento

Imediatamente após a inativação do tratamento enzimático, a polpa tratada sofreu um processo de separação das sementes. O cálculo de rendimento da polpa foi obtido pela Equação 5.1:

$$\eta = \left| \frac{m_{pf}}{m_{pi}} \right| * 100\% \quad (5.1)$$

onde:

m_{pf} = massa de polpa após a retirada das sementes

m_{pi} = massa de polpa incluindo sementes, anterior ao tratamento enzimático

5.2.6 Determinação da viscosidade

A viscosidade da polpa após a o tratamento enzimático e a retirada das sementes foi determinada através de um viscosímetro rotacional de cilindros concêntricos Thermo Haake DC 10, modelo VT 550, com banho termostático acoplado ao equipamento. A medida foi feita na temperatura 25 °C (temperatura ambiente), sendo que as mesmas foram ajustadas através do banho. O aparelho fornece diretamente os dados de tensão de cisalhamento, taxa de deformação e viscosidade.

As análises reológicas foram obtidas com variação da taxa de deformação de 0 a 1600 s⁻¹ (curva ascendente) e de 1600 a 0 s⁻¹ (curva descendente), com um tempo de 3 minutos para cada curva, o que resultou em 90 pontos de subida e 90 de descida para cada ensaio realizado. Os modelos reológicos foram analisados estatisticamente através do programa *Statistica* Versão 6.0[®].

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores experimentais encontrados nos 17 ensaios para o rendimento e viscosidade da polpa do fruto de *Cereus hildmannianus* são mostrados na Tabela 5.2. Pode-se observar que, ensaios nos quais há a combinação de um valor baixo de qualquer uma das enzimas e o de temperatura, a polpa mostra um baixo rendimento e pouca redução de viscosidade na obtenção de suco. Este é o caso particular dos ensaios 1 e 12.

O maior rendimento e menor viscosidade da polpa foram encontrados no ensaio 8, cujos valores foram de 87,88 % e 1,65 mPa·s, respectivamente. Neste ensaio os valores usados para concentração de ambas as enzimas foram 0,08 % e a temperatura foi fixada a 41°C. No entanto, uma menor viscosidade da polpa não garante um maior rendimento, o que pode ser observado comparando este ensaio com o de número 4. Este último fornece uma viscosidade próxima à anterior (1,67 mPa·s), porém o rendimento é de apenas 61,16%. Portanto vê-se que diferentes fatores, ou combinação de fatores atuam sobre as duas respostas analisadas. Ao menor rendimento (44,36 %) associou-se ao maior valor da viscosidade (6,03 mPa·s) de polpa, em condições de ausência de Pectinex Clear, valores intermediários de Cellubrix e temperatura (0,05 % e 35 °C).

Tabela 5.2 Planejamento composto central para estudo do rendimento e viscosidade por tratamento enzimático da polpa de *Cereus hildmannianus*.

Ensaio	Variáveis Independentes			Variáveis Dependentes	
	Pectinex CLEAR (%)	Cellubrix (%)	T (°C)	Rendimento de suco (%)	Viscosidade (mPa)
	(x ₁)	(x ₂)	(x ₃)	(y ₁)	(y ₂)
1	-1 (0,02)	-1 (0,02)	- 1 (29)	49,80	3,02
2	+1(0,08)	-1 (0,02)	- 1 (29)	73,75	1,75
3	-1 (0,02)	+1(0,08)	- 1 (29)	56,77	2,69
4	+1(0,08)	+1(0,08)	- 1 (29)	61,16	1,67
5	-1 (0,02)	-1 (0,02)	+ 1 (41)	76,57	2,58
6	+1(0,08)	-1 (0,02)	+ 1 (41)	78,52	1,79
7	-1 (0,02)	+1(0,08)	+ 1 (41)	76,34	1,94
8	+1(0,08)	+1(0,08)	+ 1 (41)	87,88	1,65
9	0 (0,05)	0 (0,05)	0 (35)	78,16	2,13
10	0 (0,05)	0 (0,05)	0 (35)	68,53	2,46
11	0 (0,05)	0 (0,05)	0 (35)	71,08	2,11
12	- 1,68 (0)	0 (0,05)	0 (35)	44,36	6,03
13	+ 1,68(0,1)	0 (0,05)	0 (35)	76,76	2,12
14	0 (0,05)	- 1,68(0)	0 (35)	64,87	1,94
15	0 (0,05)	+ 1,68 (0,1)	0 (35)	84,22	1,95
16	0 (0,05)	0 (0,05)	- 1,68 (25)	82,02	1,89
17	0 (0,05)	0 (0,05)	+ 1,68(45)	81,65	1,83

Foi ajustado o modelo quadrático com interações de segunda ordem aos resultados de viscosidade e rendimento da polpa de *Cereus hildmannianus*. Os coeficientes de determinação foram de 0,7295 para o rendimento, e um pouco superior para a viscosidade, no valor de 0,8295. Foram calculados os efeitos, o desvio padrão e o valor de p ao nível de significância de 25 % como mostrado na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 Efeitos, desvio padrão, p e R^2 para o rendimento e viscosidade do suco obtido da polpa de *Cereus hildmannianus*.

Fatores	Rendimento			Viscosidade		
	$R^2=0,7295$			$R^2=0,8295$		
	Efeitos	Desvio	p	Efeitos	Desvio	p
Médias/Int.	72,74*	2,87*	0,0015*	2,27*	0,11*	0,0025*
$x_1 (L)$	14,11*	2,70*	0,0347*	-1,46*	0,11*	0,0053*
$x_1 (Q)$	-9,51*	2,97*	0,0855*	1,08*	0,12*	0,0117*
$x_2 (L)$	5,28*	2,70*	0,1898*	-0,17*	0,11*	0,2481*
$x_2(Q)$	0,40	2,97	0,9052	-0,43*	0,12*	0,0657*
$x_3 (L)$	11,32*	2,70*	0,0523*	-0,19*	0,11*	0,2226*
$x_3 (Q)$	5,57*	2,97*	0,2020*	-0,49*	0,12*	0,0519*
$x_1 (L).x_2 (L)$	-2,49	3,53	0,5532	0,19	0,14	0,3107
$x_1 (L).x_3 (L)$	-3,72	3,53	0,4026	0,30*	0,14*	0,1619*
$x_2 (L).x_3 (L)$	3,69	3,53	0,4054	-0,09	0,14	0,5723

*diferenças estatisticamente significativas ($p < 0,25$)

Observa-se que para o rendimento, somente o termo quadrático do fator x_2 (Cellubrix) e as interações não são significativos a 25 %.

Para a viscosidade, não são significativos a 25 %, as interações $x_1.x_2$ e $x_2.x_3$. Os modelos resumidos ajustados são dados nas Equações 5.1 e 5.2.

Para o rendimento:

$$y_1 = 72,74 + 7,05 x_1 - 4,75 x_1^2 + 2,64 x_2 + 5,66 x_3 + 2,79 x_3^2 \quad (5.2)$$

Para a viscosidade:

$$y_2 = 2,27 - 0,73 x_1 + 0,54 x_1^2 - 0,09 x_2 - 0,22 x_2^2 - 0,09 x_3 - 0,23 x_3^2 + 0,15 x_1 x_2 \quad (5.3)$$

A seguir, são mostrados nas Tabelas 5.3 e 5.4 os resultados da análise de variância (ANOVA) para as duas respostas estudadas:

Tabela 5.4 ANOVA para o rendimento da polpa de *Cereus hildmannianus*.

Fatores	SS	df	MS	F calculado	F tabelado 25 %
<i>Modelo</i>	1619,89	9	179,99	1,94	1,69
<i>Resíduo</i>	649,98	7	92,85		
<i>Falta de Ajuste</i>	600,23	5	120,05	4,83	3,28
<i>Erro puro</i>	49,75	2	24,87		
<i>Total SS</i>	2403,20	16			

Tabela 5.5 ANOVA para a viscosidade da polpa de *Cereus hildmannianus*.

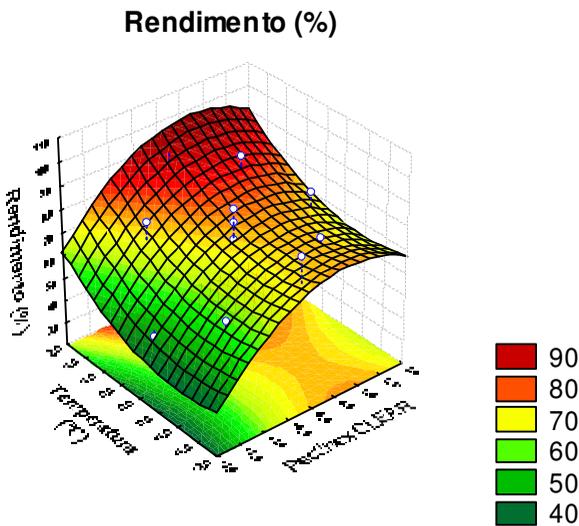
Fatores	SS	df	MS	F calculado	F tabelado 25 %
<i>Modelo</i>	12,19	9	1,35	3,29	1,69
<i>Resíduo</i>	2,89	7	0,41		
<i>Falta de Ajuste</i>	2,81	5	0,56	14,54	3,28
<i>Erro puro</i>	0,078	2	0,039		
<i>Total SS</i>	16,92	16			

Conforme resultados obtidos na Tabela 5.4 e 5.5 pode-se observar que, para ambos os modelos de rendimento e viscosidade, o valor de $F_{\text{calculado}}$ é maior que o valor de F_{tabelado} , e portanto os modelos são significativos para descrição dos resultados a um nível de significância de 25%. Estes, porém não podem ser usados para previsão, uma vez que $F_{\text{calculado}}$ é menor que 4 a 5 vezes o valor de F_{tabelado} . A falta de ajuste dos modelos para rendimento e viscosidade é significativa, pois o valor de $F_{\text{calculado}}$ é maior que o F_{tabelado} ao nível de significância de 25%.

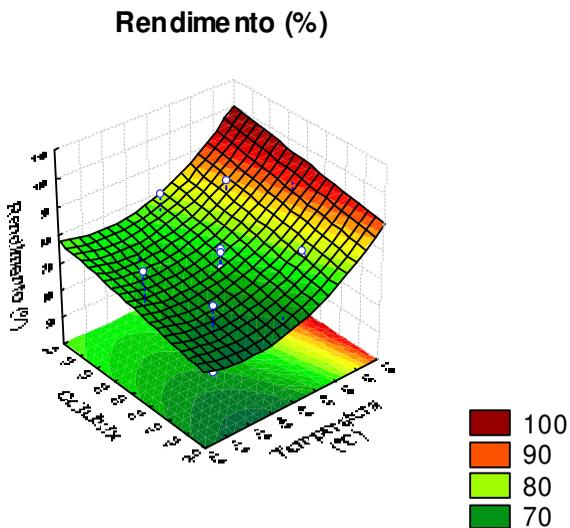
As Figuras 5.1 e 5.2 mostram as superfícies de resposta e as curvas de nível da concentração das enzimas (Pectinex Clear e

Cellubrix), ambas em função temperatura de incubação, para o rendimento da polpa de *Cereus hildmannianus*, respectivamente.

Nesta figura, percebe-se pela curvatura, o efeito do aumento da concentração de Pectinex Clear e a temperatura de incubação. Com isso pode-se dizer que este preparado enzimático comercial promoveu assim como na pectina a hidrólise das ligações glicosídicas $\alpha(1\rightarrow4)$ da cadeia de ácido D-galacturônico que constituem a mucilagem, facilitando a separação das sementes e polpa de *Cereus hildmannianus*, quando utilizado em concentrações maiores que -1 (0,02 g/) e temperatura mais alta que 1 (29°C). Mostram ainda que o efeito das várias concentrações usadas de Cellubrix e a temperatura de incubação é bem menos importante que o efeito anterior. Pode-se se dizer então que este preparado enzimático comercial pouco contribuiu para a hidrólise na mucilagem da polpa de *Cereus hildmannianus*.

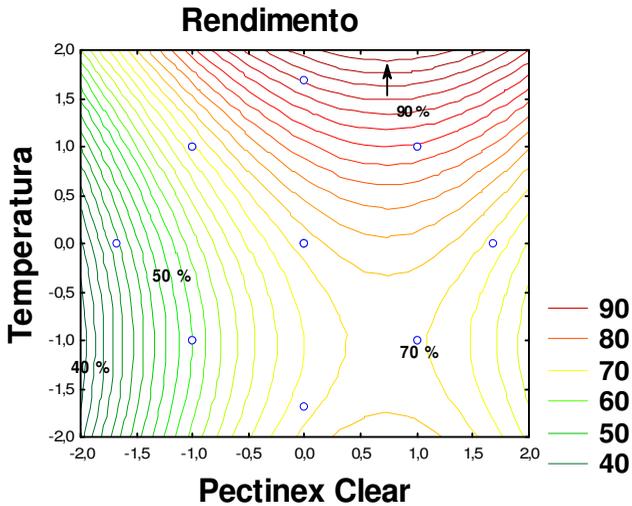


(a)

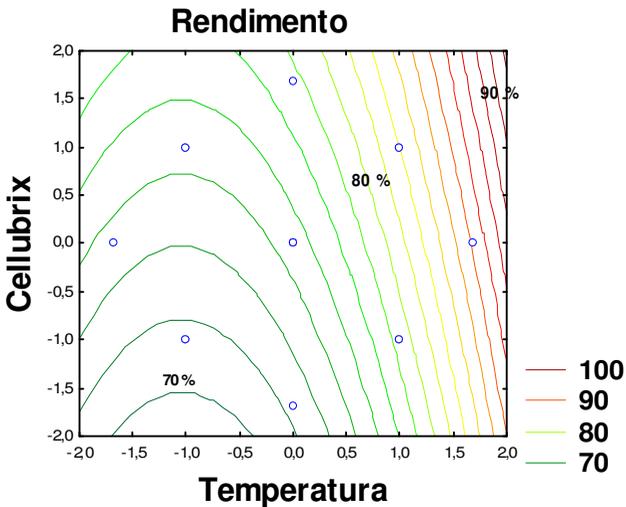


(b)

Figura 5.1 Superfície de resposta para o rendimento da polpa de *Cereus hildmannianus* **a)** em função da concentração de Pectinex Clear e temperatura de incubação para Cellubrix no ponto zero e **b)** em função da concentração de Cellubrix e temperatura de incubação para Pectinex Clear no ponto zero



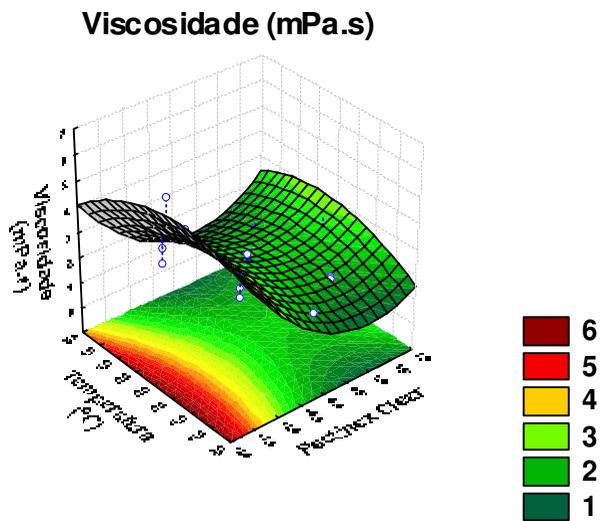
(a)



(b)

Figura 5.2 Curvas de nível para o rendimento da polpa de *Cereus hildmannianus* **a)** em função da concentração de Pectinex Clear e temperatura de incubação para Cellubrix no ponto zero e **b)** em função da concentração de Cellubrix e temperatura de incubação para Pectinex Clear no ponto zero

As Figuras 5.3 e 5.4 mostram as superfícies de resposta e as curvas de nível da concentração das enzimas (Pectinex Clear e Cellubrix), ambas em função da temperatura de incubação, para a viscosidade da polpa de *Cereus hildmannianus*, respectivamente.



(a)

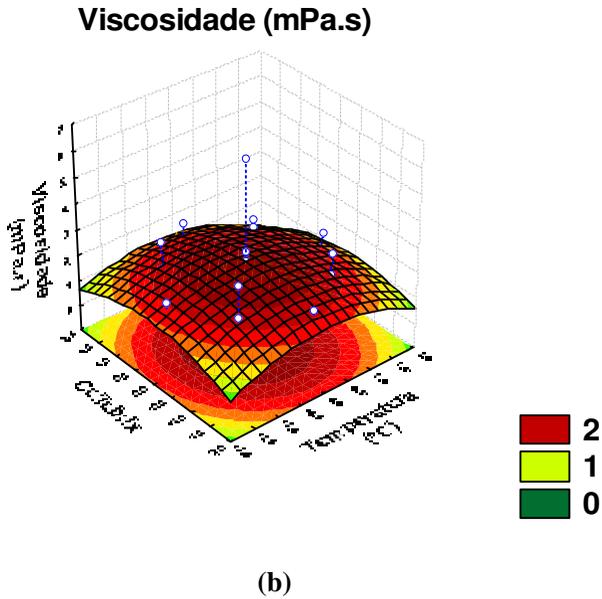


Figura 5.3 Superfície de resposta para a viscosidade da polpa de *Cereus hildmannianus* **a)** em função da concentração de Pectinex Clear e temperatura de incubação para Cellubrix no ponto zero e **b)** em função da concentração de Cellubrix e temperatura de incubação para Pectinex Clear no ponto zero

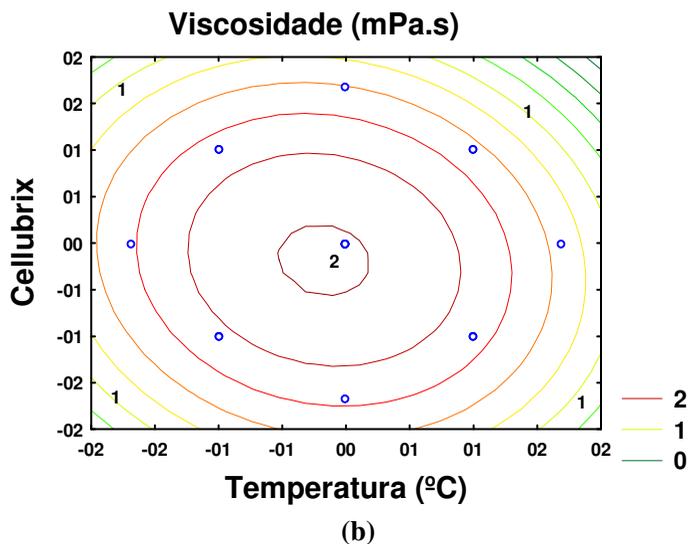
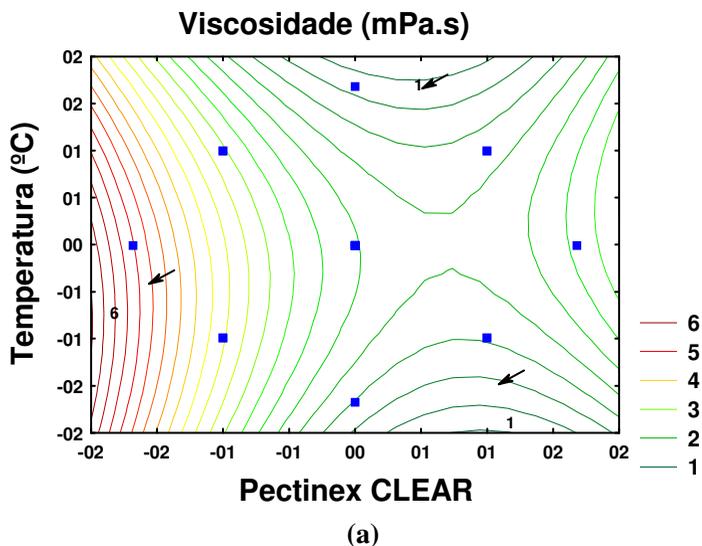


Figura 5.4 Curvas de nível para a viscosidade da polpa de *Cereus hildmannianus* **a)** em função da concentração de Pectinex Clear e temperatura de incubação para Cellubrix no ponto zero e **b)** em função da concentração de Cellubrix e temperatura de incubação para Pectinex Clear no ponto zero

A facilidade de processamento é promovida pela redução da viscosidade do fluido. Na Figura 5.3a e Figura 5.4a, nota-se que valores menores são obtidos na mesma faixa de ação da Pectinex Clear e temperatura de incubação que aquela obtida para maior rendimento, o que significa extração da semente com pouco resíduo de mucilagem. Baixos valores de viscosidade são encontrados para concentrações de Pectinex Clear acima de -0,5 (0,065%) e temperaturas acima de 1(41%). Deste modo, é possível, em uma única etapa, extrair as sementes e diminuir a viscosidade do fluido a um valor próximo de 1,0 mPa.s, ou seja, para um valor próximo ao da água. Enquanto que na Figura 5.4a é ainda mais fácil perceber através da superfície de contorno que apenas a enzima em concentrações maiores atuou de forma positiva, ratificando que esta agiu na hidrólise da mucilagem da polpa, também fazendo com que a viscosidade diminuísse para valores próximos de 1,0 mPa.s, ou seja, para um valor próximo ao da água, permitindo um comportamento desejável à polpa, pois poderá ser utilizada como matéria-prima em potencial em indústrias processadoras de suco e néctares por exemplo, já que não exigiria custos elevados no processamento.

Para a viscosidade como mostrado nas Figuras 5.3b e 5.4a, a concentração de Cellubrix também não apresentou efeito altamente significativo para a diminuição da viscosidade, e acredita-se que sua utilização possa ser dispensada para processamento da polpa mucilaginososa de *Cereus hildmannianus*.

5.4 CONCLUSÃO

Através da metodologia de superfície de resposta foi possível observar que, dentre as diferentes condições testadas no tratamento enzimático da polpa de *Cereus hildmannianus*, as enzimas (Pectinex Clear e Cellubrix) e a temperatura de incubação mostraram importância significativa para aumento do rendimento e diminuição da viscosidade da polpa, a um nível de 25 %. Com relação às interações, apenas a Pectinex Clear com a temperatura de incubação na viscosidade da polpa foi significativa. Os modelos puderam descrever os resultados, porém não podem ser usados para predição.

O modelo simplificado para ambas as respostas apresentou falta de ajuste maior que erro puro, apesar de terem fornecido valores aceitáveis dos coeficientes de determinação.

Possuindo a polpa uma mucilagem, na qual esses polissacarídeos são responsáveis pelo aumento da viscosidade, assim como a pectina é em outros frutos, influenciando no baixo rendimento do processo, pode-se concluir que a Pectinex Clear, mesmo sendo citada como uma enzima que atua em pectinas proporcionou a hidrólise dos polissacarídeos que formam o material estrutural da mucilagem presente na polpa, facilitando a remoção das sementes, aumentando assim o rendimento e diminuindo sua viscosidade.

5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASKAR, A., Enzymes in fruit juice processing. *Fruit Process*, v. 7, p. 273-276, 1998.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I.S.; BRUNS, R.E. Como fazer experimentos: Pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria. Campinas: UNICAMP, p. 401, 2002.

BAUMANN, J.W., Application of enzymes in fruit juice technology. In *Enzymes and Food Processing*, (G.G. Birch, N. Blakebrough, & K.J. Parker, eds.), London: Applied Science Publication, p. 129-147, 1981.

BOX, G.E.P.; HUNTER, H.G.; HUNTER, J.S. Statistics for experiments. New York: John Wiley Co., p.306-351: 501-539, 1978.

CALL., H. P.; WALTER, J.; EMEIS, C. C., Maceration activity of exo and endo poligalacturonase from *Candida macedoniensis*. *Journal of Food of Biochemistry*, v.9, p.325-348, 1985.

CAPANZANA, M. V., & BUCKLE, K. A., Optimization of germination conditions by response surface methodology of a high amylose rice (*Oryza sativa*) cultivar. *Lebensmittel-Wissenschaft und.-Technologie*, v. 30, p. 155–163, 1997.

CODNER, R. C., Pectinolytic and Cellulolytic enzymes in the microbial modification of plant tissue. *Journal of Applied and Bacteriology*, v.34, p.147-160, 1971.

GIOVANNI, M., Response surface methodology and product optimization. *Food Technology*, v. 37, p. 41–45, 1983.

JANSER, E. Enzymes applications for tropical fruits and citrus. *Fruit Process*, v 10, p. 388-393, 1997.

JAYANI, R.S.; SAXENA, S.; GUPTA R. Microbial pectinolytic enzymes: a review. *Process Biochemistry*, v. 40, p. 2931-2944, 2005.

LEE, W.C, YUSOF, S., HAMID, N.S.A., and BAHARIN, B.S., Optimizing conditions for enzymatic clarification of banana juice using response surface methodology (RSM). *Journal of Food Engineering*, v. 73, p. 55-63, 2006.

MC CLENDON, J. H.; SOMMERS, G. F., The Enzymatic of plants tissues, observations using a new method of measurement. *American Journal of Botany*, v. 47, p.1-7, 1960.

MCGARVIE, D., PAROLIS, P.H., Methylation analysis of the mucilage of *Opuntia ficus indica*. *Carbohydrate Research* v. 88, p. 305-314, 1981a.

MCGARVIE, D., PAROLIS, P.H., The acid-labile, peripheral chains of the mucilage of *Opuntia ficus indica*. *Carbohydrate Research* v. 94, p. 57-65, 1981b.

NOBEL, P., CAVELIER, J., ANDRADE, J.L., Mucilage in cacti: its apoplastic capacitance, associated solutes, and influence on tissue water relations. *Journal of Experimental Botany*, v. 43, p. 641-648, 1992.

RAMADAN, M.F.; MOERSEL, J.T., Impact of enzymatic treatment on chemical composition, physicochemical properties and radical scavenging activity of goldenberry (*Physalis peruviana* L.) juice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 87, p. 452-460, 2007.

STATSOFT. STATISTICA for Windows – Computer program manual. Tulsa: Statsoft, Inc., 1995.

TRACHTENBERG, S., MAYER, A.M., Composition and properties of *Opuntia ficus indica* mucilage. *Phytochemistry*, v. 20, p. 2665-2668, 1981b.

VIDAL, J.R.M.B.; GASPARETTO, C.A.; GRANDIN, A. Efeito da temperatura no comportamento reológico da poupa de manga. *Revista Ciências Exatas e Naturais*, v. 2, p. 69-76, 2000.

VIDAL, J.R.M.B.; GASPARETTO, C.A. Comportamento reológico da polpa de manga (*Mangífera indica* L) – efeito dos sólidos insolúveis. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v.20, 2000.

VIDAL-BEZERRA, J.R.M. Comportamento reológico da polpa de manga (*Mangífera indica* LKeitt). Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, p. 159, 2000.

ZETELAKI-HORVATH, K.; GATAI, K., Application of endo-poligalacturonase to vegetables and fruits, *Acta Alimentaria*, v. 6, p.355-376, 1977.

WONG, P. K., YUSOF, S., MOHD GHAZALI, H., & CHE MAN, Y., Optimization of hot water extraction of Roselle juice by using response surface methodology: a comparative study with other extraction methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 83, p. 1273–1278, 2003.

YUSOF, S., TALIB, Z., MOHAMED, S., & BAKAR, A., Use of response surface methodology in the development of guava concentrate. *Journal of Science and Food Agricultural*, v. 43, p. 173–186, 1988.

O presente trabalho mostrou que *Cereus hildmannianus* K. Schum é uma fruta de cactus, com uma polpa mucilaginosa, com alto teor de fibras, cálcio e potássio, e, portanto, uma fonte alimentícia a ser explorada como alternativa alimentar ou fonte de renda complementar para a agricultura familiar. O rendimento bruto de polpa encontrado se encontra em valores passíveis de permitir a comercialização deste fruto comparativamente a outras frutas do mesmo tipo já encontradas no mercado.

A avaliação do comportamento reológico com a temperatura mostra que a descrição pode ser adequadamente feita por equação do tipo Arrhenius. Além disso, a alta viscosidade da polpa e comportamento pseudoplástico exige que a mesma seja submetida a tratamentos específicos para que possa ser manipulada industrialmente. Tratamentos com Pectinex clear e Cellubrix permitiram a diminuição da viscosidade, porém não modificaram o comportamento não newtoniano, o qual pode ser descrito por diversos modelos, sendo o melhor deles o de Mizhari-Berk.