

**UNIVERSIDADE DA REGIÃO DE JOINVILLE
MESTRADO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS**

JAQUELINE PAMPLONA CORREA

**EFEITO DO PRÉ-TRATAMENTO TÉRMICO E ENZIMÁTICO DA CEBOLA SOBRE
A EXTRAÇÃO DE SUCO E INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E PRESSÃO
SOBRE A CONCENTRAÇÃO DO PRODUTO**

JOINVILLE

2016

JAQUELINE PAMPLONA CORREA

**EFEITO DO PRÉ-TRATAMENTO TÉRMICO E ENZIMÁTICO DA CEBOLA SOBRE
A EXTRAÇÃO DE SUCO E INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E PRESSÃO
SOBRE A CONCENTRAÇÃO DO PRODUTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Engenharia de Processos da Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos.

Prof. Orientador: Ozair Souza

JOINVILLE

2016

Catálogo na publicação pela Biblioteca Universitária da Univille

C824e Correa, Jaqueline Pamplona
Efeito do pré-tratamento térmico e enzimático da cebola sobre a extração de suco e influência da temperatura e pressão sobre a concentração do produto/
Jaqueline Pamplona Correa; orientador Dr. Ozair Souza – Joinville: UNIVILLE, 2016.

76 f. : il. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos
– Universidade da Região de Joinville)

1. Alimentos. – Processos. 2. Cebola. – Extração de suco. 3. Hidrólise enzimática. I. Souza, Ozair (orient.). II. Título.

CDD 664.02

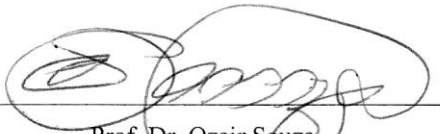
Termo de Aprovação

“Efeito do Pré-tratamento Térmico e Enzimático da Cebola sobre a Extração do Suco e Influência da Temperatura e Pressão sobre a Concentração do Produto”

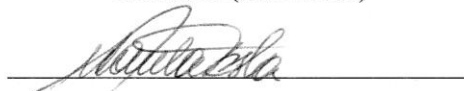
por

Jaqueline Pamplona Corrêa

Dissertação julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos, área de concentração Engenharia de Processos e Tecnologias Limpas e aprovada em sua forma final pelo Programa de Mestrado em Engenharia de Processos.



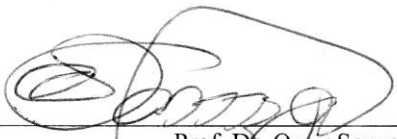
Prof. Dr. Ozair Souza
Orientador (UNIVILLE)



Profa. Dra. Ana Paula Testa Pezzin

Coordenadora do Programa de Mestrado em Engenharia de Processos (UNIVILLE)

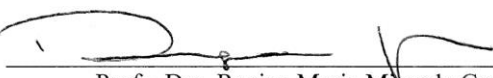
Banca Examinadora:



Prof. Dr. Ozair Souza
Orientador (UNIVILLE)



Profa. Dra. Lisiane Fernandes de Carvalho
(FURB)



Profa. Dra. Regina Maria Miranda Gern
(UNIVILLE)

Joinville, 29 de março de 2016.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores da Univille, Professor Orientador Ozair Souza, as Professoras Noeli Sellin e Regina Maria Miranda Gern, pelos ensinamentos e apoio durante a realização deste trabalho, assim como demais professores do curso de Mestrado em Engenharia de Processos.

A empresa parceira, por ter permitido a realização deste trabalho.

Ao Programa Uniedu de Pós Graduação, pelo apoio financeiro.

A mestranda Giordana O. S. Pereira e as estagiárias Bruna C. dos Santos e Nicole F. Souza pelo trabalho desenvolvido e dedicação.

Aos colegas da IX turma do curso de Mestrado em Engenharia de Processos, pelas experiências compartilhadas durante o período de realização do mestrado.

Agradeço a minha família, em especial minha mãe Célia, que me apoia e incentiva a alcançar novos objetivos.

Ao meu amor Lucas, pela paciência e carinho.

RESUMO

A cebola (*Allium cepa* L.) é um vegetal cultivado no mundo inteiro, sendo que o Brasil, de acordo com dados da FAO (2015), na safra de 2013 foi o nono maior produtor do mundo (1,9% do total). Esse vegetal é preferencialmente consumido *in natura* como tempero para alimentos. A produção de suco de cebola concentrado tem sido empregada por uma indústria de alimentos, onde é aplicado na fabricação de temperos e condimentos. No entanto, o processo de produção atual resulta em baixo rendimento e alta geração de resíduos sólidos e efluente industrial. O objetivo deste trabalho foi estudar a influência de diferentes tipos de pré-tratamento (enzimático e explosão a vapor), em diferentes condições operacionais, sobre o rendimento e eficiência da extração do suco de cebola. A partir do suco extraído, verificou-se a influência de diferentes temperaturas (50, 60 e 70 °C) e pressões de vácuo (570, 630, 690 mmHg) sobre a velocidade de sua concentração e realizou-se a análise sensorial do produto. O pré-tratamento enzimático foi realizado em diferentes temperaturas (30 a 60 °C), diferentes concentrações de enzimas comerciais (Pectinex® Ultra AFP: 0 a 2,5 ml/kg, Celluclast® 1.5L: 0 a 5,0 ml/kg) e diferentes tempos de reação (30 a 180 min). O efeito de cada uma dessas variáveis foi quantificado a partir do desenvolvimento de dois planejamentos fatoriais completos 2⁴ com ponto central, totalizando 34 ensaios. Os maiores valores médios de rendimento (83,8%) e eficiência (90,8%) em suco extraído foram obtidos com o pré-tratamento enzimático empregando as maiores concentrações de enzimas, temperatura 30 °C e tempo de reação 180 min. O pré-tratamento por explosão a vapor (160 °C por 5 min) foi realizado com a cebola e o seu bagaço, ambos com e sem cascas do vegetal. O maior rendimento (76,3%) e eficiência (84,6%) na extração do suco foi obtido com a cebola com cascas. O suco extraído nas condições operacionais de maior rendimento nos diferentes tipos de pré-tratamentos foram comparadas com o suco padrão, produzido pela empresa. Apesar dos sucos de cebola pré-tratadas não apresentarem o perfil sensorial desejado pela empresa, com o pré-tratamento foi possível obter rendimento de até 58,3 pontos percentuais na sua extração, em relação ao processo sem nenhum pré-tratamento. Na etapa de concentração do suco sem pré-tratamento, verificou-se que a maior velocidade de evaporação de líquido foi de 222,4 g/h e foi alcançada ao concentrar o suco a 70 °C e 670 mmHg de vácuo.

Palavras-chave: Cebola; concentração de suco; explosão de vapor; extração de suco; hidrólise enzimática,

ABSTRACT

Onion (*Allium cepa* Lineo) is a vegetable cultivated all around the world, and according to FAO (2015), in 2013 Brazil was the ninth largest producer of onion in the world (1,9% of total). This vegetable is preferentially consumed *in natura*, as spice for food. The production of concentrated onion juice, have been produced for an food industry, and it is used for the production of spices and condiments. However, the process results in low yields and high quantities of solid wastes and industrial effluent. The aim of this work was study the influence of different kinds of pre-treatment (enzymatic and steam explosion), in diferent operacional conditions, on yield and efficiency of onion juice extraction. From the juice extracted, it was verified the influence of diferent temperatures (50, 60 e 70 °C) and vacuo pressure (570, 630,690 mmHg) on the speed of concentration and it was made the sensorial analisys of the product.The enzymatic pre-treatment was perform with different temperatures (30 – 60 °C), concentration of commercial enzymes Pectinex® Ultra AFP (0- 2.5 ml/kg) and Celluclast® 1.5L (0-5,0 ml/kg) and reactions time (30 – 180 min). The effect of each variable was quantified as the development of two full factorial design 2^4 with central point, a total of 34 experiments. The higher average yield (83.8%) and efficiency (90.8%) of juice extracted was perform with the use of higher enzymes concentrations, temperature of 30 °C, and reaction time of 180 minutes. The pre-treatment with steam explosion (160 °C for 5 min) was perform with the onion and the onion bagasse, both with and without peels. The maximum yield (76.3%) and efficiency (84.6%) on the juice extraction was obtained with the onion with peels. The extracted juice in the operacional conditions of maximum yield in both pre-treatments were compared to the standard juice, produced by the company. In spite of the onion juices pré-treated did not reached the sensory profile of juice desired by the company, with the pré-treatment was possible obtain yield until 58.3 percentual points in the extraction, in relation the process without pré-treatment. In the juice concentration without pre-treatment, it was found that the largest evaporation rate was 222.4 g/h and it was reached using 70 °C and 670 mmHg of vacuo pressure.

Key-words: Onion; juice concentration; steam explosion; juice extraction; enzymatic hydrolysis

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Produção de cebola de 2012 em SC por microrregião.....	17
FIGURA 2 – Diagrama de blocos industrial do processo de obtenção de suco de cebola concentrado.....	18
FIGURA 3 – Diagrama esquemático das atividades realizadas durante o desenvolvimento deste trabalho.....	25
FIGURA 4 – Etapas operacionais utilizadas no pré-tratamento enzimático da cebola em escala laboratorial.....	29
FIGURA 5 – Reator de explosão a vapor, IPT SP.....	32
FIGURA 6 – Rota-evaporador.....	33
FIGURA 7 – Apresentação das amostras para os avaliadores no teste triangular.....	35
FIGURA 8 – Recipientes utilizados para micro extração por fase sólida das amostras de suco padrão e enzimado.....	37
FIGURA 9 – Comparação entre o suco de cebola extraído e bagaço resultante dos Ensaios E03 (A e B) e E15 (C e D).....	43
figura 10 – Superfície de resposta da influência da concentração de enzimas sobre o rendimento do processo de extração de suco de cebola referente ao delineamento 1.....	44
figura 11 – Superfície de resposta da influência da concentração de enzimas sobre o rendimento do processo de extração de suco de cebola referente ao delineamento 2.....	48
FIGURA 12 – Superfície de resposta da influência do tempo de reação e da temperatura sobre o rendimento do processo de extração de suco de cebola referente ao delineamento 2.....	49
FIGURA 13 – Superfície de resposta da influência da concentração de pectinase e tempo de reação sobre o rendimento do processo de extração de suco de cebola referente ao delineamento 2.....	49
FIGURA 14 – Superfície de resposta da influência da concentração de pectinase e da temperatura sobre o rendimento do processo de extração de suco de cebola referente ao delineamento 2.....	50

FIGURA 15 – Resultado da análise descritiva quantitativa (ADQ) para as amostras de suco de cebola concentrado padrão e teste (E33).....	52
FIGURA 16 - Diagrama de blocos com balanço de massa do processo padrão industrial.....	60
FIGURA 17 – Diagrama de blocos com balanço de massa do processo padrão em escala laboratorial.....	62
FIGURA 18 – Diagrama de blocos com balanço de massa do processo com pré-tratamento enzimático em escala laboratorial (E33).....	63

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Área plantada, produção e rendimentos dos principais estados brasileiros produtores de cebola – Safras 2012/14.....	16
TABELA 2 – Delineamento experimental 1 do pré-tratamento da cebola, variando-se as concentrações de pectinase, celulase, temperatura e tempo de reação.....	30
TABELA 3 – Delineamento experimental 2 do pré-tratamento da cebola, variando-se as concentrações de pectinase, celulase, temperatura e tempo de reação.....	30
TABELA 4 – Planejamento fatorial 2^4 com ponto intermediário dos ensaios de pré-tratamento enzimático da cebola referente aos delineamentos experimentais 1 e 2.....	31
TABELA 5 – Temperatura (T) e pressão manométrica de vácuo (P vácuo) utilizados nos ensaios de concentração do suco de cebola.....	34
TABELA 6 – Atributos para análise descritiva quantitativa (ADQ) do suco de cebola.....	36
TABELA 7 – Caracterização da cebola e do seu bagaço.....	40
TABELA 8 – Médias e respectivos desvios padrões de rendimento e eficiência da extração de suco de cebola pré-tratada com enzimas: delineamento 1.....	41
TABELA 9 – Análise dos efeitos estimados do delineamento experimental 1.....	42
TABELA 10 – Médias e respectivos desvios padrões de rendimento e eficiência da extração de suco de cebola pré-tratada com enzimas: delineamento 2.....	46
TABELA 11 – Análise dos efeitos estimados do delineamento experimental 2.....	47
TABELA 12 – Componentes identificados por SPME na amostra padrão de suco de cebola e no teste (E33).....	53
TABELA 13 – Rendimento e eficiência do processo de pré-tratamento em reator de explosão a vapor.....	55
TABELA 14 – Valores médios e desvios padrões das taxas de evaporação obtidas nos ensaios de concentração do suco de cebola em diferentes condições operacionais.....	57
TABELA 15 – Teste discriminativo referente a amostra C7 obtida nos ensaios de concentração do suco.....	58
TABELA 16 – Dados safra de cebola 2013/2014.....	59
TABELA 17 – Dados safra de cebola 2015.....	59

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS.....	14
1.1 OBJETIVO GERAL.....	14
1.2 OBEJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	15
3.1 CEBOLA.....	15
3.2 CENÁRIO NACIONAL E REGIONAL DA PRODUÇÃO DE CEBOLA.....	16
3.3 PRODUÇÃO DE SUCO DE CEBOLA CONCENTRADO.....	17
3.4 PRÉ-TRATAMENTOS PARA EXTRAÇÃO DO SUCO DE CEBOLA.....	19
3.4.1 Pré-tratamento enzimático.....	20
3.4.2 Pré-tratamento de explosão a vapor.....	22
3.5 CONCENTRAÇÃO DO SUCO.....	23
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA CEBOLA E DO SEU BAGAÇO	26
4.1.1 Determinação do teor de umidade e sólidos totais.....	27
4.2 PRÉ-TRATAMENTOS DA CEBOLA.....	28
4.2.1 Pré-tratamento enzimático.....	28
4.2.2 Pré-tratamento de explosão a vapor.....	31
4.3 ENSAIOS DE CONCENTRAÇÃO DO SUCO.....	33
4.4 ANÁLISE SENSORIAL DO SUCO DE CEBOLA CONCENTRADO.....	34
4.4.1 Teste triangular.....	35
4.4.2 Análise descritiva quantitativa (ADQ).....	36
4.5 ANÁLISE CROMATOGRÁFICA DO SUCO DE CEBOLA CONCENTRADO.....	37
4.6 BALANÇO DE MASSA.....	38
4.7 CÁLCULO DO RENDIMENTO E EFICIÊNCIA DO PROCESSO.....	39
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	40
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA CEBOLA E DO SEU BAGAÇO.....	40
5.2 PRÉ-TRATAMENTO ENZIMÁTICO DA CEBOLA.....	41
5.2.1 Delineamento experimental 1.....	41
5.2.1.1 Análise Sensorial.....	45

5.2.2 Delineamento experimental 2.....	45
5.2.2.1 Análise Sensorial.....	51
5.2.2.2 ADQ do suco de cebola padrão e do suco pré-tratado com enzimas.....	52
5.2.2.3 Análise cromatográfica por SPME do suco de cebola padrão e do suco pré-tratado com enzimas.....	53
5.2.3 Quantificação do efeito das variáveis operacionais sobre R.....	54
5.3 PRÉ-TRATAMENTO DE EXPLOSÃO A VAPOR.....	54
5.3.1 Análise Sensorial.....	55
5.4 CONCENTRAÇÃO DO SUCO DE CEBOLA.....	56
5.4.1 Análise Sensorial.....	58
5.5 BALANÇO DE MASSA.....	58
5.5.1 Histórico da produção de suco concentrado.....	58
5.5.2 Balanço de massa do cenário atual da indústria.....	60
5.5.3 Balanço de massa do processo com pré-tratamento e enzimático.....	62
CONCLUSÃO.....	65
REFERÊNCIAS.....	67
ANEXOS.....	72
ANEXO A – SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DA INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE ENZIMAS SOBRE A EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE EXTRAÇÃO DE SUCO DE CEBOLA REFERENTE AO DELINEAMENTO EXPERIMENTAL 1.....	73
ANEXO B – EXPERIMENTO E0 – RENDIMENTO E EFICIÊNCIA DE EXTRAÇÃO DO SUCO SEM PRÉ-TRATAMENTO.....	74
ANEXO C – VALORES DAS MÉDIAS DOS ATRIBUTOS PARA AS AMOSTRAS DE PADRÃO E TESTE (ENSAIO E 33) – ANÁLISE ADQ.....	75
ANEXO D – CROMATOGRAMA DOS SUCOS DE CEBOLA PADRÃO (PRETO) E TESTE E33 (VERMELHO).....	76

1 INTRODUÇÃO

A cebola (*Allium cepa*, Lineu) é um vegetal muito utilizado na culinária de várias culturas e ao longo dos anos tem sido alvo de diversos estudos, principalmente devido às suas propriedades terapêuticas.

De acordo com Ly et al. (2005), devido aos compostos sulfúricos e flavonoides em sua composição a cebola está ligada à redução do risco de desenvolvimento de câncer, inibição de tumores e células microbianas, protege contra doenças cardiovasculares e dos radicais livres.

As cebolas são normalmente comercializadas *in natura*, em pasta, flocos ou pó. A produção de suco de cebola concentrado, matéria-prima empregada na indústria de condimentos e de alimentos processados, tem sido um desafio, diante das atuais preocupações dos empresários em relação à sustentabilidade da agroindústria. Cada vez mais se almeja processos sustentáveis a fim de obter produtos de maior qualidade com menor geração de efluentes e resíduos.

O suco de cebola concentrado é atualmente produzido por uma indústria de alimentos localizada em Santa Catarina. O processo empregado pela empresa, é resumido pelas etapas de descascamento do bulbo, lavagem, desinfecção, moagem, prensagem, centrifugação, pasteurização, concentração do suco e envase. Na etapa de prensagem, tem-se alta geração de resíduos orgânicos, chamado de bagaço da cebola.

Em 2015, a empresa processou, nos meses de fevereiro, março e abril, cerca de 332 ton de cebola, obtendo rendimento de suco concentrado de, aproximadamente, 4,07% (massa de concentrado/massa úmida de cebola). O rendimento do processo expresso na unidade de massa de suco extraído (suco não-concentrado) por unidade de massa de cebola úmida processada, foi cerca de 71,3%. No mesmo ano a empresa gerou aproximadamente 80 toneladas de bagaço de cebola e consumiu cerca de 6.600 m³ de água durante o processamento.

Com o objetivo de promover melhorias nesse processo foi avaliada a influência de diferentes pré-tratamentos da cebola sobre o rendimento e eficiência em suco, e as melhores condições encontradas foram avaliadas

sensorialmente, após concentração do suco. Além disto, foi estabelecido a influência da temperatura e pressão sobre a velocidade de concentração do suco, sendo que a melhor condição também foi submetida à análise sensorial em comparação a amostra padrão de suco de cebola concentrado, que é produzido pela empresa sem nenhum pré-tratamento. Realizou-se também balanço de massa do processo padrão empregado pela empresa e fez-se balanço de massa do processo padrão em escala laboratorial e da melhor condição de pré-tratamento térmico e enzimático.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Estudar a influência de diferentes condições operacionais de processo sobre o rendimento e eficiência da extração e concentração do suco de cebola, e sobre a sua qualidade sensorial.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Conhecer o atual processo industrial de extração e concentração do suco de cebola (processo padrão) e estabelecer o balanço de massa, seu rendimento e eficiência.
2. Avaliar a influência dos pré-tratamentos enzimático e físico (explosão a vapor) sobre o rendimento e eficiência do processo de extração do suco da cebola.
3. Verificar a influência do emprego da evaporação a vácuo em diferentes temperaturas e pressões sobre a velocidade de concentração do suco de cebola concentrado sem nenhum pré-tratamento.
4. Realizar análise sensorial do suco concentrado das melhores condições de pré-tratamentos e dos ensaios de concentração sem pré-tratamento, a fim de se comparar com o suco padrão produzido pela empresa sem nenhum tipo de pré-tratamento.
5. Realizar o balanço de massa do processo de produção de suco concentrado de cebola pré-tratada e comparar com o industrial, na mesma escala de produção.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 CEBOLA

A cebola é um vegetal da espécie *Allium cepa L.* originária das regiões do oeste asiático, sendo hoje cultivada no mundo todo, em regiões de clima moderado (BREU, 1996).

Sua composição é complexa. Seus principais componentes são: frutose, sacarose, glucose, frutooligosacarídeos, flavonóides e compostos sulfúricos (ROLDÁN et al., 2008; SALAK et al., 2013). Seu aroma e sabor são caracterizados pela grande variedade de componentes sulfurados presentes em sua composição (MONDY et al., 2002).

As frutas e os vegetais são ricos em flavonóides, sendo a cebola um dos vegetais que apresenta maior teor do composto quercetina e seus derivados (ROLDÁN et al., 2008). Os flavonóides são extremamente benéficos à saúde, devido a variedade de seus efeitos farmacológicos. Podem auxiliar na redução do risco de câncer, eliminação de radicais livres, inibição do crescimento de tumores e células microbianas indesejadas, proteção contra doenças cardiovasculares, obesidade e diabetes (LY et al., 2005; LANZOTTI, 2006; SØLTØFT et al., 2009).

De acordo com Mankarios et al. (1980), a parede celular da cebola é constituída principalmente por pectina, hemicelulose e celulose. Nesse trabalho, os autores encontraram valores da ordem de 42,4% para pectina, 36,6% para hemicelulose e 21% para celulose. Não foi especificado o tipo de cebola analisada.

3.2 CENÁRIO NACIONAL E REGIONAL DA PRODUÇÃO DE CEBOLA

A cebola é uma hortaliça produzida em praticamente todos os países. De acordo com a Tabela 1, estima-se que em 2014 o Brasil produziu 1,6 milhão de toneladas de cebola, em uma área de aproximadamente 57,3 mil hectares com rendimento médio de 27.994 kg/ha (EPAGRI/ CEPA, 2015).

Tabela 1: Área Plantada, produção e rendimentos dos principais estados brasileiros produtores de cebola- Safras 2012/2014.

Estado	Área plantada (ha)			Produção (t)			Rendimento (kg/ha)		
	2012	2013	2014 ⁽¹⁾	2012	2013	2014 ⁽¹⁾	2012	2013	2014 ⁽¹⁾
Pernambuco	4.696	4.457	2.250	95.906	96.076	48.440	20.423	21.556	21.529
Bahia	7.474	4.958	9.273	217.352	112.858	323.120	29.081	22.763	34.845
Minas Gerais	2.746	3.145	3.109	145.455	172.461	171.485	52.970	54.837	55.158
São Paulo	6.710	5.371	5.350	238.300	190.268	178.751	35.514	35.425	33.411
Paraná	7.449	7.093	5.833	163.441	154.088	135.609	21.941	21.724	23.249
Santa Catarina	18.799	19.029	19.311	376.603	496.973	474.709	20.033	26.117	24.582
Rio Grande do Sul	10.622	9.963	9.795	207.089	159.735	171.195	19.496	16.033	17.478
Goiás	923	1.812	2.400	42.695	120.600	98.458	46.257	66.556	41.024
Outros Estados	1.512	1.574	-	32.181	35.870	-	21.284	22.789	-
Brasil (Total)	60.931	57.402	57.321	1.519.022	1.538.929	1.601.767	26.500	26.810	27.944

⁽¹⁾Dados sujeitos a modificações.

Fonte: Adaptado de IBGE, 2015.

Santa Catarina é líder no ranking nacional, sendo responsável por 30% da safra.

O relatório da EPAGRI/ CEPA (2015) destaca que a safra catarinense de cebola 2014/ 2015 foi bastante atípica, visto que foram colhidas 474,7 mil toneladas, o que representa um decréscimo na produção de 4,6% em relação ao ano anterior. Além disso, somente 330 mil toneladas foram ofertadas, sendo que as 144,7 mil toneladas restantes foram perdidas no processo de cura e armazenagem, devido aos problemas climáticos ocorridos durante o cultivo (mudanças bruscas de temperatura e alternância entre excesso de chuva e estiagem).

As microrregiões catarinenses onde se concentraram as maiores produções de cebola no ano de 2012 são mostradas na Figura 1.

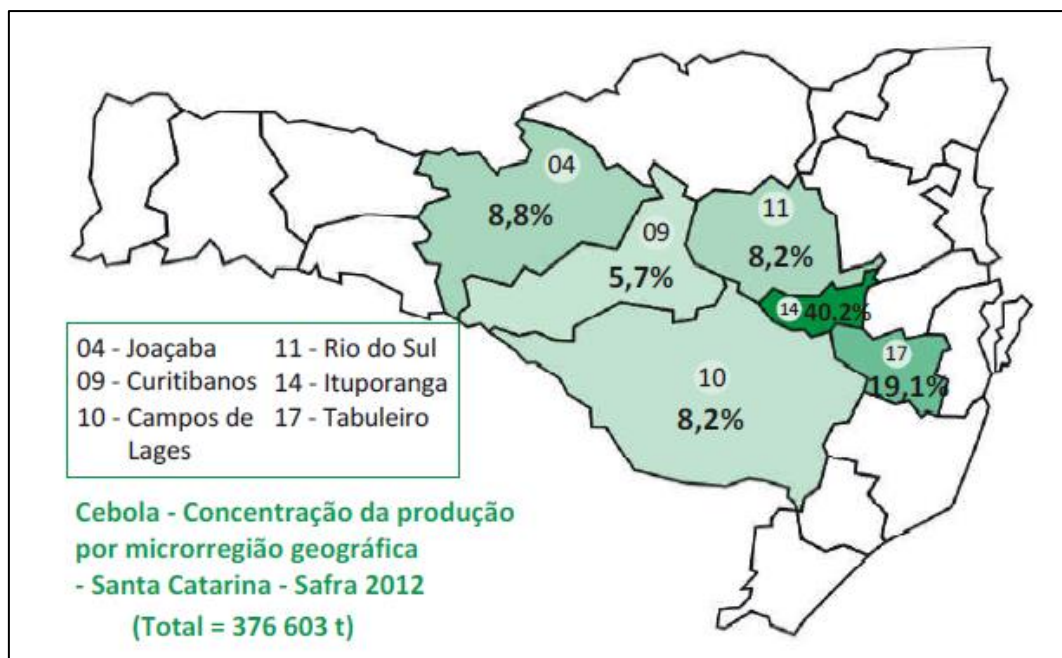


Figura 1: Produção de cebola em 2012 em SC por microrregião.

Fonte: CEPA/ EPAGRI, 2013.

Nota-se que Ituporanga, conhecida como a capital nacional da cebola, é responsável por mais de 40% da produção estadual, seguida por Tabuleiro com 19,1% e Joaçaba com 8,8%.

Segundo Costa e Resende (2007), o consumo *per capita* da cebola é pequeno, pois não é muito utilizada como alimento de consumo diário, mas sim, aplicada a condimentos, servindo como base em diversos temperos para variados produtos industrializados. Conforme os autores, existe grande interesse de uso deste vegetal pela indústria farmacêutica, devido aos inúmeros estudos que já comprovaram as propriedades benéficas da cebola à saúde.

3.3 PRODUÇÃO DE SUCO DE CEBOLA CONCENTRADO

O processo industrial de obtenção de suco de cebola, empregado pela empresa objeto de estudo deste trabalho, está apresentado na Figura 2 por

meio de um diagrama de blocos, contemplando as entradas e saídas de insumos, resíduos e produto.

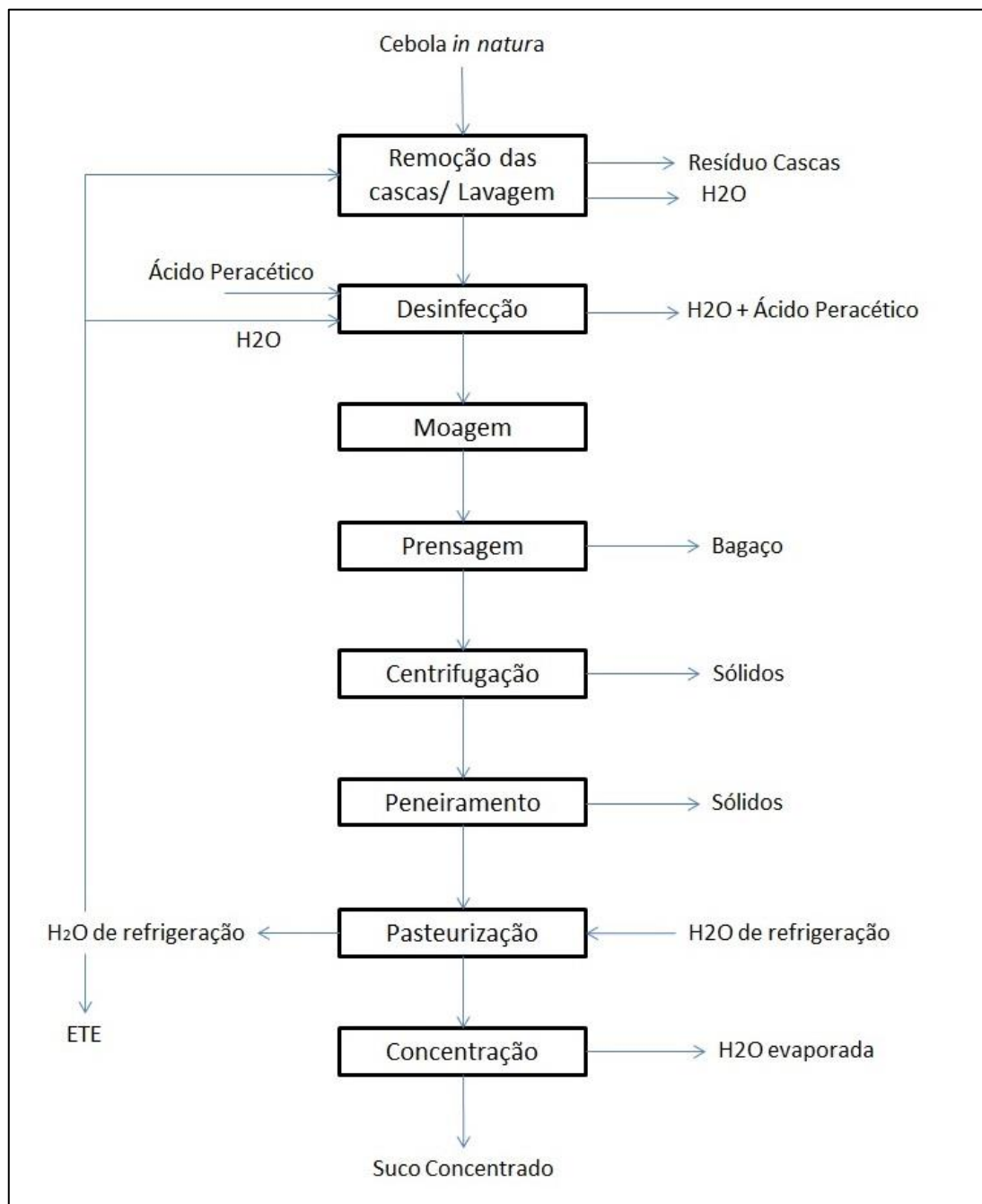


Figura 2: Diagrama de blocos industrial do processo de obtenção de suco de cebola concentrado.

Fonte: do Autor.

O processo de produção industrial de suco de cebola concentrado inicia-se com a alimentação das cebolas *in natura* em um ralador com alimentação de água. O ralador remove a casca das cebolas e demais sujidades por meio de lavagem com água. Os resíduos e a água usada seguem para uma prensa

separadora e a fase líquida é encaminhada para a estação de tratamento de efluentes. Após o descasque, as cebolas seguem para um tanque de solução de ácido peracético diluído para desinfecção.

Em seguida, as cebolas são moídas em um moinho de facas e conduzidas à prensa para extração do suco. Essa extração é feita por prensagem mecânica em prensa helicoidal. Nesta etapa são gerados resíduos orgânicos (bagaço de cebola), que é destinado à um aterro industrial.

O suco extraído das cebolas é centrifugado em uma centrífuga de pratos para clarificação e então, submetido ao tratamento térmico de pasteurização (aquecimento a 102 ± 2 °C e resfriamento a 35 ± 2 °C) em trocador de calor de placas, a fim de eliminar eventuais micro-organismos contaminantes do suco.

A última etapa da produção é a concentração do suco, a qual ocorre em um evaporador a vácuo de um único efeito, tipo filme ascendente, a temperatura de 60 °C. O suco entra no equipamento com densidade em média entre 6 e 7 °Brix e é concentrado até 79 - 82 °Brix.

3.4 PRÉ-TRATAMENTOS PARA EXTRAÇÃO DO SUCO DE CEBOLA

Não foram encontradas publicações referente ao pré-tratamento da cebola para extração de seu suco, apenas de frutas e de outros vegetais.

Dentre os principais tipos de pré-tratamentos estudados para extração de sucos, destacam-se os trabalhos que empregaram as técnicas de congelamento/descongelamento (CHUNG et al., 2013; NADULSKI et al., 2015), sonificação (JABBAR et al., 2014), aquecimento (PRAPORSCIC et al., 2006; CENDRES et al., 2012) e tratamento enzimático (WILL e DIETRICH, 2013).

As principais enzimas empregadas no pré-tratamento de frutas e de vegetais com o objetivo de extrair o seu suco têm sido pectinases e celulasas (UNOEJO e PASTORE, 2007; LAAKSONEN et al., 2013; WILL e DIETRICH, 2013; SANTI, BERGER e DA SILVA, 2014).

3.4.1 Pré-tratamento enzimático

O pré-tratamento por hidrólise enzimática mostra-se muito eficaz em relação ao rendimento de suco obtido, proporcionando um melhor aproveitamento da matéria-prima, aumento de eficiência dos processos, consumo energético e diminui os desperdícios. Para se obter os resultados desejados é necessário garantir condições de pH, temperatura e tempo de atuação (FARIÑA et al., 2007). De acordo com os autores, a escolha das enzimas corretas para tratamentos de frutas e vegetais é muito importante, visto que algumas enzimas podem causar alterações indesejáveis na cor, sabor, dentre outras propriedades. O uso de enzimas no início do processamento da fruta auxilia no aumento do rendimento do mesmo, pois facilita o rompimento da parede celular, que é a principal barreira para obtenção de sucos (PENHA, 2012).

As substâncias pécticas são responsáveis pela consistência, turbidez e aparência dos sucos de fruta, sendo que a sua presença aumenta a viscosidade do suco, dificultando a filtração e concentração do mesmo. Aplicação de enzimas pectinolíticas em purês de frutas e vegetais causam a degradação da pectina e de outros componentes de alto peso molecular, que conseqüentemente ocasionam a redução da viscosidade, aumento do rendimento de suco, redução da turbidez e redução do tempo de filtração (UNOEJO e PASTORE, 2007).

A hidrólise da pectina por pectinases, resulta principalmente em moléculas de ácido galacturônico (WANG et al., 2013) e em menores concentrações, moléculas de L-ramnose, arabinose, galactose e xilose (UNOEJO e PASTORE, 2007).

O pré-tratamento utilizando pectinases tem sido empregado com diferentes tipos de frutas, como por exemplo morango, framboesa, amora, purê de maçã, banana, suco de uva e vinhos (PASHA, ANURADHA e SUBBARAO, 2013).

Lima et al. (2015), aplicaram a pectinase na obtenção de suco de uva. Em seu estudo variaram a temperatura de reação entre 50 e 60 °C, com dosagem enzimática de 1,5 ml/kg e 3,0 ml/kg. Para comparar os rendimentos

obtidos, realizaram a extração sem utilização de enzima. De acordo com os resultados obtidos, foi constatado que a temperatura não influenciou no rendimento do suco, porém a utilização da pectinase promoveu um aumento de rendimento de 59% (sem enzima) para 65% ao empregar 3 ml/kg de enzima.

Laaksonen et al. (2013), realizaram um estudo com cinco cultivares de groselhas, e compararam a extração do suco de groselha convencional com a extração após pré tratamento enzimático com a enzima Pectinase 714L com concentração de 0,15 ml/kg. Manteve-se a temperatura em 46 ± 1 °C por 4 horas e em seguida foi realizada a centrifugação para separação do suco. A utilização de enzima nas diferentes groselhas gerou aumento de rendimento em torno de 10 a 22 pontos percentuais em comparação à extração do suco sem o uso de enzimas sendo que o maior rendimento obtido foi de $77 \pm 2\%$.

Outros tipos de enzimas muito empregadas na indústria química e de alimentos são as celulasas, as quais promovem a hidrólise de materiais celulósicos liberando açúcares, principalmente glicose (ARAÚJO, et al., 2013). Os autores afirmam que essas enzimas são um complexo enzimático formado por principalmente três grupos de enzimas: endoglucanases, exoglucanases e β -glucosidases. Elas se dividem de acordo com o local de atuação, sendo que as endoglucanases atuam na região interna da celulose; as exoglucanases atuam na região externa (pontas redutoras e não redutoras); e as β -glucosidases promovem a liberação da glicose a partir da celobiose.

As celulasas são biocatalisadores altamente específicos que atuam em sinergia para a liberação de açúcares, dos quais a glicose é o que desperta maior interesse industrial. Na indústria de alimentos essas enzimas são utilizadas em conjunto com pectinases e hemicelulasas, para extração de sucos de frutas e óleos de sementes (ALVARENGA, 2014).

Pectinases combinadas com outras enzimas, como por exemplo celulasas e hemicelulasas, podem aumentar ainda mais o rendimento da extração de sucos e melhorar o processamento de frutas e vegetais, sem causar grande impacto nos custos de produção. Estas enzimas são utilizadas para macerar a polpa até a liquefação parcial ou total da fruta/vegetal, diminuindo assim o tempo de processamento e melhorando a extração dos componentes (SANTI, BERGER e DA SILVA, 2014).

Will e Dietrich (2013), estudaram a extração do suco de ruibarbo (*Rheum rhabarbarum*), um vegetal comestível muito utilizado na Grã-Bretanha como aditivo de panificação, iogurtes e também como planta medicinal. Na extração do suco sem uso de enzimas, os autores alcançaram rendimento máximo de 88,4%. Aplicando as enzimas Pectinex APF-L (0,2 ml/kg) e Celluclast 1.5L (0,1 ml/kg) combinadas, na temperatura de 20 °C, durante 2 h, esse parâmetro subiu para 92,4%. Com o aumento da temperatura para 50 °C e redução do tempo reacional em 1 h, a melhor condição encontrada foi aplicação da enzima pectinase isolada (0,2 ml/kg), a qual proporcionou rendimento de 93,3%.

3.4.2 Pré-tratamento de explosão a vapor

O uso da técnica de explosão a vapor em reator químico no pré-tratamento da cebola visando a extração de suco é inédito.

O pré-tratamento por explosão a vapor é um método físico-químico que permite a cisão da estrutura celulósica e pode ser realizado com presença ou não de catalisador, sendo que os processos que não utilizam catalisador são denominados de auto hidrólise (JACQUET et al., 2011; PITARELO et al., 2012).

O equipamento é constituído basicamente por três partes: o gerador de vapor, o reator propriamente dito (vaso cilíndrico vertical protegido por uma camisa externa de aço inoxidável) e o ciclone de descarga.

O processo convencional é constituído por duas etapas. Na primeira etapa, o material é submetido ao contato com vapor à alta pressão e temperatura por um certo tempo de residência, ocorrendo a cisão das ligações químicas. Em seguida ocorre uma instantânea descompressão do reator, até a pressão ambiente e em consequência disso, o material é desfibrado, sendo reduzido a partículas menores (PITARELO et al., 2012; SUI e CHEN, 2014).

De acordo com Jacquet et al. (2011), que estudaram a estabilidade térmica de fibras de celulose utilizando a explosão a vapor, a temperatura de operação normalmente é entre 200 e 280 °C, com tempo de residência de 2 a

10 minutos, pois são nestas condições que a degradação térmica da celulose ocorre.

Noda et al. (2013), fizeram experimentos com uso do reator de explosão a vapor para obtenção de extrato de alho, variando a pressão de 10 até 45 MPa, a temperatura de 183 a 258 °C e tempo de residência no reator, de 1 a 10 minutos. Os autores verificaram a influência dos parâmetros de processo no aumento da atividade antioxidante do produto. Os autores concluíram que a maior atividade antioxidante foi obtida à pressão de 45 MPa, por 5 minutos. Entretanto, o maior teor de compostos fenólicos ocorreu nos extratos tratados com pressão de 30 MPa e 5 minutos de reação.

3.5 CONCENTRAÇÃO DO SUCO

Frutas e vegetais possuem alto teor de água em sua composição, desta forma, a concentração dos sucos é interessante economicamente, devido ao menor custo com embalagens, transporte e armazenamento. Além disso, os sucos concentrados apresentam maior estabilidade, apresentando uma alta resistência contra a deterioração microbiológica e química, devido a redução da atividade de água do produto (ONSEKIZOGLU, BAHCECI e ACAR, 2010).

De acordo com Gava, da Silva e Frias (2008), a atividade de água (Aa) é definida como a relação entre a pressão de vapor de uma solução ou alimento (p) e a pressão de vapor da água pura (p_0), na mesma temperatura.

Segundo Marcinkowski (2006), a água nos alimentos está presente sob duas formas, água livre e água ligada, sendo que a soma destas duas resulta no teor de umidade dos alimentos. A água ligada representa pequena fração do teor de umidade e ela não pode ser removida nem utilizada em reações químicas, já a água livre está fracamente aderida ao soluto e está disponível para que ocorram as reações físicas, químicas e microbiológicas, sendo então a principal responsável pela deterioração do produto.

Existem diversas técnicas para a concentração de sucos que são utilizadas, como por exemplo concentração a vácuo (MASKAN, 2006),

destilação por membranas (REKTOR, VATAI e BÉKÁSSY-MOLNÁR, 2005), crioconcentração (PETZOLD et al., 2015), dentre outras.

A concentração por congelamento preserva os voláteis durante o processo de remoção de água, porém este processo requer alto consumo energético. Outra limitação desta técnica se refere a concentração máxima que se pode obter, em torno de 50 °Brix (CASSANO, JIAO e DRIOLI, 2004).

De acordo com Maskan (2006), a utilização de membranas vem sendo a mais explorada e promissora. Porém, as desvantagens desta técnica são o alto custo de operação e para alguns casos não é possível alcançar a concentração de sólidos que é alcançada com a evaporação convencional, devido às limitações de pressão.

A evaporação é uma operação unitária que tem por objetivo a concentração de um soluto, por meio da evaporação do solvente, aumentando desta forma a quantidade de sólidos na solução (GAVA, DA SILVA e FRIAS, 2008).

Para a concentração de produtos alimentícios, é muito importante que o processo de evaporação seja realizado à baixa temperatura, com tempo de residência curto, a fim de evitar a degradação térmica dos nutrientes, bem como evitar a alteração das propriedades sensoriais do produto final (SANGRAME et al., 2000).

A evaporação a vácuo, comparada à evaporação convencional, torna-se uma alternativa interessante, pois permite a redução do consumo de energia da evaporação, principalmente quando se opera com baixas pressões absolutas (GUTIÉRREZ et al., 2010), o que implica em menor custo de operação.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Para conhecer as condições operacionais atuais utilizadas pela empresa na produção do concentrado de suco de cebola e realizar os ensaios laboratoriais visando contribuir para o aumento do rendimento do processo em escala industrial, o presente trabalho foi estruturado em sete etapas principais, conforme diagrama esquemático mostrado na Figura 3.

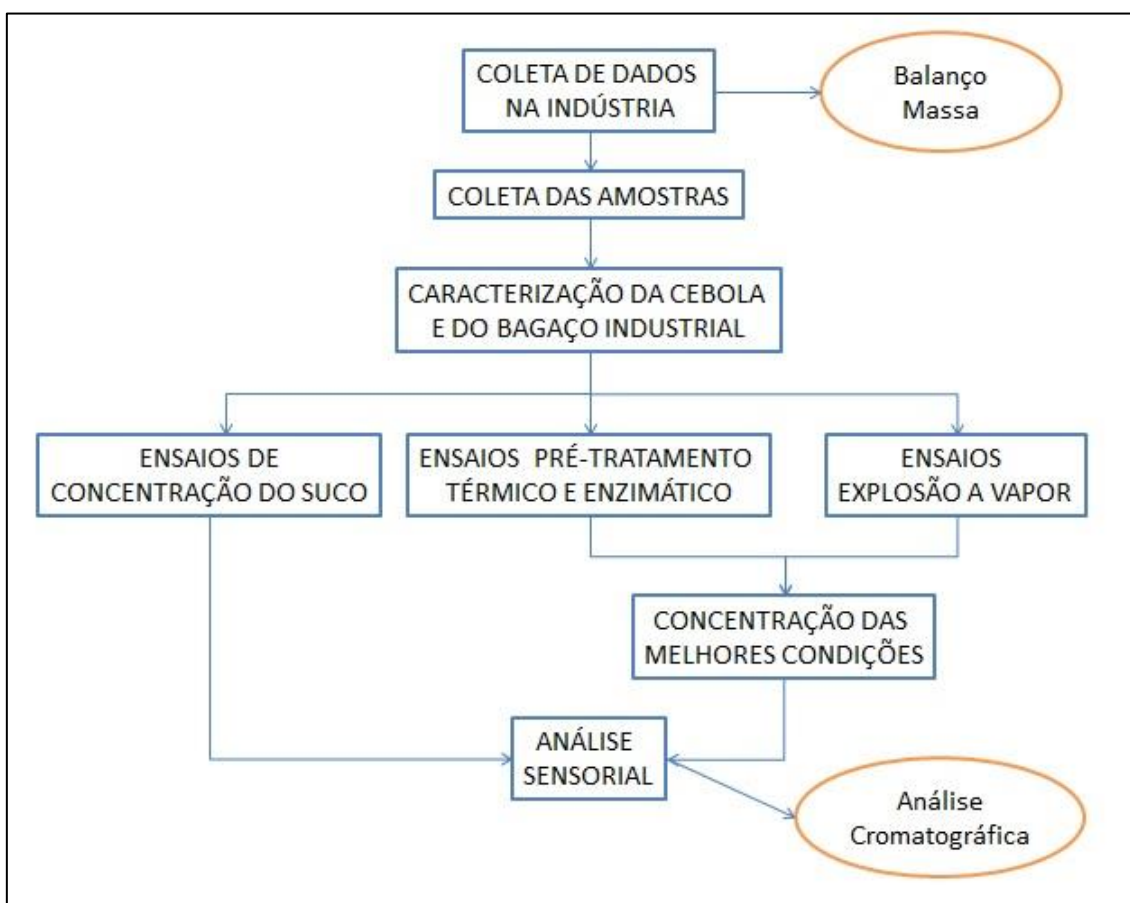


Figura 3: Diagrama esquemático das atividades realizadas durante o desenvolvimento deste trabalho.

A coleta de dados relativos à produção industrial utilizados no balanço de massa foi realizada *in loco*, durante a produção de suco de cebola em 2015, nos meses de fevereiro a abril. Nesse período foram coletadas várias amostras da cebola (cebola *in natura*) recebida da região de Ituporanga - SC e determinadas as suas propriedades físicas (item 4.1).

Os ensaios de hidrólise enzimática (item 4.2), assim como as análises laboratoriais para caracterização da cebola, foram realizados na Univille, enquanto que os ensaios em reator de explosão a vapor foram desenvolvidos pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (São Paulo, SP).

Os ensaios de concentração do suco (item 4.3) foram feitos nos laboratórios da empresa, assim como as análises sensoriais das melhores condições de suco concentrado com os pré-tratamentos e do suco concentrado sem pré-tratamento.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA CEBOLA E DO SEU BAGAÇO

A amostragem da cebola foi realizada a partir de dois lotes de cebola recebidos em diferentes dias de processamento dos meses de fevereiro e março de 2015. De cada lote foram coletadas, aleatoriamente, em torno de 10 cebolas provenientes de diferentes caixas do produto, contendo em média cerca de 23 kg/caixa. Além disso, caracterizou-se o bagaço de cebola que é descartado na etapa de prensagem, que foi coletado em dois diferentes dias de produção. Também foram caracterizadas cebolas compradas no comércio local, que foram utilizadas nos ensaios de laboratório.

Inicialmente, o material foi lavado com água corrente, cortado ao meio e triturado em multiprocessador doméstico Walita Super Master com acessório faca durante 30 s. O tamanho final dos pedaços de cebola foram de aproximadamente 2 mm. Após homogeneização de todo o material triturado (10 cebolas), amostras foram submetidas às análises termogravimétricas para determinações dos teores de umidade e sólidos totais (item 4.1.1). Todas as análises de caracterização foram realizadas, em duplicata.

4.1.1 Determinação do teor de umidade e sólidos totais

De acordo com a norma ASTM E1756–08, cadinhos de porcelana foram limpos, numerados, e secos em estufa a 105 +/- 3°C por 24 horas. Em seguida, os recipientes foram acondicionados em dessecador para resfriamento até temperatura ambiente e pesados em balança analítica para obtenção da tara.

Após pesagem, cada cadinho recebeu em torno de 30 g de cebola *in natura* triturada e foi conduzido à estufa para secagem a 105 °C. Decorridas 24 h de secagem o material foi acondicionado em dessecador e novamente pesado em balança analítica.

Os valores do teor de umidade (UA) e de sólidos totais (ST), ambos em base de massa úmida da amostra, foram calculados por meio das Equações 1 e 2:

$$UA = \frac{(m_i - m_f)}{(m_i - m_c)} \cdot 100 \quad (1)$$

$$ST = \frac{(m_f - m_c)}{(m_i - m_c)} \cdot 100 \quad (2)$$

Onde,

UA – teor de umidade em base úmida (%)

ST – teor de sólidos totais em base úmida (%)

m_c – massa do cadinho seco (g)

m_i – massa do cadinho seco + massa de amostra úmida (g)

m_f – massa do cadinho seco + massa de amostra seca (g)

O teor de umidade em base seca (U), expresso em g H₂O/g massa seca de amostra, foi calculado pela Equação 3 a partir dos mesmos valores de m_c , m_i e m_f utilizados nas equações anteriores.

$$U = \frac{(m_i - m_f)}{(m_f - m_c)} \quad (3)$$

Onde,

U – teor de umidade em base seca (%)

4.2 PRÉ-TRATAMENTOS DA CEBOLA

Dois diferentes processos de pré-tratamento da cebola foram utilizados com o objetivo de avaliar a influência de cada um deles sobre o rendimento de suco extraído: uso de enzimas comerciais com diferentes concentrações e em diferentes tempos de retenção e temperaturas; e emprego da explosão a vapor.

4.2.1 Pré-tratamento enzimático

A sequência de operações utilizadas no pré-tratamento enzimático da cebola está apresentada na Figura 4.

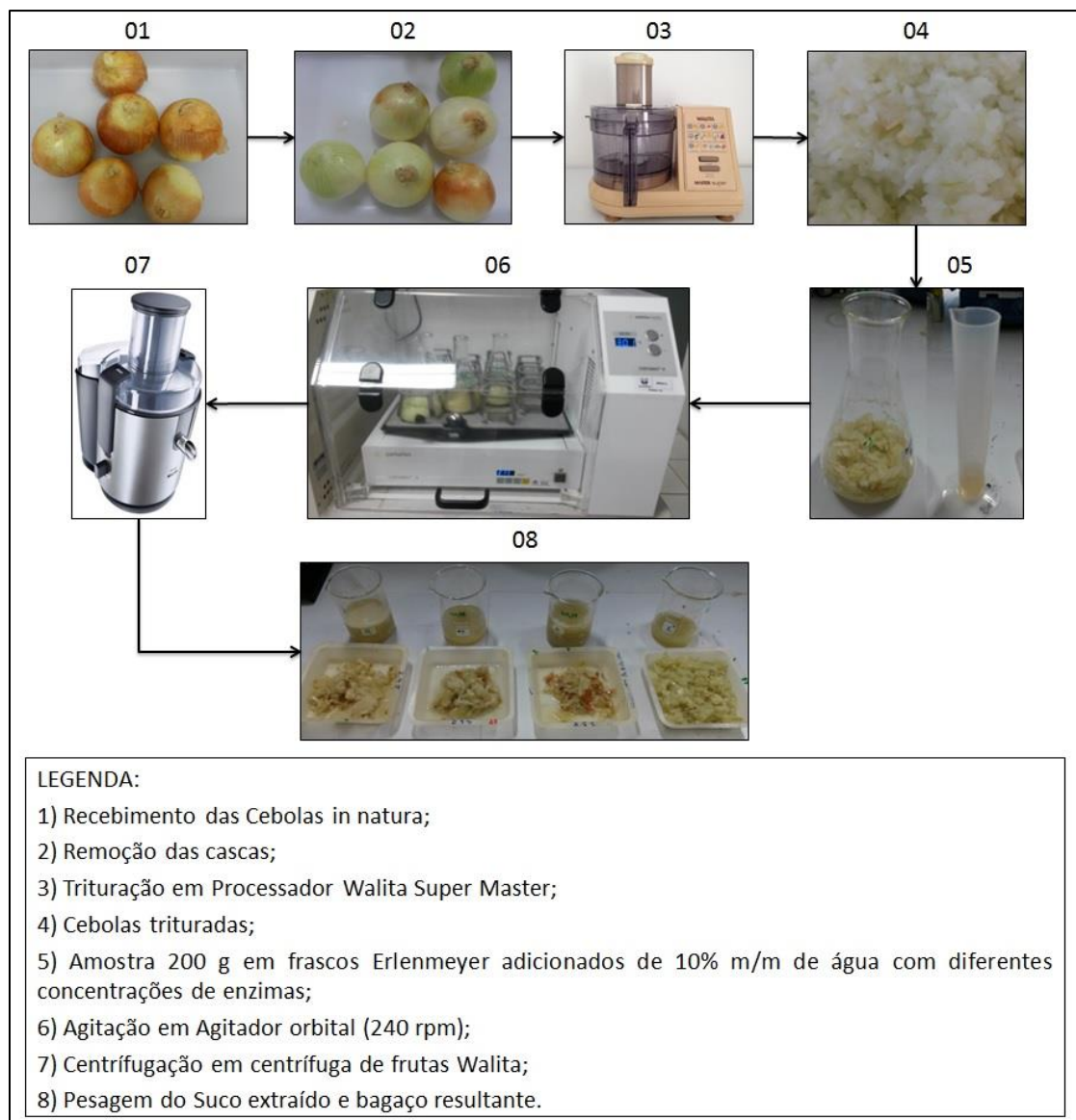


Figura 4: Etapas operacionais utilizadas no pré-tratamento enzimático da cebola em escala laboratorial.

As cebolas foram descascadas para remoção da película marrom envolvente e trituradas conforme descrito no item 4.1.

Duzentos gramas de cebola triturada foram acondicionados em frascos de Erlenmeyer de 500 mL contendo 20 ml de água destilada e adicionadas das enzimas comerciais Pectinex® Ultra AFP e Celluclast® 1.5L fornecidas pela Novozymes. As concentrações de cada uma das enzimas na solução aquosa foram definidas de acordo com os delineamentos experimentais planejados (Tabela 2 e 3), assim como as variáveis operacionais de temperatura e tempo de reação.

Tabela 2: Delineamento experimental 1 do pré-tratamento da cebola, variando-se as concentrações de pectinase e celulase, temperatura e tempo de reação.

Variáveis operacionais	Níveis				
	(-1)	(-0,8)	(-0,6)	0	(+1)
Temperatura, T (°C)	30			45	60
Tempo de residência, t (min)	30			105	180
[Pectinase*] (mL/kg de substrato úmido) ¹	0		0,5		2,5
[Celulase**] (mL/kg de substrato úmido) ²	0	0,5			5

*Pectinex® Ultra AFP; **Celluclast® 1.5L

¹ As concentrações dos níveis intermediários e máximos de pectinase foram definidas como sendo valores 10 vezes maiores do que aqueles definidos como mínimo e máximo pelo fabricante.

² As concentrações dos níveis intermediários e máximos de celulase foram definidos de acordo com os valores mínimo e máximo utilizados por Trape e Jain (2014).

Tabela 3: Delineamento experimental 2 do pré-tratamento da cebola, variando-se as concentrações de pectinase e celulase, temperatura e o tempo de reação.

Variáveis operacionais	Níveis*		
	(-1)	0	(+1)
Temperatura, T (°C)	35	45	55
Tempo de residência, t (min)	30	75	120
[Pectinase] (mL/kg de substrato úmido)	0	0,125	0,25
[Celulase] (mL/kg de substrato úmido)	0	0,05	0,10

*Os níveis máximos de cada uma das variáveis operacionais avaliadas corresponderam aos valores ideais indicados pelo fabricante das enzimas (Novozymes).

Para quantificar o efeito de cada uma das variáveis operacionais avaliadas (Tabelas 2 e 3) sobre o rendimento e eficiência de suco extraído foi utilizado o Projeto Fatorial 2⁴ com ponto intermediário (Tabela 4), seguindo metodologia proposta por Rodrigues e lemma (2005).

Tabela 4: Planejamento Fatorial 2⁴ com ponto intermediário dos ensaios de pré-tratamento enzimático da cebola referente aos delineamentos experimentais 1 e 2.

Ensaio	Temperatura	Tempo	Pectinase	Celulase
E1	-1	-1	-1	-1
E2	+1	-1	-1	-1
E3	-1	+1	-1	-1
E4	+1	+1	-1	-1
E5	-1	-1	+1	-1
E6	+1	-1	+1	-1
E7	-1	+1	+1	-1
E8	+1	+1	+1	-1
E9	-1	-1	-1	+1
E10	+1	-1	-1	+1
E11	-1	+1	-1	+1
E12	+1	+1	-1	+1
E13	-1	-1	+1	+1
E14	+1	-1	+1	+1
E15	-1	+1	+1	+1
E16	+1	+1	+1	+1
E17*	0	0	-0,6	-0,8
E17**	0	0	0	0

*Delineamento experimental 1; **Delineamento experimental 2.

Todas as reações enzimáticas foram conduzidas em agitador orbital (*shaker*) marca Sartorius, modelo CERTOMAT® U, com frequência de agitação constante de 240 min⁻¹. Após o tempo de reação planejado para cada ensaio, as amostras foram imediatamente centrifugadas. As massa de suco extraída e de bagaço resultante foram medidas. Todos os ensaios foram realizados em duplicata.

A análise estatística dos resultados foi realizada com auxílio do software STATISTICA 7, considerando erro da soma dos quadrados residual para obter os efeitos significativos com 95% de confiança.

4.2.2 Pré-tratamento de explosão a vapor

Esses ensaios foram realizados no Instituto de Pesquisa Tecnológicas – IPT de São Paulo e conduzidos pelos seus técnicos especializados.

O reator de explosão a vapor empregado é mostrado na Figura 5. O equipamento foi fabricado pela Metalúrgica Metalquim Ltda e é composto basicamente por três partes: a caldeira, o reator propriamente dito (vaso cilíndrico vertical protegido por uma camisa externa de aço inoxidável) e o ciclone de descarga. O reator se encontra instalado em um espaço que respeita as condições de segurança para a sua operação e possui uma sala de controle ao lado com toda a instrumentação necessária para o controle do processo de forma remota.



Figura 5: Reator de explosão a vapor, IPT SP.

Foram produzidos quatro lotes de materiais pré-tratados por explosão a vapor a 160 °C, pressão em torno de 5,2 bar, por 5 min: R1 – 5 kg de cebolas *in natura* trituradas sem cascas; R2 – 5 kg de cebolas *in natura* trituradas, com cascas; R3 – 5 kg de bagaço de cebola sem casca; R4 – 5kg de bagaço de cebola com casca.

Após cada um dos experimentos, o material foi submetido à resfriamento em banho de gelo até atingir 40 °C. A separação do suco foi realizada por meio

de peneira 100 mesh com esmagamento manual empregando uma colher de cozinha.

4.3 ENSAIOS DE CONCENTRAÇÃO DO SUCO

Para avaliar a influência da temperatura e pressão sobre a velocidade de evaporação do suco de cebola foram realizados nove ensaios de concentração de suco proveniente de cebolas sem pré-tratamento. Antes da concentração, o suco foi filtrado em peneira 80 mesh para remoção dos sólidos suspensos e aquecido até 80 °C durante 10 min em autoclave, de forma a assemelhar-se com o processo industrial nas etapas de centrifugação e pasteurização.

Os ensaios foram conduzidos em rota-evaporador da marca IKA RV10 CONTROL (Figura 6) contendo balão de evaporação com capacidade de 1 L. A velocidade de rotação do balão foi de 40 rpm e todos os ensaios foram realizados em duplicata.



Figura 6: Rota-evaporador.

Os valores de temperatura (50, 60 e 70 °C) e pressão manométrica (590, 630 e 670 mmHg) relativas a cada um dos ensaios são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5: Temperatura (T) e pressão manométrica de vácuo (P vácuo) utilizados nos ensaios de concentração do suco de cebola.

Variável Operacional	Ensaio								
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
T (°C)	50	50	50	60	60	60	70	70	70
P vácuo (mmHg)	590	630	670	590	630	670	590	630	670

Após identificação da melhor condição em escala laboratorial, frente à velocidade de evaporação e qualidade sensorial do produto, o processo foi replicado para escala industrial para verificar se o parâmetro seria reproduzível e se as características sensoriais do suco seriam mantidas conforme suco padrão.

4.4 ANÁLISE SENSORIAL DO SUCO DE CEBOLA CONCENTRADO

As melhores condições encontradas nos experimentos laboratoriais de pré-tratamentos da cebola (hidrólise enzimática e explosão a vapor) e de concentração do suco sem pré-tratamento, foram submetidos à uma análise sensorial preliminar para comparar com a amostra padrão da indústria.

A amostra padrão foi produzida em escala laboratorial, seguindo as etapas do processo industrial (Figura 2), o qual é, atualmente, empregado pela empresa na produção de suco de cebola concentrado.

As amostras foram preparadas com diluição de 0,2% em bebida salgada, conforme procedimento interno de aplicação da empresa.

A análise sensorial foi realizada por cinco avaliadores treinados da indústria de alimentos, para verificar se as amostras se aproximavam da amostra padrão em termos de aparência, odor e sabor. Em seguida, as

amostras aprovadas foram submetidas à análise discriminativa e descritiva quantitativa de acordo com as normas ISO 4120 (2004) e ISO 13299 (2003).

4.4.1 Teste triangular

O teste triangular determina se existe diferença ou similaridade entre as amostras, por meio da avaliação de todos os aspectos sensoriais (aparência, odor e sabor).

Para realização do teste triangular foram apresentadas 3 amostras (2 iguais e 1 diferente) para os avaliadores (Figura 7), os quais deveriam indicar qual delas era a amostra diferente. A distribuição das amostras foi realizada por combinação, sendo: ABB, AAB, ABA, BAA, BBA, BAB. O teste foi conduzido com 12 avaliadores, em cabines individuais, com luz branca, ambiente condicionado (23 ± 2 °C) e com redução de ruído e odores (MEILGAARD, CIVILLE e CARR, 2006).

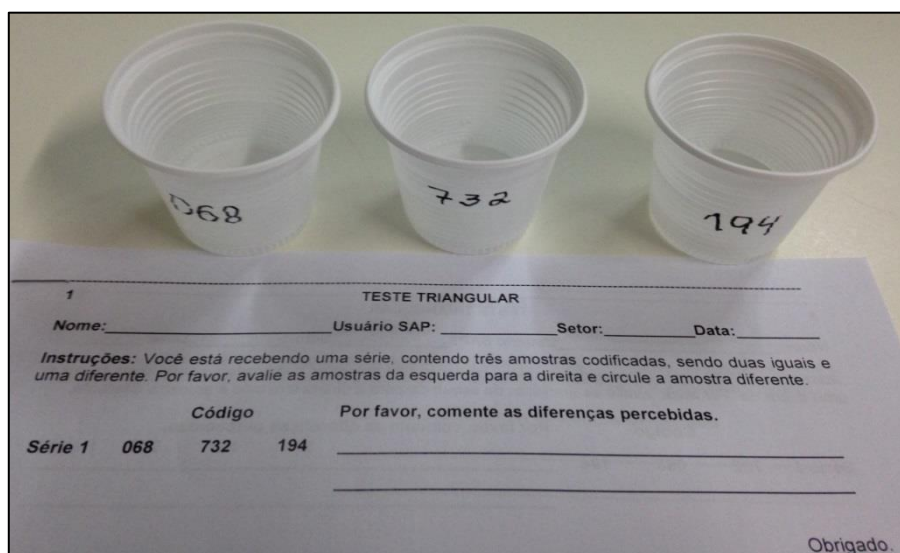


Figura 7: Apresentação das amostras para os avaliadores no teste triangular.

Os resultados foram avaliados conforme ISO 4120 (2004), através da verificação das respostas corretas em relação ao número total de acertos

possíveis e ao número indicado na Tabela de Teste Triangular com 95% de confiança.

4.4.2 Análise descritiva quantitativa (ADQ)

Para esta análise, baseou-se na norma ISO 13299 (2003), utilizou-se o método tradicional “mesa redonda”, o qual vem sendo aplicado pela empresa. Para um grupo de 10 avaliadores treinados foram apresentadas duas amostras de suco de cebola concentrado codificadas, as quais foram avaliadas, e por consenso, foram descritos os aspectos de aparência, odor e sabor das mesmas.

Com auxílio de um líder, os avaliadores discutiram os termos propostos e selecionaram consensualmente os atributos (Tabela 6) a serem utilizados na ficha sensorial disponível na empresa (documento interno).

Tabela 6: Atributos para análise descritiva quantitativa (ADQ) do suco de cebola.

Atributos	
Cor amarela	Sabor aliáceo
Impacto de odor	Sabor sulfuroso
Odor aliáceo	Sabor frito
Odor frito	Sabor pungente
Odor pungente	Sabor oleoso
Fixação de odor	Sabor residual aliáceo
Impacto de sabor	Fixação de sabor
Gosto salgado	Qualidade Global
Gosto umami	

Após o primeiro momento de definições e conhecimento dos atributos, o grupo, acrescido de mais 4 avaliadores treinados, realizou a análise em cabine individual, com luz branca, temperatura de 23 ± 2 °C, com redução de ruídos e odores. Os atributos foram pontuados por meio de uma escala não estruturada

de 9 cm, ancoradas pelos termos de intensidade “ausente” e “intenso”, respectivamente. Em seguida, os avaliadores indicaram a qualidade global de cada produto, empregando mesmo tipo de escala, exceto que ancorada pelos termos “ruim” e “ótimo”, conforme proposto por Dutcoski (2011).

Os dados obtidos foram analisados por meio da média aritmética e desvio padrão de cada atributo, pela análise de variância (ANOVA), ao nível de 5% de significância e, quando aplicável, pelo teste de comparação de média (Teste de Tukey).

4.5 ANÁLISE CROMATOGRÁFICA DO SUCO DE CEBOLA CONCENTRADO

Para identificar as diferenças entre o suco padrão desejado pela empresa e o suco obtido por meio do pré-tratamento térmico e enzimático, os sucos foram submetidos à cromatografia de micro extração por fase sólida (SPME).

Foram pesadas 0,57 g de cada amostra em um recipiente específico para a técnica e o mesmo foi lacrado com tampa contendo septo, conforme Figura 8.

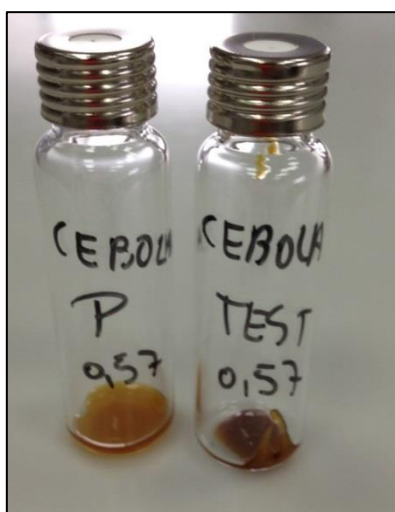


Figura 8: Recipientes utilizados para micro extração por fase sólida das amostras de suco padrão e enzimado.

A extração foi realizada por SPME por meio de uma fibra de sílica fundida coberta de divinilbenzeno/carboxen/polidimetilsiloxano da Supelco, previamente condicionada a 300 °C por 45 min, de acordo com as instruções do fornecedor. A fibra foi injetada no recipiente contendo a amostra a 80 °C durante 5 min para os analitos serem adsorvidos. Em seguida a fibra foi dessorvida diretamente no injetor do cromatógrafo a gás, modelo 7890A, acoplado ao espectrômetro de massa quádruplo modelo 5975C, ambos da marca Agilent. A temperatura do forno foi mantida inicialmente a 50 °C durante 2 min e aumentada até 240 °C a uma razão de 4 °C por minuto. Foi empregada uma coluna de polietilenoglicol da marca VF-WAXms (30 m x 0,25 mm x 0,25 µm) fornecida pela Agilent/Scientific J&w, EUA, com características polares. O fluxo da coluna foi constante de 2,5 ml/s. O injetor utilizado foi do tipo multimodo (MMI), que opera a uma temperatura de 230 °C em modo *split* 20:1.

4.6 BALANÇO DE MASSA

Foram realizados balanços de massa (BM) em duas diferentes condições operacionais de produção do suco concentrado de cebola:

- (1) Balanço de massa para o processo industrial atual (BM1);
- (2) Balanço de massa para o processo de extração do suco em escala laboratorial com pré-tratamento térmico e enzimático (BM2).

Para BM1 realizou-se levantamento de dados durante a produção industrial, por meio da pesagem do produto de cada etapa do processo. Utilizou-se uma balança tipo paletan da marca Libratek com capacidade de pesagem de 20 a 2000 kg e erro de 1 kg. Foram feitas pesagens da massa inicial de cebola *in natura* que entrou no processamento, do resíduo da etapa de limpeza (cascas/terra), do suco extraído na prensagem, do bagaço industrial gerado, do suco após etapa de centrifugação e do suco concentrado obtido ao final do processo. Mediu-se também o consumo de água de refrigeração no pasteurizador, bem como seu reuso na etapa de lavagem da cebola e

desinfecção. As medições foram realizadas com uso de hidrômetro instalado na linha.

O balanço BM2, foi realizado apenas com o processo de pré-tratamento térmico e enzimático indicado como ideal para a produção de suco em termos de rendimento.

4.7 CÁLCULO DO RENDIMENTO E EFICIÊNCIA DO PROCESSO

Os valores de rendimento (R) e eficiência (E) do processo de extração do suco de cebola atualmente empregados pela empresa e daqueles relativos aos experimentos de laboratório foram calculados de acordo com as Equações 4, 5 e 6.

$$R_{base\ úmida} = \frac{m}{M_1} * 100 \quad (4)$$

$$R_{base\ seca} = \frac{m}{M_2} * 100 \quad (5)$$

$$E = \frac{m}{(M_1 - M_2)} * 100 \quad (6)$$

Onde:

m – massa de suco extraída, não-concentrada (kg)

M_1 – massa úmida da cebola *in natura* (kg)

M_2 – massa seca da cebola (kg)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA CEBOLA E DO SEU BAGAÇO

Os resultados obtidos com a caracterização da cebola da safra de 2015, utilizada na produção industrial de suco e da cebola comercial, utilizadas nos experimentos de pré-tratamento térmico e enzimático, de explosão a vapor e concentração do suco, estão demonstrados na Tabela 7.

Tabela 7: Caracterização da cebola e do seu bagaço.

Análises	Cebola Industrial	Cebola Comercial	Bagaço Industrial
Umidade média em base úmida (%)	90,4 ± 0,1	92,2 ± 0,2	85,72 ± 0,2
Umidade médio em base seca (g H ₂ O/g massa seca)	10,4 ± 0,3	11,9 ± 0,3	7,00 ± 0,1
Sólidos Totais médio (%)	9,6 ± 0,3	7,8 ± 0,2	14,28 ± 0,2

Os valores médios de sólidos totais da cebola industrial, assim como os da cebola comercial (Tabela 7), foram menores que os apresentados por Resende, Chagas e Pereira (2003), que ao caracterizarem seis diferentes variedades de cebola obtiveram valores entre 10,1 e 13,1%

Ao caracterizar outras variedades de cebola cultivadas em Maum, República da Korea, Sharma *et al.* (2015), encontraram resultados semelhantes de sólidos totais dentre eles 7,26 e 9,71%.

O bagaço industrial, resíduo orgânico resultante do processo de separação do suco, é atualmente destinado para um aterro industrial. Verifica-se que o mesmo contém alto teor de umidade (85,72 ± 0,2%), o que demonstra que há uma grande quantidade de suco que não é extraída pelo processo de prensagem. Isto demonstra que é possível estudar outras formas de extração do suco, bem como novas tecnologias.

5.2 PRÉ-TRATAMENTO ENZIMÁTICO DA CEBOLA

5.2.1 Delineamento experimental 1

A partir do delineamento experimental 1 (Tabela 2), aplicado no pré-tratamento enzimático da cebola obteve-se diferentes valores de rendimento e eficiência do processo de extração do suco (Tabela 8).

Tabela 8: Médias e respectivos desvios padrões de rendimento e eficiência da extração de suco de cebola pré-tratada com enzimas: delineamento 1.

Ensaio	T (°C)	t (min)	Pectinase (ml/kg)	Celulase (ml/kg)	Rendimento base úmida (%)	Rendimento base seca (%)	Eficiência (%)
E1	30	30	0	0	32,3 ± 0,2	4,14 ± 0,03	35,0 ± 0,3
E2	60	30	0	0	28,2 ± 2,2	3,62 ± 0,28	30,6 ± 2,4
E3	30	180	0	0	32,8 ± 0,9	4,22 ± 0,11	35,6 ± 0,9
E4	60	180	0	0	40,0 ± 0,6	5,13 ± 0,08	43,3 ± 0,7
E5	30	30	2,5	0	50,6 ± 0,3	6,49 ± 0,04	54,8 ± 0,4
E6	60	30	2,5	0	49,8 ± 8,4	6,39 ± 1,08	54,0 ± 9,1
E7	30	180	2,5	0	53,7 ± 10,8	6,89 ± 1,39	58,2 ± 11,7
E8	60	180	2,5	0	40,8 ± 7,6	5,24 ± 0,97	44,3 ± 8,2
E9	30	30	0	5	25,0 ± 8,7	3,21 ± 1,11	27,1 ± 9,4
E10	60	30	0	5	30,0 ± 10,1	3,85 ± 1,30	32,5 ± 11,0
E11	30	180	0	5	37,4 ± 6,2	4,8 ± 0,80	40,6 ± 6,8
E12	60	180	0	5	24,2 ± 4,7	3,11 ± 0,60	26,3 ± 5,1
E13	30	30	2,5	5	66,3 ± 1,2	8,51 ± 0,15	71,9 ± 1,3
E14	60	30	2,5	5	68,7 ± 6,6	8,82 ± 0,85	74,5 ± 7,2
E15	30	180	2,5	5	83,8 ± 0,6	10,75 ± 0,08	90,8 ± 0,7
E16	60	180	2,5	5	82,5 ± 0,3	10,59 ± 0,0	89,5 ± 0,3
E17	45	105	0,5	0,5	60,2 ± 1,7	7,7 ± 0,2	65,3 ± 1,9

A contribuição de cada uma das variáveis operacionais nas diferentes condições de pré-tratamento da cebola foi quantificada por meio da análise de variância (ANOVA com $p < 0,05$) conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9: Análise dos efeitos estimados do delineamento experimental 1

Fator	Efeito	Erro Padrão	P
Média	47,92	29,36	0,000000
(1) T (°C)	-2,21	-0,66	0,517674
(2) t (min)	5,54	1,65	0,112485
(3) Pectinase (ml/kg)	29,23	8,79	0,000000*
(4) Celulase (ml/kg)	9,16	2,78	0,010728*
1 e 2	-2,84	-0,85	0,406795
1 e 3	-0,91	-0,27	0,788520
1 e 4	0,44	0,13	0,896012
2 e 3	0,80	0,24	0,812943
2 e 4	3,91	1,16	0,256330
3 e 4	16,63	4,98	0,000048*

*Efeitos estatisticamente significativos para $p < 0,05$.

As variáveis que apresentaram efeitos estatisticamente significativos ($p < 0,05$) sobre o rendimento em base úmida (Tabela 9), foram a concentração de pectinase, celulase e a sua interação.

As variáveis temperatura e tempo de reação não apresentaram efeitos estatisticamente significativas ($p < 0,05$) sobre a extração do suco.

Os maiores valores de rendimento e eficiência foram obtidos nos Ensaios E15 e E16. A partir da análise de variância (ANOVA) verificou-se que não houve diferença significativa entre esses ensaios; conseqüentemente, pode-se considerar valores médios globais de rendimento (83,2) e eficiência (90,2%) para ambos.

Os Ensaios E15 e E16 caracterizaram-se pelo uso das maiores concentrações de enzimas Pectinex® Ultra AFP e Celluclast® 1.5 L, 2,5 e 5 ml/kg respectivamente. Nesses experimentos, operou-se com tempo de reação de 180 min, e com dois níveis extremos de temperatura (30 e 60 °C). Considerando a economia energética no processo, optou-se por indicar como

melhor condição de pré-tratamento enzimático o experimento E15, onde foi empregado menor temperatura.

Ao comparar o rendimento médio do Ensaio E15 com o obtido no pré-tratamento sem o uso das enzimas ($32,8 \pm 0,9\%$), nas mesmas condições de temperatura e tempo de reação (E3), verificou-se que o emprego das enzimas promoveu um aumento de 155% no rendimento de extração do suco. Mesmo tipo de comportamento foi observado em relação a eficiência do processo de extração. Para ilustrar essa diferença, está apresentada na Figura 9 o suco (A) resultante da extração sem uso de enzimas (Ensaio E3) e o bagaço (B) resultante, bem como, o suco (C) extraído com utilização das enzimas Pectinex® Ultra AFP e Celluclast® 1.5 L (Ensaio E15) e seu bagaço (D) resultante.

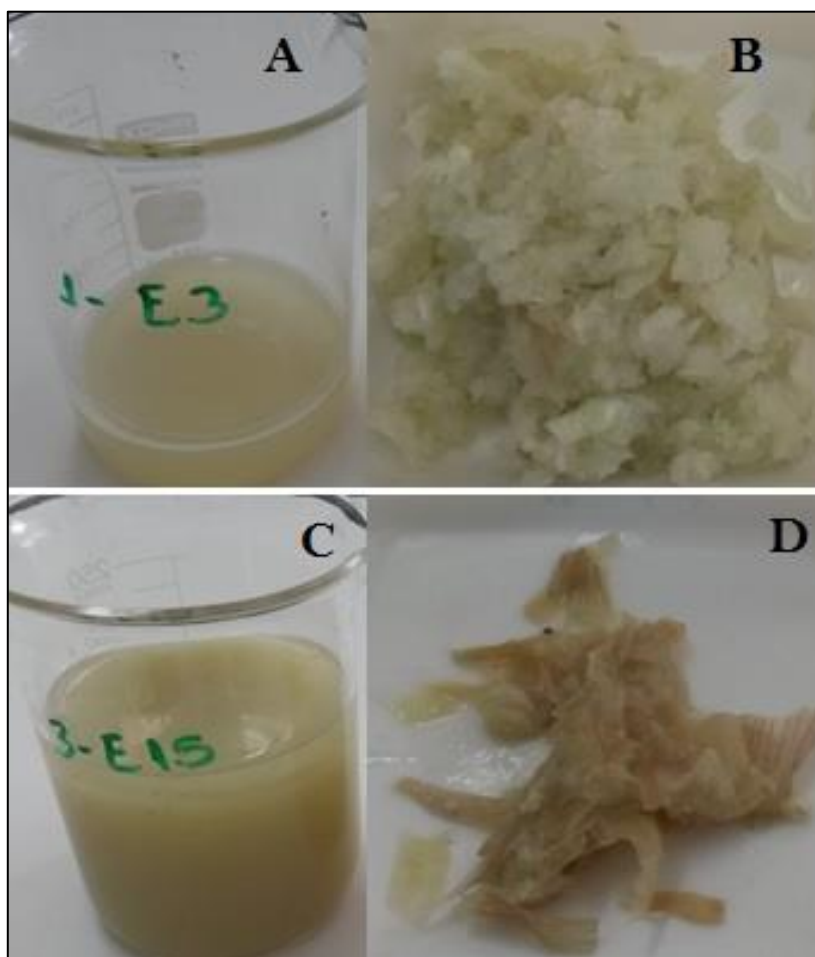


Figura 9: Comparação entre o suco de cebola extraído e bagaço resultante do Ensaio E03 (A e B) e E15 (C e D)

Nota-se que ocorre uma grande redução na geração do bagaço, o qual é um dos problemas apresentados pela empresa no seu processo industrial. Com isto, evidencia-se um grande potencial no processo de pré-tratamento enzimático na redução do volume de bagaço gerado no processo.

Dentro das condições experimentais de T e t empregadas, os valores de R em função das diferentes concentrações dessas enzimas podem ser observados na Figura 10. Perfil semelhante foi observado em relação a E (gráfico não apresentado), visto que os dois parâmetros foram estimados com base nos resultados de massa de suco extraída, massa úmida e seca de cebola, conforme definido nas Equações 4 e 6.

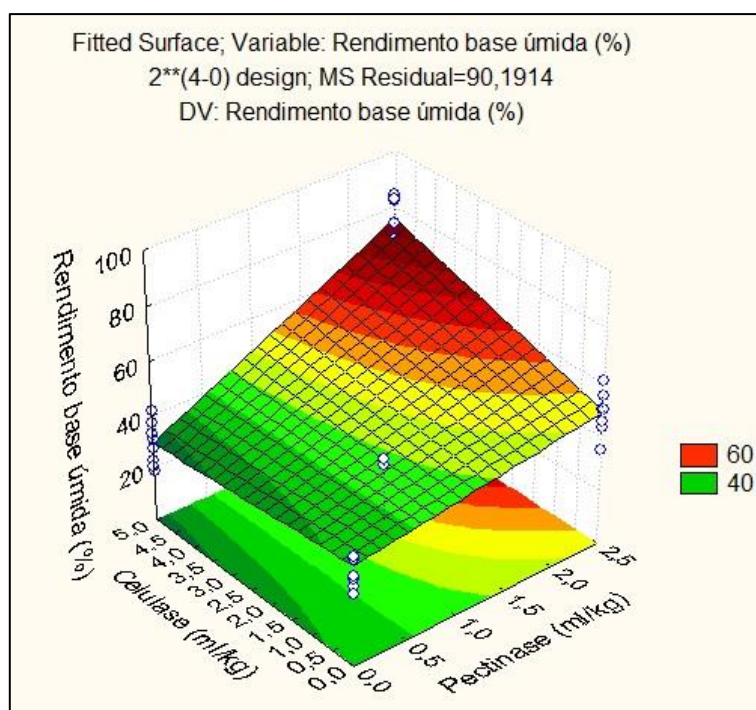


Figura 10: Superfície de resposta da influência da concentração de enzimas sobre o rendimento do processo de extração de suco de cebola referente ao delineamento 1.

Pela análise da Figura 10, pode-se perceber que o uso isolado da enzima Celluclast® 1.5 L, proporciona rendimentos da ordem de 20 - 40%, já utilizando a enzima Pectinex® Ultra AFP, de forma isolada, foi possível obter rendimentos da ordem de 50 – 60%. O uso combinado das duas enzimas em suas maiores concentrações proporcionou rendimentos maiores que 80%, o que demonstra uma cooperação entre as duas enzimas no aumento deste parâmetro produtivo.

Comportamento semelhante foi observado em relação à eficiência do processo de extração do suco (Anexo A).

5.2.1.1 Análise Sensorial

A avaliação sensorial preliminar realizada com o suco do Ensaio E15 obtido no delineamento experimental 1, indicou que o suco ficou mais fraco que o padrão da empresa, sendo que a pungência ficou menos intensa, assim como as notas de cebola fresca. Com isto, o pré-tratamento térmico e enzimático, nas condições experimentais testadas, não foi aprovado pela empresa.

Por não ter sido alcançado o resultado esperado, desenvolveu-se um novo delineamento experimental (delineamento 2) para verificar a influencia de menores concentrações de enzimas sobre a qualidade final do suco concentrado. Neste novo delineamento foram também realizados ajustes no tempo de reação e temperatura.

5.2.2 Delineamento experimental 2

A partir do delineamento experimental 2 (Tabela 3), obteve-se novos valores de rendimento e eficiência do processo de extração do suco (Tabela 10).

Tabela 10: Médias e respectivos desvios padrões de rendimento e eficiência da extração de suco de cebola pré-tratada com enzimas: delineamento 2.

Ensaio	T (°C)	t (min)	Pectinex Ultra AFP (ml/kg)	Celluclast 1.5 L (ml/kg)	Rendimento base úmida (%)	Rendimento base seca (%)	Eficiência (%)
18	35	30	0	0	33,1 ± 2,7	3,42 ± 0,3	36,7 ± 2,9
19	55	30	0	0	34,2 ± 2,2	3,52 ± 0,2	37,8 ± 2,4
20	35	120	0	0	38,2 ± 2,1	3,94 ± 0,2	42,2 ± 2,3
21	55	120	0	0	50,1 ± 1,6	5,17 ± 0,2	55,5 ± 1,7
22	35	30	0,25	0	21,9 ± 6,4	2,26 ± 0,7	24,2 ± 7,1
23	55	30	0,25	0	35,8 ± 5,9	3,70 ± 0,6	39,7 ± 6,5
24	35	120	0,25	0	50,7 ± 0,02	5,23 ± 0,002	56,1 ± 0,02
25	55	120	0,25	0	61,2 ± 0,7	6,31 ± 0,1	67,7 ± 0,7
26	35	30	0	0,1	31,0 ± 1,2	3,20 ± 0,1	34,3 ± 1,3
27	55	30	0	0,1	33,4 ± 0,9	3,45 ± 0,1	37,0 ± 1,0
28	35	120	0	0,1	33,4 ± 2,5	3,45 ± 0,3	37,0 ± 2,7
29	55	120	0	0,1	44,7 ± 3,0	4,62 ± 0,3	49,5 ± 3,3
30	35	30	0,25	0,1	37,9 ± 0,7	3,91 ± 0,1	42,0 ± 0,8
31	55	30	0,25	0,1	46,5 ± 1,8	4,80 ± 0,2	51,5 ± 2,0
32	35	120	0,25	0,1	58,5 ± 1,6	6,04 ± 0,2	64,8 ± 1,8
33	55	120	0,25	0,1	73,6 ± 1,9	7,60 ± 0,2	81,5 ± 2,1
34	45	75	0,125	0,05	39,9 ± 2,1	4,14 ± 0,2	44,2 ± 2,3

Assim como no delineamento experimental 1, a contribuição de cada uma das variáveis operacionais nas diferentes condições de pré-tratamento da cebola foi quantificada por meio da análise de variância (ANOVA, $p < 0,05$) conforme apresentado na Tabela 11.

Tabela 11: Análise dos efeitos estimados do delineamento experimental 2.

Fator	Efeito	Erro Padrão	P
Média	42,59	0,51	0,000000
(1) T (°C)	9,37	1,05	0,000000*
(2) t (min)	17,09	1,05	0,000000*
(3) Pectinase (ml/kg)	11,00	1,05	0,000000*
(4) Celulase (ml/kg)	4,25	1,05	0,000479*
1 e 2	2,87	1,05	0,011723*
1 e 3	2,66	1,05	0,018074*
1 e 4	-0,002	1,05	0,998586
2 e 3	8,40	1,05	0,000000*
2 e 4	-1,71	1,05	0,116807
3 e 4	7,51	1,05	0,000000*

*Efeitos estatisticamente significativos para $p < 0,05$

Diferentemente do que ocorre no delineamento experimental 1, neste novo planejamento experimental (Tabela 3), além dos efeitos significativos das concentrações de cada uma das enzimas bem como da sua interação, tanto a temperatura, o tempo de reação e suas interações com a pectinase surgiram agora como estatisticamente significativos.

Neste caso, o Ensaio E33, onde utilizou-se temperatura de 55 °C, tempo 120 min e máximas dosagens de enzimas (0,25 ml/kg de Pectinex® Ultra AFP e 0,10 ml/kg de Celluclast® 1.5 L) destacou-se perante aos demais, visto que foi possível alcançar rendimento de 73,6% e eficiência de 81,5%. Ao comparar esses parâmetros com aqueles máximos obtidos na extração do suco de cebola com maiores concentrações de enzimas (Tabela 10 – Ensaio E15), verifica-se que a redução de 10 vezes na concentração de pectinase e de 50 vezes na celulase reduziu em apenas 8,9 pontos percentuais o rendimento. Especificamente em relação ao consumo de enzimas, têm-se a possibilidade de reduzir o custo do processo numa eventual ampliação de escala, sem prejuízo significativo no seu rendimento.

Comparando também o rendimento do Ensaio E33 com o obtido sem nenhum pré-tratamento da cebola (25,5%, Anexo B), verifica-se que o pré-tratamento com menores quantidades de enzimas do que as quantidades

utilizadas no delineamento 1, proporcionou um incremento de 188% nesse parâmetro. Para a eficiência esse aumento foi da mesma ordem de grandeza, ou seja 186%.

A partir das condições operacionais empregadas no delineamento experimental 2, obteve-se os perfis da influência dos efeitos significativos sobre R, conforme mostram as Figuras 11, 12, 13 e 14.

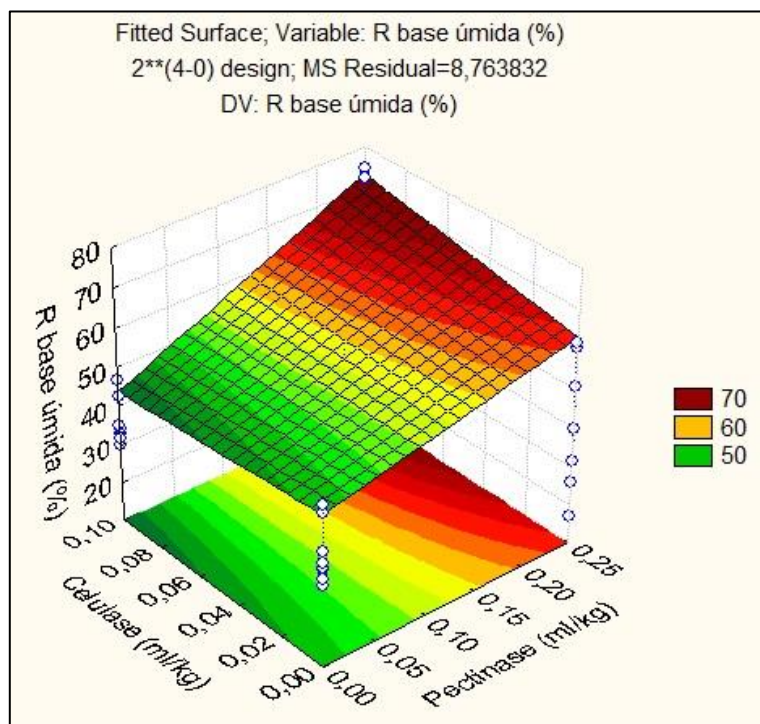


Figura 111: Superfície de resposta da influência da concentração de enzimas sobre o rendimento do processo de extração de suco de cebola referente ao delineamento 2.

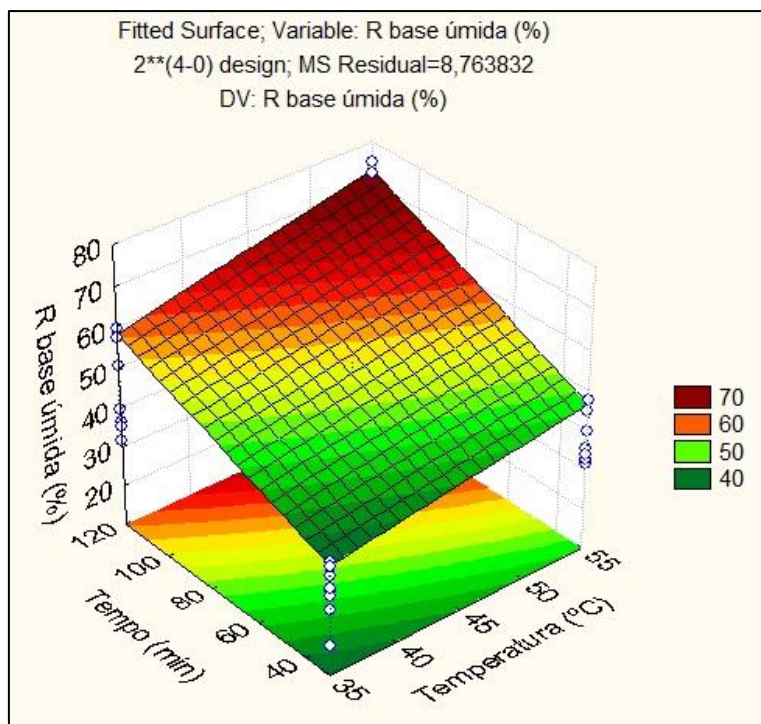


Figura 12: Superfície de resposta da influência do tempo de reação e da temperatura sobre o rendimento do processo de extração de suco de cebola referente ao delineamento 2.

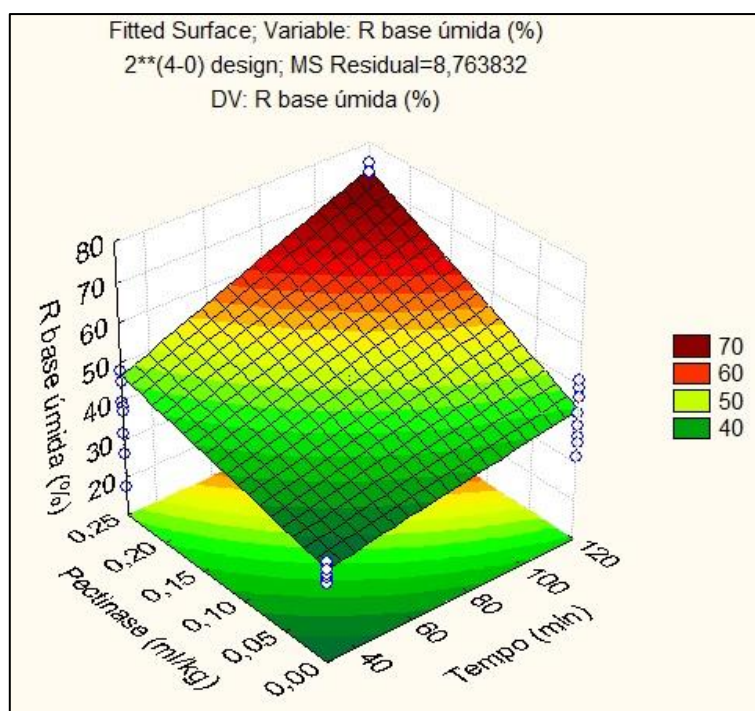


Figura 13: Superfície de resposta da influência da concentração de pectinase e tempo de reação sobre o rendimento do processo de extração de suco de cebola referente ao delineamento 2.

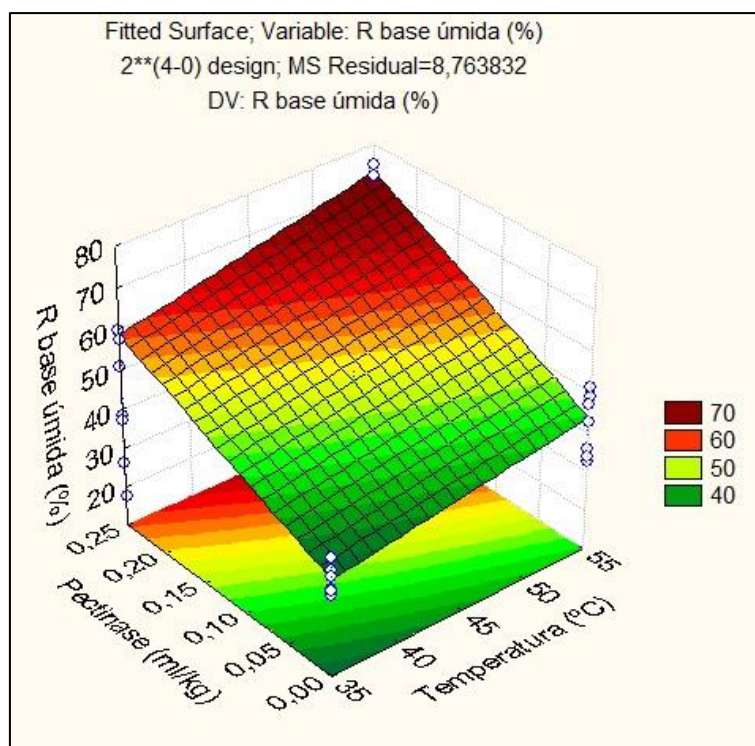


Figura 12: Superfície de resposta da influência da concentração de pectinase e da temperatura sobre o rendimento do processo de extração de suco de cebola referente ao delineamento 2.

O perfil da superfície de resposta da Figura 11, assemelhou-se com aquele discutido anteriormente em relação a Figura 10.

Na Figura 12, a qual apresenta a superfície de resposta das variáveis temperatura e tempo de reação sobre o rendimento, verificou-se que a partir de 80 min de reação, empregando a temperatura máxima de 55 °C, foi possível obter rendimentos superiores a 60%.

A superfície de resposta da concentração de enzima Pectinex® Ultra AFP e o tempo de reação, que estão ilustrados na Figura 13, mostrou que o uso de maiores concentrações de enzimas, nos maiores tempos de reação, proporcionaram maiores valores de rendimento. Em relação a interação dessa enzima com a Temperatura (Figura 14), a máxima concentração de enzima, promoveu o aumento no rendimento a medida que se aumentou a temperatura de reação.

A influência positiva do pré-tratamento de vegetais com diferentes tipos de enzimas sobre a extração de suco de vegetais, já foi demonstrada por diversos autores (WILL e DIETRICH, 2013; SAGU et al., 2013; LAAKSONEN et

al., 2013; PALUDO e KRÜGER, 2011; FARIÑA et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2006). No entanto, a maioria desses trabalhos não apresentam dados de rendimento e eficiência dos processos de extração avaliadas. Excetuam-se os trabalhos de Will e Dietrich (2013) e Laaksonen et al. (2013).

Laaksonen et al. (2013), realizou o estudo com cinco diferentes variedades de groselhas, e comparou a extração do seu suco sem pré tratamento com a extração a partir da fruta pré-tratado com Pectinase 714 L da Biocatalysts, na concentração de 0,15 ml/kg, temperatura de 46 ± 1 °C e tempo de reação de 4 h. O uso da enzima proporcionou aumento máximo de 22% no rendimento da extração do suco da variedade Ola (Rendimento = 72%) em comparação ao processo sem pré-tratamento (Rendimento = 59%).

Especificamente em relação ao uso das enzimas Pectinex® Ultra AFP e Celluclast® 1.5 L, Will e Dietrich (2013) utilizaram-nas para extração do suco de ruibarbo (*Rheum rhabarbarum*). Mesmo sem o uso de enzimas, os autores obtiveram alto rendimento (88,4%) no processo de extração. Aplicando as enzimas simultaneamente no pré-tratamento do ruibarbo, nas respectivas concentrações de 0,2 ml/kg e 0,1 ml/kg, temperatura de 20 °C com tempo de reação de 2 h, foi possível alcançar rendimento máximo de 92,4%. Com o aumento da temperatura para 50 °C e redução do tempo de reação para 1 h, o maior rendimento (93,3%), foi encontrado ao utilizar a enzima Pectinex® Ultra AFP de forma isolada, na concentração de 0,2 ml/kg.

5.2.2.1 Análise Sensorial

Na análise sensorial preliminar do suco obtido em E33 (delineamento experimental 2), verificou-se que o suco aproximou-se do perfil sensorial desejado pela empresa; porém, com notas ainda aquém do padrão. Para identificar as diferenças notadas, a amostra padrão juntamente com a amostra obtida no experimento E33 foram submetidas a análise descritiva quantitativa (ADQ) e a análise cromatográfica por SPME.

5.2.2.2 ADQ do suco de cebola padrão e do suco pré-tratado com enzimas

Os resultados obtidos na análise de ADQ, referente ao suco do Ensaio E33, estão ilustrados na Figura 15, construída a partir dos valores médios pontuados pelo grupo de avaliadores (Anexo C).

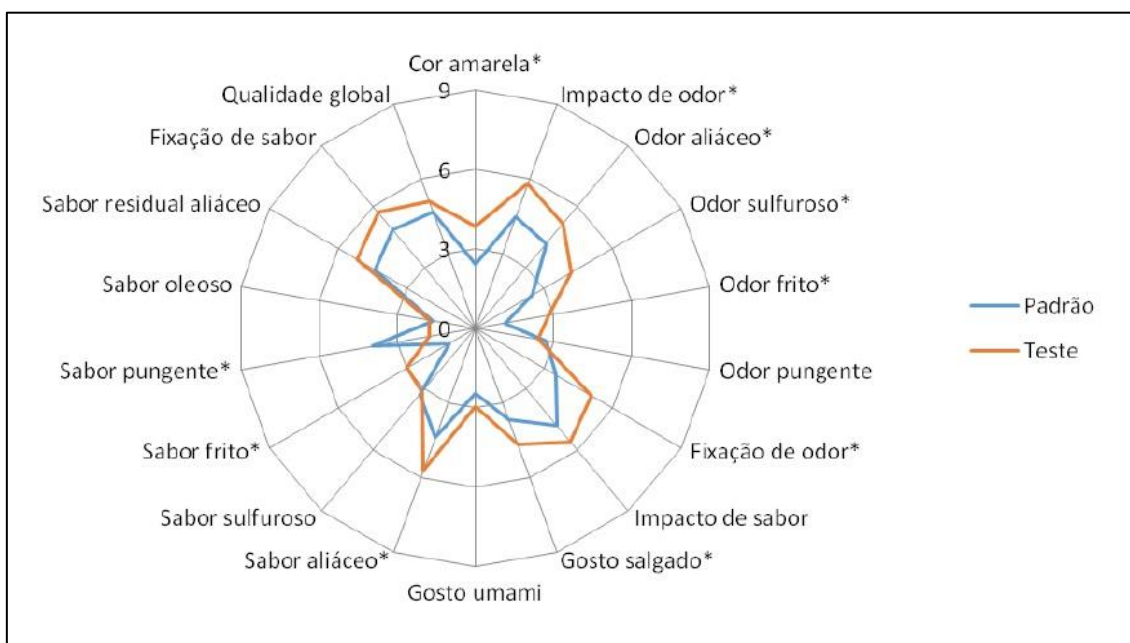


Figura 13: Resultado da análise descritiva quantitativa (ADQ) para as amostras de suco de cebola concentrado padrão e teste (E33).

*Indicam os atributos onde houve diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre o padrão e o teste.

Dentre os 18 atributos avaliados, houve diferença significativa ($p < 0,05$) em 10 deles (55% dos atributos): cor amarela, impacto de odor, odor aliáceo, odor sulfuroso, odor frito, fixação de odor, gosto salgado, sabor aliáceo, sabor frito e sabor pungente.

A maior diferença entre o padrão e o teste foi detectado no atributo “sabor pungente”, corroborando com o que foi observado na análise sensorial dos produtos discutido em 5.2.2.1 Esse atributo está relacionado ao odor característico e sabor de cebola fresca no suco (ardência)

5.2.2.3 Análise cromatográfica por SPME do suco de cebola padrão e do suco pré-tratado com enzimas

Foram identificados diversos compostos sulfurados em ambas as amostras analisadas (Tabela 12). De acordo com Mariutti e Bragagnolo (2009), esses compostos são indicados como os responsáveis pelo odor característico e sabor pungente da cebola fresca; o qual é desejado pela empresa no suco produzido.

Table 12: Componentes identificados por SPME na amostra padrão de suco de cebola e no teste (E33).

RT	COMPONENTES	CAS	Padrão		Teste	
			% Área	Área	% Área	Área
4.30	Disulfide, dimethyl	000624-92-0	2.21	3.64E+05	2.21	2.70E+05
8.52	2,4-Dimethylthiophene	000638-00-6	2.04	3.37E+05	1.51	1.85E+05
8.79	Methyl 1-propenyl disulfide	005905-47-5	2.91	4.79E+05	3.16	3.86E+05
9.51	Methyl 1-propenyl disulfide	005905-47-5	7.42	1.22E+06	7.57	9.25E+05
12.11	Dimethyl trisulfide	003658-80-8	31.12	5.12E+06	35.01	4.28E+06
16.54	2-Thiaadamantane	000281-25-4	10.83	1.78E+06	6.54	8.00E+05
18.71	cis-Methyl propenyl sulfide	052195-40-1	21.55	2.34E+06	14.25	1.58E+06
22.52	Dimethyl tetrasulphide	005756-24-1	9.06	1.49E+06	9.00	1.10E+06
25.24	3,4-Dimethylthiophene	000632-15-5	2.60	4.28E+05		
37.75	Allyl isopropyl sulfide	050996-72-0	4.24	6.97E+05	2.76	3.37E+05
37.95	Allyl isopropyl sulfide	050996-72-0	2.27	3.74E+05	1.29	1.58E+05

Conforme pode ser observado na Tabela 16, a amostra teste (E33) apresentou menores valores de área dos picos no cromatograma em comparação à amostra padrão (Anexo D), o que comprova o resultado observado na análise descritiva (ADQ) realizada, em relação ao atributo “sabor pungente”.

5.2.3 Quantificação do efeito das variáveis operacionais sobre R

A partir da Tabela 13 (ANOVA do delineamento experimental 2), obteve-se o modelo matemático aditivo (Equação 6) que quantifica o efeito das variáveis estatisticamente significativas sobre o rendimento. Foi selecionado este delineamento para o modelo, pois foi onde empregou-se menores concentrações de enzimas e obteve-se melhor qualidade sensorial do produto em comparação ao anterior (Tabela 10).

$$R = 42,59 + 9,36a + 17,09b + 10,99c + 4,25d + 2,86ab + 2,66ac + 8,39bc + 7,50cd \quad (6)$$

Na equação 6, as letras *a, b, c* e *d* representam os níveis das variáveis operacionais temperatura, tempo de reação, concentração de pectinase e concentração de celulase, respectivamente.

Se considerarmos o ponto central do delineamento, onde $a = b = c = d = 0$, o valor do rendimento calculado (Equação 6) é de $R = 42,59\%$. Esse valor é 6,7% superior ao valor experimental médio obtido ($R = 39,9\%$). No entanto, é possível constatar que nas condições extremas (-1 e +1) os respectivos valores de R estimados (-20,5 e 105,7%) diferem bastante dos valores experimentais obtidos (33,1 e 73,6%), o que indica uma necessidade de ajuste do modelo proposto. Isto seria possível a partir da realização de novos experimentos, utilizando-se novos valores para os níveis das variáveis operacionais com valores entre -1 e +1, diferentemente dos valores utilizados no delineamento experimental 2. Sugere-se esses experimentos para uma continuidade desse estudo.

5.3 PRÉ-TRATAMENTO DE EXPLOSÃO A VAPOR

Os resultados obtidos com os experimentos do pré-tratamento em reator de explosão a vapor estão demonstrados na Tabela 15.

Tabela 13: Rendimento e eficiência do processo de pré-tratamento em reator de explosão a vapor.

Ensaio	Massa de Cebola (kg)	Massa de cebola + água incorporada (kg)	Massa suco extraído (kg)	Massa úmida de bagaço (kg)	R base úmida (%)	R base seca (%)	E (%)
R1	5,00	5,41	3,61	1,63	66,7	6,29	74,6
R2	5,00	6,09	4,67	1,28	76,7	8,14	84,6
R3	4,94	5,90	3,37	2,45	57,1	5,42	63,8
R4	4,94	5,72	3,22	2,37	56,3	5,58	62,7

R1 - cebola sem casca; R2 - cebola com casca; R3 – Bagaço de cebola sem casca; R4 – Bagaço de cebola com casca;

Os dados da Tabela 14 mostram que o emprego da cebola com casca (R2), possibilitou um aumento de rendimento na extração do suco (76,7%) da ordem de 15% maior do que o proporcionado pelo uso da cebola sem casca (R1) (66,7%). Não é possível afirmar que a permanência da casca no material pré-tratado afetou positivamente o processo de extração do suco. Novos experimentos com diferentes quantidades de cebolas, com e sem cascas, poderiam fornecer dados suficientes para esclarecimento desta dúvida. Esses valores de rendimento foram, respectivamente, da ordem de 9,4% menor e 4,1% maior do que aquele encontrado na melhor condição do delineamento 2 do pré-tratamento enzimático (Ensaio E33: R= 73,6%).

Os experimentos R3 e R4, nos quais foram realizados com pré-tratamento do bagaço da cebola sem casca e com casca, respectivamente, mostraram a possibilidade de recuperar em torno de 56,7% do suco descartado no bagaço. A obtenção de rendimento médio entre R3 e R4 (56,7%) e eficiência (63,3%) demonstrou o potencial de aproveitamento do bagaço industrial para uma re-extração do suco.

5.3.1 Análise sensorial

A avaliação sensorial preliminar realizada após concentração dos sucos (os quatro ensaios foram concentradas) de acordo com o processo padrão

(60°C), resultou em perfis muito semelhantes. Porém o processo alterou completamente o perfil sensorial do suco em comparação ao suco concentrado padrão. O suco resultante apresentou gosto umami e notas carameladas. Embora não alcançou-se o perfil desejado pela empresa, o produto resultante do pré-tratamento, mostrou potencial para o desenvolvimento de novos produtos. Tem-se, então, uma oportunidade de agregar valor à produção industrial, principalmente, em relação ao resíduo do processo (bagaço).

Devido a este produto não ter alcançado perfil padrão desejado pela indústria, não foram realizadas outras análises.

5.4 CONCENTRAÇÃO DO SUCO DE CEBOLA

As taxas de evaporação obtidas nas diferentes condições operacionais de concentração do suco de cebola são apresentadas na Tabela 15.

Tabela 14: Valores médios e desvios padrões das taxas de evaporação obtidas nos ensaios de concentração do suco de cebola em diferentes condições operacionais.

Ensaio	Condições Operacionais		$\mathfrak{D}_{\text{evap}}$ (gH ₂ O/h)
	Temperatura (°C)	P _{Vácuo} (+/-10mmHg)	
C1	50	670	0,50 ± 0,07
C2	50	630	0,20 ± 0,02
C3	50	590	0,20 ± 0,04
C4	60	670	116,1 ± 2,0
C5	60	630	14,2 ± 1,6
C6	60	590	0,20 ± 0,01
C7	70	670	222,4 ± 2,2
C8	70	630	169,0 ± 15,6
C9	70	590	85,6 ± 8,2

A maior taxa de evaporação (222,4 gH₂O/h) foi obtida no ensaio C7 (T = 70 °C e P_{vácuo} = 670 mmHg). Esse valor foi 159,8% maior do que a taxa alcançada na mesma temperatura com a menor pressão (P_{vácuo} = 590 mmHg, Ensaio C9) e 91,6% maior do que a taxa obtida a 60 °C (processo industrial) e mesma pressão (Ensaio C4). A taxa resultante nos ensaios a 50 °C, independentemente de P_{vácuo}, foi muito menor do que as demais a 60 e 70 °C, sendo portanto considerada não-indicada para aplicação em escala industrial, por afetar fortemente a produtividade do processo.

A temperatura de 70 °C foi avaliada em escala industrial, onde obteve-se uma taxa de evaporação de 621 kg/h. Esse valor foi 21,3% maior que o valor até então praticado pela empresa (512 kg/h) a 60 °C. Com isto, a empresa passou a adotar essa nova temperatura.

5.4.1 Análise Sensorial

O suco concentrado a 70 °C em comparação ao padrão, o qual foi concentrado a 60°C, apresentou semelhança, sendo assim encaminhado para o teste discriminativo. Os resultados obtidos estão na Tabela 17.

Tabela 15: Teste discriminativo referente a amostra C7 obtida nos ensaios de concentração do suco.

Teste Discriminativo	
Respostas corretas	5
Respostas incorreta	7
Total de respostas	12

Obteve-se sete respostas incorretas na avaliação, com isso, pode-se afirmar que não há diferença sensorial estatisticamente significativa entre as amostras avaliadas, com confiança de 95%.

Com o resultado obtido em escala laboratorial, fez-se aumento de escala e aplicou-se a melhor condição encontrada para concentração (T = 70°C) na produção durante a safra de 2016. O suco obtido foi aprovado sensorialmente pelo controle de qualidade da empresa, validando o experimento realizado.

5.5 BALANÇO DE MASSA

5.5.1 Histórico da produção do suco concentrado

Verificou-se o histórico da produção da safra de 2013/2014 (Tabela 18). De acordo com dados informados pela empresa, processou-se 444,8 ton. de cebola in natura, obtendo-se 19,2 ton. de suco concentrado. O rendimento global da safra foi de 4,31%.

Tabela 16: Dados da safra de cebola 2013/2014.

DADOS SAFRA 2013/2014				
Período	Quantidade de suco (g)	nº lotes	Quantidade de Cebola(g)	Rendimento em base úmida (%)
dez/13	6.983.000,00	28	156.829.700,80	4,45
jan/14	2.500.000,00	10	60.299.800,00	4,15
fev/14	9.693.000,00	39	227.699.350,00	4,26
Total	19.176.000,00	77	444.828.850,80	4,31

Fonte: Dados internos da empresa em estudo, 2015.

Em 2015, produziu-se 13,5 toneladas de suco concentrado (Tabela 19), obtendo-se rendimento global de 4,07%. Observa-se que, pela avaliação mensal, o resultado do mês de abril foi atípico ($R = 2,55\%$), ocasionando o decréscimo na média.

Tabela 17: Dados da safra de cebola 2015.

DADOS SAFRA 2015				
Período	Quantidade de suco (g)	nº lotes	Quantidade de Cebola(g)	Rendimento em base úmida (%)
fev/15	2.578.000,00	11	59.100.528,00	4,36
mar/15	8.507.650,00	37	180.675.045,55	4,71
abr/15	2.465.000,00	14	96.550.158,40	2,55
Total	13.550.650,00	62	332.546.073,15	4,07

Fonte: Dados internos da empresa em estudo, 2015.

A safra da cebola na região de Santa Catarina inicia-se em novembro e vai até março. Por meio dos acompanhamentos realizados durante os meses, evidenciou-se que a cebola recebida no mês de abril não alcança performance de rendimento desejada, visto sua característica de fim de safra. Desconsiderando o resultado do mês de abril, a média seria 4,54%.

5.5.2 Balanço de massa do cenário atual da indústria

O diagrama de blocos do processo com o balanço de massa calculado a partir do acompanhamento do processo de produção de suco de cebola concentrado da safra de 2015 está demonstrado na Figura 10. Em cada etapa, indicou-se a composição de cada corrente, sendo dados em verde para cálculos realizados por meio de análises e em vermelho para os cálculos estimados pelas diferenças entre as correntes.

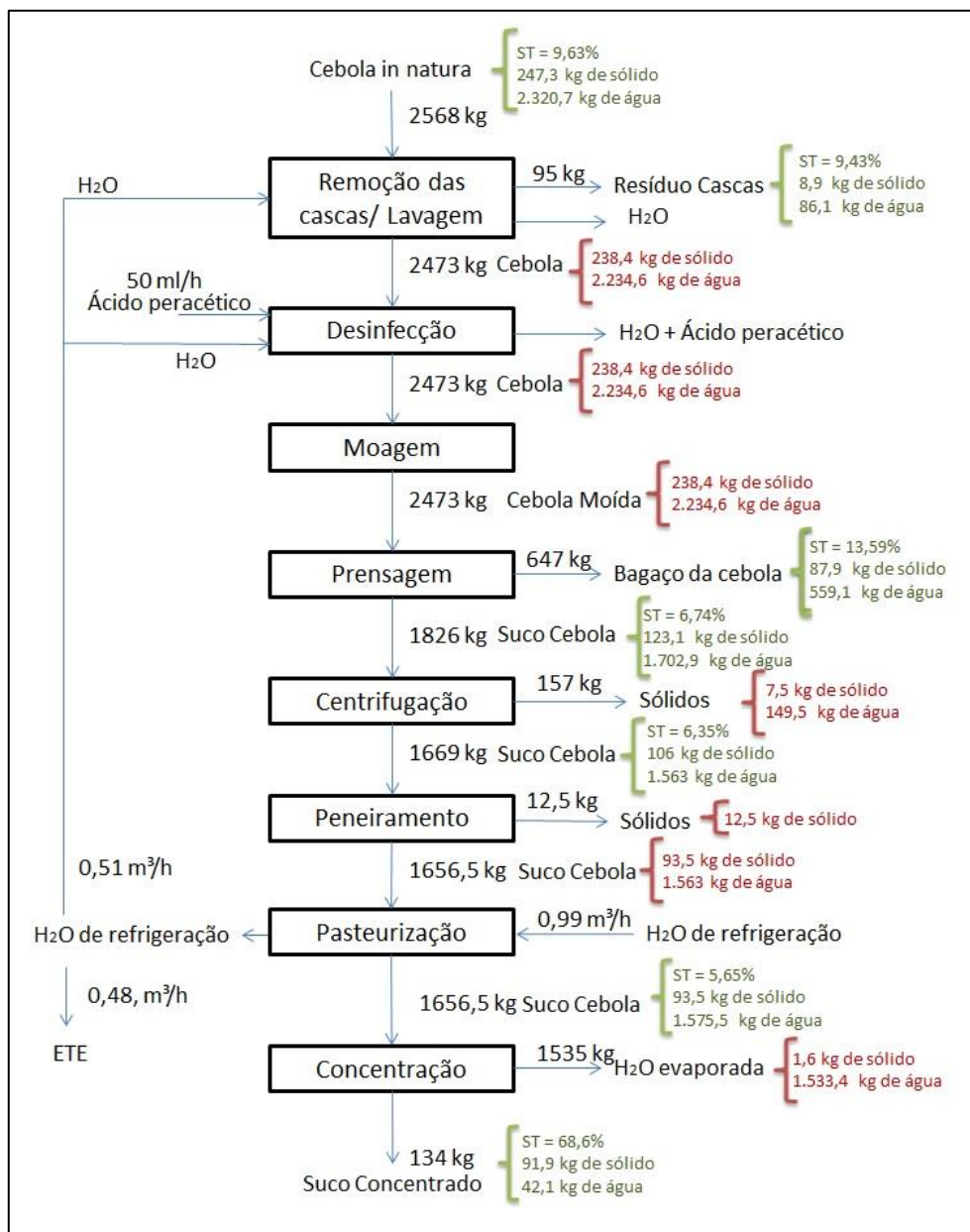


Figura 14: Diagrama de blocos com balanço de massa do processo padrão industrial.

Observando a Figura 16, verifica-se que o rendimento em base úmida da extração do suco (etapa de prensagem) tem valor médio de 73,1% e o rendimento em base úmida de suco de cebola concentrado obtido, tem valor médio de 5,20%. Além disso, as eficiências médias do processo (Equação 5) obtidas da extração do suco e da concentração do mesmo foram de 80,9% e 5,7% respectivamente.

De acordo com dados levantados na Tabela 17, o rendimento de suco concentrado obtido no balanço de massa foi 1,1% superior ao rendimento global da safra de 2015. Foram verificados alguns fatores que contribuem para esta diferença:

- Qualidade da cebola recebida;
- Perdas de cebola durante a produção (podridão);
- Diferenças entre a quantidade de cebola recebida de fato em relação a quantidade pesada na entrada durante o recebimento;

Dentre estes fatores o que tem maior influência é a qualidade da cebola, que se comprova através da Tabela 23, na qual já se discutiu o baixo rendimento do mês de abril.

Para efeito de comparação com os processo de pré-tratamento, foi realizado o balanço de massa do processo padrão em escala laboratorial, o qual está demonstrado na Figura 17.

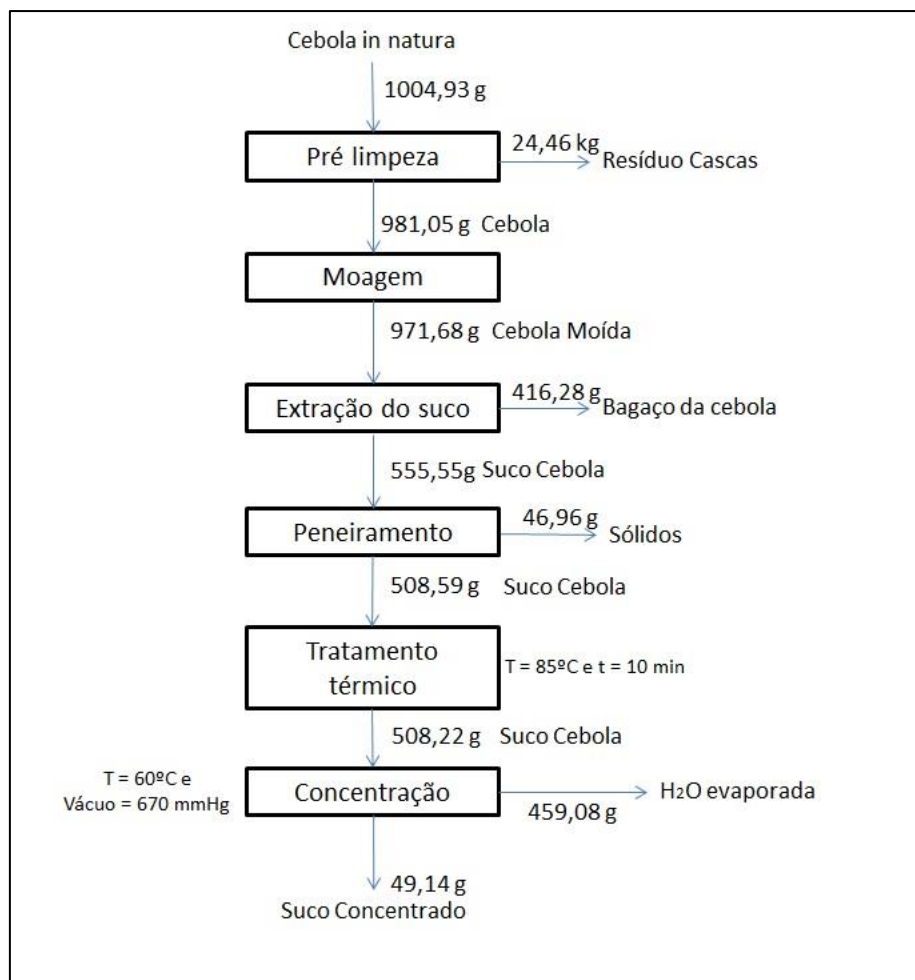


Figura 15: Diagrama de blocos com o balanço de massa do processo padrão em escala laboratorial.

Em escala laboratorial, obteve-se o rendimento global de 4,89% e 57,17% de extração de suco seguindo processo padrão. Esses valores diferem dos resultados encontrados no balanço de massa já apresentado em escala industrial. Isso pode ter ocorrido devido as diferenças entre método de extração utilizado em escala laboratorial e industrial, bem como o tipo de cebola utilizada.

5.5.3 Balanço de massa do processo com pré-tratamento térmico e enzimático

O balanço de massa do tratamento enzimático foi realizado com a melhor condição encontrada no segundo planejamento experimental conforme discutido anteriormente (Ensaio E33) e está demonstrado na Figura 12.

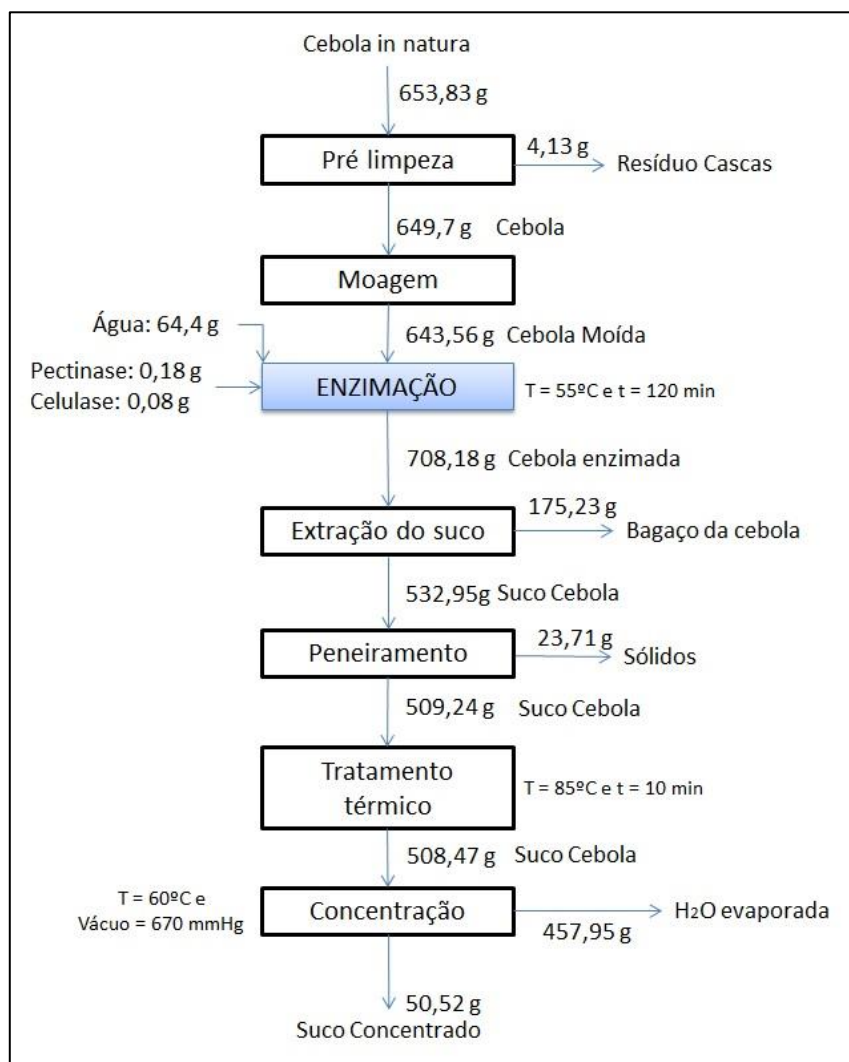


Figura 16: Diagrama de blocos com balanço de massa do processo com pré-tratamento enzimático em escala laboratorial (E33).

O rendimento em base úmida global do fluxo apresentado é de 7,73 %, o qual é 2,84% superior ao processo padrão em escala laboratorial, apresentado anteriormente. O rendimento de extração de suco foi de 75,25%.

Para se alcançar em torno de 50g de suco concentrado foi possível com o pré-tratamento térmico enzimático a redução de 34,9% da cebola *in natura* inicial na escala laboratorial. Além da redução da matéria-prima, também se obteve redução de 57,9% da geração de bagaço, o que gera uma economia no processo, visto que se reduz a quantidade a ser descartada em aterro.

Na hipótese do processo em escala laboratorial se reproduzir na escala industrial, considerando o montante de resíduos descartados na safra de 2015 (cerca de 80 ton), a redução de 57,9% resultaria numa geração de apenas 33,7

toneladas. Dessa forma verifica-se que há possibilidades de grande redução do resíduo gerado, porém é necessários estudos mais aprofundados para se obter a condição ideal de processamento que não afete a qualidade sensorial do suco desejado pela empresa.

CONCLUSÃO

Com o pré-tratamento térmico e enzimático, empregando as enzimas Pectinex® Ultra AFP e Celluclast® 1.5 L, nas concentrações de 2,5 ml/kg e 5 ml/kg respectivamente, alcançou-se rendimento máximo na extração do suco de 83,8%. Ao reduzir as concentrações dessas enzimas, para 0,25 ml/kg e 0,10 ml/kg, o rendimento reduziu para 73,6% (Ensaio E33). Esses rendimentos foram da ordem de 3,3 e 2,9 vezes maiores que o rendimento do suco extraído de cebola não tratada.

Ao comparar as diferentes concentrações de enzimas empregadas, o uso de menores quantidade proporcionou um produto de melhor qualidade sensorial; porém, nenhum dos sucos atingiu o perfil desejado pela empresa.

Em relação ao pré-tratamento de explosão a vapor, foi possível alcançar rendimento em suco de até 76,7% ao empregar cebola com casca. Este valor foi superior àquele obtido com o pré-tratamento térmico e enzimático com menores concentrações de enzimas.

O suco concentrado obtido a partir da cebola pré-tratada por explosão a vapor, teve seu perfil sensorial completamente alterado, em relação ao padrão industrial desejado. Apesar de ter sido considerado inadequado para a obtenção do produto desejado, detectou-se a potencialidade do pré-tratamento na obtenção de um novo produto para a indústria, principalmente em relação ao reaproveitamento do resíduo (bagaço de cebola).

A concentração do suco de cebola com temperatura de 70 °C promoveu maior taxa de evaporação de água (222,4 gH₂O/h) em comparação a 50 °C (0,50 gH₂O/h) e 60 °C (116,1 gH₂O/h). Em função da análise sensorial do suco concentrado a 70 °C ter demonstrado que as suas características se assemelharam àquelas desejadas pela empresa (suco padrão concentrado a 60 °C), essa nova temperatura foi testada em escala industrial e aprovada.

Por meio do levantamento de dados registrados pela empresa verificou-se que o rendimento médio global em base úmida da safra de 2015 foi de 4,07%. Com a realização do balanço de massa *in loco*, na linha de produção, o rendimento médio estabelecido foi de 5,20%. Esta diferença pode ser explicada pela qualidade da cebola utilizada.

Este trabalho demonstrou que há possibilidades de incrementar o rendimento industrial de extração e concentração do suco de cebola, bem como reduzir a emissão de resíduos sólidos e reaproveitá-los para geração de um novo produto. Faz-se, contudo, a necessidade de novos estudos a fim de alcançar-se, com a cebola pré-tratada, um produto de perfil sensorial semelhante ao desejado pela empresa.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, L. M. **Fermentados alcoólico e acético de polpa e casca de abacaxi (*Ananas comosus* (L.) Merrill): cinética das fermentações e caracterização dos produtos.** Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos). Faculdade de Farmácia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

ARAÚJO, C. R. de.; GARRIDO, C. V. S.; SANTOS, J. M. G. M.; LEAL, S. C. S.; CAMPOS, L. M. A. Estudo das rotas de hidrólise química e biológica para a produção de etanol de segunda geração a partir de resíduos lignocelulósicos. **Revista Unifacs**, v. 12, 2013.

ASTM E1756-08. **Standard Test Method for Determination of Total Solids in Biomass**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2008.

BREU, W. *Allium cepa* L. (Onion) - part 1: chemistry and analysis. **Phytomedicine**, v. 2, p. 293-306, 1996.

CASSANO, A.; JIAO, B.; DRIOLI, E. Production of concentrated kiwifruit juice by integrated membrane process. **Food Research International**, v. 37, p. 139–148, 2004.

CENDRES, A.; CHEMAT, F.; PAGE, D.; LE BOURVELLEC, C.; MARKOWSKI, J.; ZBRZEZNIAK, M.; RENARD, C. M. G. C.; PLOCHARSKI, W. Comparison between microwave hydrodiffusion and pressing for plum juice extraction. **LWT - Food Science and Technology**, v. 49, p. 229–237, 2012.

CHUNG, H-S; KIM, D-S.; KIM, H-S; LEE, Y-G; SEONG, J.H. Effect of freezing pretreatment on the quality of juice extracted from *Prunus mume* fruit by osmosis with sucrose. **Food Science Technology**, v. 54, n. 1, p. 30-34, 2013.

COSTA, N. D.; RESENDE G. M. de. **Cultivo da cebola no nordeste.** Embrapa. Sistemas de Produção, 3 ISSN 1807-0027. 2007. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Cebola/CultivoCebolaNordeste/quimica.htm>>. Acesso em 29 ago. 2014.

DUTCOSKY, S. D. **Análise sensorial de alimentos.** 3 ed. revista e ampliada. Curitiba: Champagnat, 2011. 426 p.

EPAGRI/ CEPA. **Síntese anual da agricultura de Santa Catarina – 2012/2013.** Florianópolis, 2013. Disponível em:<[www.http://cepa.epagri.sc.gov.br/](http://cepa.epagri.sc.gov.br/)>. Acesso em: 23 junho 2014.

EPAGRI/ CEPA. **Síntese anual da agricultura de Santa Catarina – 2014/2015.** Florianópolis, 2013. Disponível em:<[www.http://cepa.epagri.sc.gov.br/](http://cepa.epagri.sc.gov.br/)>. Acesso em: 19 dez 2015.

FARIÑA, L. S. C.; RODRIGUES, I. M. M. A.; HENRIQUES, M. H. F.; SARAIVA, R. J. L. Otimização do rendimento do sumo de cenoura durante o processo produtivo. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 1, n. 1, p. 64-81, 2007.

GAVA, A. J.; SILVA, C. A. B. DA; FRIAS, J. R. G. **Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações**. São Paulo: Nobel, 2008. 511p.

GUTIÉRREZ, G.; BENITO, J. M.; COCA, J.; PAZOS, C. Vacuum evaporation of surfactant solutions and oil-in-water emulsions. **Chemical Engineering Journal**, v. 162, p. 201-207, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Indicadores IBGE**: Estatística da produção agrícola. 2013. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Fasciculo_Indicadores_IBGE/2013/est_ProdAgr_201309.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2014.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 4120 - **Sensory analysis - Methodology - Triangle test**. Switzerland: ISO, 2004.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 13299:2003 **Sensory analysis - Methodology - General guidance for establishing a sensory profile**. 2003.

JABBAR, S.; ABID, M.; HU, B.; WU, T.; HASHIM, M. M.; LEI, S.; ZHU, X.; ZENG, X. Quality of carrot juice as influenced by blanching and sonication treatments. **LWT - Food Science and Technology**, v.55, p.16–21, 2014.

JACQUET, N.; QUIÉVY, N.; VANDERGHEM, C.; JANAS, S.; BLECKER, C.; WATHELET, B.; DEVAUX, J.; PAQUOT, M. Influence of steam explosion on the thermal stability of cellulose fibres. **Polymer Degradation and Stability**, v.96, p. 1582-1588, 2011.

LAAKSONEN, O.; MÄKILÄ, L.; TAHVONEN, R.; KALLIO, H.; YANG, B. Sensory quality and compositional characteristics of blackcurrant juices produced by different process. **Food Chemistry**, v. 138, p. 2421-2429, 2013.

LANZOTTI, V. The analysis of onion and garlic. **Journal of Chromatography A**, v. 1112, p. 3-22, 2006.

LIMA, M. DOS S.; DUTRA, M. DA C. P.; TOALDO, I. M.; CORRÊA, L. C.; PEREIRA, G. E.; DE OLIVEIRA, D.; BORDIGNON-LUIZ, M. T.; NINOW, J. L. Phenolic compounds, organic acids and antioxidant activity of grape juices produced in industrial scale by different processes of maceration. **Food Chemistry**, n.188, p. 384 – 392, 2015.

LY, T. N.; HAZAMA, C.; SHIMOYAMADA, M.; ANDO, H.; KATO, K.; & YAMAUCHI, R. Antioxidative compounds from the outer scales of onion. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, n. 53, p. 8183–8189, 2005.

MANKARIOS, A. T.; HALL, M. A.; JARVIS, M. C.; THRELFALL, D. R.; FRIEND, J. Cell wall polysaccharides from onions. **Phytochemistry**, v. 19, p. 1731-1733, 1980.

MARCINKOWSKI, E. de A. **Estudo da cinética de secagem, curvas de sorção e predição de propriedades termodinâmicas da proteína texturizada de soja**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

MARIUTTI, L. R. B.; BRAGAGNOLO, N. A oxidação lipídica em carne de frango e o impacto na adição de sálvia (*Salvia officinalis*, L.) e de alho (*Allium sativum*, L.) como antioxidantes naturais. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v.68, n.1, 2009.

MASKAN, M. Production of pomegranate (*Punica granatum* L.) juice concentrate by various heating methods: colour degradation and kinetics. **Journal of Food Engineering**, v. 72, p. 218-224, 2006.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G.V.; CARR, B.T. **Sensory evaluation techniques**. 4th ed. Boca Raton: CRC Press, 2006.456 p.

MONDY, N.; DUPLAT, D.; CHRISTIDES, J. P.; ARNAULT, I.; AUGER, J. Aroma analysis of fresh and preserved onions and leek by dual solid-phase micro extraction-liquid extraction and gas chromatography-mass spectrometry. **Journal of Chromatography A**, v. 063, p. 89-93, 2002.

NADULSKI, R.; GROCHOWICZ, J.; SOBCZAK, P.; KOBUS, Z.; PANASIEWICZ, M. ZAWISLAK, J.; STAREK, A.; ZUKIEWICZ-SOBCZAK, W. Application of freezing and thawing to carrot (*Daucus carota* L.) juice extraction. **Food Bioprocess Technology**, v. 8, p. 218-227, 2015.

NODA, Y.; ASADA, C.; SASAKI, C.; HASHIMOTO, S.; NAKAMURA, Y. Extraction method increasing antioxidant activity of raw garlic using steam explosion. **Biochemical Engineering Journal**, v. 73, p. 1-4, 2013.

OLIVEIRA, M. C.; SILVA, N. C. C.; NOGUEIRA, A.; WOSIACKI, G. Avaliação do método de liquefação enzimática na extração de suco de maçã. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 26, p. 906-915, out.-dez. 2006.

ONSEKIZOGLU, P.; BAHCECI, K. S.; ACAR, M. J. Clarification and the concentration of apple juice using membrane process: a comparative quality assessment. **Journal of Membrane Science**, v. 352 p. 160–165, 2010.

PALUDO, M. C.; KRÜGER, R. L. Ação da enzima pectinase na extração do suco de jaboticaba. **Arq. Ciênc. Saúde UNIPAR**, Umuarama, v. 15, n. 3, p. 279-286, set./dez. 2011.

PASHA, K.M., ANURADHA, P., SUBBARAO, D., 2013. Applications of pectinases in industrial sector. **International Journal of Pure and Applied Sciences and Technololy**, v.16, p. 89–95, 2013.

PENHA, E. M. Aplicação industrial de enzimas na clarificação de sucos de frutas. Seminário Brasileiro de Tecnologia Enzimática. 2012. Disponível em: <http://www.furb.br/enzitec/2012/_app/_FILE_RESUMO_CD/585.pdf>.

PETZOLD, G.; MORENO, J.; LASTRA, P.; ROJAS, K.; ORELLANA, P. Block freeze concentration assisted by centrifugation applied to blueberry and pineapple juices. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 30, p. 192–197, 2015.

PITARELO, A. P.; SA SILVA, T. A.; PERALTA-ZAMORA, P. G.; RAMOS, L. P. Efeito do teor de umidade sobre o pré-tratamento a vapor e a hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar. **Química Nova**, v. 35, n. 8, p.1502-1509, 2012.

PRAPORSCIC, I.; LBOVKA, N.I.; GHNIMI, S.; VOROBIEV, E. Ohmically heated, enhanced expression of juice from apple and potato tissues. **Biosystems Engineering**, n. 93, p. 199-204, 2006.

REKTOR, A.; VATAI, G.; BÉKÁSSY-MOLNÁR, E. Multi-step membrane processes for the concentration of grape juice. **Desalination**, v. 191, p. 446–453, 2006.

RESENDE, G.M.; CHAGAS, S.J.R.; PEREIRA, L.V. Características produtivas de cultivares de cebola no Sul de Minas Gerais. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 4, p. 722-725, outubro-dezembro 2003.

ROLDÁN, E.; SANCHEZ-MORENO, C.; DE ANCOS, B.; CANO, M. P. Characterisation of onion (*Allium cepa* L.) by-products as food ingredients with antioxidant and antiblowing properties. **Food Chemistry**, v. 108, p. 907-916, 2008.

RODRIGUES, M. I.; IEMMA, A. F. **Planejamento experimental e otimização de processos: uma estratégia sequencial de planejamento**. 1ª ed. Campinas: Casa do Pão Editora, 2015. 326p.

SAGU, S. T.; NOS, E. J.; KARMAKAR, S.; DE, S. Optimization of low temperature extraction of banana juice using commercial pectinase. **Food Chemistry**, n. 151, p. 182-190, 2014.

SALAK, F.; DANESHYAR, S.; ABEDI, J.; FURUKAWA, K. Adding value to onion (*Allium cepa* L.) waste by subcritical water treatment. **Fuel Processing Technology**, n. 112, p. 86 – 92, 2013.

SANGRAME, G.; BHAGAVATHI, D.; THAKARE, H.; ALI, S.; DAS, H. Performance evaluation of a thin film scraped surface evaporator for

concentration of tomato pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 43, p. 205-211, 2000.

SANTI, L.; BERGER, M.; DA SILVA, W. O. B. Pectinases e pectina: aplicação comercial e potencial biotecnológico. **Caderno Pedagógico**, Lajeado, v. 11, n. 1, p. 130-139, 2014.

SHARMA, K.; KO, E. Y.; ASSEFA, A. D.; HÁ, S; NILE, S. H.; LEE, E. T.; PARK, S. W. Temperature-dependent studies on the total phenolics, flavonoids, antioxidant activities, and sugar content in six onion varieties. **Journal of Food and Drug Analysis**, v. 23, p. 243 – 252, 2015.

SØLTOFT, M.; CHRISTENSEN, J. H.; NIELSEN, J.; KNUTHSEN, P. Pressurised liquid extraction of flavonoids in onions. Method development and validation. **Talanta**, v. 80, p. 269 – 278, 2009.

SUI, W.; CHEN, H. Multi-stage energy analysis of steam explosion process. **Chemical Engineering Science**, v. 116, p. 254 – 261, 2014.

TRAPE, A. R.; JAIN, R. K. Optimization of an enzyme assisted banana pulp clarification process. **International Food Research Journal**, v. 21, n. 5, p. 2043 - 2048, 2014.

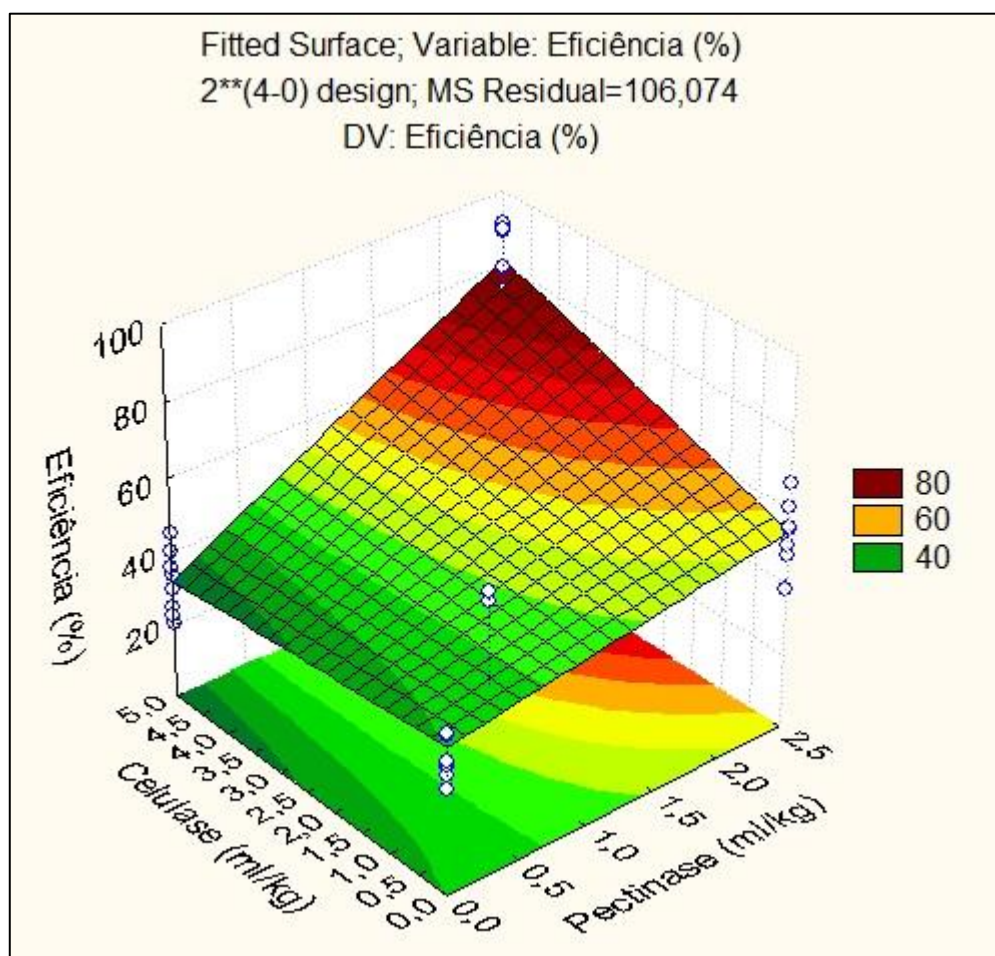
UENOJO, M.; PASTORE, G. M. Pectinases: aplicações industriais e perspectivas. **Química Nova**, v. 30, n. 2, p. 388-394, 2007.

WANG, B.; CHENG, F.; LU, Y., GE, W.; ZHANG, M.; YUE, B. Immobilization of pectinase from *Penicillium oxalicum* F67 onto magnetic cornstarch microspheres: characterization and application in juice production. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**, n. 97, p. 137 – 143, 2013.

WILL, F.; DIETRICH, H. Processing and chemical composition of rhubarb (*Rheum ehabarbarum*) juice. **LWT - Food Science and Technology**, n. 50, p. 673-678, 2013.

ANEXOS

ANEXO A – SUPERFÍCIE DE RESPOSTA DA INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE ENZIMAS SOBRE A EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE EXTRAÇÃO DE SUCO DE CEBOLA REFERENTE AO DELINEAMENTO EXPERIMENTAL 1.



ANEXO B – EXPERIMENTO E0 – RENDIMENTO E EFICIÊNCIA DE
EXTRAÇÃO DO SUCO SEM PRÉ-TRATAMENTO

Ensaio	Rendimento Médio base umida (%)	Rendimento Médio em base seca(%)	Eficiência Média (%)
E0	25,5 ± 0,3%	2,39 ± 0,02%	28,51 ± 0,3%

ANEXO C – VALORES DAS MÉDIAS DOS ATRIBUTOS PARA AS AMOSTRAS DE PADRÃO E TESTE (ENSAIO E 33) – ANÁLISE ADQ

Atributos	Padrão	Teste
Cor amarela*	2,4 ^b	3,8 ^a
Impacto de odor*	4,5 ^b	5,8 ^a
Odor alíáceo*	4,2 ^b	5,2 ^a
Odor sulfuroso*	2,5 ^b	4,2 ^a
Odor frito*	1,2 ^b	2,8 ^a
Odor pungente	2,8 ^a	2,4 ^a
Fixação de odor*	3,5 ^b	5,1 ^a
Impacto de sabor	4,8 ^a	5,6 ^a
Gosto salgado*	3,7 ^b	4,7 ^a
Gosto umami	2,5 ^a	3,0 ^a
Sabor alíáceo*	4,4 ^b	5,7 ^a
Sabor sulfuroso	3,3 ^a	3,1 ^a
Sabor frito*	1,1 ^b	3,0 ^a
Sabor pungente*	3,9 ^a	1,8 ^b
Sabor oleoso	1,6 ^a	1,7 ^a
Sabor residual alíáceo	4,4 ^a	5,2 ^a
Fixação de sabor	4,9 ^a	5,7 ^a
Qualidade global	4,7 ^a	5,1 ^a

* Indicam os atributos com diferença estatística, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Letras diferentes na mesma linha indicam diferença estatística e letras iguais na mesma linha indicam similaridade estatística, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

ANEXO D – CROMATOGRAMA DOS SUCOS DE CEBOLA PADRÃO (PRETO) E TESTE E33 (VERMELHO)

