



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA

SILVIO FURTADO XIMENES

**OBTENÇÃO DE EXTRATO AQUOSO RICO EM BETALAÍNAS A PARTIR DA
BETERRABA (*BETA VULGARIS L.*) COM O USO ASSOCIADO DE
MICROFILTRAÇÃO TANGENCIAL E CONCENTRAÇÃO A VÁCUO**

FORTALEZA

2017

SILVIO FURTADO XIMENES

**OBTENÇÃO DE EXTRATO AQUOSO RICO EM BETALAÍNAS A PARTIR DA
BETERRABA (*BETA VULGARIS L.*) COM O USO ASSOCIADO DE
MICROFILTRAÇÃO TANGENCIAL E CONCENTRAÇÃO A VÁCUO**

Trabalho final de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a graduação em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. João José Hiluy Filho.

Coorientador: Dr. Fernando Antonio Pinto de Abreu

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

X35o Ximenes, Silvio Furtado.

Obtenção de extrato aquoso rico em betalaínas a partir da beterraba (*Beta Vulgaris L.*) com o uso associado de microfiltração tangencial e concentração a Vácuo / Silvio Furtado Ximenes. – 2017.
69 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Química, Fortaleza, 2017.

Orientação: Prof. Dr. João José Hiluy Filho.

Coorientação: Prof. Dr. Fernando Antonio Pinto de Abreu.

1. Betalaínas. 2. Microfiltração Tangencial. 3. Corantes Naturais. 4. Beterraba. I. Título.

CDD 660

SILVIO FURTADO XIMENES

**OBTENÇÃO DE EXTRATO AQUOSO RICO EM BETALAÍNAS A PARTIR DA
BETERRABA (*BETA VULGARIS L.*) COM O USO ASSOCIADO DE
MICROFILTRAÇÃO TANGENCIAL E CONCENTRAÇÃO A VÁCUO**

Trabalho final de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a graduação em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. João José Hiluy Filho

Coorientador: Dr. Fernando Antonio Pinto de Abreu

Aprovado em: Fortaleza, 12 de Dezembro de 2017.

Me. Arthur Cláudio Rodrigues de Souza
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa

Prof. Dr. João José Hiluy Filho (Orientador)
Universidade Federal do Ceará - UFC

Prof.^a Dr.^a Rílvia Saraiva de Santiago Aguiar
Universidade Federal do Ceará - UFC

AGRADECIMENTOS

Aos meus amados e inspiradores pais, Viviani e Robério, por acreditar e investir em mim. Às minhas irmãs Livia e Taila, que, de modo singular, me apoiaram a todo instante. À minha pequena Kimmy, que mesmo sem falar, muito me dizia, alegrando minha vida de modo único, “In Memoriam”.

Ao Professor José Hiluy, com quem partilhei o princípio da idealização daquilo que veio a ser esse trabalho. Pela paciência na orientação, incentivo e apoio que tornaram possíveis a conclusão deste trabalho.

Ao Dr. Fernando de Abreu por compartilhar sua experiência, fornecer apoio e confiar no trabalho realizado durante o período de supervisão das minhas atividades na Embrapa.

Ao Eng. Glauber Batista por sua companhia, ensinamentos e amizade.

À Embrapa e à Dr. Ana Paula pela grande ajuda com o fornecimento dos meios para a realização deste trabalho.

À minha amiga Santângela Oliveira, que se manteve sempre disponível, fornecendo conselhos e ajuda.

Aos meus amigos, Judá Santos e Lucas Batista, por caminharem integralmente ao meu lado em todos os momentos, ao longo de 14 anos de amizade sincera.

À Universidade Federal do Ceará, por ter me oferecido os meios e os métodos para minha formação como Engenheiro Químico, e por ter me apresentado minha companheira de estudos e amada, Lyvia Lopes, que de forma especial me sustentou e me deu forças para superar todas as dificuldades.

A meus amigos e família.

“Using his burgeoning intelligence, this most successful of all mammals has exploited the environment to produce food for an ever-increasing population. Instead of controlling the environment for the benefit of the population, perhaps it's time we controlled the population to allow the survival of the environment.”

Sir David Attenborough

RESUMO

A betalaínas são corantes naturais presentes em vegetais da família das *quenopodiáceas*. A beterraba (*Beta Vulgaris L.*) é um rica fonte de betanina, uma betalaína de coloração vermelho-purpúreo. No ambiente industrial, o uso de corantes naturais em processos de produção aumentou, uma vez que os corantes sintéticos atuais utilizados nesses processos têm passado por estudos que relacionam sua ingestão com problemas de saúde, como alergias. Este trabalho tem o intuito de promover a extração do principal corante da beterraba por meio da utilização de processo de microfiltração tangencial e concentração a vácuo, de forma associada. Os experimentos para obtenção deste corante foram conduzidos no Laboratório de Processos Agroindustriais da Embrapa. Foram utilizadas etapas de limpeza, seleção e autoclavagem, para a obtenção de hortaliças livres de microorganismos. Também utilizou-se de processo de despulpamento, de forma a obter um extrato bruto de beterraba. Para que este extrato pudesse ser trabalhado em processo de microfiltração foi realizada pré-filtração em filtro de nylon (diâmetro de poros de 100 µm). A microfiltração tangencial ocorreu em instalações piloto contendo membranas de óxido de alumínio com diâmetro de poro de 0,2 µm, deste processo obteve-se um produto permeado de beterraba, contendo betalaínas. Por fim, o permeado do processo de microfiltração foi concentrado em etapa de rotaevaporação, dando origem a um extrato concentrado de beterraba rico em betalaínas. Para teste de utilização do corante produzido, foi empregado estudo da coloração de sucos de acerola. Industrialmente o processo de pasteurização deste suco proporciona perda da cor natural vermelha para uma cor amarelada, assim, a adição de corante buscou reduzir ou corrigir esta perda de coloração. Os resultados demonstraram a presença de betanina no corante produzido, em aproximadamente 560 mg/100g de extrato. Também foi observada a efetiva utilização do corante produzido na correção da coloração do suco de acerola após processo de aquecimento deste.

PALAVRAS-CHAVE: Betalaínas; Microfiltração Tangencial; Corantes Naturais; Beterraba.

ABSTRACT

The betalains are natural colorants present on plants of the chenopodiaceae family. Beetroot (*Beta Vulgaris L.*) is a rich source of betanin, a red-purple betalain. In the industrial environment, the use of natural colorants in production processes has increased, since the current synthetic colorants used in these processes have been undergone studies relating their intake to health problems, such as allergies. This work aims to promote the extraction of the beetroot colorant principle through the use of a tangential microfiltration process and a vacuum concentration, in an associated way. The experiments to obtain this colorant were conducted at the Laboratory of Agroindustrial Processes of Embrapa. Cleaning, selection and autoclaving steps were used to obtain microorganism's free vegetables. Pulping process was also used to obtain a crude beet extract. In order for this extract to be worked in a microfiltration process, pre filtration was carried out on a nylon filter (pore diameter of 100 μm). The tangential microfiltration occurred in pilot plants containing 0.2 μm pore diameter aluminum oxide membranes, from which a beet permeate product containing betalains was obtained. Finally, the permeate from the microfiltration process was concentrated in a rotary evaporator, giving rise to a concentrated beet extract rich in betalains. In order to test the use of the colorant produced, a study of the color of acerola juices was carried out. Industrially the pasteurizing process of this juice provides loss of the natural red color to a yellowish color, thus, the addition of colorant sought to reduce or correct this loss of coloration. The results demonstrated the presence of betanin in the colorant produced, in approximately 560 mg / 100g of extract. It was also observed the effective use of the colorant produced in the correction of the acerola juice coloration after the process of heating it.

Keywords: Betalains; Tangential Microfiltration; Natural colorants; Beetroot.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CNNPA	Comissão Nacional de Normas e Padrões de Alimentos
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FCTUC	Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra
FRV	Fator de redução volumétrico
HPLC	High Performance Liquid Chromatography (cromatografia líquida de alta eficiência)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MS	Ministério da Saúde
MFT	Microfiltração Tangencial
ppm	Partes por milhão
PTFE	Politetrafluoretileno
PVDF	Fluoreto de polivinilideno
QDA	Qualitative Data Analysis (análise de dados qualitativos)
SVS	Secretaria de Vigilância Sanitária
UPLC	Ultra Performance Liquid Chromatography (cromatografia líquida de ultra eficiência)
USDA	United States Department of Agriculture (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos)

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Absorbância
a^*	Coordenada cromática a
b^*	Coordenada cromática b
CD	Coefficiente de diluição
ε	Coefficiente de extinção molar
L	Comprimento do eixo da cubeta
L^*	Luminosidade
m_d	Massa diluída
MM	Massa molecular
P_e	Pressão de entrada na cadeia de membranas
P_s	Pressão de saída da cadeia de membranas
P_{tm}	Pressão transmembrana
V_e	Volume do extrato

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	(a) Porfina, estrutura básica das porfirinas; (b) Estrutura básica das clorofilas; (c) Estrutura básica do heme; (d) Bilirrubina.	12
Figura 2	Carotenóides, α – caroteno e β – caroteno.	13
Figura 3	(a) Estrutura básica das antocianinas; (b) Estrutura básica das antoxantinas.	14
Figura 4	Betalanina - Estrutura básica das betalaínas.	14
Figura 5	Betalaínas presentes na beterraba (<i>Beta Vulgaris L.</i>)	15
Figura 6	Funcionamento de uma membrana em fluxo tangencial.	17
Figura 7	Fluxograma do processo de obtenção de corante concentrado de beterraba por uso associado de microfiltração tangencial e concentração a vácuo.	21
Figura 8	Modelo esquemático de piloto de microfiltração	24
Figura 9	Evolução do fluxo de permeado em função do tempo em processo de microfiltração de extrato de beterraba ($P_e = 6 \text{ bar} / T = 40 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$).	36
Figura 10	Gráfico obtido em equipamento UPLC do pico de intensidade de betanina (PM = 551,15) em amostra de extrato de beterraba bruto (A1).	37
Figura 11	Gráfico obtido em equipamento UPLC do pico de intensidade de betanina (PM = 551,15) em amostra de extrato de beterraba retentado em processo de microfiltração tangencial (A2).	38
Figura 12	Gráfico obtido em equipamento UPLC do pico de intensidade de betanina (PM = 551,15) em amostra de extrato de beterraba permeado em processo de microfiltração tangencial (A3).	38
Figura 13	Gráfico obtido em equipamento UPLC do pico de intensidade de betanina (PM = 551,15) em amostra de extrato de beterraba concentrado por processo em rotaevaporador (A4).	39
Figura 14	Gráfico obtido em equipamento UPLC do pico de intensidade de vulgaxantina I (PM = 340,11) em amostra de extrato de beterraba bruto (A1).	40
Figura 15	Gráfico obtido em equipamento UPLC do pico de intensidade de vulgaxantina I (PM = 340,11) em amostra de extrato de beterraba	40

retentado em processo de microfiltração tangencial (A2).

- Figura 16** Gráfico obtido em equipamento UPLC do pico de intensidade de vulgaxantina I (PM = 340,11) em amostra de extrato de beterraba permeado em processo de microfiltração tangencial (A3). 41
- Figura 17** Gráfico obtido em equipamento UPLC do pico de intensidade de vulgaxantina I (PM = 340,11) em amostra de extrato de beterraba concentrado por processo em rotaevaporador (A4). 42
- Figura 18** Gráfico obtido em equipamento UPLC do pico de intensidade de vulgaxantina II (PM = 341,09) em amostra de extrato de beterraba bruto (A1). 43
- Figura 19** Gráfico obtido em equipamento UPLC do pico de intensidade de vulgaxantina II (PM = 341,09) em amostra de extrato de beterraba retentado em processo de microfiltração tangencial (A2). 43
- Figura 20** Gráfico obtido em equipamento UPLC do pico de intensidade de vulgaxantina II (PM = 341,09) em amostra de extrato de beterraba permeado em processo de microfiltração tangencial (A3). 44
- Figura 21** Gráfico obtido em equipamento UPLC do pico de intensidade de vulgaxantina II (PM = 341,09) em amostra de extrato de beterraba concentrado por processo em rotaevaporador (A4). 44
- Figura 22** Gráfico de absorbância versus comprimento de onda das amostras A1, A2 e A3, obtido com análise em espectrofotômetro. 45
- Figura 23** Gráfico de absorbância versus comprimento de onda da amostra A4, obtido com análise em espectrofotômetro. 46
- Figura 24** Placa de Petri com amostras de suco de acerola utilizadas. (a) Suco de acerola adicionado de 1% corante (v/v); (b) Suco de acerola aquecido corrigido com 1% de corante (v/v); (c) Suco de acerola natural; (d) Suco de acerola adicionado de 1% de corante (v/v) aquecido; (e) Suco de acerola aquecido. 48
- Figura 25** Cores obtidas com o auxílio de colorímetro. (a) Suco de acerola adicionado de 1% corante (v/v); (b) Suco de acerola aquecido corrigido com 1% de corante (v/v); (c) Suco de acerola natural; (d) Suco de acerola adicionado de 1% de corante (v/v) aquecido; (e) Suco de acerola aquecido. 49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Quantidade de elementos contidos em cem gramas da parte comestível da beterraba hortícola.	6
Tabela 2	Classificação dos tipos de corante segundo Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos (CNNAP).	8
Tabela 3	Corantes que possuem uso legalizado em alimentos segundo a Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos (CNNPA).	10
Tabela 4	Tipos de processos de separação por membrana diferenciados por força motriz da operação e características do material retido.	18
Tabela 5	Rendimento total acumulado e rendimento por etapa do processo.	34
Tabela 6	Valor médio de °Brix em amostras de diferentes etapas do processo de produção.	35
Tabela 7	Comparativo entre a intensidade e áreas calculadas para os picos referentes a presença de betanina nas amostras de extrato de beterraba.	39
Tabela 8	Comparativo entre a intensidade e áreas calculadas para os picos referentes a presença de vulgaxantina I nas amostras de extrato de beterraba.	42
Tabela 9	Comparativo entre a intensidade e áreas calculadas para os picos referentes a presença de vulgaxantina II nas amostras de extrato de beterraba.	45
Tabela 10	Resultados quantificação de betalaínas em amostras. (a) Betacianinas em mg/g de extrato; (b) Betaxantinas em mg/g de extrato.	47
Tabela 11	Valores médio de L, a* e b* obtidos em medição em colorímetro.	48

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
	2.1 Beterraba (<i>Beta Vulgaris L</i>).....	5
	2.2 Corantes alimentícios:.....	7
	2.2.1 Legislação:.....	8
	2.3 Corantes naturais	10
	2.3.1 Tipos de Corantes Naturais.....	11
	2.3.2 Betalaínas.....	15
	2.4 Processos de Separação por Membranas:.....	16
	2.4.1 Microfiltração Tangencial	18
3	MATERIAIS E MÉTODOS	20
	3.1 Matéria-prima	20
	3.2 Abordagem Experimental	20
	3.3 Maceração Enzimática.....	22
	3.4 Despulpamento:	23
	3.5 Pré-filtração em filtro de tecido:	23
	3.6 Microfiltração Tangencial	24
	3.7 Concentração a Vácuo	28
	3.8 Aplicação em Suco de Acerola	29
	3.9 Análise de Amostras.....	31
	3.9.1 Análise em Refratômetro.....	31
	3.9.2 Análise QDA e Espectrofotômetro.....	31
	3.9.3 Análise em Colorímetro.....	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
	4.1 Resultados Iniciais.....	34
	4.1.1 Rendimento dos Processos	34

4.1.2 Análise dos sólidos solúveis	35
4.2 Microfiltração Tangencial	36
4.3 QDA e Espectrofotômetro	37
4.4 Teste de Cor do suco de acerola	47
5 CONCLUSÕES	50
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

O uso de corantes é uma prática comum da indústria alimentícia para atrair a atenção do consumidor aos seus produtos. São utilizadas substâncias com capacidade colorir alimentos dos mais diversos tipos, estas substâncias podem ser classificadas em corante orgânico sintético, orgânico natural, artificial, sintético idêntico ao natural e caramelo (BRASIL., 1977).

Os corantes sintéticos são largamente utilizados pela indústria, devido à vasta faixa de coloração que apresentam, o baixo custo de sua obtenção e a boa estabilidade em condições de processamento. Contudo, estes tem sido alvo de estudos recentes, onde são relacionados a processos alérgicos e outras doenças (FRANCIS, 1992; MASCARENHAS, 1998).

Com a necessidade de substituir vários corantes sintéticos utilizados, devido a mudanças na regulamentação, os corantes naturais passaram a receber maior atenção por parte da indústria, sendo esta praticamente uma exigência atual dos consumidores (BARA et al., 1992).

A beterraba (*Beta Vulgaris L.*), é uma hortaliça da família das quenopodiáceas, esta é uma fonte de betalaínas, pigmento natural cuja coloração pode variar do vermelho-purpúreo a tons amarelados. A principal betalaína presente na beterraba é a betanina, esta representa mais de 75% dos pigmentos totais da beterraba (TIVELLI et al., 2011; BOBBIO et al., 1995).

Dentre os grupos de pigmentos existentes as betalaínas receberam menor atenção por parte da comunidade científica, devido sua incidência restrita a famílias da ordem Caryphyllates, porém, devido a busca por fontes alternativas de corantes, sua capacidade antioxidante e fluorescência, esta passou a receber maior interesse (LOPES et al., 2009?).

O processo de microfiltração tangencial é empregado de forma efetiva na obtenção de sucos clarificados, gerando um produto de alto valor agregado, devido à ausência de turbidez, característica apreciada entre consumidores de bebidas. Este tipo de operação unitária já empregada para a produção de sucos clarificados de banana, caju, melão, maracujá e outras frutas (VAILLANT et al., 1999; ABREU, 2012; NETO et al., 2016).

Perante o exposto, o presente trabalho tem o objetivo de realizar o estudo da utilização de processos de microfiltração tangencial e concentração a vácuo, para a produção

de um extrato de beterraba contendo betalaínas, que possa ser empregado na indústria alimentícia para a confecção de bebidas. Também deseja-se estudar as principais betalaínas neste extrato, de forma qualitativa, compreendendo assim a influência do processo empregado de microfiltração na composição do extrato obtido.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Beterraba (*Beta Vulgaris L.*)

A beterraba é uma hortaliça da família das *quenopodiáceas*. Sua raiz tuberosa é comumente utilizada como alimento e fonte de açúcar em regiões de clima frio. A raiz é composta por faixas intercaladas de tecido condutor de nutrientes e de tecido de armazenamento de nutrientes. O tecido de condução de nutrientes possui em geral coloração mais clara que o tecido responsável pelo armazenamento destes, sendo ambos os tecidos caracterizados por uma coloração vermelho-violáceo ou purpúrea. A ingestão da raiz desta tuberosa pode ser realizada tanto após cozimento quanto em seu estado cru (TIVELLI et al., 2008).

O três principais biótipos de beterraba são: açucareira, hortícola e forrageira. A beterraba forrageira tem suas raízes e folhas utilizadas principalmente na alimentação de animais. Na beterraba hortícola (beterraba vermelha ou de mesa), as raízes e folhas tem sua utilização como alimento para humanos. Quanto a beterraba açucareira, por esta possuir elevada quantidade de sacarose em suas raízes, sua utilização é voltada para extração deste açúcar. Existem também outros dois tipos de beterraba de considerados menor importância, são estes a beterraba selvagem, biótipo inicialmente utilizado para cultivo até “domesticação”, e a beterraba infestante, um híbrido entre a beterraba selvagem e a cultivada. Este último biótipo representa desde a década de 1970 um problema para áreas de cultivo de beterraba açucareira na Europa (TIVELLI et al., 2011).

No Brasil a produção de beterraba é realizada principalmente para fins comerciais, tendo uma escala comercial reduzida se comparada a outras hortaliças de mesa. Nos últimos 10 anos, foi observado aumento no uso de beterraba pela indústria de alimentos, com utilização como corantes em sopas desidratadas, iogurtes e ketchups. Na Europa, América do Norte e Ásia, os cultivos são voltados para produção de beterraba forrageira e açucareira, assim como existem projetos para a utilização do açúcar presente nesta hortaliça para a produção de etanol para utilização como combustível (TIVELLI et al., 2011).

A beterraba apresenta em suas raízes e folhas elementos de grande valor nutricional, na tabela abaixo são mostrados esses nutrientes (Ferreira et al., 1990; TRANI et al., 1993):

Tabela 1 - Quantidade de elementos contidos em cem gramas da parte comestível da beterraba hortícola.

Componente	Valor		Unidade
	Raiz	Folhas	
Proteínas	1.61	2.2	g
Lipídios Totais	0.17	0.13	g
Carboidratos Totais	9.56	4.33	g
Cinzas	1.08	2.33	g
Valor Energético	43	22	kcal
Água	87.58	91.02	%
Açúcares Totais	6.76	0.5	g
Fibras	2.8	3.7	g
Cálcio, Ca	16	117	mg
Ferro, Fe	0.8	2.57	mg
Magnésio, Mg	23	70	mg
Potássio, K	325	762	mg
Sódio, Na	78	226	mg
Zinco, Zn	0.35	0.38	mg
Cobre, Cu	0.075	0.191	mg
Selênio, Sn	0.7	0.9	µg
Vitamina A	2	316	µg
Caroteno, beta	20	3794	µg
Caroteno, alpha	0	3	µg
Vitamina E (alpha-tocopherol)	0.04	1.5	mg
Luteína e Zeaxantina	0	1503	µg
Tiamina	0.031	0.1	mg
Riboflavina	0.04	0.22	mg
Niacina	0.334	0.4	mg
Vitamina B-6	0.067	0.106	mg
Folato	109	15	µg
Colina	6	0.4	mg
Vitamina K (filoquinona)	0.2	400	µg

Fonte: adaptado de USDA 2015.

Esta hortaliça teve sua origem na Europa e no norte da África, em regiões que apresentam clima temperado e propício ao seu cultivo. O cultivo desta tuberosa é tipicamente bienal, é necessário clima frio intenso para que seja efetivamente atingida e aproveitada a etapa reprodutiva. No Brasil, apenas regiões do extremo sul satisfazem esse requisito. Durante etapa vegetativa, crescem folhas alongadas ao redor do caule e da região tuberosa (FILGUEIRA, 2007).

Para melhor desenvolvimento da cultura são necessárias temperaturas amenas, sendo o frio intenso um fator de resistência para este processo. O calor é considerado um fator limitante para o crescimento desta hortaliça, pois regiões de elevada temperatura e índice pluviométrico proporcionam a proliferação de doenças fúngicas, gerando destruição das folhas. Além disso, a qualidade das raízes também é afetada por climas quentes, sendo observada diminuição da coloração interna e do sabor doce característico desta tuberosa (FILGUEIRA, 2007). Assim, observa-se uma maior produção de beterraba nas regiões sul e sudeste do país, onde o clima proporciona meses frios para o período reprodutivo e meses de clima “fresco” para o cultivo. Juntos os cultivos dessas regiões somam 77% da produção nacional de beterraba (TIVELLI et al., 2008).

Segundo Censo Agropecuário Brasileiro (IBGE, 2009), foram produzidos em 2006 177.154 toneladas de beterraba em um total de 21.937 estabelecimentos agrícolas, o valor desta produção foi de 89.239.000 reais. A região Norte foi responsável pela menor parte desta produção, com apenas 64 toneladas (0,04%). A segunda região de menor produção foi a região Centro-Oeste, cuja quantidade produzida foi de 12.241 toneladas (6,96%). A maior parte da produção foi realizada nas regiões Nordeste, Sudeste e Sul, com 20.154 (11,38%), 67.416 (38,06%) e 77.196 (43,58%) toneladas, respectivamente.

2.2 Corantes alimentícios:

A qualidade sensorial de alimentos pode ser discernida em três elementos básicos: aparência, textura e sabor. A aparência é tida pela indústria alimentícia como o principal atributo dentre estes elementos básicos, pois muitas vezes o ditado “comemos com nossos olhos” pode ser empregado quando se refere ao perfil do público consumidor. A aparência pode ser analisada segundo fatores como: cor, tamanho, formato, defeitos, brilho, oleosidade e viscosidade. Dentre estes, a cor atua como julgamento para a qualidade, maturação e validade do alimento. Muitas vezes cores não naturais em alimentos processados

são requeridas pelo consumidor, pois existe a expectativa de que este alimento se assemelhe a matéria prima utilizada em sua produção industrial (Gormley et al., 1975).

2.2.1 Legislação:

Segundo Portaria N° 540 – SVS/MS, de 27 de Outubro de 1997, aditivos alimentares são classificados como quaisquer ingredientes adicionado de forma intencional a alimentos, cujo propósito seja modificar características físicas, químicas, biológicas ou sensoriais, durante os processos de fabricação, processamento, preparação, tratamento, embalagem, acondicionamento, armazenagem, transporte ou manipulação. Onde, ao serem acrescentados, estes podem passar a ser considerados componentes do próprio alimento. São excluídos desta definição ingredientes adicionados com o objetivo principal de nutrir (BRASIL 1997).

Dentre os aditivos classificados segundo Portaria N° 540 – SVS/MS, de 27 de Outubro de 1997, corantes são definidos como substâncias cuja função seja conferir, intensificar ou restaurar a cor de uma alimento (BRASIL, 1997).

Segundo Resolução da Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos (CNNPA) n° 44, de 1977, os corantes são classificados de acordo com sua forma de obtenção, são mostradas na tabela 2 as possíveis classificações.

Tabela 2 – Classificação dos tipos de corante segundo Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos (CNNPA).

Corante	Obtenção
Corantes Orgânico Natural	Obtido a partir de vegetal, ou eventualmente animal, cujo princípio corante tenha sido isolado com o emprego de processo tecnológico adequado
Corante Orgânico Sintético	Obtido por síntese orgânica mediante o emprego de processo tecnológico adequado
Corante Artificial	Corante orgânico sintético não encontrado em produtos naturais
Corante Orgânico Sintético Idêntico ao Natural	Corante orgânico sintético cuja estrutura química é semelhante à do princípio ativo isolado de corante orgânico natural
Corante Inorgânico	Obtido a partir de substâncias minerais e submetido a processos de elaboração e purificação adequados a seu emprego em alimento

Corante Caramelo	Corante natural obtido pelo aquecimento de açúcares à temperatura superior ao ponto de fusão
Corante Caramelo (Processo Amônia)	Corante orgânico sintético idêntico ao natural, obtido pelo processo amônia, cujo teor de 4-metil-imitazol não deve exceder a 200mg/kg (duzentos miligramas por quilo), equivalentes a um produto cuja intensidade de cor seja de 20.000 (vinte mil) unidades EGB (European Brewery Convention) correspondente a 0,076 (setenta e seis milésimos) unidades de absorvância, determinada com solução a 0,1% (um décimo por cento) peso por volume, em célula de 1 (um) centímetro a 610nm.

Fonte: Adaptado de BRASIL, 1977; BRASIL, 1978.

Para rotulagem, os seguintes códigos devem ser utilizados:

C.I – Corante Orgânico Natural

C.II – Corante Orgânico Sintético

C.III – Corante Orgânico Sintético Idêntico ao Natural

C.IV – Corante Inorgânico (pigmentos)

A tabela 3 exemplifica os corantes destes grupo que podem ser utilizados em alimentos, segundo Resoluções – CNNPA n° 44, de 1977 e CNNPA n° 11, de 1978.

Durante a elaboração e processamento de corantes alimentares, os seguintes solventes podem ser utilizados (BRASIL, 1977):

- Água
- Açúcares
- Álcool Etílico
- Amidos
- Cloreto de Sódio
- Dextrina
- Gelatina
- Glicerol
- Óleos e Gorduras Comestíveis

Tabela 3 – Corantes que possuem uso legalizado em alimentos segundo a Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos (CNNPA).

Tipo de Corante	Uso permitido em alimentos
C.I – Corante Orgânico Natural	Curcumina Riboflavina Cochonilha; ácido carmínico Urzela; orceína, orecína sulfonada Clorofila Caramelo Carvão medicinal Carotenóides: alfa, beta, gama-caroteno, bixina, norbixina, capsantina, capsorubina e licopeno. Xantofilas: flavoxantina, luteína, criptoxantina, rubixantina, violaxantina, rodoxantina e cantaxantina. Vermelho de beterraba, betanina Antocianinas: pelargonidina, cianidina, peonidina, delphinidina, petunidina e malvidina.
C.II – Corante Orgânico Sintético	Amarelo crepúsculo Laranja GGN Amarelo ácido ou amarelo sólido Tartrazina Azul brilhante FCF Azul de idantreno RS ou Azul de alizarina Indigotina Bodeaux S ou amaranto Eritrosina Escarlate GN Vermelho sólido E Ponceau 4 R Vermelho 40
C.III – Corante Orgânico Sintético Idêntico ao Natural	Beta-caroteno Beta-Apo-8'-carotenal Éster etílico do ácido beta-Apo-8' carotênico Cantaxanteno Complexo cúprico da clorofila e clorofilina Caramelo amônia
C.IV – Corante Inorgânico (pigmentos) (emprego limitado a superfície)	Carbonato de cálcio Dióxido de Titânio Óxido e hidróxido de ferro Alumínio Prata Ouro

Fonte: Adaptado de BRASIL, 1977.

2.3 Corantes naturais

A adição de corantes artificiais em alimentos deve-se em grande parte a perda da coloração original após o processamento ou a necessidade de tornar mais atrativo alimentos

cuja coloração original não é capaz de aguçar o paladar. Contudo, estudos vem diminuindo o número de corantes artificiais cuja a utilização em alimentos é legalizada, devido as descobertas realizadas quanto a toxidez destes. Por conseguinte, o foco em estudos relacionados a utilização de corantes naturais tem aumentado, pois é de interesse do consumidor e da indústria alimentícia que os corantes artificiais sejam substituídos completamente por corantes naturais de toxidez baixa ou nula. Os problemas relacionados a essa substituição estão relacionados ao custo maior que tem a produção de corantes de origem natural, a falta de fontes de obtenção de pigmentos apropriadas e a instabilidades que estes possuem em condições de processamento e armazenamento (BOBBIO et al., 1992)

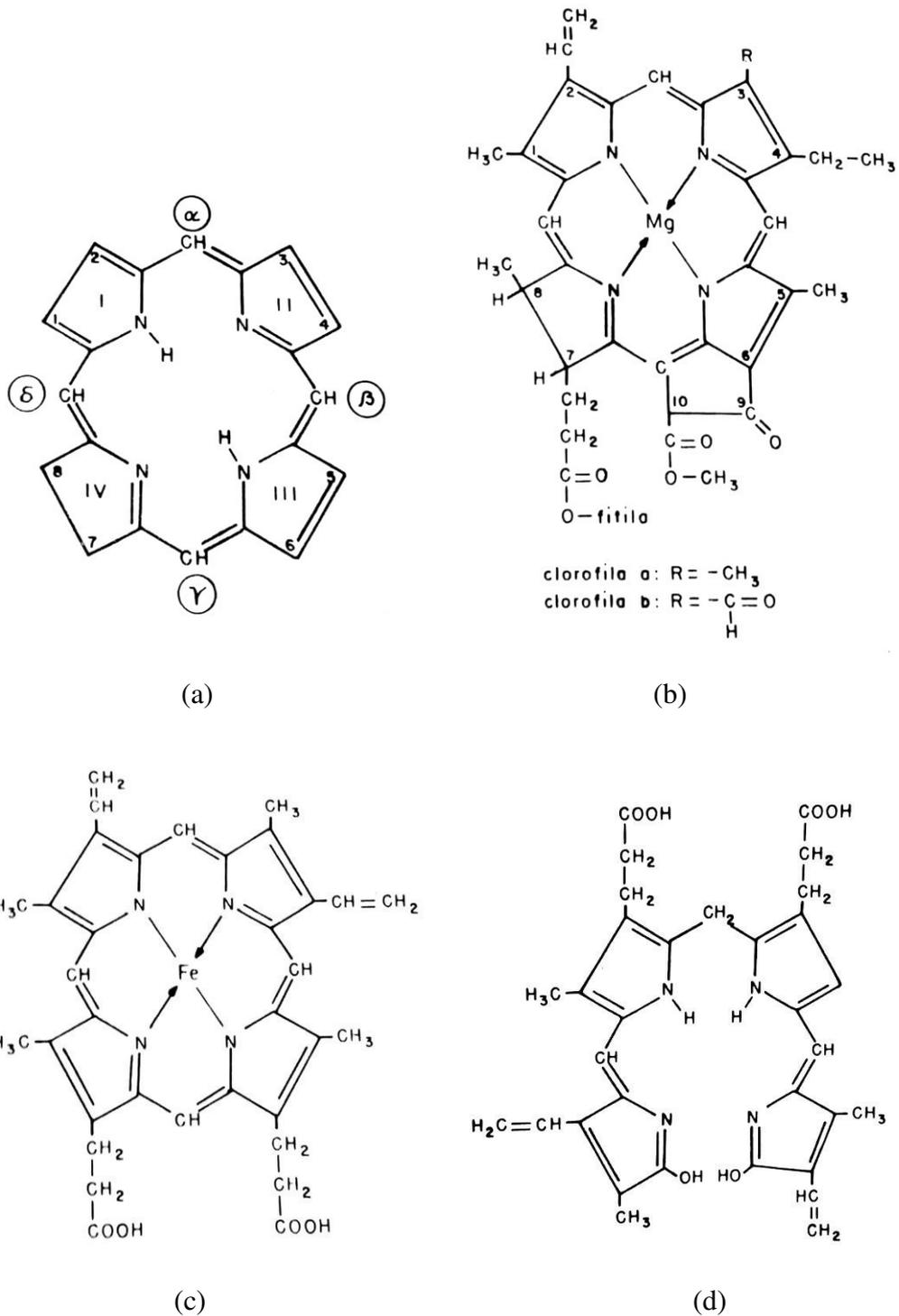
Por definição da Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos, corantes naturais são aqueles obtidos a partir de animais ou plantas, cujo emprego de processos tecnológicos adequados tenham permitido isolar e obter o princípio corante (BRASIL, 1977).

2.3.1 Tipos de Corantes Naturais

Os corantes naturais podem ser divididos em cinco grupo principais, estes são (BOBBIO et al., 1995):

1. Compostos heterocíclico com estrutura tetra-pirrolítica, denominados *porfirinas* (Figura 1a): Grupo representados pela *heme* e *bilinas* de origem animal e as *clorofilas* de origem vegetal. As *clorofilas* (Figura 1b) são a classe de pigmentos de maior abundância na natureza, presentes nas folhas e outras partes verdes das plantas, sendo essenciais para realização do processo de fotossíntese. O *heme* (Figura 1c) é o grupo prostético de duas cromoproteínas, uma presente na carne (*mioglobina*) e outra no sangue (*hemoglobina*), ambas possuindo sua função relacionada à sua capacidade de se complexar com o oxigênio. A *bilinas* são produtos metabólicos de algumas *porfirinas*, o representante mais significativo deste grupo é a *bilirrubina* (Figura 1d).

Figura 1 – (a) Porfina, estrutura básica das porfirinas; (b) Estrutura básica das clorofilas; (c) Estrutura básica do heme; (d) Bilirrubina.

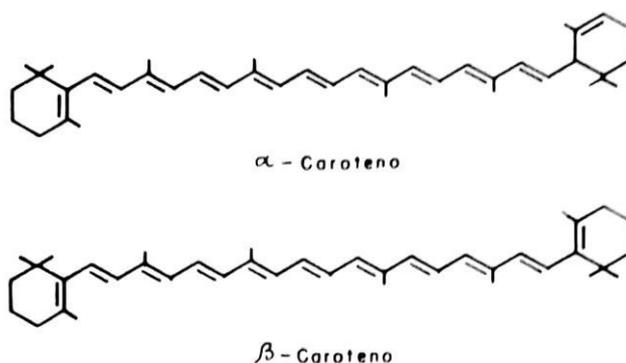


Fonte: BOBBIO et al., 1995.

- Compostos com estrutura isoprenóide, denominados *carotenóides*: Encontrados comumente em vegetais, mas possuindo também fontes animais de obtenção. Nas

plantas, os carotenóides são encontrados nos cloroplastos, acompanhados das clorofilas. São conhecidos mais de 400 compostos desta classe de pigmentos naturais. Quimicamente são substâncias tetraterpênicas, formadas por oito unidades de isopreno, onde os grupos metílicos centrais são separados por três carbonos (Figura 2). Carotenóides extraídos de urucum, açafrão, páprica, tomate e outras frutas e vegetais têm tido importante função colorindo alimentos e substituindo corantes sintéticos na indústria.

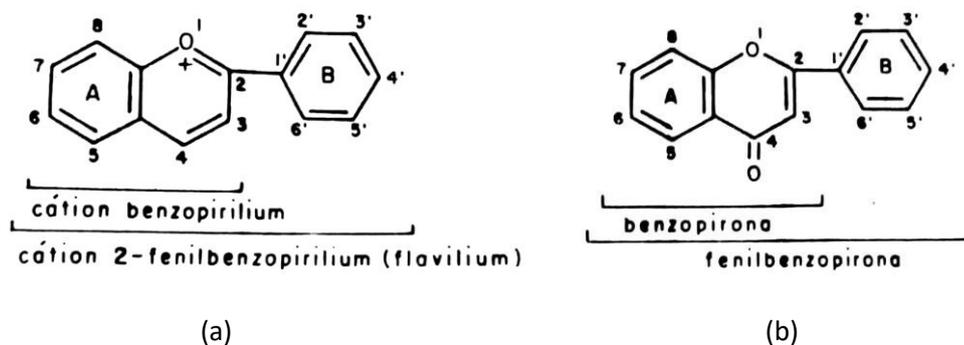
Figura 2 – Carotenóides, α – caroteno e β – caroteno.



Fonte: BOBBIO et al., 1995.

3. Compostos heterocelicos contendo oxigenio, denominados *flavonóides*: Grupo de pigmentos de origem exclusiva vegetal. Os flavonóides possuem estrutura -C₆-C₃-C₆-, onde os agrupamentos que possuem 6 carbonos são anéis aromáticos. Eles são divididos em dois grupos, as antocianinas e as antoxantinas. As antocianinas (Figura 3a) são pigmentos cuja coloração pode variar de vermelho vivo a violeta e azul, estando presente em frutas, folhas e flores de pigmentação atrativa. Sua estrutura básica é o cation 2-fenilbenzopirilium, também denominado flavilium. As antoxantinas (Figura 3b) são pigmentos de cores claras, como o branco e o amarelo, encontrados em flores e alimentos como o repolho branco e a batata. Eles diferem das antocianinas por possuir uma estrutura mais oxidada, derivada da fenilbenzopirona.

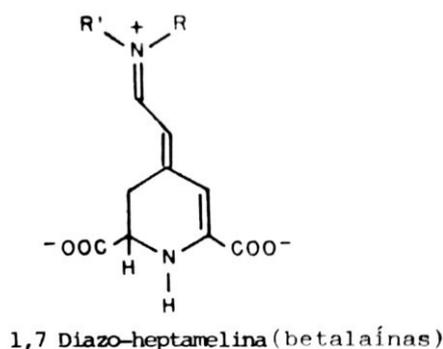
Figura 3 – (a) Estrutura básica das antocianinas; (b) Estrutura básica das antoxantinas.



Fonte: BOBBIO et al., 1995.

4. Compostos nitrogenados, denominados *betalaínas*: Grupo de pigmentos encontrados exclusivamente em plantas. Sua aparência e comportamento são semelhantes as antocianinas, motivo pelo qual este grupo de pigmentos era denominado “antocianinas nitrogenadas”. Possuem como estruturas fundamental a betalanina (Figura 4). Este grupo de corantes é representado por pigmentos de coloração vermelha, denominados betacianinas, e pigmentos de coloração amarela, denominados betaxantinas.

Figura 4 – Betalanina - Estrutura básica das betalaínas



Fonte: BOBBIO et al., 1995.

5. Compostos glicosídeos, denominados *taninos*: Grupos de pigmentos de origem majoritária vegetal. São substâncias não cristalinas, cuja coloração pode variar do branco ao marrom-claro. Em água, são conhecidos por formar colóides de sabor adstringente. Quimicamente, podem ser classificados em 2 grupo de estruturas

diferentes, o primeiro grupo é composto pelos *taninos hidrolisáveis* (incluindo os *galitaninos* e os *elagitaninos*), o segundo grupo é composto pelos *taninos condensados*, estes possuem estrutura semelhante aos flavonóides.

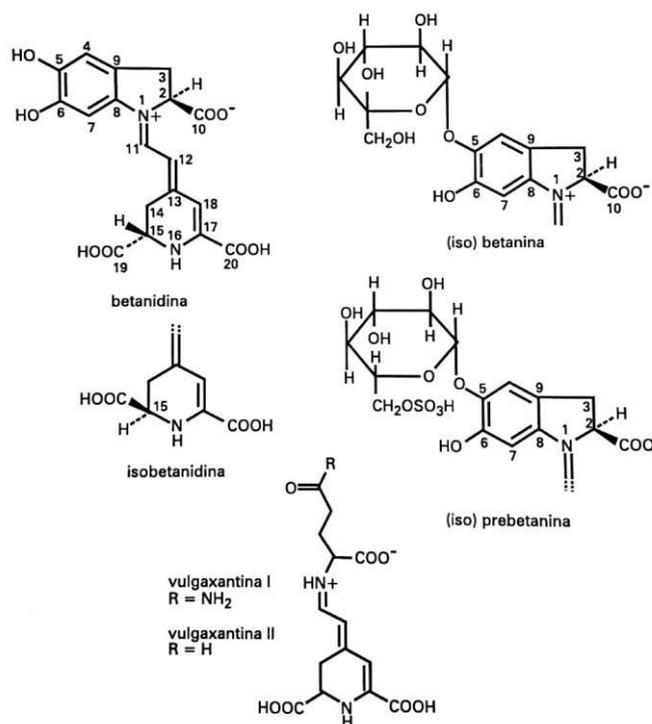
2.3.2 Betalaínas

As betalaínas são pigmentos naturais encontrados principalmente em vegetais da ordem *Centrospermae*, que possui como representante a beterraba (*Beta Vulgaris L.*). São conhecidas aproximadamente 70 betalaínas, todas possuem em comum a estrutura fundamental denominada betalanina, como descrito na figura 4 (BOBBIO et al., 1995).

As betalaínas são divididas em dois grupos, o primeiro é representado pelas betacianinas, pigmentos de coloração vermelho-purpúreo, este grupo possui absorvância máxima na faixa de 534 a 555 nm. O segundo grupo é representado pelas betaxantinas, pigmentos de coloração amarela, considerados de menos comuns e de absorvância máxima na faixa de 480 nm (COULTATE et al., 2004).

Dentre as betalaínas, aquelas presentes na beterraba são as mais significativas para estudos, estas são demonstradas na figura abaixo:

Figura 5 – Betalaínas presentes na beterraba (*Beta Vulgaris L.*)



Fonte: COULTATE et al., 2004.

Na beterraba, as betacianinas compreendem cerca de 90% das betalaínas. A betanina, betalaína do grupo das betacianinas, é o principal corante presente na beterraba, este constitui de 75% a 95% dos pigmentos totais. Este composto possui como característica mudança de cor com a variação de pH, sendo bastante estável a pH entre 4 e 5 e apresentando estabilidade razoável a pH no intervalo de 3 a 7. A betanina é instável a presença de luz e ar, podendo ser destruída se sujeita a altas temperaturas (COULTATE et al., 2004; BOBBIO et al., 1995).

Como citado, a coloração da betanina pode ser influenciada com mudanças de pH. Este pigmento apresenta um máximo de absorvância a 537 nm, dentro do intervalo de pH entre 3,5 e 7. Quando o pH é reduzido abaixo de 3, a intensidade do pico de absorvância diminui, surgindo também uma leve inflexão na região entre 570 e 650 nm. Nesta situação a solução do pigmento assume coloração vermelho-azulada. Em pH acima de 9, a absorvância máxima é obtida em 544 nm, e o pigmento assume coloração azul (BOBBIO et al., 1995).

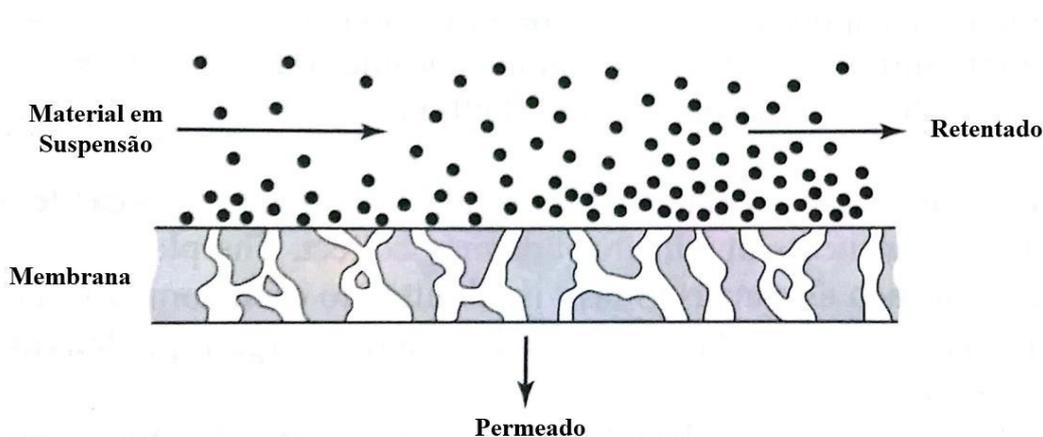
2.4 Processos de Separação por Membranas:

Processos de separação são considerados de extrema importância no meio industrial, em fato, grande parte dos processos realizados em indústrias possuem equipamentos dedicados a realização de técnicas de separação. Uma das técnicas de separação utilizadas e denominada “separação mecânica”, esta classe de processos utiliza propriedades físicas das partículas como tamanho, forma, densidade e viscosidade, como base para separação de componentes. Dentre os métodos de separação mecânica, o uso de membranas de separação recebe destaque em estudos recentes pelo seu caráter multidisciplinar e sua aplicação em um grande número de processos industriais, alguns dos benefícios da utilização da tecnologia de membranas são mostrados abaixo (MCCABE et al., 2005; MULDER, 1996):

- Separação pode ser realizada em processo contínuo;
- O consumo de energia é normalmente pequeno;
- Pode ser facilmente combinado a outros processos de separação;
- Podem ser utilizadas condições moderadas para realização do processo;
- É de relativa simplicidade a realização de scale-up do equipamento;
- As propriedades da membrana são variáveis e, portanto, podem ser ajustadas;
- Não são requeridos aditivos.

Em sistemas de separação por uso de membranas utiliza-se um sistema de fluxo tangencial a membrana, também denominado de “crossflow”. Neste tipo de sistema, a diferença de pressão pode funcionar como força motriz do processo e, devido a esta diferença de pressão, o fluido alimentado circula a velocidades bastante altas através do meio filtrante, como esquematizado na figura 6. Uma fina camada de sólidos pode ser formada na superfície da membrana, contudo, a própria velocidade de escoamento do fluido serve como barreira para que essa camada de sólidos cresça, arrastando parte destas partículas no sentido do escoamento (MCCABE et al., 2005).

Figura 6 – Funcionamento de uma membrana em fluxo tangencial.



Fonte: MCCABE et al., 2005

Por definição, o fluxo pós membrana, ou seja, o fluxo de matéria que atravessou a membrana é denominado “permeado” e o fluxo de material que foi retido pelo meio poroso é denominado “retentado”. O desempenho ou eficiência de uma membrana é definido a partir de dois parâmetros base, a seletividade e a taxa de fluxo de permeado. A seletividade por ser medida utilizando dois parâmetros: O fator de separação (α) e a retenção (R). Para processos cujo solvente principal seja água, é conveniente o uso da retenção de soluto como fator de seletividade. Assim, a retenção pode ser calculada pela seguinte equação (FCTUC, 2007):

$$R = 1 - \frac{c_p}{c_a}$$

Fonte: Adaptado de FCTUC, 2007

Onde “ c_a ” é a concentração de soluto na alimentação e “ c_p ” a concentração de soluto no permeado. Para cálculos de seletividade envolvendo misturas gasosas ou de líquidos orgânicos, utiliza-se o fator de separação (MULDER et al., 1996).

Quanto ao fluxo, este é definido pelo volume de permeado por unidade de área superficial da membrana e tempo, sua unidade segundo SI (Sistema Internacional de Unidades) é $L m^{-2} h^{-1}$ (MULDER et al., 1996).

2.4.1 Microfiltração Tangencial

Para a realização de processos de separação por membrana é necessária a utilização de uma força motriz, esta pode ser um gradiente de pressão, um gradiente de concentração, um gradiente de potencial elétrico ou uma mistura destes gradientes aqui citados. Um segundo fator que diferencia estes processos são as propriedades físicas das partículas alimentadas, como citado por MCCABE et al. (2005). Assim, são listados na tabela 4 diferentes processos de separação provenientes do uso de membranas, estes estão listados de acordo com as propriedades físicas do material retido e força motriz de separação. São incluídas também informações quanto a aplicação dos processos (ABRE et al., 2012; FCTUC, 2007).

Tabela 4 – Tipos de processos de separação por membrana diferenciados por força motriz da operação e características do material retido.

Processo	Força Motriz	Material Retido	Aplicações
Microfiltração (MF)	Gradiente de pressão 0,1 – 3 bar	Material em suspensão 0,1 – 10 μm	- Clarificação de vinho, sucos e cerveja - Esterilização bacteriana - concentração de células
Ultrafiltração (UF)	Gradiente de pressão 1 – 10 bar	Colóides e macromoléculas PM > 5000	- Fracionamento e concentração de proteínas - Recuperação de Pigmentos Recuperação de óleos
Nanofiltração (NF)	Gradiente de pressão 10 – 30 bar	Moléculas de peso molecular médio 500 < PM < 2000	- Purificação de proteínas - Separação de compostos orgânicos e sais divalentes

Osmose Inversa (OI)	Gradiente de pressão 20 – 100 bar	Todo material solúvel em suspensão	- Dessalinização de águas - concentração de sumos - Desmineralização da água
Diálise (D)	Gradiente de concentração	Moléculas de PM > 5000	- Hemodiálise - Separação de sais
Eletrodiálise (ED)	Gradiente de potencial elétrico	Macromoléculas e compostos iónicos	- Concentração de salinas
Permeação de gases (PG)	Gradiente de pressão e concentração	Gases menos permeáveis	- Recuperação de H ₂ - Separação de CO ₂ /CH ₄ - Fracionamento do ar
Pervaporação (PV)	Gradiente de concentração	Líquidos pouco permeáveis	- Desidratação de álcoois - Remoção de Compostos Voláteis - Separação de misturas azeotrópicas

Fonte: Adaptado de FCTUC, 2007; ABREU, 2012; VIANA, 2017.

Quando realizada com diâmetros de poro médio inferiores a 0,2 µm a microfiltração pode ser utilizada como processo de pasteurização a frio. Permitindo assim a obtenção de retentados clarificados livres de microorganismos. Essa característica pode ser utilizada na produção de sucos clarificados e extratos de vegetais (ABREU, 2012; VAILLANT et al., 2001).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Matéria-prima

Utilizou-se como matéria-prima a raiz tuberosa de *Beta Vulgaris L.* conhecida comercialmente com o nome de beterraba. Os exemplares desta hortaliça utilizados na realização do experimento foram adquiridos em comércio local na cidade de Fortaleza, Ceará. A massa inicial de beterraba utilizada no experimento aqui descrito foi de aproximadamente 11 kg.

Após a compra, a beterraba passou por processo limpeza e seleção, incluindo etapas de lavagem com água corrente, retirada de brotos e restos de folhas ou ramos de raízes presentes, separação de produtos fora de conformidade e corte pela metade para facilitar manuseio e processo em autoclave. Ao final desta operação de limpeza e seleção, realizou-se autoclavagem do material obtido, com o objetivo de higienizar e cozimento da hortaliça. Foram utilizados como parâmetros na autoclave uma temperatura de 121 °C e um tempo de 30 minutos. O rendimento observado englobando essas etapas foi de aproximadamente 94% em beterraba higienizada.

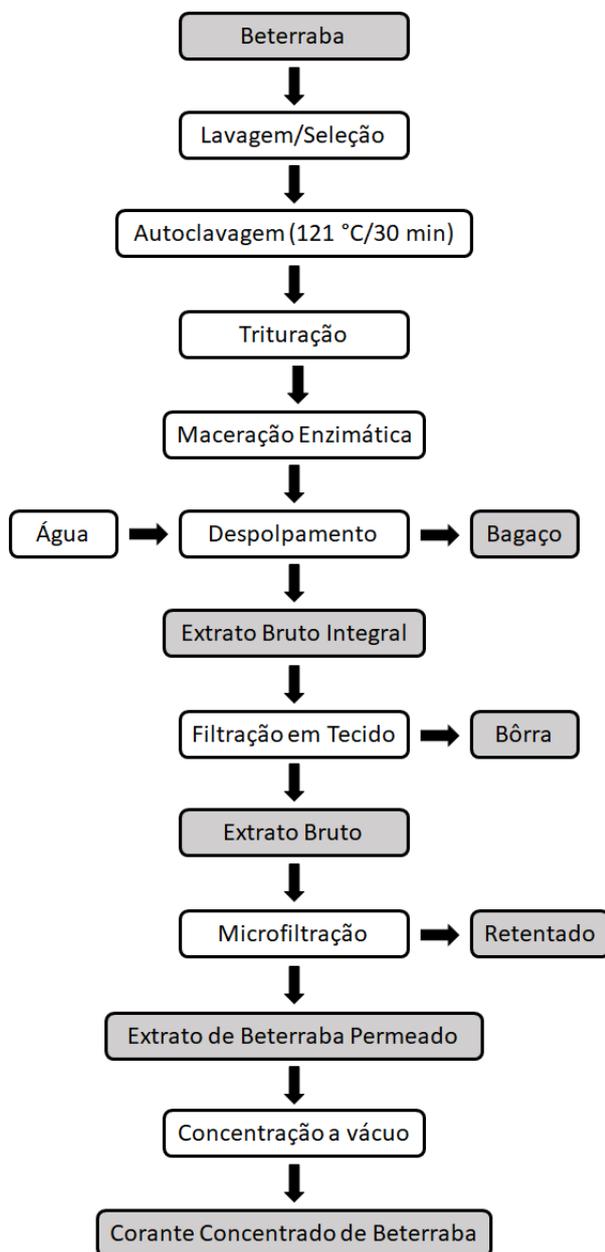
Ao sair da autoclave a beterraba passa então por processo de trituração em um multiprocessador semi-industrial (Robot Coupe R 502 v.v.), dotado de um conjunto de lâminas de fatiamento/trituração e operando em velocidade de rotação crescente, partindo de 300 rpm até atingir o máximo de 3000 rpm. Este processo tem como objetivo a redução do tamanho das partículas para facilitar a etapa de maceração enzimática e, conseqüentemente, a posterior obtenção de extrato rico em betalaínas. O rendimento conjunto do processo até este momento foi de aproximadamente 92%.

3.2 Abordagem Experimental

O método utilizado para obtenção do extrato clarificado e concentrado em betalaínas é descrito pela figura 7, baseou-se em um conjunto de operações e processos unitários para a obtenção de um produto homogêneo e límpido. Este pode ser compreendido em três etapas principais. A primeira diz respeito à preparação da beterraba para obtenção de um extrato bruto, incluindo etapas de: limpeza e seleção, trituração, maceração enzimática, despulpamento e pré-filtração. A segunda etapa inclui o processo de microfiltração tangencial em membranas de óxido de alumínio, este processo tem como objetivo a obtenção de um permeado clarificado e rico em betanina. Ressalta-se que o processo empregado é ambientalmente limpo, usa água como solvente, não requer a adição de solventes orgânicos e

pode ser realizado a baixas temperaturas. Por fim, a terceira etapa tem como propósito a concentração deste extrato purificado, empregando para isso a tecnologia de concentração a vácuo por meio de um rotaevaporador.

Figura 7 – Fluxograma do processo de obtenção de corante concentrado de beterraba por uso associado de microfiltração tangencial e concentração a vácuo.



Fonte: Próprio autor.

3.3 Maceração Enzimática

O processo de maceração enzimática tem o intuito de otimizar a operação de despolpamento. Os parâmetros estudados foram então escolhidos com base em resultados obtidos na bibliografia estudada e em trabalhos anteriores da Embrapa com maceração de polpas de frutas visando a microfiltração (VIANNA et al, 2016; ABREU et al, 2005), utilizando-se um valor padrão inicial usado em função da capacidade da enzima de quebrar estruturas celulares e das características do produto a ser tratado, no caso a beterraba.

Em função das características da beterraba, foram definidas doses mais elevadas de enzimas onde foram definidas duas preparações enzimáticas. A primeira contendo PECTINEX ULTRA SP-L (Ultrazymes) e a segunda contendo ULTRAZYM (Ultrazymes). A dose enzimática trabalhada foi definida em 1000 ppm da mistura comercial.

- A dosagem enzimática trabalhada foi de 1000 ppm de enzima por quilograma de beterraba, considerando-se os valores médios usados em outros processos de maceração (VAILLANT et al., 1999; ABREU, 2012).

- O intervalo de temperatura de maceração escolhido foi de 40 a 55 °C (Temperatura mínima de funcionamento efetivo das enzimas e temperatura máxima de atividade das enzimas, respectivamente indicados pelo fabricante);

- O tempo de maceração definido foi de 60 minutos (duração necessária para a obtenção de produto com grau de liquefação visível)

Estabelecidos os parâmetros de ajuste, foram então realizados experimentos com experimentos com diferentes preparações enzimáticas em conjunto, ambos são especificados abaixo:

- 1) Maceração com 1000 ppm de PECTINEX ULTRA SP-L a 40 °C durante 60 minutos.
- 2) Maceração com 500 ppm de PECTINEX ULTRA SP-L e 500 ppm de ULTRAZYM a 40 °C durante 60 minutos.

Os dados sobre a eficiência do pré-tratamento enzimático foram avaliados com uso da eficiência da microfiltração, com controle do fluxo de permeado, para avaliação da eficiência da enzima sobre a quebra dos tecidos da raiz da beterraba e liberação da betalaína para a fração permeada. Nota-se aqui o uso de uma operação unitária (microfiltração) com o ferramenta de controle de um processo unitário (maceração enzimática).

3.4 Despolpamento:

Considerando-se a estrutura física do material utilizado muito rígida mesmo após o cozimento, optou-se pela utilização de água para uma melhor liquefação e liberação de betalaínas, sendo utilizado portanto um percentual de 20% (m/m) de água à massa de beterraba triturada.

Antes do início do processo de despolpamento, adiciona-se ao material pós maceração enzimática um litro de água para cada montante de cinco quilogramas. Esta ação essa ação se faz necessária para uma melhor extração de corante de beterraba.

Nesta etapa foi implementada uma despolpadeira instalada no Laboratório de Processos Agroindustriais da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza. O modelo utilizado possui capacidade média de processamento de 100 kg.h^{-1} (esses valores são dependentes de fatores como o produto empregado, a peneira utilizada e o operador) da marca ITAMETAL / BONINA 0,25 DF. O processo de alimentação e descarga deste equipamento é realizado em batelada. Podem ser utilizadas peneiras com diâmetro de furos de 0,5 a 8 mm. As principais dimensões do equipamento são 0,82 x 0,40 x 1,30 m.

O material carregado a despolpadeira passa por um sistema helicoidal de transferência de massa que direciona o fluxo para dentro da peneira, que apresenta uma estrutura tubular cilíndrica, onde ocorre a separação da massa na granulometria desejada. As paredes da peneira utilizada apresentam poros com diâmetro de 1 mm. A beterraba triturada passa então a ser arrastada nas paredes desta peneira por meio de pás ligadas ao mesmo eixo de rotação que o sistema helicoidal. Estas pás tanto proporcionam fricção da matéria sólida com as paredes do filtro, quanto a descolmatação dos poros deste mesmo filtro, ambos contribuindo para um melhor rendimento da operação.

O material retido pela peneira é então retirado e recirculado, dando início a uma nova batelada. Esta ação tem por função a obtenção de um melhor rendimento para o processo. Ao término desta segunda batelada, todo o material filtrado passará por mais uma etapa de filtração, desta vez em um filtro de tecido.

3.5 Pré-filtração em filtro de tecido:

O objetivo desta etapa é preparar o material obtido do processo de despolpa para passar pela etapa de microfiltração tangencial. Esta etapa tem como finalidade a retenção de partículas de maior tamanho que ao final da etapa de microfiltração podem elevar a viscosidade do material retido, dificultando todo o sistema de bombeamento e recirculação.

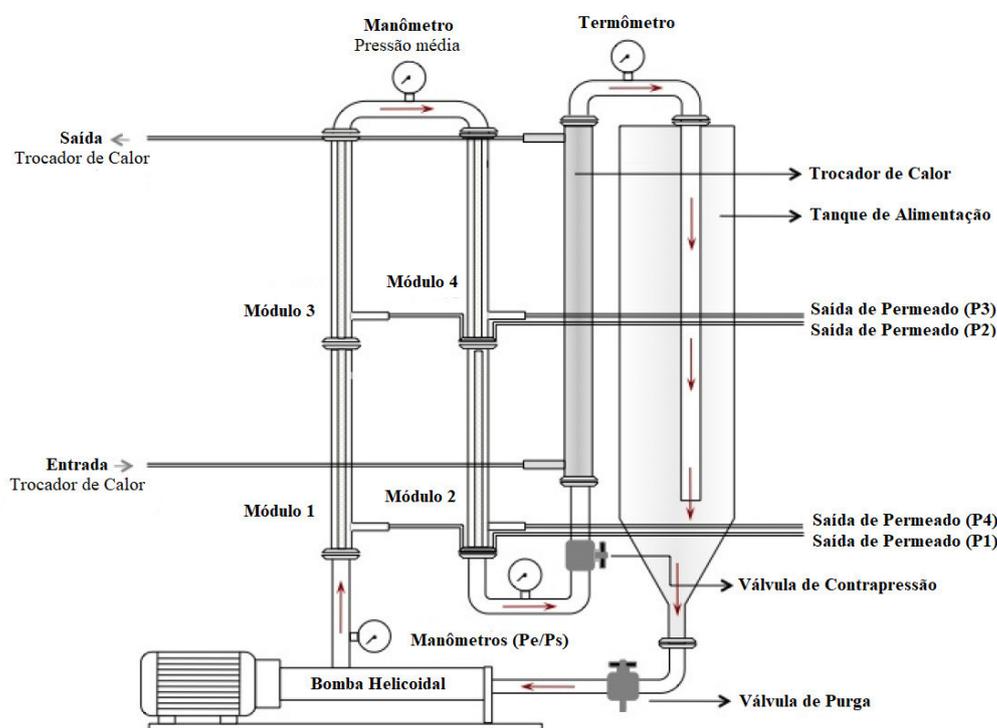
A realização desta etapa é manual, os filtros são formados por fibras de nylon organizadas de forma a obter poros diâmetro aproximado de 100 μm . O material obtido na despulpadeira passa por esses filtros e dá origem ao que neste trabalho será denominado de extrato bruto de beterraba.

Para melhorar o rendimento desta etapa, o material sólido retido na despulpadeira, ainda contendo umidade, também foi pressionado contra esses filtros. Assim, o total de extrato bruto obtido foi a soma do adquirido através do filtrado do processo de despulpa com o adquirido após reaproveitamento do material retido pela despulpadeira.

3.6 Microfiltração Tangencial

Os ensaios de microfiltração foram realizados em uma unidade piloto de laboratório contendo quatro módulos de membranas dispostos em série conforme mostrado na figura 7, instalado no Laboratório de Processos Agroindustriais da Embrapa Agroindústria Tropical em Fortaleza). A montagem do sistema foi realizada seguindo o método descrito em ABREU (2012).

Figura 8 – Modelo esquemático de piloto de microfiltração.



Fonte: ABREU, 2012.

A unidade piloto de microfiltração é assim composta:

- Uma bomba de deslocamento positivo do tipo helicoidal, marca NEMO, acionada por um motor elétrico trifásico de 1,0 CV / 60 Hz, que permite a pressurização e recirculação do produto em processo em fluxo tangencial.

- Quatro membranas de óxido de alumínio (MEMBRALOX - PALL) de 0,2 μm de diâmetro médio de poros, tipo monocanal. Estando todas em série e fornecendo uma área de contato com o fluido de 0,0055 m² por membrana

- Tanque de alimentação de capacidade de aproximada de 4,0 litros

- 3 manômetros posicionados da seguinte forma no banco de membranas, 1 na entrada, 1 no comprimento médio e 1 na saída.

- 1 válvula de controle de fluxo e de pressão, com a função de restringir o fluxo reciclo de forma controlar a pressão no sistema.

A pressão transmembrana (P_{tm}) em cada uma das sessões da unidade piloto pode ser calculada pela seguintes fórmulas, usando os dados de perda de carga com uso dos valores de pressão de entrada (P_e) e pressão de saída (P_s) em cada módulo de membrana. O cálculo para cada um dos módulos é demonstrado nas equações 1,2,3 e 4:

$$P_{tm1} = \frac{7P_e + P_s}{8} \quad (1)$$

$$P_{tm2} = \frac{5P_e + 3P_s}{8} \quad (2)$$

$$P_{tm3} = \frac{3P_e + 5P_s}{8} \quad (3)$$

$$P_{tm4} = \frac{1P_e + 7P_s}{8} \quad (4)$$

Fonte: Abreu, 2012.

Por meio da válvula de estrangulamento é possível controlar a pressão de entrada “ P_e ”. Os valores podem variar de 1,25 a 6 bar.

Com a utilização da bomba helicoidal de deslocamento positivo, a velocidade de recirculação do retentado é ajustada para um valor aproximado de 6 m.s⁻¹, sendo este reciclo contínuo neste sistema de microfiltração empregado.

O volume morto do piloto é de aproximadamente 1,3 L, incluindo a bomba, membranas, tubulação e tanque de alimentação em seu volume mínimo. Este valor de volume morto é muito importante quando se utilizam cálculos de rendimentos ou o interesse é a fração retida. No presente trabalho a fração de interesse e rica em betalaínas é a fração permeada ou filtrado.

Para controle de temperatura do sistema, é utilizado um trocador de calor em casco e tubo. Este recebe água a aproximadamente 18 °C e resfria o sistema até a temperatura de 40 ± 2 ° C, compensando o calor gerado pelo atrito entre o produto e a bomba, recirculando para o sistema de geração de água gelada. O controle deste trocador é manual, com a leitura da temperatura feita à cada coleta de amostras através de um termômetro digital acoplado ao sistema para um controle de temperatura mais rígido.

Após utilização do sistema, é requerida a realização de um protocolo de limpeza, este adaptado de ABREU (2012) para que o sistema de filtração fique novamente apto ao trabalho em sua vazão nominal de projeto.

1. Três ciclos de enxágue com água temperatura ambiente (25 a 30 °C), sem pressão. O objetivo deste procedimento é a remoção de resíduos de compostos solúveis e o arraste de partículas maiores das paredes das membranas.
2. Reciclo com 2 litros de uma solução 5% de hidróxido de sódio contendo 400 mg.L⁻¹ de cloro ativo, a uma temperatura de 80 °C e durante um período de 30 minutos. Esta etapa tem por objetivo eliminar a matéria orgânica presente nos poros das membranas através de uma digestão alcalina do material colmatante tanto na superfície como no interior dos poros das membranas.
3. O material deve então ser descarregado de forma adequada e o piloto enxaguado até um pH de inferior a 8 com uso de fita indicadora de pH. Neste momento pode-se testar a permeabilidade hidráulica do sistema. O ideal é que este valor seja em média 1000 L.h⁻¹.m⁻².bar⁻¹.
4. A quarta etapa do procedimento de limpeza requer a utilização de 2 litros (volumes maiores podem ser utilizados se necessário) de uma solução 1% de ácido nítrico durante um período de 20 minutos (10 minutos sem aumento da pressão e 10 a uma pressão transmembrana de aproximadamente 1 bar). Este procedimento tem o objetivo de solubilizar impurezas minerais e condicionar a membrana novamente em

pH ácido, servindo também para consumir o cloro utilizado no passo anterior, de forma a impedir que esse venha a danificar as tubulações aço inoxidável.

5. O sistema deve ser descarregado de forma adequada e então realizado enxágue até pH superior a 6. Nesta etapa deve-se medir o fluxo de permeado pela membrana, este deve possuir valores superiores a $1000 \text{ L.h}^{-1}.\text{m}^{-2}.\text{bar}^{-1}$. Caso contrário, uma nova limpeza deve ser realizada.

Em situações onde os poros das membranas estejam entupidos, para membranas em alumina, pode-se realizar processo de calcinação a $650 \text{ }^\circ\text{C}$ por um período de 3 horas (aquecimento e arrefecimento lento), para regeneração.

No processo realizado, foram utilizados os seguintes parâmetros para funcionamento do piloto:

- Temperatura de alimentação do extrato bruto de beterraba de aproximadamente $40 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Pressão nos manômetros: $P_{\text{entrada}} = 6 \text{ bar}$; $P_{\text{topo}} = 4 \text{ bar}$; $P_{\text{saída}} = 2,5 \text{ bar}$
- Pressões Transmembrana: $P_{\text{tm1}} = 5,56 \text{ bar}$; $P_{\text{tm2}} = 4,67 \text{ bar}$; $P_{\text{tm3}} = 3,81 \text{ bar}$; $P_{\text{tm4}} = 2,94 \text{ bar}$.

A microfiltração dos extratos foi realizada em duas etapas. Na primeira trabalhou-se o extrato bruto em regime de processo a volume constante, onde toda a fração permeada era recolocada no tanque de alimentação visando a verificação da eficiência global do processo e conhecimento da capacidade de filtração do material sob as condições operacionais pré-estabelecidas. Utilizaram-se três litros do extrato bruto e recirculou-se à uma pressão transmembrana média de 4 Bar, coletando-se o permeado para cada uma das membranas instaladas no módulo. Este sistema é denominado processo a fator de redução volumétrico (FRV) igual a 1, que é utilizado com a finalidade de se conhecer a performance global do sistema de MFT.

Em uma segunda etapa foram utilizados 10 litros do extrato bruto obtido segundo o mesmo protocolo e neste caso não havia reposição do permeado extraído. A cada fração de permeado extraído fazia-se a reposição volumétrica deste com uma nova alíquota do extrato bruto, proporcionando dessa forma uma concentração da fração retida. Este procedimento é denominado de processo a FRV crescente, ou em regime de concentração da fração retida.

Para o primeiro caso, a $FRV = 1$, o tempo de duração do processo foi estabelecido em 120 minutos, quando o sistema era encerrado e os dados devidamente anotados e calculados. No procedimento a FRV crescente o processo dura até o esgotamento total do extrato bruto, continuando até se obter o limite de trabalho do sistema de MFT, com a chegada a uma condição onde somente havia circulando o volume morto, onde o comportamento de fluidez e a reologia sofrem alterações que dificultam a coleta de dados por questões de aeração do fluido circulante e cavitação da bomba, interferindo em todo o sistema de percolação do fluido em um meio poroso como é a membrana.

3.7 Concentração a Vácuo

Para realização do processo de concentração do permeado rico em betalaínas obtido na etapa de microfiltração foi montado um sistema de concentração a vácuo. Para isso foi utilizando um concentrador do tipo *büller*, fabricado pela TECNINT (Tecnologia Internacional LTDA, Congonhal – MG), instalado no Laboratório de Processos Agroindustriais da Embrapa Agroindústria Tropical em Fortaleza). Este possui capacidade de 50 litros e uma pressão de vácuo máxima na faixa de -750 mmHg. O equipamento possui três resistências elétricas para aquecimento interno e, a partir de modificações, foi adaptado de forma que uma de suas resistências fosse substituída por um termóstato. No sistema montado, apenas o compressor e a câmara de vácuo deste concentrador foram utilizados.

Para o caso de menores volumes, foi utilizado um sistema rotavapor de laboratório com capacidade de dois litros, utilizando-se o vácuo gerado no vaso de processo do concentrador piloto tipo *büller* do concentrador. Este possui mangueiras ligando a câmara de vácuo do concentrador a um condensador de vidro, cuja área de troca térmica possui formato de espiral. O condensador por sua vez está ligado a um balão de fundo redondo onde encontra-se a amostra a ser concentrada. O balão de fundo redondo é aquecido por um banho maria e, por meio de um rotaevaporador, é girado a uma velocidade de rotação constante, de forma a garantir a uniformidade do aquecimento fornecido.

Ao fundo do condensador encontra-se um outro balão de fundo redondo, cuja função é recolher o vapor retirado da amostra concentrada após sua condensação, este possui um marcação representando o volume água que deseja-se retirar da amostra inicial. Para que seja realizada a condensação do vapor retirado da amostra, um Chiller fornece água a aproximadamente 18 °C, está água serve como fluido de resfriamento e passa no interior da serpentina do condensador.

Para o processo realizado as seguintes variáveis foram utilizadas:

- Pressão média de vácuo aplicada: -730 mmHg
- Temperatura do banho maria: 65 °C
- Velocidade de rotação em rotaevaporador: 80 rpm
- Volume do balão com amostra inicial: 1000 mL
- Fator de concentração utilizado: 5x

Assim, a amostra final obtida representa uma amostra 5 vezes mais concentrada em betalaínas em relação à amostra inicial. O processo de concentração de 1 litro de amostra leva cerca de 90 a 120 minutos.

O produto do processo de concentração a vácuo é um corante concentrado de beterraba rico em betalaínas. Devido ao uso de uma etapa de microfiltração na sua elaboração, o concentrado final aqui obtido possui um maior campo de aplicações, já que sua composição é livre de matéria em suspensão. Um produto límpido e cristalino

3.8 Aplicação em Suco de Acerola

Como forma de se testar a eficiência do concentrado de betalaína da beterraba como corante natural, optou-se pelo uso da polpa de acerola como material de teste. A fruta acerola (*Malpighia Emarginata*) possui coloração natural vermelha, contudo, devido ao processo de descoloração que sofre durante processo de pasteurização, sua polpa necessita da adição de corantes para que sua coloração seja corrigida de amarelada para tons de vermelho próximos a sua cor original. Um dos corantes mais utilizados para esse fim é o carmin de cochonilha, produzido pelo inseto *Dactylopius Coccus*, que apesar de não tóxico possui reações alérgicas correlacionadas ao seu consumo.

O preparo da polpa de acerola foi realizado por meio das seguintes etapas:

1. Limpeza e Seleção: Acerolas comercialmente vendidas foram adicionadas a um tanque contendo cloro ativo, com o objetivo de sanitizá-las. Após 15 minutos, deu-se início ao processo de seleção, separando-se aquelas com presença de defeitos graves, como podridão, estágio de maturação avançado ou danos profundos. As frutas aprovadas durante processo de seleção foram então transferidas a outro tanque onde houve acréscimo de água e descanso por período de 1 hora para retirar possível excesso de cloro da amostra.

2. Despolpa: Os frutos selecionados foram então processados em despolpadeira. O produto final deste processo foi filtrado em filtro simples para a retirada de fibras e sementes residuais e estocado em câmara de congelamento a temperatura média de -18 °C.

Para formulação da composição foram realizados ensaios de adição de diferentes quantidades de corante a polpa de acerola comercialmente vendida, seguindo padrões definido pelo Anexo I da Instrução Normativa nº1, de 7 de Janeiro de 2000 e pela Instrução Normativa nº12, de 4 de Setembro de 2003. Os ensaios tinham como objetivo a obtenção de coloração próxima a coloração utilizada comercialmente para polpas de acerola, definiu-se então uma formulação contendo 2% de corante concentrado de beterraba.

Preparou-se então cinco amostras de suco de acerola contendo diferentes características, com o objetivo de analisar a coloração de cada amostra de acordo com o processo utilizado. O processo de preparo de cada amostra é citado abaixo:

Amostra 1(AC1): Para preparo desta amostra adicionou-se a polpa de acerola água mineral, seguindo a proporção de 1 litro de água a para cada quilograma de polpa. Esta amostra não foi aquecida e não passou por adição de corante.

Amostra 2 (AC2): O processo de preparo desta amostra utilizou-se uma adaptação do processo de pasteurização trabalhado em FURTADO (2009). Foi adiciona a polpa de acerola água mineral na proporção de 1 litro por quilograma de polpa. Em seguida o suco foi aquecido em fogão industrial até a temperatura de 94 °C. Após atingida essa temperatura o aquecimento foi cessado e o suco foi resfriado à temperatura ambiente.

Amostra 3 (AC3): O preparo desta amostra foi realizado com a adição de 2% (v/v) de corante concentrado de beterraba a polpa de acerola. Logo após, foi adicionada à polpa água mineral, na proporção de 1 litro por quilograma de polpa. Esta amostra não passou por processo de aquecimento.

Amostra 4 (AC4): Adicionou-se a polpa de acerola 2% (v/v) de corante concentrado de beterraba. Adicionou-se também água mineral na proporção de 1 litro por quilograma de polpa. Logo após, o suco obtido foi aquecido em fogão industrial pelo mesmo método utilizado no preparo da “amostra 2”.

Amostra 5 (AC5): Para o preparo desta amostra, retirou-se uma porção da “amostra 2” e, para correção da cor, adicionou-se 2% (v/v) de corante concentrado de beterraba.

3.9 Análise de Amostras

3.9.1 Análise em Refratômetro

Na indústria alimentícia a quantidade de sólidos solúveis é medida e quantificada segundo grau Brix. Este desempenha um papel primordial quanto a análise da qualidade do produto estudado, assim como o controle de ingredientes a serem acrescentados a esse produto. Nas indústrias de polpa, sorvete, bebidas em geral, leite condensado, entre outras, o teor de sólidos solúveis fornece como informação a quantidade de açúcar a ser adicionado ao produto, assim, quanto maior grau Brix, menores serão os custos com acréscimo de reagentes para ajuste (ARAUJO et al., 2001; COSTA et al., 2004).

O grau Brix foi medido em diferentes etapas do processo de produção do extrato concentrado de beterraba, com o intuito de observar e comparar a quantidade de sólidos solúveis presentes nos produtos de cada uma dessas etapas.

Para realização deste teste foi utilizado um refratômetro digital portátil da marca ATAGO (Digital Hand-held “Pocket” Refractometer PAL-3). Este fornece o teor de sólidos solúveis totais, expresso em graus Brix e a temperatura em que este foi obtido, com uma resolução de uma casa decimal.

3.9.2 Análise QDA e Espectrofotômetro

Com o objetivo de fornecer um grau comparativo das quantidades de betalaínas presentes nos extratos de beterraba de diferentes etapas do processo, foram realizadas análises em equipamento UPLC (Ultra Performance Liquid Chromatography) e em espectrofotômetro.

Foram preparadas amostras utilizando os seguintes extratos:

- Amostra 1 (A1): Extrato de beterraba bruto
- Amostra 2 (A2): Extrato de beterraba retentado
- Amostra 3 (A3): Extrato de beterraba permeado
- Amostra 4 (A4): Extrato de beterraba concentrado

O preparo de cada uma das amostras foi realizado seguindo o mesmo conjunto de passos, estes foram obtidos a partir de adaptação da metodologia utilizada por GARCÍA-CRUZ (2012). Assim, para o preparo das soluções a serem analisadas, foram retirados 2 gramas de cada amostra, esta massa foi então diluída em 20 mL de uma solução de metanol 80% (v/v). As amostras foram então tratadas em sonificador Ultrasonic Cleaner USC 1450 (Unique) durante período de 10 minutos. Logo após, utilizou-se de uma chapa de aquecimento com agitação horizontal durante período de 20 minutos (utilizando apenas a agitação), a temperatura ambiente e sob condições de penumbra. As amostras foram então levadas a uma centrífuga Hettich Zentrifugen Modelo EBA 12 R (Alemanha) o equipamento está localizado no laboratório de Pós-colheita da Embrapa, agroindústria tropical. Na unidade de centrífuga as amostras foram submetidas a 2200 rpm por um período de 10 minutos. O sobrenadante foi então separado e armazenado em recipientes escuros, impedindo contato com luz.

Para o preparo das amostras utilizadas em equipamento HPLC, parte da solução sobrenadante das amostras 1 a 3 foi diluída cem vezes utilizando solução de metanol 80% (v/v). A amostra 4 foi diluída mil vezes, devido ao fato desta ter sido previamente concentrada durante a etapa de concentração a vácuo. Após diluição, as soluções foram filtradas utilizando filtro Allcrom PTFE com diâmetro de poros de 2,2 µm.

Para análise em espectrofotômetro, o líquido sobrenadante obtido foi filtrado em filtro CHROMAFIL Xtra PVDF com diâmetro de poros de 4,5 µm. Com exceção da amostra 4, cuja elevada concentração exigiu a utilização de processo de diluição na ordem de 10^1 , para que então fosse realizada a filtração.

A injeção das amostras em cromatógrafo foi realizada em um Sample Manager – FTN Acquity UPLC H-class Waters (Massachusetts, Estados Unidos) e a análise destas foi realizada por meio de um Acquity QDa Detector ambos localizados no laboratório Multiusuário de Química e Produtos Naturais, pertencente a Embrapa, agroindústria tropical (Fortaleza, CE).

Para realização dos ensaios voltados a obtenção dos picos de absorbância, foi utilizado equipamento Cary UV-Visible Spectrophotometer 50 Bio.

3.9.3 Análise em Colorímetro

A cor de um alimento é um dos principais critérios de aceitação utilizados por consumidores. Como forma de análise de cor em alimentos é comum o uso de colorímetros, instrumento que utiliza-se de um flash de luz (comumente a partir de xenônio) para realizar teste de qualidade da cor e aparência de amostras.

Para efeito de comparação, foram analisadas as cores das amostras de suco de acerola desenvolvidas. Este teste foi realizado com a utilização de um colorímetro CR-410, fabricado pela Konica Minolta, com uma área de medição de 50 mm.

Para quantificação da cor destas amostras foi utilizado o espaço de cor CIELAB, cuja utilização como método de expressar cor de objetos tem sido amplamente difundida, sendo considerado o mais popular dos espaços de cores, Isso deve-se a sua capacidade de correlacionar de forma consistente os valores de leitura de cor com a percepção visual desta.

Neste espaço de cor são utilizadas as variáveis L^* , a^* e b^* . Onde o L^* representa a luminosidade e as outras duas variáveis são coordenadas cromáticas. O a^* representa as cores vermelho e verde, seu valor pode ser positivo (vermelho) ou negativo (verde). O b^* representa as cores amarelo e azul, seu valor pode ser positivo (amarelo) ou negativo (azul).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Resultados Iniciais

4.1.1 Rendimento dos Processos

O rendimento de um processo representa em si uma variável de estudo capaz de fornecer dados quanto a possíveis formas de otimização deste processo. Assim, torna-se viável um cálculo de rendimento da operação para que este sirva como fator comparativo em uma análise posterior. Em MOURA (1983) a obtenção de um extrato bruto da beterraba por meio de um processo de moagem em máquina moer elétrica obteve um rendimento de 55,5 mL por 100g de beterraba. No processo aqui demonstrado, a produção do extrato bruto da beterraba foi realizada de forma a obter 60 ml de extrato por 100g de beterraba.

Na tabela abaixo é demonstrado o rendimento percentual total do processo após a realização de cada etapa. Tomando como base a massa total de beterraba obtida após processo de limpeza e seleção.

Tabela 5 – Rendimento total acumulado e rendimento por etapa do processo.

Etapa	Rendimento Total % (m/m)	Rendimento da Etapa % (m/m)
Processo de Trituração em Robot Coup	97,9%	97,7%
Processo de Despolpa e Pré-filtração	57,7%	58,9%
Processo de Microfiltração	45,0%	78,0%

Fonte: Próprio autor.

É possível observar pela tabela 5, que a etapa onde há maior redução do rendimento total do processo é o despolpamento e pré-filtração. O rendimento desta etapa pode estar relacionado tanto ao tamanho do equipamento de despolpa utilizado quanto a qualidade do material proveniente da etapa passada de trituração. Na primeira situação, a despoldadeira utilizada apresenta um filtro em formato de tambor com capacidade média de operação de $100 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ (pode variar com modo de operação), a utilização de pequenas quantidades de material pode proporcionar uma sub utilização deste equipamento, não ocorrendo o efetivo arraste do material nas paredes do filtro, já que além de utilizar quantidades significativamente inferiores a necessária para operação do equipamento (aproximadamente 11 kg de material no início do processo), também deve-se ressaltar que o aparelho possui volume morto (não estimado) que pode influenciar de forma direta na queda

do rendimento. Em uma análise da segunda situação, levanta-se a hipótese de que o processo de trituração apesar de não proporcionar significativa queda de rendimento, também não forneceu ao material o tratamento esperado, já que acreditava-se na obtenção de um material com consistência de um purê e isto não foi possível por diversas razões, dentre elas o pré-cozimento em autoclave que não apresentou o efeito de amolecimento das fibras como se esperava.

Quanto ao rendimento obtido no processo de microfiltração, acredita-se que este possa ser aumentado com um simples aumento da quantidade de material utilizada no experimento, já que está fortemente ligado ao volume morto da planta piloto utilizada. Uma vez que este volume é de aproximadamente 1,3 L, o rendimento máximo que pode ser para um processo que utilize 10 L de material é de aproximadamente 87%. Assim, amostras maiores de material podem proporcionar melhores análises de rendimento.

4.1.2 Análise dos sólidos solúveis

A determinação do grau Brix a temperatura ambiente (25 °C) forneceu os seguintes valores médios para as amostras em triplicata de extrato de beterraba obtidas em diferentes etapas do processo:

Tabela 6 – Valor médio de °Brix em amostras de diferentes etapas do processo de produção.

	Extrato Bruto de Beterraba	Extrato de Beterraba Retentado da Microfiltração	Extrato de Beterraba Permeado da Microfiltração	Extrato Concentrado de Beterraba
°Brix médio	10,5	12,7	9,4	43,8

Fonte: Próprio autor.

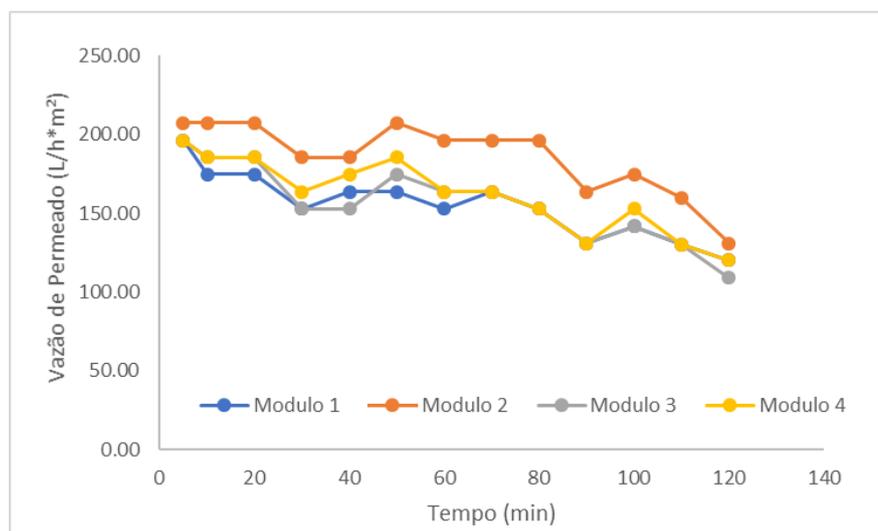
Os valores de °Brix das amostras se apresentaram dentro de uma faixa esperada, demonstrando a alta concentração de sólidos solúveis presentes no extrato de beterraba e sua capacidade de colorir alimentos. Devido processo de concentração, obteve-se leituras de °Brix no extrato concentrado de beterraba de 4,5 a 5,0 vezes maiores que as leituras realizadas no extrato de beterraba permeado da microfiltração.

4.2 Microfiltração Tangencial

A partir do processo de microfiltração tangencial empregado, foram medidas e expressadas em um gráfico as vazões obtidas, para que fosse possível uma melhor visualização e entendimento deste.

Os resultados demonstrados na figura 9 demonstram uma diferença entre o esperado para processos de microfiltração tangencial como o descrito em ABREU (2012), contudo, isso não significa a existência de erros durante o processo empregado. O comportamento deste gráfico representa apenas que a eficiência das membranas utilizadas com relação ao fluido a ser filtrado é elevada, desta forma, não foi observado o decaimento típico de processos de filtração em fluxo tangencial, mas sim uma vazão praticamente constante, decrescendo muito mais devido ao esvaziamento do tanque de alimentação do que pela colmatção das membranas. Ao final deste gráfico existe uma queda brusca de vazão, isto deve-se ao esvaziamento quase que completo do tanque de alimentação, restando nas tubulações do piloto apenas um volume de retentado muito próximo ao volume morto deste equipamento.

Figura 9 – Evolução do fluxo de permeado em função do tempo em processo de microfiltração de extrato de beterraba ($P_e = 6 \text{ bar} / T = 40 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$).



Fonte: Próprio autor.

Assim, para que seja montado um gráfico de vazão versus tempo do processo de microfiltração empregado neste trabalho, é necessário que seja utilizado um volume de extrato de beterraba muito superior ao empregado, pois a baixa quantidade de sólidos solúveis no extrato garantirá uma elevada taxa de vazão durante um grande período de tempo.

Isso não significa que o emprego da microfiltração não seja necessário ao processo, pois sua utilização está ligada a obtenção de um produto fino, cujo emprego seja voltado a produção de bebidas clarificadas e outros produtos de grande valor agregado, onde seja necessária a obtenção de baixos valores de turbidez.

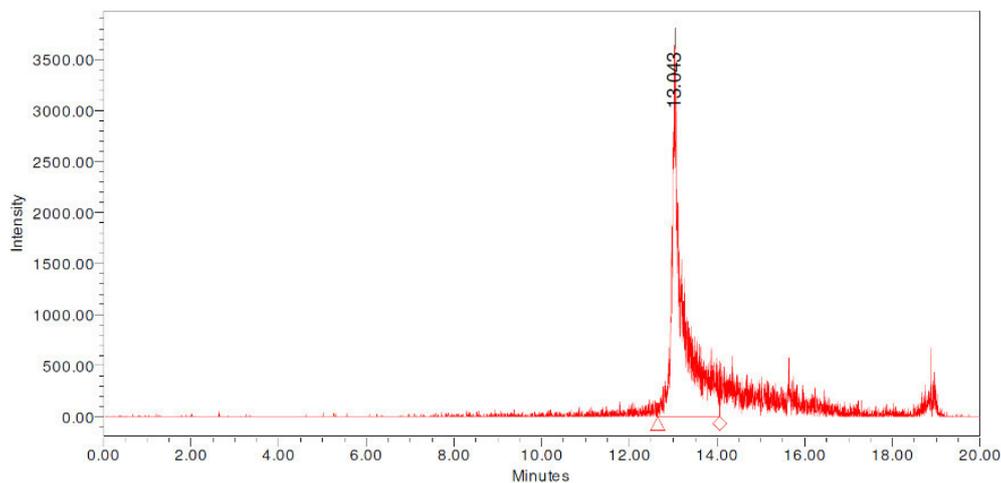
4.3 QDA e Espectrofotômetro

A análise qualitativa das amostras em UPLC segundo metodologia descrita permitiu a obtenção dos valores de intensidade dos picos das principais betalaínas presentes na beterraba. Para efeito de comparação, foi medida a área de cada pico.

4.3.1 Betanina

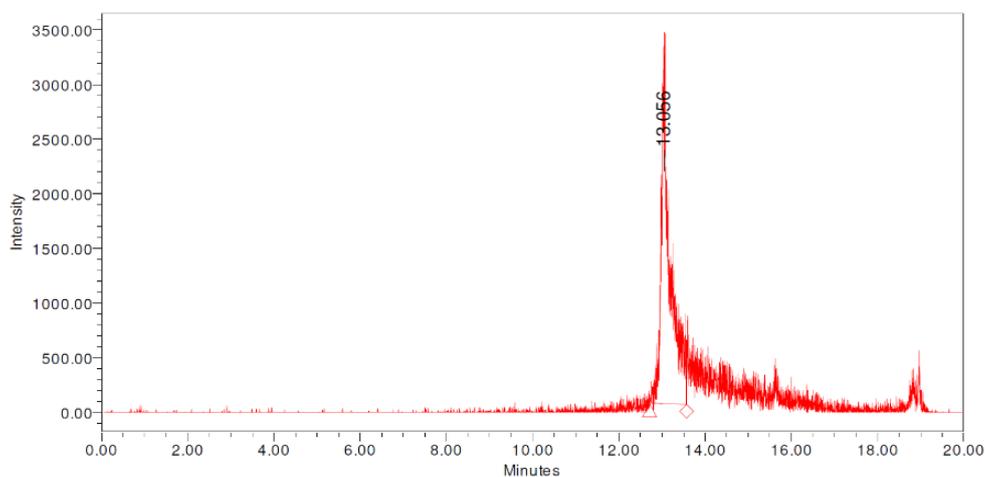
A intensidade do pico relativo a betanina (PM = 551,15) foi a maior dentre os compostos analisados. Esperava-se a presença de isobetanina, contudo não foi observado pico relacionado a este isômero, que segundo CASTELLANOS (2008) deveria ser visto logo após o pico relativo a presença de betanina. Acredita-se que não observação deste pico demonstre que este isômero encontra-se em quantidades demasiadamente pequenas para ser identificado.

Figura 10 – Gráfico obtido em equipamento UPLC do pico de intensidade de betanina (PM = 551,15) em amostra de extrato de beterraba bruto (A1).



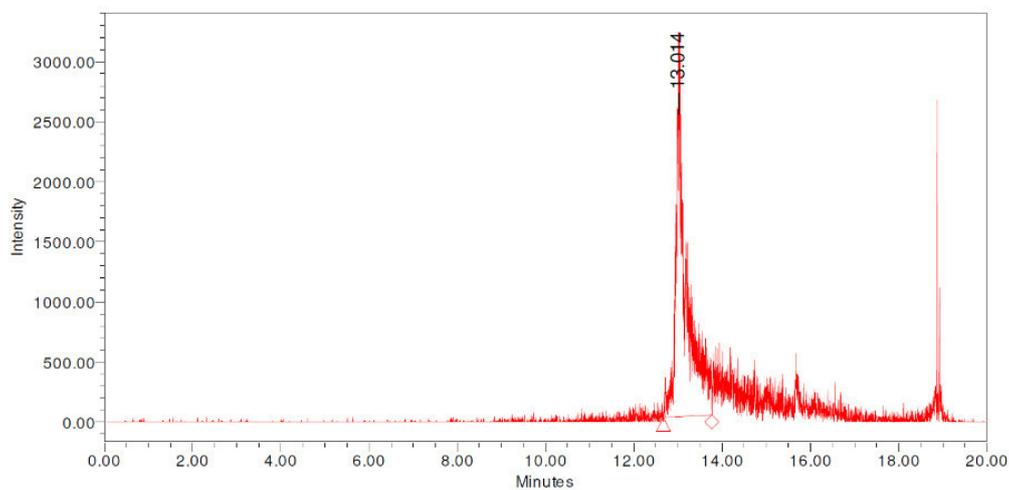
Fonte: Próprio autor.

Figura 11 – Gráfico obtido em equipamento UPLC do pico de intensidade de betanina (PM = 551,15) em amostra de extrato de beterraba retentado em processo de microfiltração tangencial (A2).



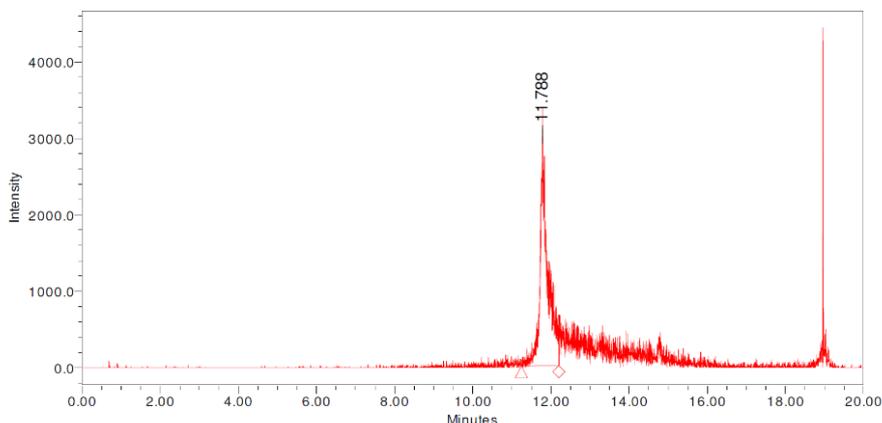
Fonte: Próprio autor.

Figura 12 – Gráfico obtido em equipamento UPLC do pico de intensidade de betanina (PM = 551,15) em amostra de extrato de beterraba permeado em processo de microfiltração tangencial (A3).



Fonte: Próprio autor.

Figura 13 – Gráfico obtido em equipamento UPLC do pico de intensidade de betanina (PM = 551,15) em amostra de extrato de beterraba concentrado por processo em rotaevaporador (A4).



Fonte: Próprio autor.

O estudo da área do pico de cada uma das amostras gerou os seguintes resultados:

Tabela 7 - Comparativo entre a intensidade e áreas calculadas para os picos referentes a presença de betanina nas amostras de extrato de beterraba.

Betanina		
Amostra	Área do pico	Intensidade
A1	59233	3808
A2	46102	2907
A3	41612	3104
A4	48846	2616

Fonte: Próprio autor.

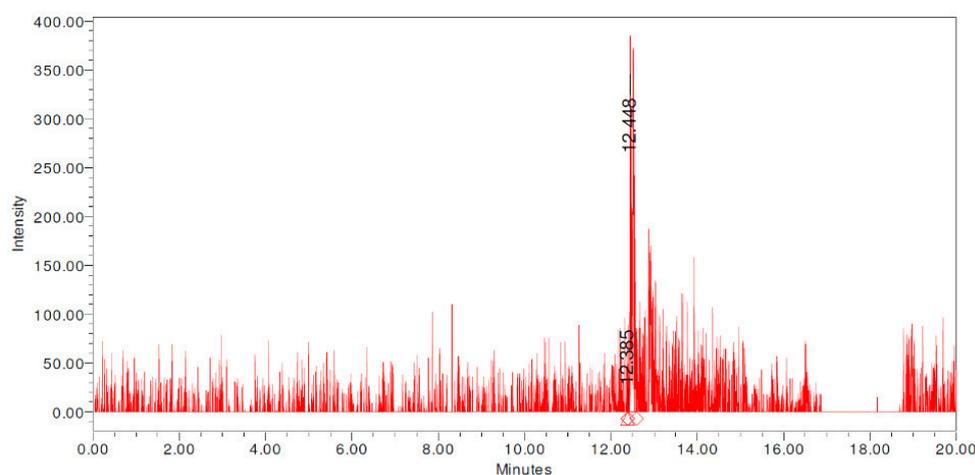
Observa-se pela área calculada que, dentre as amostras não concentradas, aquela que possui maior quantidade de betanina (maior área de pico) é a amostra A1, o extrato de beterraba bruto. Precedido pelas amostras A2 e A3, respectivamente. Deve-se ressaltar que a amostra A4, passou por processo de diluição de mil vezes, enquanto as outras amostras foram diluídas apenas 100 vezes. Assim, para efeito de comparação entre a área de seu pico e das demais amostras, deve-se multiplicar a área obtida por 10. Com isso, esta amostra torna-se a com maior quantidade de betaninas, como esperado, já que esta possui o produto concentrado pelo processo em rotaevaporador.

É possível que a maior quantidade de betanina observada nas amostras A1 e A2 com relação a A3 seja derivado do método utilizado para produção destas, pois ressalta-se que nas no material utilizado para produção de A1 e A2 ainda era observada a presença de fibras de beterraba (possível fonte de betalaínas), enquanto na produção de A3, o material utilizado é o permeado do processo de microfiltração, livre de fibras. Desta forma, é possível que o metanol possa ter extraído betalaínas ainda presentes nas fibras de beterraba das amostras A1 e A2, aumentando assim a intensidade dos picos aqui discutidos.

4.3.2 Vulgaxantina I

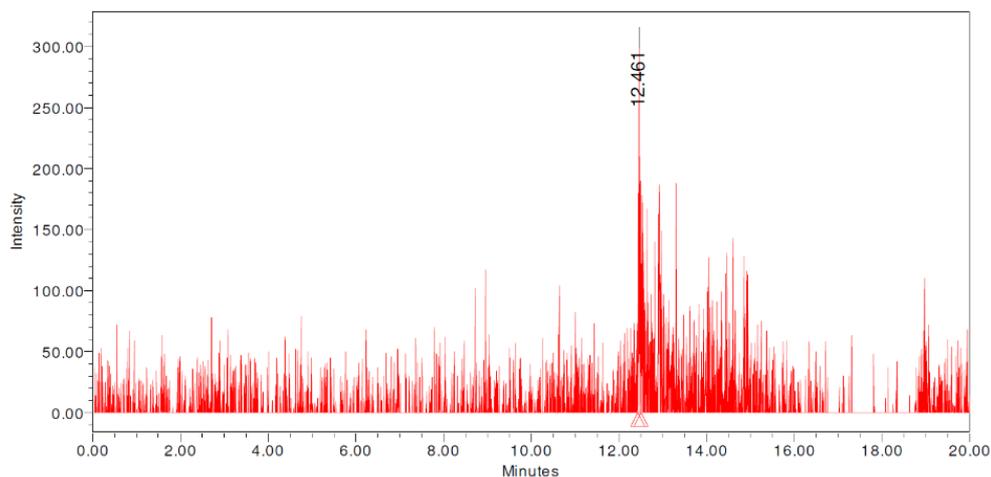
Em comparação com as áreas de pico observadas para a betanina, a quantidade de vulgaxantina I nas amostras é considerada muito pequena, estando muito próxima a leitura de ruído do equipamento utilizado. Assim, torna-se imprecisa uma comparação entre as quantidades de vulgaxantina I presentes nas amostras. Contudo, pode-se afirmar a partir dos picos obtidos que foi observada a presença desta betalaína nas amostras analisadas, ressaltando-se que a quantidade observada de vulgaxantina I nestas amostras é muito menor que a obtida para a betanina, cujos picos possuíam cerca de 10 vezes mais intensidade.

Figura 14 – Gráfico obtido em equipamento UPLC do pico de intensidade de vulgaxantina I (PM = 340,11) em amostra de extrato de beterraba bruto (A1).



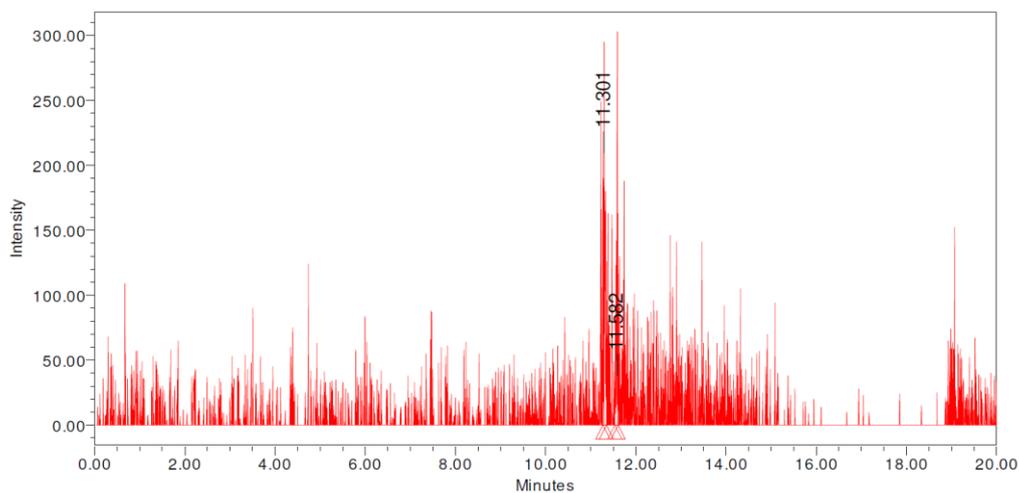
Fonte: Próprio autor.

Figura 15 – Gráfico obtido em equipamento UPLC do pico de intensidade de vulgaxantina I (PM = 340,11) em amostra de extrato de beterraba retentado em processo de microfiltração tangencial (A2).



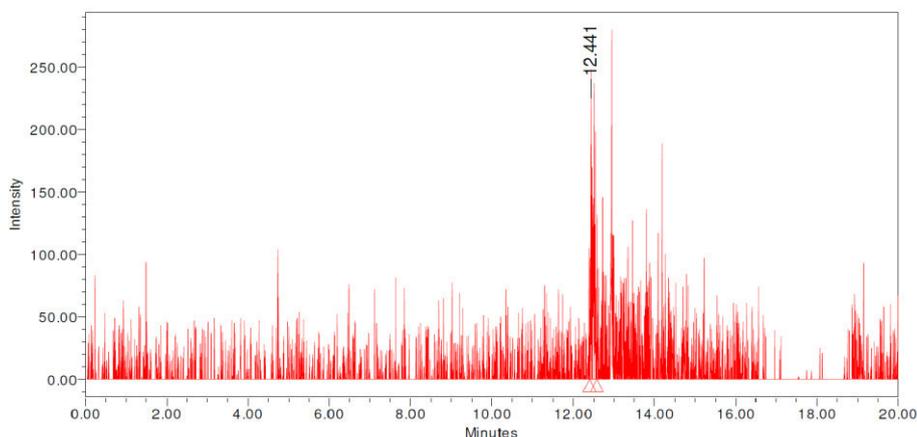
Fonte: Próprio autor.

Figura 16 – Gráfico obtido em equipamento UPLC do pico de intensidade de vulgaxantina I (PM = 340,11) em amostra de extrato de beterraba permeado em processo de microfiltração tangencial (A3).



Fonte: Próprio autor.

Figura 17 – Gráfico obtido em equipamento UPLC do pico de intensidade de vulgaxantina I (PM = 340,11) em amostra de extrato de beterraba concentrado por processo em rotaevaporador (A4).



Fonte: Próprio autor.

O estudo da área do pico de cada uma das amostras gerou os seguintes resultados:

Tabela 8 - Comparativo entre a intensidade e áreas calculadas para os picos referentes a presença de vulgaxantina I nas amostras de extrato de beterraba.

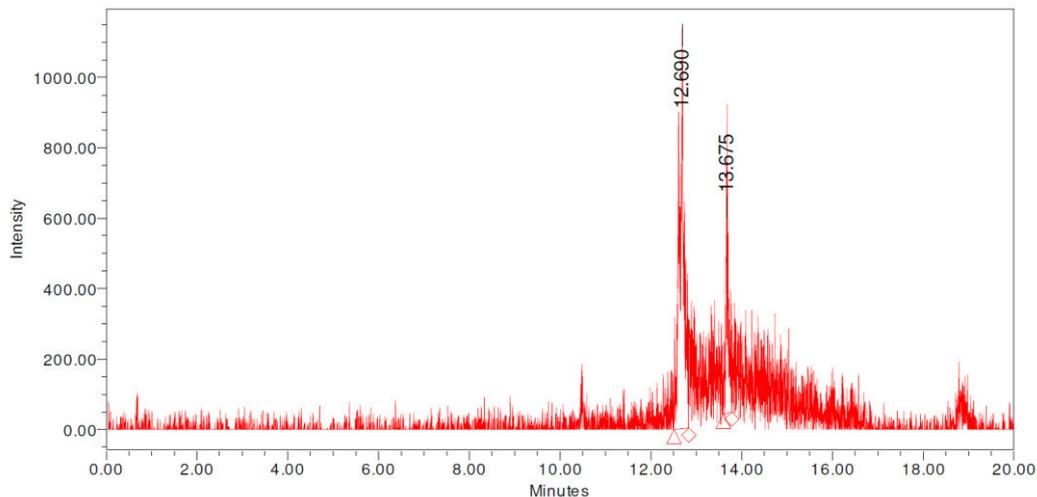
Vulgaxantina I		
Amostra	Área do pico	Intensidade
A1	1307	356
A2	453	232
A3	532	209
A4	869	254

Fonte: Próprio autor.

4.3.3 Vulgaxantina II

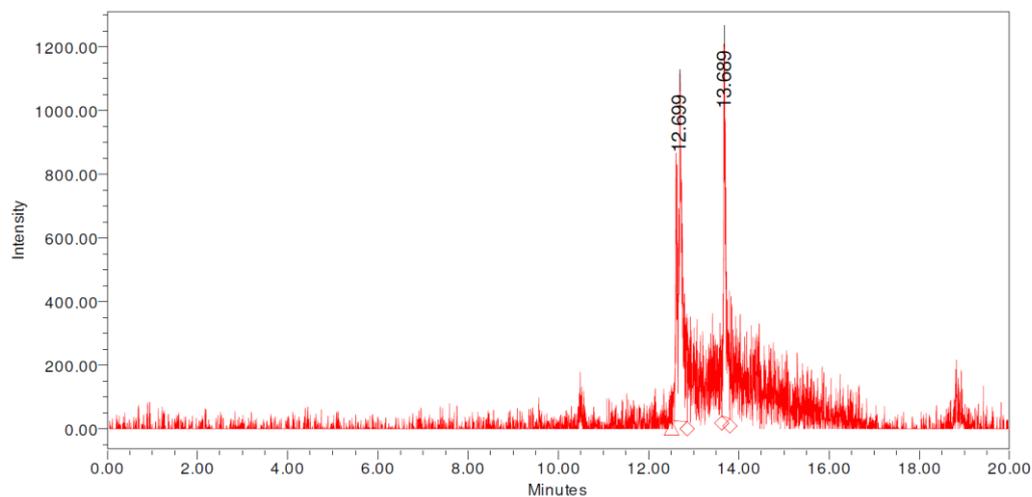
Foi observada a presença de dois picos, representando diferentes betalaínas de massa 341,09. Contudo, a literatura não fornece informações que torne possível a distinção de qual pico pertence a vulgaxantina II, também não foram encontrados relatos de outras betalaínas com mesma massa molecular. Assim, pode-se afirmar apenas que há a presença de vulgaxantina II nas amostras analisadas e que esta está em quantidade significativa para leitura.

Figura 18 – Gráfico obtido em equipamento UPLC do pico de intensidade de vulgaxantina II (PM = 341,09) em amostra de extrato de beterraba bruto (A1).



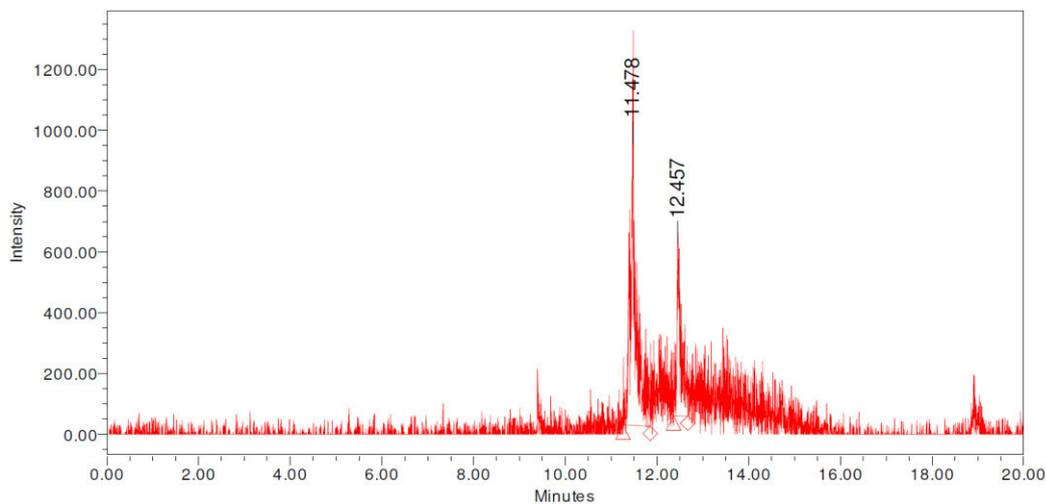
Fonte: Próprio autor

Figura 19 – Gráfico obtido em equipamento UPLC do pico de intensidade de vulgaxantina II (PM = 341,09) em amostra de extrato de beterraba retentado em processo de microfiltração tangencial (A2).



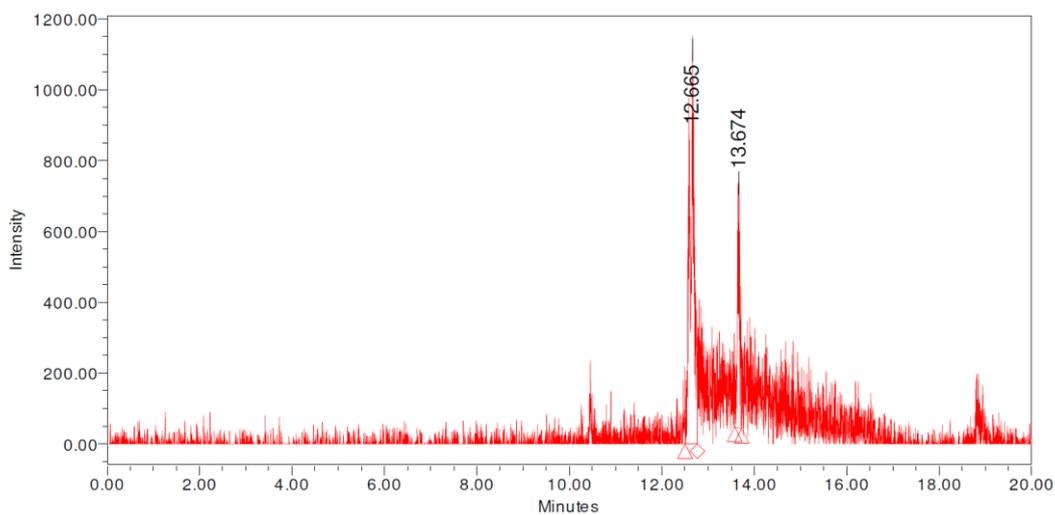
Fonte: Próprio autor.

Figura 20 – Gráfico obtido em equipamento UPLC do pico de intensidade de vulgaxantina II (PM = 341,09) em amostra de extrato de beterraba permeado em processo de microfiltração tangencial (A3).



Fonte: Próprio autor.

Figura 21 – Gráfico obtido em equipamento UPLC do pico de intensidade de vulgaxantina II (PM = 341,09) em amostra de extrato de beterraba concentrado por processo em rotaevaporador (A4).



Fonte: Próprio autor.

O estudo da área do pico de cada uma das amostras gerou os seguintes resultados:

Tabela 9 - Comparativo entre a intensidade e áreas calculadas para os picos referentes a presença de vulgaxantina II nas amostras de extrato de beterraba.

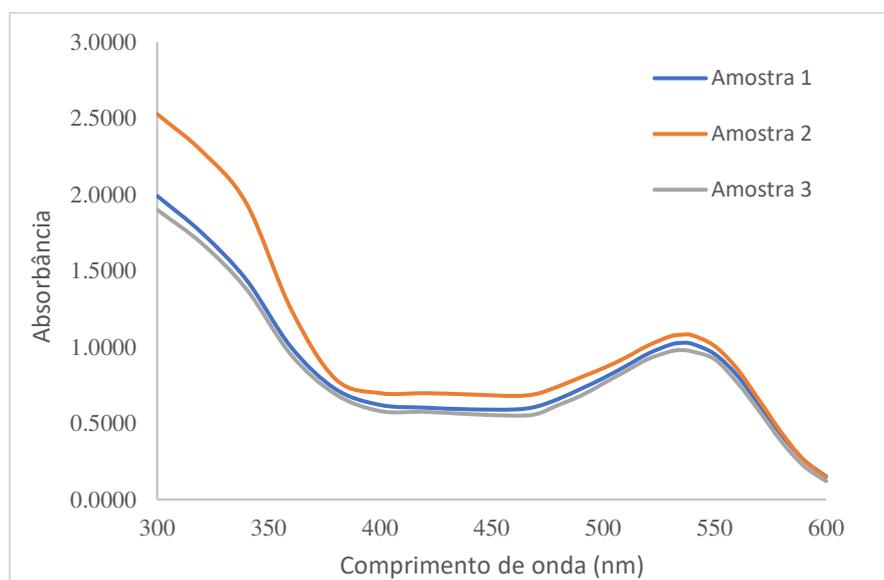
Vulgaxantina II (pico 1)			Vulgaxantina II (pico 2)		
Amostra	Área do pico	Intensidade	Amostra	Área do pico	Intensidade
A1	8065	1094	A1	2957	834
A2	7578	1066	A2	4287	1152
A3	8866	1154	A3	3576	579
A4	7313	1062	A4	2361	718

Fonte: Próprio autor.

4.3.4 Análise em espectrofotômetro

Por meio da análise da absorbância em espectrofotômetro e possuindo o conhecimento do comprimento de onda referente a absorbância máxima de betacianinas e betaxantinas foi elaborado com o uso de pontos experimentais o seguinte gráfico para as amostras A1, A2 e A3.

Figura 22 – Gráfico de absorbância versus comprimento de onda das amostras A1, A2 e A3, obtido com análise em espectrofotômetro.



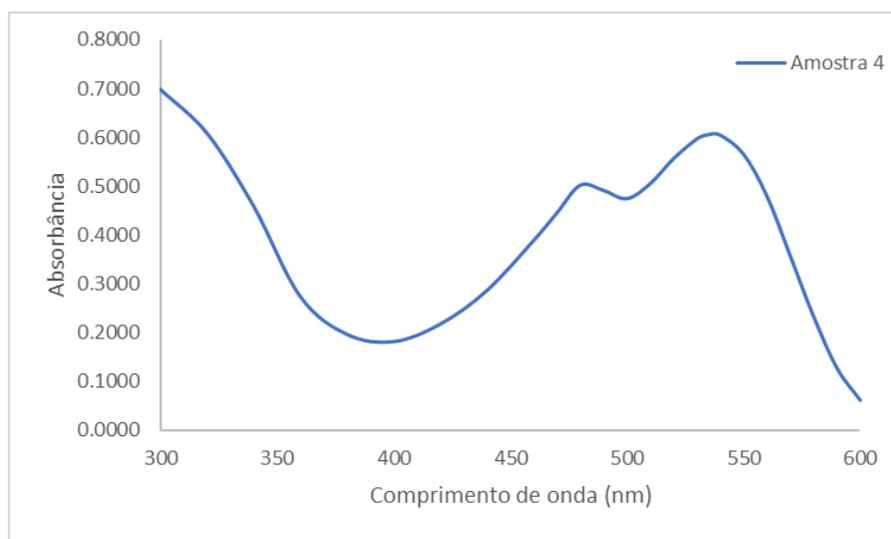
Fonte: Próprio autor.

A partir do gráfico, observa-se uma maior quantidade de betacianinas ($\lambda_{\text{máx}} = 535$) na amostra A2, sendo precedida pela amostra A3 e, por fim, pela amostra A1. Como já citado, a presença de fibras de beterraba é um dos possíveis fatores para este acontecimento.

Não foi possível observar um pico referente a presença de betaxantinas ($\lambda_{\text{máx}} = 480$) nestas amostras, muito provavelmente pela baixa concentração desses compostos nas soluções analisadas ou pelo coeficiente de diluição aplicado, pois caso utilizado coeficiente de diluição maior, é possível que fosse observado este pico.

Quanto a amostra A4 (figura 23), seu gráfico de absorvância versus comprimento de onda forneceu picos de absorvância máxima tanto para betacianinas quanto para betaxantinas. Demonstrando que o coeficiente de diluição empregado (10 vezes maior que o das outras amostras) foi eficiente na caracterização desta amostra e espectrofotômetro.

Figura 23 - Gráfico de absorvância versus comprimento de onda da amostra A4, obtido com análise em espectrofotômetro.



Fonte: Próprio autor.

A análise quantitativa de betalaínas segundo método descrito por CASTELLANOS (2008) gerou os seguintes resultados:

Tabela 10 – Resultados quantificação de betalaínas em amostras. (a) Betacianinas em mg/g de extrato; (b) Betaxantinas em mg/g de extrato.

Betacianinas (mg/g)			
A1	A2	A3	A4
1.04	1.09	0.99	5.56

(a)

Betaxantinas (mg/g)	
A4	4.00
A4	4.00

(b)

Fonte: Próprio autor.

Por meio desta análise observou-se quantidade de betacianinas muito próximas nas amostras A1, A2 e A3, e uma quantidade cerca de 5 vezes maior na amostra A4. Resultado esperado, já que esta passou pelo processo de concentração a vácuo, onde foi evaporada 80% da água presente na amostra.

4.4 Teste de Cor do suco de acerola

O teste de cor realizado com diferentes amostras de suco de acerola permitiu analisar parâmetros relativos a forma de adição do corante de beterraba concentrado. O suco de acerola quando aquecido atingiu a coloração amarela esperada, contudo, na amostra 4, esperava-se que a adição de corante antes da etapa de aquecimento fosse capaz de impedir o amarelamento da solução, na prática, observou-se que houve grande perda da coloração original da solução, ainda que parte do amarelamento tenha sido evitada. Acredita-se que esse método ainda possa gerar um suco de acerola com coloração próxima à original, porém seria necessário o uso de formulações com quantidades maiores de corante que a utilizada.

Na amostra 5, a adição de corante em mesma proporção a utilizada para preparo da amostra 4, demonstrou-se eficiente no processo de correção da coloração do suco de acerola. Obtendo valores de L^* , a^* e b^* mais próximos de tons vermelhos que os obtidos em leituras do suco de acerola sem processamento, sendo sua coloração mais atrativa ao consumo. Assim, o método de correção da cor demonstrou-se o mais eficaz na obtenção de um suco de acerola de coloração próxima ou superior a original em tons vermelhos.

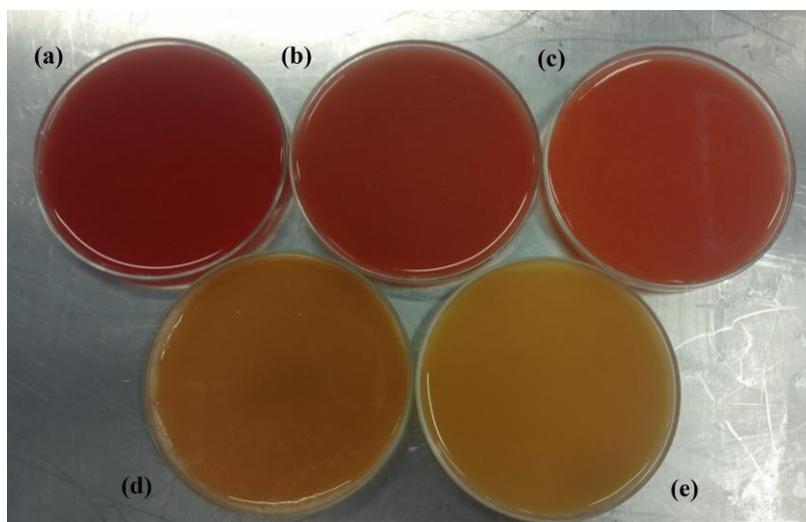
Tabela 11 – Valores médio de L, a* e b* obtidos em medição em colorímetro.

	Amostra 1 (c)	Amostra 2 (a)	Amostra 3 (e)	Amostra 4 (d)	Amostra 5 (b)
L	57,99	52,72	64,28	57,79	54,18
a*	27,52	32,31	10,43	19,52	29,03
b*	45,14	34,09	51,34	45,17	37,87

Fonte: Próprio autor.

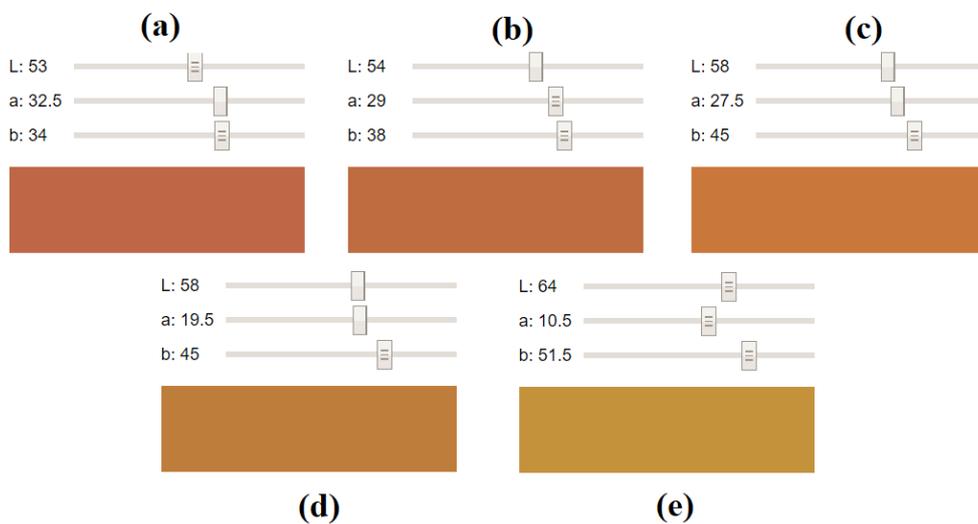
Como oportunidade de melhoria para este experimento, deve-se citar a possibilidade de repeti-lo utilizando um pasteurizador, para aproximar-se ao processo de produção utilizado industrialmente. Deve-se também estabelecer a porcentagem de adição de corante necessária para que a solução após processo de pasteurização mantenha a coloração natural do suco de acerola.

Figura 24 – Placa de Petri com amostras de suco de acerola utilizadas. (a) Suco de acerola contendo de 1% corante (v/v); (b) Suco de acerola aquecido corrigido com 1% de corante (v/v); (c) Suco de acerola natural; (d) Suco de acerola contendo 1% de corante (v/v) e aquecido; (e) Suco de acerola aquecido.



Fonte: Próprio autor.

Figura 25 – Cores obtidas com o auxílio de colorímetro. (a) Suco de acerola adicionado de 1% corante (v/v); (b) Suco de acerola aquecido corrigido com 1% de corante (v/v); (c) Suco de acerola natural; (d) Suco de acerola adicionado de 1% de corante (v/v) aquecido; (e) Suco de acerola aquecido.



Fonte: Elaborado em JOHNSTONE.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permite concluir-se que o processo empregado em escala piloto de bancada possibilita produzir de forma eficiente um extrato clarificado e concentrado de beterraba com a presença de altos níveis de betalaínas.

Por meio do estudo do rendimento do processo, foi possível analisar de forma crítica à etapa limitante para o rendimento do processo, sendo esta a de despolpamento, que resulta em uma quantidade ainda considerável de resíduos com altos níveis de betalaína. Assim, propõe-se aqui a utilização de outros tipos de equipamentos, como um moinho coloidal ou triturador de alto cisalhamento, tipo ultra turrax industrial (IKA), para otimizar o rendimento total do procedimento apresentado.

Com estudo do processo de microfiltração, observa-se que este foi bem empregado, proporcionando a obtenção do permeado límpido contendo as frações de betalaínas. A membrana utilizada apresentou grande eficiência, com um baixo grau de colmatação e um elevado valor de fluxos de permeados durante todo o processo, indicando viabilidade técnica para a extrapolação de escalas.

Por meio da análise em UPLC, foi possível identificar inicialmente a presença de betalainas nas amostra e comparar de forma quantitativa a concentração destes compostos de interesse, mostrando assim a afetividade do processo de concentração empregado. Também observa-se que o processo de microfiltração tangencial não reduz nem concentra as betalaínas em seu permeado e retentado, porém a concentração a vácuo permitiu quintuplicar esta concentração sem perdas das características corantes desejadas. Ao analisar as amostras em espectrofotômetro, observou-se que foi efetiva a obtenção do corante de beterraba concentrado, pois os resultados obtidos permitiram quantificar e demonstrar um presença de betacianinas 5 vezes maior no no extrato concentrado, que no permeado do processo de MFT.

O teste de coloração em suco de acerola demonstrou que, é possível a utilização do corante concentrado de beterraba na fabricação industrial deste suco, recuperando a coloração vermelha característica dessa fruta que é perdida pelo aquecimento na pasteurização. Contudo, é necessária a adaptação do método aqui utilizado para um processo de pasteurização em escala real, para que sejam obtidos resultados mais significativos para indústria. A concentração de 1%, não demonstrou-se suficiente para impedir o amarelamento deste suco quando submetida a mistura ao calor, agindo apenas de forma parcial. Porém o uso deste corante sobre o produto com a coloração alterada recupera de forma satisfatória a

coloração vermelha característica da polpa de acerola. Assim, conclui-se que, para melhor utilização deste corante, é necessária sua aplicação após processo de aquecimento, o que se faz possível, pois o corante empregado é obtido límpido e de alta qualidade microbiológica após a combinação dos processos de microfiltração e concentração a vácuo.

Recomenda-se dessa forma um avanço dos estudos de concentração em equipamentos mais eficientes para a obtenção de extratos concentrados com teores mais elevados de betalaina e com isso o percentual a ser usado deverá ser mais baixo e mais eficaz.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, F.; PEREZ, A. M.; DORNIER, M.; REYNES, M. **Potentialités de la microfiltration tangentielle sur membranes minérales pour la clarification du jus de pomme de cajou.** *Fruits*, v. 60, n. 01, p. 33–40, 2005.

ABREU, F.A.P. **Etude d'un procédé intégrant la microfiltration tangentielle pour la production d'extraits concentrés en caroténoïdes à partir de pomme de caju (Anacardium occidentale, L.).** Université Montpellier 2 - Sciences et Techniques. Tese de Doutorado, Montpellier, França, 2012.

ARAÚJO, J. L. **Propriedades termofísicas da polpa do cupuaçu.** Campina Grande, Universidade Federal da Paraíba, 2001.

COSTA, W.S.; FILHO, J.S.; MATA, M.E.C; Queiroz, A.J.M. **Influência da concentração de sólidos solúveis totais no sinal fotoacústico de polpa de manga.** *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v.6, n.2, p.141-147, 2004 ISSN 1517-8595.

BARA, M. T. F., VANETTI, M. C. D. **Atividade antimicrobiana de corantes naturais sobre microorganismos patogênicos veiculados por alimentos.** In: SEMINÁRIO: CORANTES NATURAIS PARA ALIMENTOS, 1, 1992, Viçosa, MG. Viçosa, MG:UFV, 1992. p.8.

BOBBIO, P.A.; BOBBIO, F.O. **Química do Processamento de Alimentos.** 2. ed. São Paulo: Varela. 1992. p. 105-144.

BOBBIO, P.A.; BOBBIO, F.O. **Introdução à Química de Alimentos.** 2. ed. São Paulo: Livraria Varela, 1995. p. 191-221.

BRASIL. Ministério da Saúde. Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos. Resolução n. 44, 1977. Estabelece condições gerais de elaboração, classificação, apresentação, designação, composição e fatores essenciais de qualidade dos corantes empregados na produção de alimentos e bebidas e revoga as Resoluções 20/70 e 8/72. (Ementa elaborada pelo CD/MS). **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 02 fev. 1978.

BRASIL. Portaria n° 540, de 27 de outubro de 1997. Aprova o Regulamento Técnico: Aditivos alimentares – definições, classificação e emprego. **Diário Oficial da União**; Poder Executivo, 28 de outubro de 1997.

BRASIL. Ministério da Saúde. Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos. Resolução n. 11, 1978. Altera a Resolução – CNNPA nº44, de 1977. **Diário Oficial União**, Brasília, DF, 04 jul. 1978.

CASTELLANOS-SANTIAGO E.; YAHIA E. M. **Identification and quantification of betalains from the fruits of 10 Mexican prickly pear cultivars by high-performance liquid chromatography and electrospray ionization mass spectrometry**. J. Agric. Food Chem. 56: 5758-5764, 2008.

COULTATE, T.P.; trad. Jeverson Frazzon. **Alimentos: a química de seus componentes**. 3. ed. Porto Alegre: Aetmed, 2004. p. 145-166.

JOHNSTONE, D. **Lch and Lab colour and gradient picker**. Disponível em: <http://davidjohnstone.net/pages/lch-lab-colour-gradient-picker>. Acesso em: 24/11/2017

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade de Coimbra. **Portal Laboratórios Virtuais de Processos Químicos**, 2007. Disponível em <http://labvirtual.eq.uc.pt>. Acesso em: 09/11/2017.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa, MG. 3 ed. p. 378-382, 2007.

FRANCIS, F. J. **A new group of food colorants**. Trends in Food Science & Technology, v. 3, 1992, p. 27-30.

FURTADO, A.A.L; PAGANI, M.M.; SOARES, C.M. **Pasteurização da polpa de acerola cultivada sob sistema orgânico**. Comunicado Técnico. Embrapa, Rio de Janeiro, 2009. ISSN 0103-5231.

GARCÍA-CRUZ, L.; SALINAS-MORENO, Y.; VALLE-GUADARRAMA, S. **Betalaínas, compuestos fenólicos y actividad antioxidante en pitaya de mayo (*Stenocereus griseus* H.)**. Universidad Autónoma Chapingo, Instituto Nacional de Investigación Forestal Agrícola y Pecuarias. Chapingo, Estado de México. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 35 (Núm. Especial 5): 1-5, 2012.

GORMLEY, T.R. **Colour and its measurements in Food**. *Food Progress*, 2 (13) 2-2, 1975.

HARBERT, A C.; BORGES, C. P. E NOBREGA, R. **Processos de Separação por Membranas**. Escola piloto em engenharia química, Programa de Engenharia química, Rio de Janeiro - COPPE/UFRJ, 2006.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **CENSO AGROPECUÁRIO 2006** - Brasil. 2009a. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 18/10/2009.

LOPES, N.B.; GONÇALVES, L.C.P.; OLIVEIRA, V.X.; BAADER, W.J.; BASTOS, E.L. **Comparação de metodologias para purificação de betanina**. Universidade Federal do ABC, Santo André, SP, 2009?.

MASCARENHAS, J.M.O. **Corantes em alimentos: perspectivas, uso e restrições**. Universidade Federal de Viçosa. Tese de Mestrado, Viçosa, Minas Gerais, 1998.

MCCABE, W.L.; SMITH, J.C.; HARRIOTT, P. **Unit Operation of Chemical Engineering**. 7. ed. New York, NY, 2005. p. 1001-1054.

MOURA, L.L.; CASCON, S.C.; GUIMARÃES I.S.S. **Corantes de beterraba e suas aplicações em alimentos**. Embrapa, Centro de Tecnologia Agrícola e Alimentar – CTAA. 1993. ISSN 0101-4749.

MULDER, M. H.V. **Basic Principles of Membrane Technology**. Kluwer Academic Publishers, 1997.

NETO, S.R.M.; ABREU, F.A.P.; PESSOA L.F.P.; QUEIROZ E.M. **Características físico-químicas e compostos aromáticos do suco de melão clarificado por microfiltração tangencial**. Revista Eletrônica Teccen. 2016 Jan./Jun.; 09 (1): 75-80.

TIVELLI, S.W.; TRANI, P.E. **Hortaliças: Beterraba (Beta vulgaris L.)**. Instituto Agrônomo, 2008.

TIVELLI, S.W.; FACTOR, T.L.; TERAMOTO, J.R.S. **Beterraba: do platío à comercialização**. Campinas: Instituto Agrônomo, p. 2-7,29-38, 2011.

TRANI, P.E.; FORNASIER, J.B.; LISBÃO, R.S. **Nutrição Mineral e Adubação da Beterraba**. Nutrição e Adubação de Hortaliças. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p. 429-446.

USDA. US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Nutrient Data Laboratory. **USDA National Nutrient Database for Standard Reference Dataset for What We Eat In America**, NHANES (Survey-SR), October 2015. Internet: </Services/docs.htm?docid=25662>. Acessado em 18/10/2017.

VAILLANT, F.; DORNIER, M. **Clarification and concentration of fruit juices using membrane techniques**. 2001. *Fruitrop (English ed.)* (85) : pp. 10-11.

VAILLANT, F.; MILLAN, P.; O'BRIEN, G.; DORNIER, M.; DECLoux, M.; REUNES, M. **Crossflow microfiltration of passion fruit juice after partial enzymatic liquefaction**. *Journal of Food Engineering* 42 215-224, 1999.

VIANA, J.D.R. **Obtenção de base neutral de açúcares e minerais a partir do suco de banana (*Musa cavendish*) clarificado por microfiltração**. Universidade Federal de Santa Catarina. Tese de Mestrado, Florianópolis, Santa Catarina, 2017.