

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

MARIA DE FÁTIMA LONGO

**OTIMIZAÇÃO DO RENDIMENTO DE EXTRAÇÃO DE PECTINA DO MAMÃO
VERDE POR MEIO DA METODOLOGIA DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA**

FRANCISCO BELTRÃO

2021

MARIA DE FÁTIMA LONGO

**OTIMIZAÇÃO DO RENDIMENTO DE EXTRAÇÃO DE PECTINA DO MAMÃO
VERDE POR MEIO DA METODOLOGIA DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA**

**Optimization of pectin extraction yield from green papaya through
responsesurface methodology**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Química da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientadora: Prof^(a). Dr^(a). Maria Helene Giovanetti
Canteri.

Coorientadora: Prof^(a). Dr^(a). Irede Angela Lucini
Dalmolin.

FRANCISCO

BELTRÃO2021



4.0 Internacional

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

MARIA DE FÁTIMA LONGO

**OTIMIZAÇÃO DO RENDIMENTO DE EXTRAÇÃO DE PECTINA DO MAMÃO
VERDEPOR MEIO DA METODOLOGIA DE SUPERFÍCIE DE RESPOSTA**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Química da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Data de aprovação: 10 de dezembro de 2021

Maria Helene Giovanetti Canteri
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Naimara Vieira do Prado
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Irede Angela Lucini Dalmolin
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

“A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

FRANCISCO BELTRÃO

2021

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado forças e me guiado por este longo caminho, por ter me dado mais do que mereço, e à Virgem Maria, por Sua intercessão poderosa.

Aos meus pais, Valmor e Marli, e aos meus irmãos, Vanessa, Simone e Roberto que são os espelhos da minha vida. Agradeço pelas oportunidades, pelos conselhos e apesar das dificuldades, nunca me deixaram desistir. Amo-os muito.

À minha orientadora e amiga, Professora Maria Helene Giovanetti Canteri, por ter acreditado em mim e por ter sempre me apoiado e motivado durante o percurso desse projeto.

À minha coorientadora, Irede Angela Lucini Dalmolin, pelas orientações e principalmente pela amizade.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pela disposição dos laboratórios para a realização da pesquisa.

Aos amigos que fiz durante o período da graduação que se esforçaram e me ajudaram a lutar dando apoio e forças principalmente nesse período pandêmico. Eles: Karla Faust, Gersiane Barp, Emanuel Stingrlin Dornelles e Willian Bottin. Meus mais sinceros agradecimentos. Sem vocês, com certeza este trabalho não seria concluído.

Enfim aos meus amigos, colegas e a todos que direta e indiretamente ajudaram a construir e realizar este trabalho, este sonho.

RESUMO

Embora a produção de mamão no Brasil seja muito alta, a perda pós-colheita é estimada em mais de 40%, afetando a economia regional do Brasil. À medida que o fruto do mamoeiro se encontra perto do ponto de maturação, sua morfologia e seu metabolismo sofrem uma série de alterações, com maior sensibilidade no processo patológico causando apodrecimento por fungos. O mamão verde é rico em fibras dietéticas totais e pode ser utilizado como fonte alternativa para extração de pectina. O objetivo desse trabalho foi otimizar a extração de pectina da farinha do mamão nativo ainda verde, encontrado na região Sudoeste do Paraná, calculando seu rendimento e alterando fatores que influenciam a extração. Os frutos foram colhidos ainda verde, lavados, cortados em pequenas partes sem remover o exocarpo, mas com remoção das sementes. Secos em estufa com circulação de ar e triturados até a obtenção da farinha. A metodologia de superfície de resposta foi utilizada para determinar as condições ótimas de extração para obtenção do melhor rendimento. A extração foi realizada com 2 g de farinha em 200 mL de solução de ácido nítrico, em diferentes concentrações e em diferentes tempos de extração, à temperatura de 90 °C. O maior rendimento nas extrações de pectina na farinha de mamão verde foi obtido com 5% de solução de ácido nítrico 1 mol L⁻¹ e tempo de extração de 55 min. No entanto, a extração da pectina dessa variedade de mamão apresentou baixo rendimento comparado a outros trabalhos.

Palavras-chave: pectina; mamão; extração; otimização.

ABSTRACT

Although papaya production in Brazil is very high, post-harvest loss is estimated at over 40%, affecting Brazil's regional economy. As the papaya fruit approaches the maturity point, its morphology and metabolism undergo several changes, with greater sensitivity in the pathological process, causing fungal rot. Green papaya is rich in total dietary fiber and can be used as an alternative source for pectin extraction. The objective of this work was to optimize the extraction of pectin from the still unripe papaya flour from Southwest region of Paraná, calculating its yield and changing the factors that influence the extraction. The fruits were harvested while still unripe, washed, cut into small parts without removing the exocarp, but removing the seeds, dried in an air circulation oven and crushed until the flour was obtained. The response surface methodology was used to determine the optimal extraction conditions to obtain the best yield. Extraction was performed in 2 g of flour to 200 mL of nitric acid solution at different concentrations and at different extraction times, at a temperature of 90 °C. The highest yield in pectin extractions in green papaya flour was obtained with a 5 g% nitric acid solution 1 mol L⁻¹ and extraction time of 55 min. However, the extraction of pectin from this variety of papaya showed low yield compared to other works.

Keywords: pectin; papaya; extraction; optimization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mamão.....	9
Figura 2 – Mamoeiro.....	10
Figura 3 - Estrutura química da cadeia de pectina.....	13
Figura 4 – Frutos do mamão colhidos, tiras do mamão colocados na estufa, e tiras do mamão após a secagem em estufa.....	16
Figura 5 - Diagrama do processo de obtenção da farinha do mamão verde.....	17
Figura 6 – Processo de precipitação da pectina em etanol.....	18
Figura 7 - Efeito das variáveis “concentração de ácido nítrico” e “tempo” e suas interações sobre o rendimento de extração de pectina da farinha de mamão verde.....	23
Figura 8 - Superfície de resposta da avaliação da porcentagem do rendimento da pectina farinha de mamão verde.....	24
Figura 9 - Perfil de resposta da avaliação da porcentagem do rendimento da pectina farinha de mamão verde.....	25

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
2	OBJETIVOS	8
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
3.2	Pectina	12
3.2.1	Estrutura da pectina	13
3.2.2	Extração da pectina	14
3.3	Otimização de Processos	14
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	16
4.1	Matéria-prima	16
4.2	Preparo e análises químicas da farinha do mamão verde	16
4.3	Extração da pectina	18
4.4	Determinação do rendimento	19
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	21
5.1	Influência da variedade de mamão sobre o rendimento da extração de pectina	21
5.2	Otimização do Rendimento da Extração de Pectina	21
6	CONCLUSÃO	26
	REFERÊNCIAS	27

1 INTRODUÇÃO

Cada vez mais são empregadas novas fontes de extração de pectina, devido sua importância como princípio de bioativos que geram benefícios à saúde. A pectina é um polissacarídeo componente da parede celular de plantas dicotiledôneas e de certas monocotiledôneas, encarregada pela aderência entre as células e pela resistência mecânica da parede celular (GUEVARA, 2020), cuja propriedade de gelificação é utilizada na indústria de alimentos, fármacos e cosméticos. A pectina apresenta muitas propriedades que possibilitam seu uso como agente geleificante, espessante e estabilizante (LIMA, 2019).

O Brasil é considerado o segundo maior produtor mundial de mamão (*Carica papaya* L.), sendo a região nordeste o maior pólo de produção do país. Alguns frutos de mamão nem chegam a ser colhidos devido os fatores climáticos de países subtropicais e tropicais, tendo maior sensibilidade no processo patológico causando apodrecimento por fungos (ZUCOLOTO; SCHMILDT; COELHO, 2015). Por essa razão, há um incentivo do aproveitamento em novos processos para agregação de valor, abrangendo aplicações inovadoras a partir de sua composição.

O método de obtenção da pectina do mamão verde pode ser considerado relativamente simples e, portanto, pode-se promover a otimização do processo de extração. Trata-se de um processo com múltiplas etapas físico-químicas, em que a hidrólise e extração de macromoléculas dos tecidos vegetais e sua solubilização são afetadas por diversos fatores como temperatura, pH, tipo e concentração de ácido e tempo de extração (GUEVARA, 2020).

Assim, considerando a importância das pectinas em diversos segmentos industriais, é de de uma importância a otimização do método de extração da pectina da farinha de mamão verde para encontrar o maior rendimento. Também, a reutilização desses recursos renováveis abundantes e de baixo custo, gera novas oportunidades aos pequenos produtores, tanto quanto possível, com o reaproveitamento de coprodutos e resíduos como matérias-primas de outros processos com redução do impacto ambiental.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Otimizar o rendimento da extração de pectina da farinha do mamão verde (*Carica papaya* L.), com ácido nítrico, através do método da superfície de resposta.

2.2 Objetivos Específicos

- Testar protocolos de extração da pectina da farinha de mamão verde;
- Estabelecer variáveis independentes do processo, resultando na alteração do pH do meio e tempo de extração;
- Analisar o rendimento da pectina extraída sob diferentes condições por meio da metodologia da superfície de resposta.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Mamão

O mamão (*Carica papaya* L.) foi descoberto pelos espanhóis entre o sul do México e o norte da Nicarágua (CORDEIRO *et al.*, 2012). Sua história de propagação começou por volta de 1500, quando os conquistadores espanhóis trouxeram sementes para o Panamá e para a República Dominicana. Subsequentemente, foi expandido o plantio para outras regiões e aumentando a variedade de sementes, com ótima adaptação em todas as regiões tropicais e subtropicais (DE LA CRUZ MEDINA; GUTIÉRREZ; DANTAS; JUNGHANS, 2013). É considerada uma das árvores frutíferas mais plantadas e consumidas nas regiões tropicais e subtropicais do mundo. Seu fruto é uma excelente fonte de cálcio, vitamina A e vitamina C (ácido ascórbico), sendo por isso muito utilizado na dieta alimentar (VINITA; REEMA; KAUSHAL, 2015; HUTCHINSON *et al.*, 2018).

O mamão tem formato ovóide, esférico-periforme e varia em tamanho e massa (Figura 1). A cor da polpa pode variar de amarelo a salmão ou rosa. A casca é lisa e verde, tornando-se amarela ou laranja quando madura. Possui uma grande cavidade central com muitas sementes (SEBRAI, 2016).

Figura 1 – Mamão nativo da região Sudoeste do Paraná



Fonte: Autoria própria (2021)

O mamoeiro é um arbusto longo de tronco viçoso e succulento, com longas folhas de pecíolo (talos) inseridos em forma de espiral (Figura 2). Na parte inferior das folhas estão flores ou cachos individuais. A flor determina o sexo da planta e podeseer masculina, feminina ou hermafrodita. São necessários três a quatro meses após o plantio para dar frutos, e três anos depois, quando a planta atinge um pico, a colheita fica difícil e a qualidade e a produtividade diminuem (SEBRAE, 2016).

Figura 2 – Mamoeiro



Fonte: Autoria própria (2021)

O Brasil é o segundo maior produtor mundial de mamão, com uma área de 27,5 hectares e produção anual de mais de 1,1 milhão de toneladas (FAO, 2018), com alta densidade de plantas por hectare, rápido desenvolvimento, fácil reprodução e alto rendimento ao longo do ano (TÉCNICOS, 2000). No Brasil, a maior área produtora é o Nordeste (53,0%), seguido por Sudeste (39,0%), Norte 2% e Sul (0,3%) (IBGE, 2020).

Na Tabela 1, estão indicados os dados da produção de mamão no Brasil.

Tabela 1 - Quantidade produzida a partir da lavoura permanente de Mamão no Brasil (mil toneladas) entre 2015 e 2019 por região

Região	2015	2016	2017	2018	2019
Brasil	1.481	1.296	1.058	1.065	1.161
Norte	56,362	63,401	50,057	57,460	39,469
Nordeste	956,925	875,817	629,669	570,737	637,665
Sudeste	458,235	345,802	368,412	416,780	468,340
Sul	3,067	3,009	2,943	3,092	2,978
Centro Oeste	6,601	8,911	7,406	17,352	13,356

Fonte: IBGE (2019)

A parede celular do fruto de mamão é formada principalmente de polissacarídeos, que podem ser divididos em celulose, hemicelulose e pectina. Durante o processo de maturação o próprio polissacarídeo passará por mudanças estruturais, como degradação (JOHN, 2018). Essa fruta pode ser consumida *in natura*, mas também pode ser utilizada na indústria alimentícia, têxtil, farmacêutica e de ração animal (SEBRAE, 2016).

O mamão se deteriora muito após a colheita, pois é uma fruta extremamente perecível e sofre danos no transporte e manuseio incorreto (SEBRAE, 2016). Além disso, as doenças pós-amadurecimento do mamão podem interferir com a qualidade da fruta, promovendo perdas econômicas e sociais. Alguns mamões no pomar acabam não chegando ao mercado devido às doenças, e também por não atingir a faixa ideal de alimentos maduros, por causa de distúrbios climáticos ou por insetos e pássaros (DE OLIVEIRA; VITÓRIA, 2011).

Nos últimos dez anos, algumas frutas e resíduos de indústrias vem sendo considerados para a extração da pectina, com alta quantidade de casca e teor de ácido galacturônico com mais de 65%: banana, cacau, casca de toranja, kiwi, casca de manga, beterraba e tomate (MARENDA et al., 2019).

3.2 Pectina

A pectina pertence a uma família de oligossacarídeos e polissacarídeos presente na parede celular de vegetais. O teor em substâncias pécticas varia de acordo com a origem botânica do produto vegetal. Sua estrutura molecular apresenta cadeias lineares de ácido galacturônico (CANTERI *et al.*, 2012). A pectina é considerada uma molécula altamente complexa, e o recente grande desafio tem como objetivo acomodar toda informação disponível em um único modelo estrutural (MEIRA JUNIOR, 2019).

A palavra pectina é derivada do grego “pecto” que indica indiretamente gelatinização ou solidificação, foi citada por Nicolas Louis Vauquelin em 1790, que encontrou uma substância solúvel em sucos de frutas. O químico e farmacêutico francês Henry Braconnot a usou pela primeira vez em 1824, e descobriu que as plantas contém uma grande quantidade dessa substância, que têm propriedades de gelificação quando o ácido é adicionado à solução. A substância que forma o gel é chamada de ácido péctico (CANTERI *et al.*, 2012).

As substâncias pécticas afetam no conjunto de galacturonoglicanos, nos quais os grupos carboxila foram esterificados com metanol em diferentes proporções. Esses componentes estão nas paredes celulares e suas lamínulas agregadas à celulose. O tamanho da cadeia e o grau de esterificação são funções úteis para definir as propriedades pécticas, especialmente na sua capacidade de formar gel na presença de açúcar e ácido ou íons de cálcio (PEREDA *et al.*, 2005).

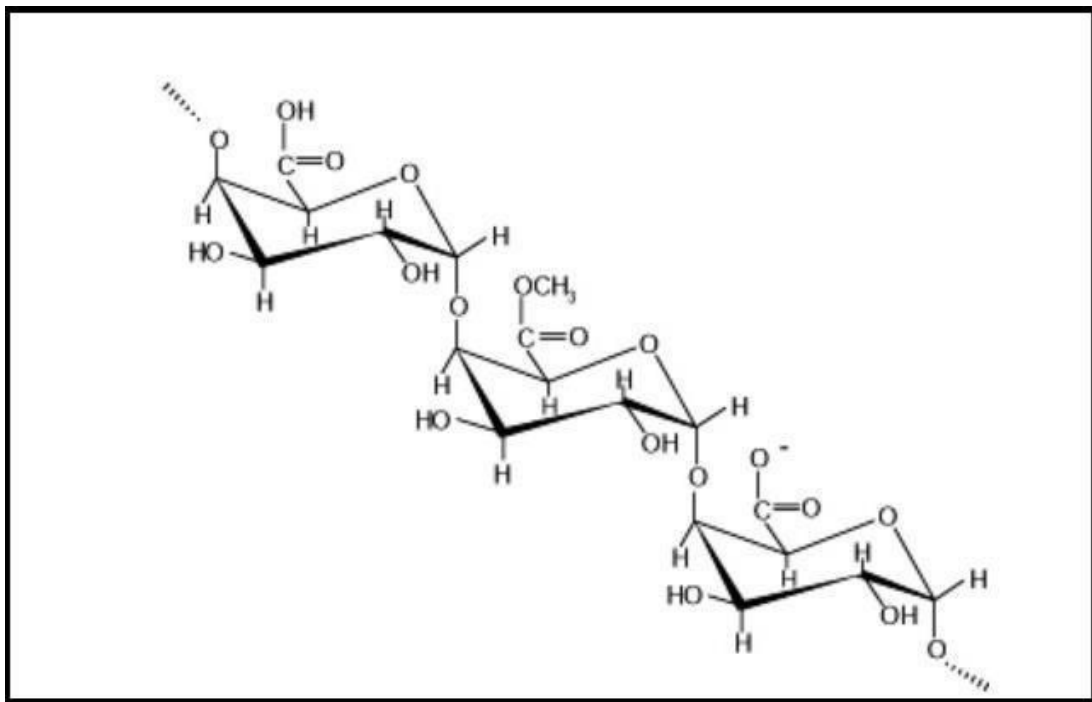
A aplicação da pectina em alimentos, medicamentos e em outros setores da indústria tem grande importância. Na indústria alimentícia, esse polissacarídeo é utilizado em compotas, alimentos congelados e, recentemente, em alimentos em baixa caloria na substituição de açúcar e gordura. Na farmacêutica, é usado para diminuir os níveis de colesterol e doenças gastrointestinais. Existem outras aplicações na indústria incluindo filmes comestíveis para a substituição de papel, espumas e plastificantes (CANTERI *et al.*, 2012).

Os principais subprodutos utilizados para a extração da pectina são o bagaço de maçã (15% de pectina) e cascas de frutas cítricas, como limão, laranja (aproximadamente 30%). A polpa de beterraba (20%) é usada em menor quantidade (WÜSTENBERG, 2015).

3.2.1 Estrutura da pectina

A pectina é considerada um polissacarídeo rico em ácido galacturônico, presente na camada intermediária e em outras membranas na parede celular (PAIVA; LIMA, 2009). Pode ser definida com uma cadeia linear de heteropolissacarídeos (Figura 3), em que a cadeia principal da estrutura química é cerca de 150 a 500 unidades de unidades repetidas de ácido galacturônico. São parcialmente esterificadas pelo grupo metil, conectado por ligação α -1,4 glicosídica (BEDINOTTE E SILVA, 2013). Apesar do ácido galacturônico ser geralmente o principal açúcar da pectina, outros açúcares em diferentes proporções também podem ser encontrados, tais como D-galactose, L-arabinose, D-xilose, L-ramnose, L-fucose e traços de 2-O-metilfucose (PINHEIRO, 2007).

Figura 3 – Estrutura química simplificada da cadeia de pectina



Fonte: Pinheiro (2007)

Por causa da variação nas esterificações das cadeias, a pectina pode ser classificada como alta metoxilação ou de baixa metoxilação. A porcentagem de grupos esterificados na cadeia da pectina de alta metoxilação é maior do que 50%, enquanto a pectina de baixa metoxilação apresenta uma proporção menor que 50% (CANTERI *et al.*, 2012).

Além de ser muito fina, a estrutura química da pectina pode ser extremamente heterogênea entre as espécies de plantas. Com resultado, os domínios da pectina (ramnogalacturonana e homogalacturonana) têm uma grande variedade de estruturas, que alteram o conteúdo e a composição de açúcares, grau de metoxilação e acetilação, bem como o comprimento da cadeia que interferem no rendimento da extração (PAIVA; LIMA, 2009).

3.2.2 Extração da pectina

Tradicionalmente, a pectina é extraída por meio da mistura da matéria-prima desidratada a uma solução ácida a temperatura acima de 80 °C, por aproximadamente uma hora com agitação contínua (OLIVEIRA, 2013). Sendo um processo físico-químico de vários estágios no qual as macromoléculas são extraídas e hidrolisadas parcialmente de tecidos vegetais. Sua solubilidade é afetada por muitos fatores, incluindo a temperatura, pH e tempo de extração (GUEVARA, 2020).

A extração da pectina ocorre no meio aquoso ácido sob aquecimento, através da precipitação. A maior parte da pectina solúvel em água permanece no suco, enquanto o restante é insolúvel. Vários tipos de ácidos podem ser usados no processo, mas em alguns países os ácidos minerais são proibidos, sendo substituídos por ácido cítrico, ácido láctico ou ácido tartárico. O pH da solução pode variar de 1,5 a 3,0 com um tempo de 0,5 a 6,0 horas e numa temperatura na faixa de 60 - 100 °C (CANTERI *et al.*, 2012).

Segundo Paiva e Lima, 2009 é notável que a redução do pH inicial de extração pode gerar rendimentos elevados, sendo a aplicação mais conveniente em escala industrial. No entanto, a redução extrema pode ser desvantajosa, podendo acelerar a degradação do polímero e a desesterificação da pectina.

3.3 Otimização de Processos

A otimização tem como propósito melhorar a prática de um sistema, de um processo ou de um produto de forma a se obter o máximo de benefícios possíveis. O termo otimização tem sido aplicado em química analítica para designar um conjunto de experimentos que visam calcular as condições de realização de um método que, ao

serem empregados, produzem a melhor resposta possível garantindo maior sensibilidade e melhores características analíticas (NOVAES *et al.*, 2017).

Dentre as inúmeras técnicas de otimização multivariada, o método de superfície de resposta (MSR) é amplamente utilizado devido a sua alta eficiência, capacidade de modelagem e capacidade de exploração do sistema de pesquisa. O MSR pode ser compreendido como uma combinação de técnicas de projeto experimental, análise de regressão e métodos de otimização. É baseado no ajuste de modelos matemáticos empíricos de dados experimentais obtidos de acordo com uma dada matriz experimental para descrever o comportamento desses dados e fazer previsões estatisticamente válidas (DA COSTA, 2016).

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1 Matéria-prima

Cerca de 5 kg de frutos de mamão (*Carica papaya* L), da espécie nativa da região sudoeste do Paraná, foram colhidos diretamente de quintais de produtores rurais. Os frutos foram escolhidos verdes e sem nenhum dano aparente. Em seguida, foram encaminhados para o campus da UTFPR de Francisco Beltrão/PR.

4.2 Preparo e análises químicas da farinha do mamão verde

Inicialmente, os frutos de mamão foram lavados e higienizados, enxaguados e cortados em pequenas partes sem remover o exocarpo, mas com remoção das sementes, quando já formadas. De acordo com um processo bioquímico denominado branqueamento, esse material foi aquecido em água fervente por três minutos e depois resfriado rapidamente em um banho de gelo para inativar as enzimas.

O material branqueado foi acondicionado em sacos de tecido sintético e centrifugado em uma centrífuga doméstica (Walita; Modelo HL3235) para remoção de água. Em seguida, foi disperso em uma fina camada em um forno com circulação de ar quente (55 °C) até massa constante. O material desidratado foi triturado em um liquidificador doméstico (Mondial) para a obtenção da farinha de mamão verde. A matéria-prima foi embalada e armazenada em um frasco de plástico em temperatura ambiente. Na Figura 4 estão as etapas de lavagem e separação, corte e secagem das tiras obtidas.

Figura 4 – Etapas de pré-tratamento do mamão para obtenção da farinha



(a) lavagem e separação

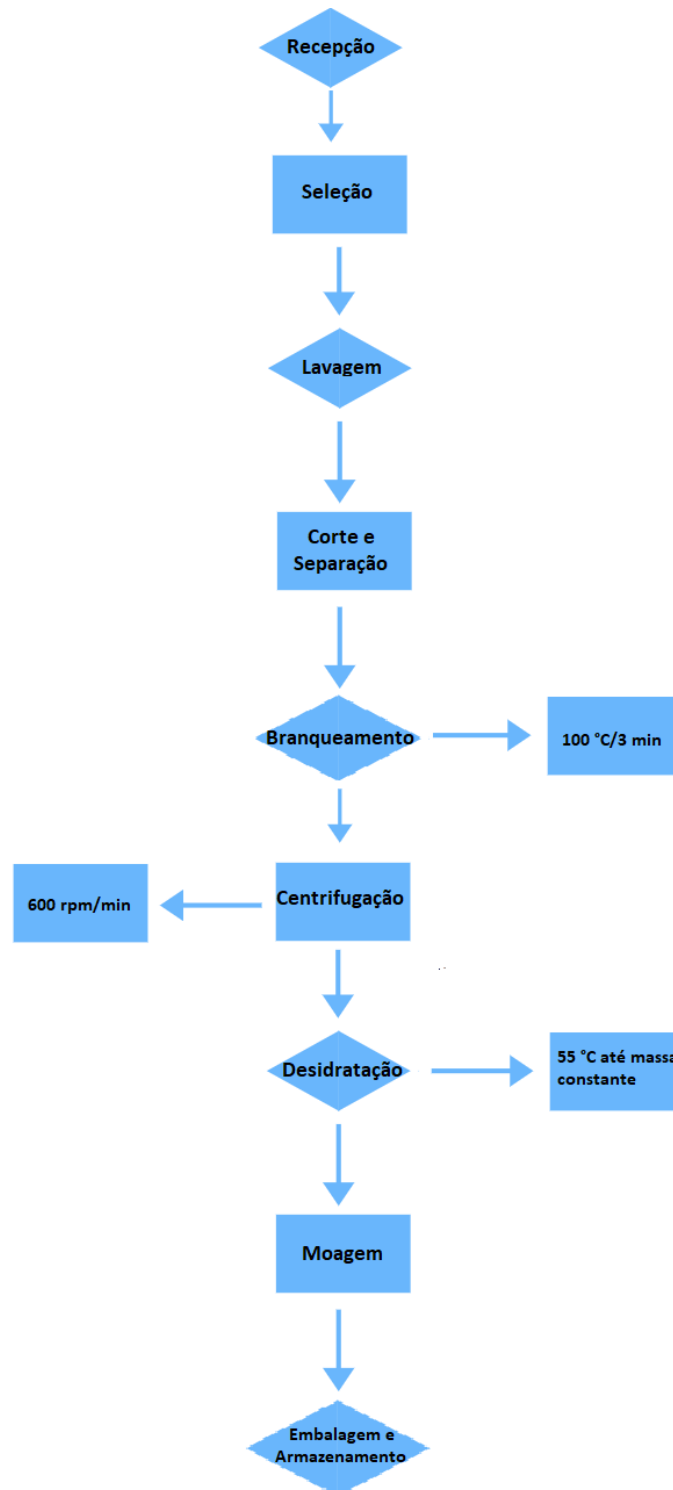
(b) corte

(c) secagem

Fonte: Autoria própria (2021)

Na Figura 5, mostra-se um diagrama esquemático do processo realizado para a obtenção da matéria-prima, incluindo diferentes etapas.

Figura 5 – Diagrama do processo de obtenção da farinha do mamão verde



Fonte: Autoria própria (2021)

4.3 Extração da pectina

A pectina foi extraída da farinha de mamão verde com diferentes concentrações de ácido nítrico e tempos de extração, sob refluxo em sistema de condensação a 90 °C (soluto/solvente 1/75). O sistema foi resfriado em banho de gelo. A suspensão obtida foi filtrada a vácuo através de tecido sintético (poliéster). A esse filtrado (contendo a pectina) foi adicionado etanol (1:2 v/v) com graduação entre 80 e 96 °GL, e deixado em repouso por uma hora para permitir o sobreaviso.

A Figura 6 mostra o processo de sobreaviso da pectina da farinha de mamão verde em etanol.

Figura 6 – Processo de sobreaviso da pectina em etanol



Fonte: Autoria própria (2021)

A pectina precipitada foi separada por filtração por prensagem manual em tecido sintético (poliéster), lavada com etanol absoluto e secada em estufa de circulação de ar forçada a 45 °C por 12 horas. O material resultante foi triturado e peneirado em granulometria de 60 mesh.

4.4 Determinação do rendimento

Para o estudo do rendimento de extração, os fatores analisados foram a razão da pectina seca pela matéria-prima desidratada, o tamanho das partículas de farinha, a variedade do mamão verde e o tipo de ácido usado na extração. O cálculo do rendimento corresponde à Equação 1 a seguir:

$$Rendimento = \frac{100 \times Pectina\ extraída\ (g)}{Massa\ inicial\ (g)} \quad (1)$$

4.4.1 Otimização do rendimento

A metodologia de superfície de resposta (RSM) foi empregada para determinar o efeito de duas variáveis independentes a fim de determinar as melhores condições para o rendimento da extração de pectina. Foram realizados 11 ensaios, com 4 pontos axiais e 3 pontos centrais (Tabela 3) compondo um delimitamento Composto Central segundo (RODRIGUES; IEMMA, 2005). Os dados foram analisados pelo pacote estatístico *Statistica for Windows 5.0* versão 2020.

As variáveis de entrada foram a concentração de ácido (% de volume) e o tempo de extração (minuto). Na tabela 2 estão indicados os níveis reais e os codificados das duas variáveis do experimento.

Tabela 2 - Codificação e níveis reais das duas variáveis para extração de pectina do mamão verde.

Discriminantes		Níveis						
Variáveis independentes	Unidade	Notação	-1,41	-1	0	+1	+1,41	
Concentração do Ácido	1 mol L ⁻¹	(%/)	X1	0,50	1,81	5,00	8,20	9,50
Tempo	min		X2	5,00	12,0	30,0	48,0	55,0

Fonte: Autoria Própria (2021).

A Tabela 3 apresenta o planejamento completo descrito com as variáveis de entrada e seus respectivos níveis.

Tabela 3 - Planejamento experimental descrito para extração de pectina de mamão verde

Experimento	Variáveis codificadas		Variáveis reais	
	ÁCIDO (%v/v)	TEMPO (min.)	ÁCIDO (%v/v)	TEMPO (min.)
1	-1	-1	1,81	12
2	-1	+1	1,81	48
3	+1	-1	8,20	12
4	+1	+1	8,20	48
5	-1,41	0	0,50	30
6	+1,41	0	9,50	30
7	0	-1,41	5,00	5
8	0	+1,41	5,00	55
9	0	0	5,00	30
10	0	0	5,00	30
11	0	0	5,00	30

Fonte: Autoria Própria (2021).

Para este estudo, foi selecionado o intervalo de confiança de 95%, ou seja, um "valor-p" menor que 0,05 indicando que a variável é estatisticamente significativa.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Influência da variedade de mamão sobre o rendimento da extração de pectina

Entre os fatores importantes que precisam ser considerados na extração da pectina, conforme já mencionado, também estão os fatores climáticos e as variedades de mamão. Devido à grande variedade de matérias-primas, a capacidade de gelificação das preparações de pectina também é bastante diferente. Mesmo que exista pectina nas paredes celulares dos vegetais, a quantidade de pectina varia dependendo da fonte e, portanto, há rendimentos diferentes dependendo do tipo de vegetal (CANTERI *et al.*, 2012). Portanto, alguns testes de extração podem não ser capazes de obter pectina consideravelmente.

Para determinar o rendimento de extração de pectina existe uma variedade de fatores, como a quantidade de água extraída, tamanho da partícula da farinha, espécie de mamão, tipo de ácido e tempo de extração (CANTERI-SCHEMIN, 2003). Vários testes foram realizados usando as mesmas condições de extração. A maior porcentagem de rendimento foi obtida quando, a pectina foi extraída da farinha de mamão verde com ácido nítrico 5 % a 90 °C. Entretanto, os valores máximos deste trabalho foram menores comparados aos de Guevara (2020), com mesmo ácido para extração e variedade do fruto diferente, com rendimento médio de 20% de pectina. A variedade de mamão utilizada por Guevara (2020) foi o mamão Formosa.

5.2 Otimização do Rendimento da Extração de Pectina

Com base no método da superfície de resposta, para otimizar o rendimento da extração da pectina em função do tempo e da concentração de ácido nítrico, foram realizados 11 ensaios experimentais. Os resultados não indicaram um rendimento industrialmente significativo, mas o modelo experimental foi realizado para definir as condições mais adequadas. Para esses experimentos, a temperatura foi fixada em 90 °C, e a concentração de ácido nítrico e o tempo foram variados. As variáveis de entrada foram concentração de ácido [X1] e tempo [X2]. Os resultados de todos os ensaios para o rendimento, encontram-se descritos na Tabela 4.

O rendimento mostra um baixo nível de extração, o valor máximo é inferior a 10%.

Tabela 4 – Planejamento experimental deslocado para extração de pectina de mamão verde

Experimento	RENDIMENTO g% de pectinabase seca	Variáveis codificadas		Variáveis originais	
		ÁCIDO (g%/l)	TEMPO (min.)	ÁCIDO (g%/l)	TEMPO (min.)
1	0,1779	-1	-1	1,81	12
2	3,2030	-1	1	1,81	48
3	1,5123	1	-1	8,2	12
4	6,7837	1	1	8,2	48
5	0,6250	-1,414	0	0,5	30
6	3,3641	1,414	0	9,5	30
7	1,6749	0	-1,414	5	5
8	9,1010	0	1,414	5	55
9	4,5495	0	0	5	30
10	4,4113	0	0	5	30
11	6,3419	0	0	5	30

Fonte: Autoria Própria (2021)

O rendimento da extração da pectina com ácido nítrico variou de 0,17 % a 9,10 % (Tabela 4), com maior valor obtido com 5 % de ácido nítrico 1 mol L⁻¹ a 90 °C por 55 minutos.

A análise estatística dos dados experimentais para o rendimento da pectina do mamão nativo verde em base seca está apresentada na Tabela 5. Verifica-se que os fatores do ácido e do tempo linear foram significativos, mas os fatores quadráticos do tempo e da temperatura *versus* tempo não afetaram o rendimento da extração, ao nível de 95% de confiança, pois apresentaram p-valor de 0,890263 e 0,280888.

Tabela 5 - Efeito estimado, erro, valor de t e grau de significância estatística (p), para cada fator no modelo codificado para o rendimento da pectina do fruto do mamão verde

Fatores	Efeito Estimado	Erro Padrão	t (5)	p-valor
Média	5,11360	0,536038	9,53962	0,000214
Ácido (L)	2,19612	0,657959	3,33778	0,020603
Ácido (Q)	-3,52322	0,784217	-4,49266	0,006443
Tempo (L)	4,73753	0,662524	7,15073	0,000831
Tempo (Q)	-0,11644	0,802226	-0,14515	0,890263
1L por 2L	1,12220	0,928599	1,20849	0,280888

Em negrito: fatores significativos a $p \leq 0,05$. L = Linear Q = Quadrático. $R^2 = 0,8622965$

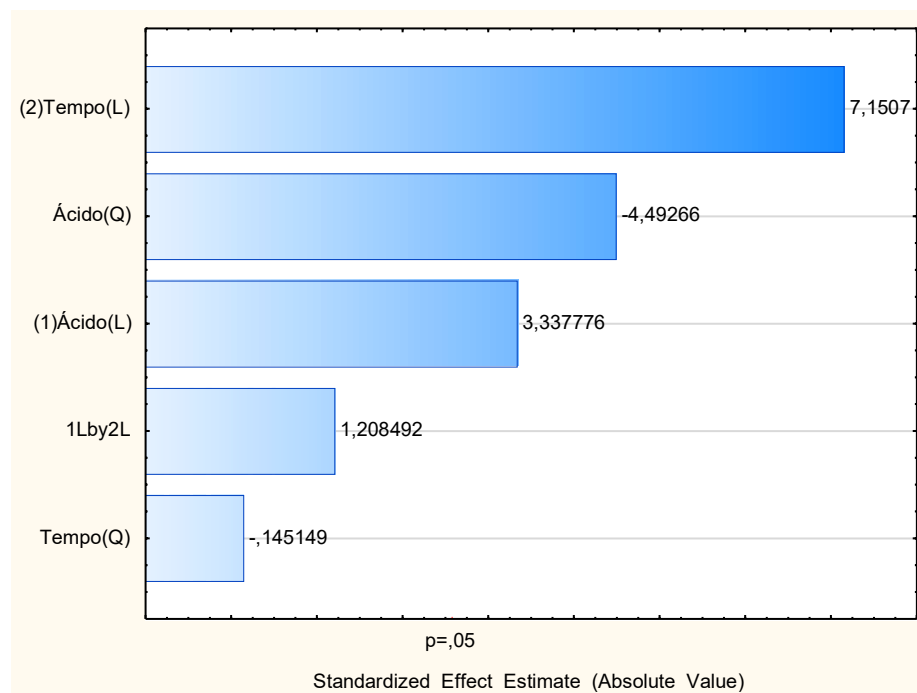
Fonte: Autoria Própria (2021)

Por meio da análise estatística, verifica-se que os efeitos lineares das

variáveis de concentração de ácido e tempo de extração, e do efeito quadrático do ácido no rendimento da extração de pectina foram significativos. Logo, tanto o ácido quanto o tempo de extração influenciam no rendimento de extração de pectina. Para melhor visualização dos efeitos das variáveis e interações, conforme Tabela 5, foi construído o gráfico representado na Figura 7.

Todos os efeitos com valores de p maiores que 0,05, que se localizam à direita da linha tracejada, são significativos. Assim, observou-se que os fatores: ácido (L), ácido (Q) e tempo (L) apresentam efeito positivo no rendimento da extração de pectina, ou seja, um aumento em qualquer um destes fatores acarreta aumento no rendimento, enquanto que o efeito do fator tempo (Q) tem influência negativa. De forma inversa, um aumento neste fator acarreta diminuição no rendimento.

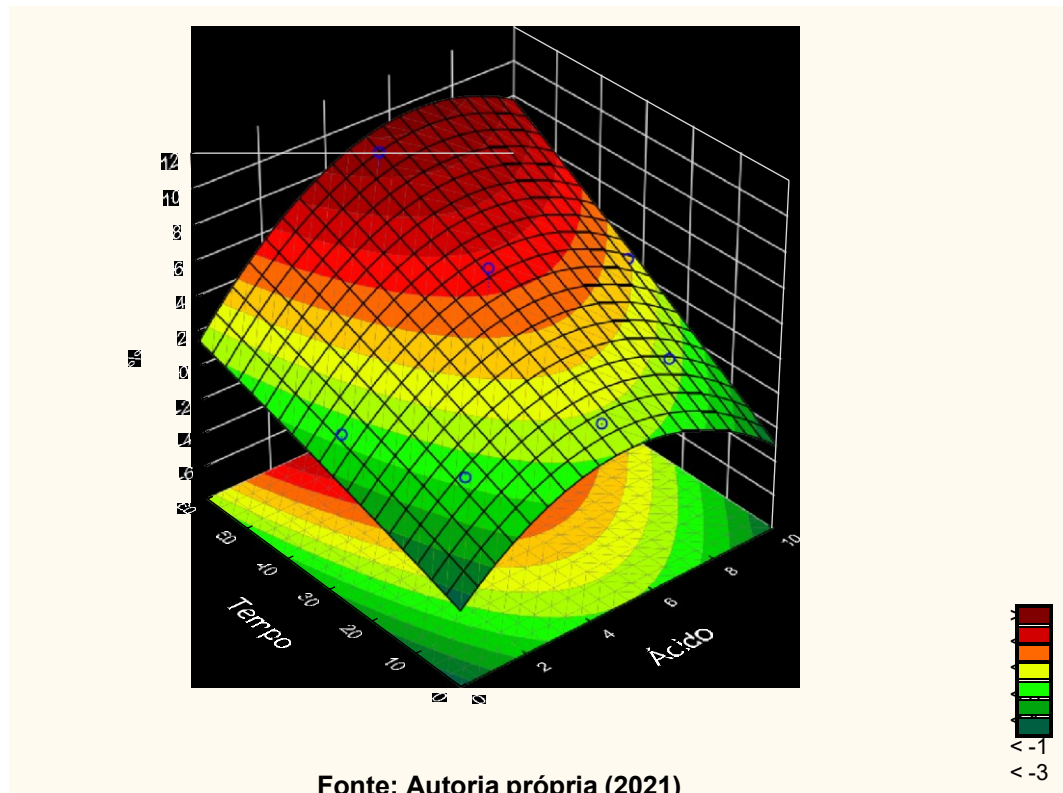
Figura 7 - Efeito das variáveis “concentração de ácido nítrico” e “tempo” e suas interações sobre o rendimento de extração de pectina da farinha de mamão verde



Fonte: Autoria própria (2021)

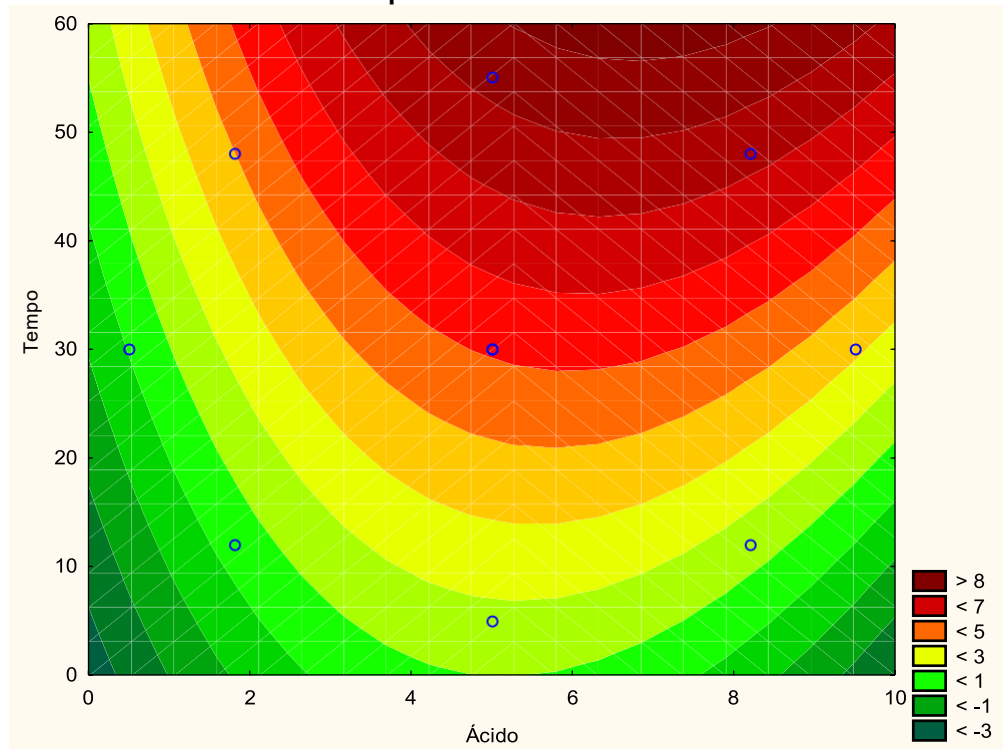
As Figuras 8 e 9 apresentam as superfícies de resposta em 3D e 2D construídas a partir do modelo obtido para o rendimento ótimo da extração pectina do mamão verde em base seca, em função da concentração de ácido nítrico e do tempo, mantendo-se a temperatura de extração fixa (90 °C).

Figura 8 - Superfície de resposta da avaliação da porcentagem do rendimento da pectinafarinha de mamão verde



A figura 8 apresenta os mesmos resultados sob a forma de curvas de níveis evidenciando a região de abrangência do experimento. Percebe-se que o rendimento aumenta com o aumento do tempo e da concentração de ácido nítrico 1 mol L^{-1} de até 6 %. Isso também pode ser observado na Figura 9, que além de comprovar essa tendência, mostra que ao se fixar a concentração de ácido 1 mol L^{-1} na faixa de 5 % e aumentar o tempo ao seu maior valor, o rendimento aumenta, enquanto que se fixar o tempo de extração na faixa dos menores valores e aumentar ou diminuir a concentração de ácido, o rendimento diminui, indicando que o efeito do tempo de extração é crítico nesse processo. Assim, percebe-se na Figura 9 que existe um platô, e não apenas um ponto, em que o rendimento da extração é ótimo, evidenciando a região de abrangência do experimento.

Figura 9 - Perfil de resposta da avaliação da porcentagem do rendimento da pectinafarinha de mamão verde



Fonte: Autoria própria (2021)

Com base nesses resultados, em escala industrial, podem ser analisados os custos/benefícios relacionados ao consumo de ácido e ao tempo de processamento. Deve-se ressaltar que os ensaios do plano experimental devem sempre utilizar as mesmas matérias-primas e ser acidificados com o mesmo lote e marca de ácido nítrico.

6 CONCLUSÃO

Devido às características do mamão na fase de maturação, visando manter a estabilidade da matéria-prima e produzir a farinha do mamão verde, o fruto necessita ser cortado em tiras, e seguido para a realização do branqueamento para inativação enzimática. Após, indica-se efetuar a desidratação a 55 °C, trituração e peneiração.

O processo de extração de pectina utilizando ácido nítrico e o tempo como variáveis independentes do processo de precipitação alcoólica em sistema de ebulição apresentou que o rendimento para a farinha de mamão da espécie nativa é inferior a 10%. As melhores condições de extração encontrada foram: a concentração de ácido nítrico 1 mol L⁻¹ de 5 % e tempo de extração de 55 min.

O rendimento da extração da pectina da farinha de mamão verde de variedade nativa do Sudoeste do Paraná não foi considerado industrialmente viável, pois comparado a outras matérias-primas ou outra variedade teve porcentagem de extração muito menor, também se levando em consideração o ácido, o álcool e o tempo de extração. Embora considerada uma extração simples, é um pouco trabalhosa.

Como sugestões para trabalhos futuros, aumentar a qualidade da farinha de mamão verde para extração da pectina observando-se a quantidade de massa interfere no rendimento. Alterar a concentração e tipo ácido, fixar o tempo e alterar a temperatura. Como não foi possível encontrar um rendimento considerável, outros testes poderá ser realizado utilizando diferentes variáveis de acordo com os melhores resultados encontrados no trabalho, e até mesmo alterar a variedade de mamão.

REFERÊNCIAS

- BEDINOTTE E SILVA, G. **Extração e quantificação de pectina a partir da farinha da casca do maracujá**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Municipal de Ensino Superior do Município de Assis, como requisito do curso de Graduação, 2016.
- CANTERI, M. H., MORENO, L., WOSIACKI, G., SCHEER, A. P. Pectina: da matéria-prima ao produto final. **Polímeros**, v. 22, n. 2, p. 149-157, 2012.
- CANTERI-SCHEMIN, M. H. **Obtenção de pectina alimentícia a partir de bagaço de maçã** Curitiba, 2003. 83 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná - UFPR.
- CITADIM, I.; DANNER, M. A.; SASSO, S. A. Z. Rasileira de. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 2, p. 656, 2010.
- COELHO, M. T. Pectina: **Características e Aplicações em Alimentos**. Seminário (Disciplina de Seminários em Alimentos) – Departamento de Ciência dos Alimentos, Curso de Bacharelado em Química de Alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008,32p.
- CORDEIRO, A. G. et al. Incidência das fitovirose do mamoeiro no Estado do Rio Grande de do Norte. **Agropecuária Científica no Semi-Árido**, Campina Grande, v. 8, n. 4, p. 82-88, out/dez. 2012.
- DA COSTA, K. O. **Otimização das condições de cultivo do fungo endofítico phomopsis sp. Extraído da bauhinia variegata para produção de metabólitos secundários com atividade antioxidante**: Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Farmacêuticas pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas da Universidade de Brasília. 2016.
- DANTAS, J. L. L.; JUNGHANS, D. T. **Mamão: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasil: Brasília, DF: Embrapa, 2013.
- DE OLIVEIRA, J. G.; VITÓRIA, A. P. Papaya: Nutritional and pharmacological characterization, and quality loss due to physiological disorders. An overview. **Food Research International**, v. 44, n. 5, p. 1306–1313, 2011.
- FERTONANI, H. C. R. **Perfil de qualidade de pectinas obtidas de laranja e maçã**. Londrina, 2002. 151 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Alimentos) – Setor de Ciências Exatas, Universidade Norte do Paraná.
- GUEVARA, S. P. **Extração sustentável e caracterização da pectina obtida do mamão formosa**: um estudo em Ponta Grossa. 2020. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de doutorado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2020.

IBGE. -**Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. SIDRA. Sistema IBGE de Recuperação Automática. Produção Agrícola Municipal.** Tabela 5457 — Área plantada ou destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias e permanentes. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>>. Acesso em: 04 Março, 2021. JOHN, A. et al. The structure changes of water-soluble polysaccharides in papaya during ripening. **International journal of biological macromolecules**, v.115, p.152–156, 2018.

LIMA, R. T. F. M. **Extração da pectina do maracujá amarelo (Passiflora edulis f. flavicarpa):** um estudo em Francisco Beltrão. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Química) - Programa de Graduação em Engenharia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2019.

MARENDA, F. R. B. et al. Advances in Studies Using Vegetable Wastes to Obtain Pectic Substances: A Review. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 27, n.3, p. 549–560, 2019.

MEIRA JUNIOR, M. S. **Avaliação da utilização de aditivo biopolimérico extraído do cacto opuntia ficus-indica em pastas e microconcretos de cimento portland:** um estudo Brasília. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Graduação em Engenharia, Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, 2019.

NOVAES, C. G. et al. Optimization of analytical methods using response surfacemethodology part i: Process variables. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 3, p.1184–1215, 2017.

OLIVEIRA, Anderson do Nascimento, D.Sc., **Pectinas de casca de manga (Mangífera índica L.) cv. Ubá: Otimização da extração, caracterização físico-química e avaliação das propriedades espessantes e gelificantes.** Universidade Federal de Viçosa, Outubro, 2013.

PAIVA, E. P.; LIMA, M. S. Pectina: Propriedades Químicas E Importância Sobre a Estrutura Da Parede Celular De Frutos Durante O Processo De Maturação. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, v. 10, n. 4, p. 196–211, 2009.

PEREDA, J. A. O.; RODRÍGUEZ, M. I. C.; ÁLVAREZ, L. F.; SANZ, M. L. G.; MINGUILLÓN, G. D. G. F.; PERALES, L.H.; CORTECERO, M. D. S. **Tecnologia de alimentos:** componentes dos alimentos e processos. Porto Alegre : Artmed, 2005.v. 1, 294 p.

PINHEIRO, E. R. Pectina da casca do maracujá amarelo (passiflora edulis flavicarpa): otimização da extração com ácido cítrico e caracterização físico-química. **Faculdade de Engenharia de Alimentos**, v. Master, p. 78, 2007.

PRADO, T. O que é a otimização de processos e como ela pode ser aplicada em uma organização? **Voitto**, 2021. Disponível em:
< <https://www.voitto.com.br/blog/artigo/otimizacao-de-processos> > Acesso em: 23Abril, 2021.

PROFILE, S. E. E. **Diagnóstico e Procedimentos para Redução de Perdas na Cadeia Produtiva** do. n. December 2018, 2020.

RODRIGUES, M. A.; IEMMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização: uma estratégia seqüencial de planejamentos**. Campinas: Casa do Pão, 2005. 326 p.

SEBRAE. **O cultivo e o mercado do mamão**, 2016. Disponível em:
< ebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-cultivo-e-o-mercado-do-mamao,937a9e665b182410VgnVCM100000b272010aRCRD#:~:text=A%20polpa%20do%20fruto%20maduro,asséptico%20ou%20na%20forma%20congelada.&text=Das%20sementes%20é%20extraído%20óleo,e%20torta%20para%20ração%20animal > Acesso em: 15 Fev. 2021

SOUSA, W. B. D. N. F.; DE, R. D. C. P.; MELO, E. A. C. A. A. DE. Avaliação Do Rendimento De Pectina Extraída Das Cascas De Frutos. **XXIII Congresso Brasileiro de Fruticultura**, 2014.

TRINDADE et al. MAMÃO Produção. **EMBRAPA**, v. 3, p. 77, 2000. Disponível em:
< <https://livimagens.sct.embrapa.br/amostras/00065690.pdf> > Acesso em: 15 Abril 2021.

VINITA, S.; REEMA, V.; KAUSHAL, K. Nutritional evaluation and product development by using green papaya, flaxseed and maize flour to promote the traditional food. **Food Science Research Journal**, v. 6, n. 1, p. 8–13, 2015.

WÜSTENBERG, T. General overview of food hydrocolloids. **Cellulose and cellulose derivatives in the food industry**. Wüstenberg T (ed). Wiley-VCH, Weinheim, Germany, p. 1–68, 2015.