

UFRRJ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

TESE

**ADIÇÃO DE PSYLLIUM (*Plantago Ovata* Forsk) EM POLPA CONGELADA
DE BANANA PRATA: DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO**

Elisângela Aparecida Nazário Franco

2021



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

**ADIÇÃO DE PSYLLIUM (*Plantago Ovata* Forsk) EM POLPA CONGELADA
DE BANANA PRATA: DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO**

ELISÂNGELA APARECIDA NAZÁRIO FRANCO

Sob a Orientação da Professora
Dr^a. Nathália Ramos de Melo

co-orientaçãoda Professora
Dr^a. Antonia Barbosa de Lima

co-orientaçãoda da Pesquisadora
Dr^a. Maria do Socorro Rocha Bastos

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Ciências e Tecnologia de Alimentos**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Área de Concentração em Tecnologia de Alimentos.

Seropédica, RJ

2021



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
ALIMENTOS



TERMO Nº 129 / 2021 - PPGCTA (12.28.01.00.00.00.41)

Nº do Protocolo: 23083.010568/2021-02

Seropédica-RJ, 12 de fevereiro de 2021.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

ELISANGELA APARECIDA NAZARIO FRANCO

Tese submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de doutora, no Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Área de Concentração em Ciência de Alimentos.
Tese APROVADA EM 27/01/2021.

Nathália Ramos de Melo (Dra) UFF (orientador)

Simone de Fátima Viana da Cunha (Dra) UFOP

Elaine Souza Cócaro (Drª) IFsudesteMG

Lucicléia Barros de Vasconcelos Torres (Dra) UFCA

Kamila de Oliveira do Nascimento (Dra) UniFOA.

Conforme deliberação número 001/2020 da PROPPG, de 30/06/2020.

(Assinado digitalmente em 24/02/2021 20:47)
LUCICLEIA BARROS DE VASCONCELOS TORRES
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 027.490.674-05

(Assinado digitalmente em 24/02/2021 18:22)
NATHÁLIA RAMOS DE MELO
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 031.379.796-09

(Assinado digitalmente em 13/02/2021 16:49)
KAMILA DE OLIVEIRA DO NASCIMENTO
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 056.001.487-20

(Assinado digitalmente em 12/02/2021 17:57)
SIMONE DE FÁTIMA VIANA DA CUNHA
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 008.400.166-62

(Assinado digitalmente em 12/02/2021 15:52)
ELAINE SOUZA COCARO
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 009.061.546-85

Para verificar a autenticidade deste documento entre em
<https://sipac.ufrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **129**, ano:
2021, tipo: **TERMO**, data de emissão: **12/02/2021** e o código de verificação: **ecdf577706**

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F825a Franco, Elisângela Aparecida Nazario , 1978-
ADIÇÃO DE PSYLLIUM (Plantago Ovata Forsk) EM
POLPA CONGELADA DE BANANA PRATA: DESENVOLVIMENTO E
CARACTERIZAÇÃO / Elisângela Aparecida Nazario Franco.
- Brasília, 2021.
136 f.: il.

Orientadora: Nathália Ramos de Melo.
Coorientadora: Antonia Barbosa de Lima.
Coorientadora: Maria do Socorro Rocha.
Tese(Doutorado). -- Universidade Federal Rural do
Rio de Janeiro, Doutorado, 2021.

1. Psyllium. 2. Banana. 3. Alimento funcional. 4.
Doença Crônica não Transmissível. 5. Polpa de fruta. I.
Melo, Nathália Ramos de , 1975-, orient. II. Lima,
Antonia Barbosa de , 1964-, coorient. III. Rocha,
Maria do Socorro, 1964-, coorient. IV Universidade
Federal Rural do Rio de Janeiro. Doutorado. V. Título.

" O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001."

DEDICATÓRIA

Ao meu esposo (Luiz) e filhos (Gabriela e Pedro), dedico.

AGRADECIMENTOS

Concluir esta etapa em minha vida significa mais que simplesmente finalizar o doutorado, para mim tem muitos significados e entre eles que podemos sempre ir mais longe, que temos um Deus que cuida de nós em cada detalhe e não nos deixa desistir.

Primeiramente a Deus que cuidou de cada detalhe desta caminhada, mas preciso registrar meu agradecimento especial a duas pessoas que fizeram a diferença nesta jornada: meu esposo Luiz e minha orientadora Nathália.

Meu amor (Luiz), muito obrigada por confiar em meu potencial. Você sempre acreditou que eu conseguiria ir mais longe, me apoiou, aconselhou e sofreu comigo em alguns momentos difíceis, mas não me deixou desistir. Te agradeço por todas às vezes que me incentivou a ir em busca dos meus sonhos.

Não poderia deixar de registrar o apoio da minha linda Gabriela que muitas vezes me viu no computador por horas e por isso deixamos de aproveitar alguns momentos juntas, algumas brincadeiras tiveram que ser adiadas. Agradeço ao meu filho Pedro que mesmo sendo um bebê me mostrou que nunca é tarde para acreditarmos em nossos sonhos e que todos os dias devemos nos divertir, pois a vida é curta.

Para a querida orientadora Nathália não tenho palavras para agradecer. Ela marcou a minha vida e me fez entender que Deus não esquece dos seus escolhidos, que Ele com sua infinita bondade nos ama e nos quer bem. Ela aceitou ser minha orientadora mesmo sabendo que teríamos obstáculos no decorrer do percurso. Nathália foi uma benção em minha vida, me lembro claramente do dia que bati em sua porta e com um grande sorriso me disse “sim, eu aceito ser sua orientadora”. Glória a Deus! Que momento de alívio para mim. E a partir daquele dia dei início a uma jornada de aprendizados constantes. Passou tão rápido, mas quando olho para trás consigo lembrar com detalhes de cada etapa vencida. Agradeço a Deus por ter tido a oportunidade de ter sido sua orientanda, meu muito obrigada!

Agradeço às co-orientadoras Maria do Socorro e Antonia Barbosa que me receberam carinhosamente.

Agradeço ao Laboratório de Frutos Tropicais (LAFRUT) – UFC, ao Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia dos Alimentos da UFRRJ, ao IFCE Campus Iguatu/ CE, e à EMBRAPA Tropical em Fortaleza Ceará por permitir a realização das análises necessária nesta tese. Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento.

RESUMO GERAL

FRANCO, Elisângela Aparecida Nazario. **Adição de psyllium (*Plantago Ovata* Forsk) em polpa congelada de banana prata: desenvolvimento e caracterização.** 2020. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2020.

A ingestão de fibras tem sido associada ao menor risco de desenvolver várias doenças crônicas como doenças metabólicas (obesidade, diabetes, dislipidemia). Entre as fibras, o *psyllium* apresenta um alto teor de fibra solúvel e existem evidências em vários estudos sobre os efeitos fisiológicos benéficos para a saúde (controle do colesterol, controle glicêmico, saciedade, contribui para a redução da pressão arterial). Produtos adicionados de *psyllium* são de grande interesse para melhorar a funcionalidade e criar alimentos mais saudáveis. Produtos alimentícios adicionados de *psyllium* podem receber no rótulo a alegação de saúde sendo uma importante vantagem no mercado. As frutas são fontes de nutrientes importantes para a saúde entre elas a banana é consumida por pessoas do mundo todo, porém sua perecibilidade traz muito desperdício. A produção de polpas congeladas é uma alternativa para reduzir as perdas e esse mercado está em expansão, visto que muitos consumidores preferem praticidade no preparo. O objetivo desta pesquisa foi desenvolver, caracterizar, verificar biodisponibilidade de potássio e sódio, analisar a estabilidade de propriedades físico-químicas durante 90 dias de armazenamento da polpa de banana congelada. Quatro amostras de polpa de banana congelada adicionadas de *psyllium* nas concentrações 0%, 3%, 5% e 7% foram preparadas e analisadas microbiologicamente. Os resultados das análises microbiológicas mostraram-se dentro dos padrões da legislação vigente. As amostras foram avaliadas por meio de composição centesimal, teste sensorial Check-All-That-Apply (CATA). Após analisar os resultados desta etapa verificou-se que a amostra com 3% de *psyllium* seria a mais indicada para dar sequência ao estudo. Logo, foi realizada a análise de biodisponibilidade por digestão *in vitro* de sódio e potássio e após iniciou-se às análises físico-químicas (pH, ATT, cor e reologia) nos tempos 24 horas, 30, 60 e 90 dias. Polpas de bananas foram preparadas com 0% e 3% de *psyllium*. Para verificar se a luminosidade e temperatura causariam efeito na qualidade da polpa foi realizado o empacotamento das polpas em embalagens transparentes e com barreira a luminosidade e armazenadas durante 90 dias sob duas temperaturas (- 8 e - 18 °C). Os resultados indicaram que a adição de *psyllium* à polpa apresenta benefícios nutricionais e sensoriais. A adição do *psyllium* contribuiu para um aumento no teor do potássio e baixo teor de sódio com uma biodisponibilidade próxima de 40%. Sobre os resultados físico-químicos durante armazenamento congelado os resultados mostraram que a adição de 3% de *psyllium* alterou o pH, a ATT, reduziu a luminosidade (L^*) e aumentou a viscosidade aparente da polpa. O *psyllium* tem potencial para ser utilizado em polpa de banana, visto que as alterações no pH e ATT não afetaram a qualidade do produto e atendem ao preconizado pelo padrão de qualidade e identidade vigente para polpa de banana, sendo um produto viável com propriedades funcionais que pode receber alegação de saúde.

PALAVRAS CHAVES: alegação de saúde, produto funcional, fibra solúvel, doença crônica, biodisponibilidade

ABSTRACT

FRANCO, Elisângela Aparecida Nazario. **Addition of psyllium (*Plantago Ovata* Forsk) to frozen silver banana pulp: development and characterization**. 2020. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2020.

Fiber intake has been associated with a lower risk of developing several chronic diseases such as metabolic diseases (obesity, diabetes, dyslipidemia). Among the fibers, psyllium has a high content of soluble fiber and there is evidence in several studies on the beneficial physiological effects for health (cholesterol control, glycemic control, satiety, contributes to the reduction of blood pressure). Products added from psyllium are of great interest to improve functionality and create healthier foods. Food products added to psyllium can receive health claims on the label, being an important advantage in the market. Fruits are important sources of nutrients for health. Among them, bananas are consumed by people all over the world, but their perishability brings a lot of waste. The production of frozen pulps is an alternative to reduce losses and this market is expanding, as many consumers prefer practicality in preparation. The objective of this research was to develop, characterize, verify bioavailability of potassium and sodium, analyze the stability of physico-chemical properties during 90 days of storage of frozen banana pulp. Four samples of frozen banana pulp added with psyllium in concentrations 0%, 3%, 5% and 7% were prepared and analyzed microbiologically. The results of the microbiological analyzes were found to be within the standards of current legislation. The samples were evaluated by means of centesimal composition, Check-All-That-Apply sensory test (CATA). After analyzing the results of this step, it was found that the sample with 3% psyllium would be the most suitable to continue the study. Then, the bioavailability analysis was carried out by in vitro digestion of sodium and potassium and after the physical-chemical analyzes (pH, ATT, color and rheology) were started in 24 hours, 30, 60 and 90 days. Banana pulps were prepared with 0% and 3% psyllium. In order to check if the luminosity and temperature would have an effect on the quality of the pulp, the pulps were packaged in transparent packages with a light barrier and stored for 90 days under two temperatures (- 8 and - 18 ° C). The results indicated that the addition of psyllium to the pulp has nutritional and sensory benefits. The addition of psyllium contributed to an increase in potassium and low sodium content with a bioavailability close to 40%. Regarding the physical-chemical results during frozen storage, the results showed that the addition of 3% psyllium changed the pH, the ATT, reduced the luminosity (L *) and

increased the apparent viscosity of the pulp. Psyllium has the potential to be used in banana pulp, since changes in pH and AAT did not affect the quality of the product and meet the requirements of the current quality and identity standard for banana pulp, being a viable product with functional properties that can receive health claim.

KEY WORDS: health claim, functional product, soluble fiber, chronic disease, bioavailability

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figure 1. Map showing the main geographical area for the cultivation of the *P. ovate*20

CAPÍTULO II

Figure 1. Flowchart for preparing the pulps53

Figure 2. Curves of apparent viscosities and shear rate of vitamin samples prepared with frozen banana pulp added with *psyllium* in concentrations of 0 %, 3 %, 5 % and 7 %58

Figure 3. Viscosity curves in relation to the time of vitamin samples prepared with frozen banana pulps added with *psyllium* in concentrations 0%, 3%, 5% and 7%59

Figure 4. Representation of samples (including the ideal product) and terms in the first and second dimensions of the correspondence analysis of the CATA question frequency table61

CAPÍTULO III

Não há figuras

CAPÍTULO IV

Figura 1. Fluxograma das condições de embalagem e armazenamento das polpas de banana adicionadas de *psyllium*98

Figura 2: Cinética entre pH e tempo de armazenamento das Polpas de banana congelada102

Figura 3: Cinética entre acidez e tempo de armazenamento das polpas de banana congelada 104

Figura 4. Cinética do parâmetro a^* em relação ao tempo de estocagem das polpas de banana congelada106

Figura 5. Cinética do parâmetro b^* em relação ao tempo de estocagem das polpas de banana congelada107

Figura 6. Curvas de fluxo tensão de cisalhamento versus taxa de cisalhamento das polpas de banana sob armazenamento congelado (- 8 °C e - 18 °C) por 90 dias109

Figura 7. Viscosidade aparente das polpas de banana congelada sob armazenamento - 8 °C e - 18 °C, por 90 dias111

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Table 1. Nutritional values of <i>psyllium</i> seed husk (<i>Plantago ovata</i>).....	21
Table 2. Minerals content of <i>psyllium</i> seed husk (<i>Plantago ovata</i>).....	22
Table 3 <i>Psyllium</i> seed husk (<i>Plantago ovata</i>) consumption and reduction of total and LDL cholesterol levels.....	26

CAPÍTULO II

Table 1. Formulation of frozen banana pulps.....	54
Table 2. Models used to assess rheological behavior.....	55
Table 3. Physical and chemical analysis of banana pulp added with <i>psyllium</i>	59
Table 4. Frequency (%) in which each term in the CATA question was assigned by consumers to describe the banana vitamin samples and their ideal product.....	60

CAPÍTULO III

Tabela 1. Formulação das polpas de banana congelada.....	77
Tabela 2. Resultados físico-químicos das polpas de banana congelada.....	79
Tabela 3. Concentração média dos conteúdos total para K e Na em polpa de banana.....	81
Tabela 4. Resultado da biodisponibilidade (expressa em % da concentração total) de potássio e sódio nas polpas de banana.....	83

CAPÍTULO IV

Tabela 1. Formulação das polpas de banana congelada	97
Tabela 2. Modelos utilizados para avaliação do comportamento reológico	100
Tabela 3. pH das Polpas de banana congela no período de 90 dias de armazenamento em embalagens transparentes	101
Tabela 4. Acidez Total titulável (% ácido málico) nas polpas de banana congelada armazenadas por 90 dias	103

Tabela 5. Resultados para determinação de L^* das polpas de banana congelada durante 90 dias armazenamento	105
--	-----

LISTA DE ABREVIações

ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CATA	Check-All-That-Apply
FDA	Food and Drug Administration
LDL	Lipoproteína de baixa densidade
MAPA	Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento
OMS	Organização Mundial da Saúde
POF	Pesquisa Orçamentária Familiar
RDC	Resolução Da Diretoria Colegiada
UFC	Unidade Formadora de Colônia
BCL8	Polpa de banana armazenada com presença luz a – 8 °C
BSL8	Polpa de banana armazenada sem presença luz a – 8 °C
PCL8	Polpa de banana com <i>psyllium</i> armazenada com presença luz a – 8 °C
PSL8	Polpa de banana com <i>psyllium</i> armazenada sem presença luz a – 8 °C
BCL18	Polpa de banana armazenada com presença luz a – 18 °C
BSL18	Polpa de banana armazenada com presença luz a – 8 °C
PCL18	Polpa de banana com <i>psyllium</i> armazenada sem presença luz a – 18 °C

SUMÁRIO

Sumário

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. OBJETIVOS	4
2.1 Objetivo geral.....	4
2.2 Objetivos específicos.....	4
3.1 Importância das frutas na alimentação	5
3.2 Banana.....	5
3.3 Polpa de fruta	6
3.4 Produtos funcionais	7
3.5 <i>Psyllium</i> (<i>Plantago ovata</i> Forsk).....	7
3.6 Bioacessibilidade e biodisponibilidade	8
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	9
CAPÍTULO I.....	13
<i>Psyllium</i> (<i>Plantago ovata</i> Forsk): da evidência de benefícios à saúde à sua aplicação em alimentos	13
CAPÍTULO II	45
Efeito nas características sensoriais, nutricionais e reológicas da adição de <i>Psyllium</i> (<i>Plantago ovata</i> Forsk) em polpa de banana congelada	45
CAPÍTULO III.....	69
Efeito da adição de <i>psyllium</i> (<i>Plantago Ovata</i> Forsk) na concentração total e biodisponível dos minerais sódio e potássio em polpa de banana congelada.....	69
CAPÍTULO IV	90
Efeito da adição do <i>psyllium</i> (<i>Plantago ovata</i> Forsk) nas características físico-químicas de polpa de banana congelada durante estocagem.....	90
CONCLUSÕES GERAIS	116
ANEXOS.....	117
ANEXO –A Termo de consentimento livre e esclarecido	117
ANEXO- B Ficha de avaliação sensorial	120
ANEXO – C Resultados das análises microbiológicas	121

1. INTRODUÇÃO GERAL

A Organização Mundial da Saúde (OMS) aponta a obesidade como o maior problema de saúde pública do mundo. A obesidade atinge crianças e adultos no mundo todo e tem relação direta com vários agravos à saúde como: aumento na taxa de colesterol, doenças cardiovasculares, diabetes do tipo 2, hipertensão entre outras.

Para prevenir a obesidade é fundamental ter uma alimentação adequada e realizar atividades físicas regulares. É crescente a demanda por alimentos que forneçam benefícios à saúde. Os consumidores hoje estão exigentes quanto às características sensoriais e nutricionais, preferindo alimentos que possam satisfazer suas necessidades sensoriais e nutricionais.

O *psyllium* (*Plantago ovata* Forsk) é uma planta com alto teor de fibra solúvel com potencial para ser uma fonte de suplementação dietética, pois possui importantes propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias, sua casca e semente contêm compostos (terpenos e saponinas) que demonstraram possuir atividade anticancerígenas.

O *psyllium* tem sido usado mundialmente para melhorar o quadro de constipação, a síndrome do intestino irritável, diarreia e foi reconhecido como um agente redutor de colesterol para uso em hipercolesterolemia.

Por apresentar redução nas taxas de colesterol de lipoproteína de baixa densidade (LDL) a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e o Food and Drug Administration (FDA) autorizam declarar nos rótulos de produtos alimentares que foram adicionados desta fibra, desde que atendam a quantidade mínima exigida, a alegação de saúde. Esta alegação agrega valor ao produto tornando-o mais competitivo e sendo usado pelo setor de marketing para despertar a atenção dos consumidores e influenciá-los em suas escolhas.

No Brasil a ANVISA determina 3 g de *psyllium* na porção diária para alegar no rótulo os benefícios para a saúde. O FDA orienta que o consumo de 7 g ou mais de *psyllium* por dia, associado a uma dieta com baixa quantidade de gordura saturada e colesterol, podem reduzir os riscos de doença coronariana.

Além dos produtos funcionais, os consumidores procuram por produto com elevado valor nutricional, características sensoriais próximas do alimento *in natura*, conveniência na estocagem e no preparo. Devido à instabilidade de alguns compostos o processamento e a estocagem podem ocasionar alterações significativas na composição qualitativa e quantitativa destes compostos. Sabe-se que a temperatura e o tempo ocasionam perdas significativas de compostos antioxidantes em alimentos.

Muitos estudos demonstram os benefícios funcionais do *psyllium*, porém ainda há poucos estudos com a incorporação deste em produtos alimentares. Algumas pesquisas foram realizadas com a adição de *psyllium* em biscoitos, bolos, iogurtes e salsicha, porém até o momento nenhum produto alimentar adicionado de *psyllium* e de fácil preparo está disponível no mercado. A adição do *psyllium* nos alimentos não tem demonstrado alteração de sabor e odor, porém, devido sua alta capacidade de reter água, pode promover alteração na textura e viscosidade.

Banana é uma fruta muito consumida no Brasil e no mundo, ela atrai os consumidores devido às suas propriedades nutricionais e aspectos sensoriais, bem como ao seu consumo prático. Cerca de um quinto de toda banana colhida mundialmente é perdida, um fator que contribui para este desperdício é o pouco ou nenhum processamento realizado com a fruta. O processamento bem sucedido poderá reduzir o desperdício e servir como fonte de geração de receitas.

Visando uma melhor qualidade de vida e na prevenção das doenças crônicas a Organização Mundial de Saúde (OMS) orienta o consumo regular de frutas e hortaliças para a manutenção de uma vida saudável.

O objetivo desta pesquisa foi desenvolver, caracterizar e avaliar o efeito da adição de *psyllium* nas características nutricionais, sensoriais, reológicas e cromatológicas em uma polpa de banana congelada visando oferecer aos consumidores um produto de fácil preparo e que possa lhe promover uma melhor qualidade de vida.

Este estudo foi dividido em etapas e ao final de cada uma os resultados foram agrupados em formato de artigos. Antes da escrita dos artigos, para sustentar a importância desta pesquisa, uma fundamentação teórica acerca dos principais tópicos estudados foi realizada. No primeiro capítulo está apresentado uma revisão de literatura sobre os vários benefícios do *psyllium*, desde as vantagens nutricionais, funcionais até sua aplicação na indústria de alimentos. Na sequência deste estudo foi elaborado polpas de banana com diferentes concentrações da fibra e caracterizada utilizando a ferramenta CATA (Check-All-That-Apply). Nesta oportunidade análises microbiológicas e físico-químicas também foram realizadas. A caracterização sensorial foi realizada com as polpas batidas com leite em liquidificador e o comportamento reológico das vitaminas foi verificado nesta etapa.

Após a caracterização sensorial foi verificado que a concentração de 3 % de adição do *psyllium* seria suficiente para agregar benefícios sensoriais, nutricionais e funcionais. Então análises para determinar os teores dos minerais potássio e sódio foram realizadas bem como a

bioacessibilidade dos mesmos. Por fim, a estabilidade das características cromatológicas, reológicas e físico-químicas durante armazenamento congelado e sob duas condições de armazenagens foram investigadas.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Desenvolver uma polpa de banana congelada adicionada de *psyllium* com benefícios funcionais e nutricionais.

2.2 Objetivos específicos

- a) Desenvolver formulações de polpas de banana prata adicionadas de *psyllium*, com as concentrações de 0 %; 3 %; 5 % e 7 % em relação a massa de banana;
- b) Caracterizar o produto quanto suas características físico-químicas;
- c) Realizar análises microbiológicas do produto;
- d) Caracterizar sensorialmente a polpa utilizando metodologia CATA (Check-All-That-Apply);
- e) Verificar a biodisponibilidade dos minerais potássio e sódio das polpas.
- f) Verificar a estabilidade da polpa quanto ao tipo de embalagem (com e sem barreira a luminosidade) e temperatura (- 8 e - 18 °C) e tempo de estocagem (0, 30, 60 e 90 dias).

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Importância das frutas na alimentação

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS) o consumo regular de frutas, legumes e verduras levaria uma redução 1,8 % das doenças crônicas não transmissíveis (DCNT) em todo o mundo e os óbitos seriam evitados. Devido a esta recomendação muitos países estão incentivando o aumento no consumo de vegetais (SILVA; SMITH-MENEZES; DUARTE, 2016).

A quantidade recomendada pela OMS é de um consumo diário de 400 g de frutas e legumes o que equivale a cinco porções diárias, totalizando um consumo anual *per capita* de 146 kg (WHO, 2003). Apesar de o Brasil ocupar lugar de destaque em produção de frutas no mundo, o consumo interno é inferior ao recomendado pela OMS (BRASIL, 2017).

Segundo informação nos estudos de Vigitel (2017) diz ser crescente o aumento no consumo de frutas e hortaliças no Brasil, em 2008, o consumo era de 33 % passando para 35,2 % em 2016, mas esta quantidade ainda está muito abaixo do recomendado. O número de pessoas diagnosticadas com diabetes e hipertensão foi crescente em 2016, sendo um aumento de 61,8 % e 14,2 %, respectivamente.

Para reverter este quadro o Ministério da Saúde aposta em campanhas de incentivo à alimentação saudável. Iniciativas como estas são reconhecidas em todo o mundo, entre as metas do Ministério da Saúde para o enfrentamento das DCNT 2011-2022 está reduzir o crescimento da obesidade em adultos e aumentar o consumo de frutas e hortaliças em 10% (Brasil, 2020).

No Brasil, a fruticultura é uma área de destaque ocupando o terceiro lugar, sendo a China a primeira colocada seguida da Índia (ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA 2017).

3.2 Banana

A banana (*Musa sp.*) é uma fruta muito consumida no Brasil e no mundo. De acordo com a Pesquisa Orçamentária Familiar (POF) realizada em 2008- 2009 no Brasil, a banana é a segunda fruta mais consumida perdendo apenas para laranja. A produção nacional de banana em 2015 alcançou a marca de 6,8 milhões de toneladas (IBGE, 2016).

A banana atrai os consumidores devido às suas propriedades nutricionais e aspectos sensoriais, bem como ao seu consumo prático (ANYASI et al., 2013).

De acordo com Tock et al. (2010) a perecibilidade da banana representa perdas significativas nas fazendas devido ao manuseio, armazenamento e transporte inadequados. Cerca de um quinto de toda banana colhida mundialmente é perdida devido ao manejo deficiente pós-colheita, outro fator que contribui para este desperdício é o pouco ou nenhum processamento realizado com a banana. A fruta é raramente processada e convertida em produtos alimentícios ou processada para uso industrial (TRIBESS et al., 2009). Zhang et al. (2005) relataram que o processamento bem sucedido das bananas além de oferecer benefícios para a saúde dos consumidores e reduzir o desperdício, pode contribuir com a redução de desemprego e servir como fonte de geração de receitas. Um estudo realizado por Anyasi et al. (2013) mostrou que o processamento da fruta é baixo e que precisa ser ampliado, com o processamento haverá redução das perdas pós-colheita, logo obtenção de lucros. A banana pode servir com matéria prima para processamento industrial como: produção de suco de frutas, purês, amido, bebidas fermentadas e de frutas, marmelada, geléia, sorvetes e confeitaria.

Para evitar os desperdícios e perdas que ocorrem durante a comercialização das frutas frescas, o processamento de polpas é uma opção que agrega valor comercial à fruta. A produção de polpa de fruta congelada, antes concentrada somente na Região Nordeste, já se expandiu por todo o território nacional. Este segmento está caracterizado pela presença de micro e pequenas empresas, apesar de apresentar grandes indústrias também (MATTA et al., 2005).

3.3 Polpa de fruta

O Decreto Nº 6.871, de 4 de junho de 2009 regulamentado pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) estabelece os critérios para enquadramento na categoria polpa de fruta. Neste decreto a polpa de fruta é o produto não fermentado, não concentrado, obtido de fruta polposa, por processo tecnológico adequado, atendendo o teor mínimo de sólidos em suspensão (BRASIL, 2009).

A polpa congelada é um mercado em expansão, pois minimiza perdas por desperdício na comercialização do produto *in natura* (GADELHA et al., 2009). A produção de polpas congeladas de frutas é uma alternativa ao consumo de frutas frescas devido à praticidade no preparo e semelhança no valor nutricional e sensorial (CARVALHO et al., 2017).

A ANVISA estabelece padrões microbiológicos para polpas de frutas. A resolução RDC nº 331 de 26.12.2019 apresenta os parâmetros para coliformes a 45 °C / g, com no máximo 10² UFC e para *Salmonella* ssp. ausência em 25 g. A Instrução Normativa nº 60, de 23 de dezembro de 2019 (BRASIL, 2019) do Ministério da Agricultura fixa os limites máximos microbiológicos para polpa de frutas em: bolores e leveduras somados com no máximo 5 x 10³ / g para polpa *in*

natura, congelada ou não, e para polpa conservada quimicamente e/ou que sofreu tratamento térmico 2×10^3 , para coliformes fecais o máximo é de 1 / g e *Salmonella* deverá apresentar ausência em 25 g (BRASIL, 2019; 2019).

3.4 Produtos funcionais

No Brasil a ANVISA por meio da resolução número 19 de 1999 regulamenta os procedimentos para registro de alimento com alegação de propriedades funcionais e/ ou de saúde em sua embalagem. De acordo com esta resolução a propriedade funcional difere da alegação de saúde, ou seja, a propriedade funcional está relacionada com o papel fisiológico ou metabólito no desenvolvimento e crescimento do ser humano, já a alegação de saúde afirma ou sugere que o ingrediente adicionado ao produto alimentício proporciona benefícios para a saúde (BRASIL, 1999).

A informação sobre alegação de saúde em rótulos de produtos alimentares pode influenciar a decisão de compra e ajudar os consumidores a fazerem escolhas mais saudáveis (MARIJA KLOPČIČ).

Um exemplo de alegação de saúde em alimentos é a adição de *psyllium* em produto alimentício. O produto alimentar que apresentar 3 g de *psyllium* em uma porção diária do produto pronto para o consumo poderá declarar no rótulo que: “o *psyllium* auxilia na redução da absorção de gordura. Seu consumo deve estar associado a uma alimentação equilibrada e hábitos de vida saudáveis” (BRASIL, 2016).

3.5 *Psyllium (Plantago ovata Forsk)*

De acordo com Petchetti et al. (2007) as cascas e sementes de *Plantago ovata* (Plantaginaceae) são comumente referidas como *psyllium*. O *Psyllium (Plantago ovata Forsk)* é uma planta medicinal herbácea que pertencente à família Plantaginaceae, ela é amplamente cultivada em regiões tropicais do mundo, como Índia, Irã, China, Coréia, etc. (CHEVALLIER, 1996).

As sementes e a casca (conhecida popularmente como isabgol) contêm compostos mucilaginosos de valor medicinal. A casca é a estrutura membranosa branca que cobre a semente muito utilizada como laxante e benéfica como prevenção de obstruções intestinais, constipação e diarreia (CHEVALLIER, 1996).

A Índia domina o mercado mundial na produção e exportação de *psyllium*, produzindo cerca de 39 000 t por ano e fornecem 85 % de sementes para o mercado mundial (GUO et al., 2009).

Cerca de 78 % da composição da semente de *psyllium* é de fibra solúvel e 13 % de fibra insolúvel (YU; PERRET, 2003). O *psyllium*, devido ao seu alto teor de fibras solúveis, quando misturado com água, forma uma mucilagem (consistência de gel), a viscosidade deste gel pode interferir na absorção de gordura e colesterol, o que pode resultar em concentrações reduzidas de colesterol no sangue. A formação de mucilagem no *psyllium* é devido ao conteúdo de xilose com arabinose formando o arabinóxilano (AX). Há estudos que afirmam sobre o poder que os AX possuem em fermentar a microbiota intestinal e estimular o crescimento seletivo de bactérias intestinais benéficas. Fibras que possuem esse benefícios são reconhecidas por sua função prebiótica (MARQUES et al., 2018).

Segundo Pal et al. (2017) os benefícios que o *psyllium* oferece à saúde são atribuídos à capacidade de formar um gel viscoso, esta é uma característica não atribuída as fibras insolúveis. É importante salientar que para o *psyllium* formar um gel viscoso no organismo faz necessário a ingestão de água junto ao seu consumo.

Cada grama de *psyllium* retém cerca de 10 g de água e seu consumo tem sido principalmente na forma de cápsulas (KRISTENSEN; JENSEN, 2011). Além da sua alta capacidade de ligação com a água possui também estabilidade a uma variedade de níveis de pH e temperaturas. O *psyllium* pode ser utilizado como aditivo alimentar para prolongar a validade comercial de produtos alimentares sem glúten, isto se dá devido a fibra reter parte da umidade e manter os alimentos com características de alimento fresco por alguns dias (IBUKI, 1989). Outra vantagem da incorporação do *psyllium* em alimentos é que não afeta algumas características dos alimentos como: aroma, sabor e aparência (RIBAS et al., 2015). As propriedades funcionais do *psyllium* aliada com sua capacidade de formar gel torna o *psyllium* um produto promissor para ser incorporado em produtos alimentícios. O alimento teria além da oferta de fibras, a alegação de saúde no rótulo, e isto seria uma importante vantagem no mercado (FRADINHO et al., 2015).

3.6 Bioacessibilidade e biodisponibilidade

Para o organismo usufruir dos benefícios de nutrientes e compostos fitoquímicos faz necessário que estes estejam bioacessíveis, ou seja, não sejam destruídos durante a digestão gastrointestinal e, por conseguinte estejam potencialmente biodisponíveis (TAGLIAZUCCHI et al., 2010).

A bioacessibilidade é definida como sendo a quantidade que o composto ingerido está disponível para ser absorvido no intestino após passar pelo processo de digestão. Já a biodisponibilidade é a quantidade de composto assimilada pela célula e normalmente é medida

pela concentração plasmática (ensaio *in vivo*) (ALMINGER et al., 2014; SENGUL et al., 2014). Sendo assim a investigação sobre a bioacessibilidade e biodisponibilidade é importante, pois apesar dos alimentos apresentarem nutrientes e compostos fitoquímicos é necessário saber se estes estarão disponíveis e acessíveis para o organismo e assim exercer os seus efeitos benéficos (BRIONES-LABARCA et al., 2011).

Os métodos de simulação da digestão gastrointestinal *in vitro* são utilizados, uma vez que são rápidos, seguros, confiáveis e não têm as questões éticas dos métodos *in vivo*. Estes ensaios consistem em simular os processos de digestão e absorção (bioassimilação) ou apenas o processo de digestão (bioacessibilidade), permitindo desta forma estudar as mudanças que ocorrem nos componentes da dieta durante a digestão gástrica e intestinal (BRIONES-LABARCA et al., 2011).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMINGER, M., AURA, A. M., BOHN, T., DUFOUR, C., EL, S. N., GOMES, A., SANTOS, C. N. In vitro models for studying secondary plant metabolite digestion and bioaccessibility. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(4), 413–436. 2014.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DA FRUTICULTURA 2017. **Editora Gazeta Santa Cruz**, 2017. 88 p. Disponível em:< http://www.editoragazeta.com.br/wp-content/uploads/2017/03/PDF-Fruticultura_2017.pdf>.
- ANYASI, T. A., JIDEANI, A. I. O., MCHAU, G. R. A. Functional properties and postharvest utilization of commercial and noncommercial banana cultivars. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12, 509–522. 2013.
- BRASIL. Resolução nº 18, de 30 de abril de 1999. Aprova o Regulamento Técnico que Estabelece as Diretrizes Básicas para Análise e Comprovação de Propriedades Funcionais e ou de Saúde Alegadas em Rotulagem de Alimentos. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*. Brasília, 03 nov. 1999.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento [Internet]. Instrução normativa nº 60, de 23 de dezembro de 2019. Regulamento técnico geral para fixação dos padrões de identidade e qualidade para suco de fruta.
- BRASIL. Leis, decretos, etc. Resolução RDC n. 331, de 26 de dezembro de 2019. Aprova o regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF.
- BRASIL. Decreto, 6.871, de 04 de junho de 2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. *Diário Oficial da União: Poder Executivo*, de 04 de junho de 2009.

BRASIL. Alimentos Com Alegações de Propriedades Funcionais e ou de Saúde. Atualizado em 22.12.2016. Disponível em:< <http://portal.anvisa.gov.br/alimentos/alegacoes>>. Acessado em 7 de agosto de 2017.

BRASIL. Plano de ações estratégicas para o enfrentamento das doenças crônicas e agravos não transmissíveis no Brasil. 2021-2030. Brasília, DF. 2020. Disponível em: <https://antigo.saude.gov.br/images/pdf/2020/October/01/Plano-DANT-vers--o-Consulta-p-blica.pdf>

BRIONES-LABARCA, V., VENEGAS-CUBILLOS, G., ORTIZ-PORTILLA, S., CHACANA-OJEDA, M., MAUREIRA, H. Effects of high hydrostatic pressure (HHP) on bioaccessibility, as well as antioxidant activity, mineral and starch contents in Granny Smith apple. *Food Chemistry*, 128, 520–529. 2011.

CARVALHO, A, V; MATTIETTO, R, A; BECKMAN, J, C. Estudo da estabilidade de polpas de frutas tropicais mistas congeladas utilizadas na formulação de bebidas. **Braz. J. Food Technol.**, Campinas, v. 20, 2016023, 2017.

CHEVALLIER, A. (1996). *The Encyclopedia of Medicinal Plants*. (London: Dorling Kindersley), 336.

DRICHOUTIS, A. C.; LAZARIDIS, P.; NAYGA, R. M.; KAPSOKEFALOU, M.; CHRYSOCHOIDUS, G.. A theoretical and empirical investigation of nutritional label use. **European Journal of Health Economics**, 9, 293–304. 2008.

FDA (2012) CFR - Code of Federal Regulations, Title 21.<http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=101.81>. Accessed 21 de julho de 2017.

FRADINHO, P.; NUNES, M. C.; RAYMUNDO, A. Developing consumer acceptable biscuits enriched with *Psyllium* fibre. **J Food Sci Technol**, v. 52, n. 8, p. 4830-40, Aug 2015. ISSN 0022-1155.

GADELHA, A. J. F.; ROCHA, C. O.; VIEIRA, F. F.; RIBEIRO, G. N. Avaliação de Parâmetros de Qualidade Físico-Químicos de Polpas Congeladas de Abacaxi, Acerola, Cajá e Caju. **Revista Caatinga**. v.22, n.1, p.115-118, jan.-mar. de 2009.

GUO, Q ; STEVE W.; CUI,Q.; WANG, H. ;DOUGLAS GOFF,; ALEXANDRA SMITH. Microstructure and rheological properties of *psyllium* polysaccharide gel. **Food Hydrocolloids**, Volume 23, Issue 6,2009,Pages 1542-1547,ISSN 0268-005X.

HAILU, G.; BOECKER, A.; HENSON, S.;CRANFIELD , J. Consumer valuation of functionalfoods and nutraceuticals in Canada. A conjoint study using probiotics. **Appetite**, 52, 257–265. 2009.

IBGE - Produção Agrícola Municipal, 2016. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/66/pam_2015_v42_br.pdf

IBUKI, M. : Moist pellet type feeds containing *psyllium* gum for culturing fishes. Japanese Kokai Tokyo Koho, Japan Patent 01, 202, 262 (89, 202, 262). **Chemical Abstracts**, 112, 7626y. 1989.

KRISTENSEN M; JENSEN, M,G. Dietary fibers in the regulation of appetite and food intake-Importance of viscosity. **Appetite** 56:65–70 . 2011.

LADJEVARDI, Z. S.; GHARIBZAHEDI, S. M.; MOUSAVI, M. Development of a stable low-

- LORENZI, H. **Frutas Brasileiras e exóticas cultivadas (de consumo in natura)**. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2006. 672 p.
- MATTA, V,M; FREIRE,M,JR; CABRAL,L,M,C; FURTADO, A,A L. **Polpa de Fruta Congelada**. Brasília: EMBRAPA, 2005.
- MARIJA KLOPČIČ, POLONA SLOKAN, KARMEN ERJAVEC, **Consumer preference for nutrition and health claims: A multi-methodological approach, Food Quality and Preference**, Volume 82, 2020, 103863, ISSN 0950-3293.
- MARQUEZ-ESCALANTE, Jorge et al. Efecto prebiótico de los Arabinosilanos y los Arabinosilo-Oligosacáridos y su relación con la promoción de la buena salud. *CienciaUAT* [online]. 2018, vol.13, n.1
- OBON, J. M.; DIAZ-GARCIA, M. C.; CASTELLAR, M. R. Red fruit juice quality and authenticity control by HPLC. **Journal of Food Composition and Analysis**, 6, 760–771. 2011
- PAL, S; HO, S; GAHLER, R,J; WOOD, S. Effect on Insulin, Glucose and Lipids in Overweight/Obese Australian Adults of 12 Months Consumption of Two Different Fibre Supplements in a Randomised Trial. **Nutrients**. 2017;9(2):91. doi:10.3390/nu9020091.
- PATEL, M. K., JOSHI, M., MISHRA, A., JHA, B. Ectopic expression of SbNHX1 gene in transgenic castor (*Ricinus communis* L.) enhances salt stress by modulating physiological process. **Plant Cell Tiss. Organ Cult.** 122, 477–490. 2015.
- PETCHETTI, L; FRISHMAN, W.H. ; PETRILLO, R. ; RAJU, K. Nutraceuticals in cardiovascular disease: *psyllium*. **Cardiol. Rev.** 15, 116–2235. 2007 .
- RIBAS, S. A; CUNHA, D; SICHIERI R, DA SILVA L. Effects of *psyllium* on ldl-cholesterol concentrations in brazilian children and adolescents: a randomised, placebo-controlled, parallel clinical trial. **Br j nutr**, V. 113, n. 1, p. 134-41, Jan 14 2015. ISSN 1475-2662 Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25391814> >.
- SABBE, S; VERBEKE, W; DELIZA,R; MATTA,V; DAMME, P,V. Effect of a health claim and personal characteristics on consumer acceptance of fruit juices with different concentrations of acai (*Euterpe oleracea* Mart.). **Appetite**, v. 53, n. 1, p. 84-92, Aug 2009. ISSN 1095-8304
- SENGUL, H., SUREK, E., NILUFER-ERDIL, D. Investigating the effects of food matrix and food components on bioaccessibility of pomegranate (*Punica granatum*) phenolics and anthocyanins using an in-vitro gastrointestinal digestion model. **Food Research International**, 62, 1069–1079. 2014.
- SILVA, F. M.A; SMITH-MENEZES, S. A; DUARTE, M. S. F. Consumo de frutas e vegetais associado a outros comportamentos de risco em adolescentes no Nordeste do Brasil, **Revista Paulista de Pediatria**, Volume 34, Issue 3, 2016.
- SOUZA, V,R; PEREIRA.A.P; QUEIROZ, F; BORGES,V; CARNEIRO, J,D,S. Determination of bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Cerrado Brazilian fruits. **Food Chemistry**, v. 134, n. 1, p. 381-386, 2012. ISSN 03088146.
- TALUKDER,P.,TALAPATRA,S.,GHOSHAL,N.,RAYCHAUDHURI,S.S. Antioxidant activity and HPLC analysis of phenolic compounds during in vitro callus culture of *Plantago ovata* Forsk and effect of exogenous additives on accumulation of phenolic compounds. **J. Sci.FoodAgric.** 96, 232–244. 2015.

TOCK JY, LAI CL, LEE KT, TAN KT, BHATIA S. Banana biomass as potential renewable energy resource: a Malaysian case study. **Renewable Sustainable Energ Rev** 14:798–805. 2010.

TRIBESS TB, HERNADEZ-URIBE JP, MENDEZ-MONTEALVO MGC, MENEZES EW, BELLO-PEREZ LA, TADINI CC. Thermal processing and resistant starch content of green banana flour (*Musa cavendishii*) produced at different drying conditions. **LWT–Food Sci Technol** 42:1022–5. 2009.

YU, L; PERRET, J. Effects of xylanases treatments on gelling and water-uptaking properties of *psyllium*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 51, 492–495. 2003.

VIGITEL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância de Doenças e Agravos não Transmissíveis e Promoção da Saúde. Vigitel BRASIL 2016: vigilância de fatores de risco e proteção para doenças crônicas por inquérito telefônico: estimativas sobre frequência e distribuição sociodemográfica de fatores de risco e proteção para doenças crônicas nas capitais dos 26 estados brasileiros e no Distrito Federal em 2016 / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Departamento de Vigilância de Doenças e Agravos não Transmissíveis e Promoção da Saúde. – Brasília: Ministério da Saúde, 2017. 160p.: il.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases: report of a joint WHO/FAO expert consultation. **Geneva**: WHO; 2003.

ZHANG P, WHISTLER RL, BEMILLER JN, HAMAKER BR. Banana starch: production, physicochemical properties, and digestibility – a review. **Carbohydr Polym** 59:443–58. 2005.

CAPÍTULO I

Psyllium (Plantago ovata Forsk): from evidence of health benefits to its food application

Psyllium (Plantago ovata Forsk): da evidência de benefícios à saúde à sua aplicação em alimentos

Artigo publicado no periódico Trends in Food Science & Technology

RESUMO

A ingestão de fibras tem sido associada a um menor risco de desenvolver várias doenças crônicas, como doenças metabólicas (por exemplo, obesidade, diabetes, dislipidemia). O *psyllium* apresenta alto teor de fibra solúvel associado a benefícios à saúde. O objetivo desta revisão é avaliar a evidência científica dos benefícios do *psyllium* à saúde. São apresentadas as propriedades nutricionais do *psyllium*, bem como suas diversas aplicações em produtos alimentícios. Os principais benefícios funcionais do *psyllium* são apresentados em tópicos, como segue: o efeito no controle do colesterol, no diabetes tipo 2 e na obesidade e saciedade. Os produtos que contêm *psyllium* podem ser uma alternativa eficaz para melhorar a funcionalidade e produzir alimentos saudáveis. A adição de *psyllium* a um produto alimentar (por exemplo, produtos de padaria, laticínios, carne e produtos sem glúten) pode fornecer a alegação de saúde, o que é uma vantagem importante no mercado. Além disso, pode permitir ao consumidor ingerir quantidades adequadas de fibras sem aumentar a ingestão calórica, além de contribuir para outros benefícios à saúde como controle do colesterol, controle glicêmico, saciedade, entre outros. O *psyllium* pode ser facilmente adicionado às formulações de alimentos e não altera a percepção do sabor do produto. Assim, a indústria de alimentos pode desempenhar um papel importante na prevenção de doenças crônicas não transmissíveis ao usar *psyllium* em produtos alimentícios.

Palavras-chave: arabinosilano, saciedade, fibra solúvel, colesterol, diabetes tipo 2, sem glúten, *psyllium*



Contents lists available at ScienceDirect

Trends in Food Science & Technology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/tifs

Psyllium (*Plantago ovata* Forsk): From evidence of health benefits to its food application



Elisangela Aparecida Nazario Franco^{a,b,*}, Ana Sanches-Silva^{c,d}, Regiane Ribeiro-Santos^e,
Nathália Ramos de Melo^{b,f}

^a Federal Institute of Education, Science and Technology of Ceará, IFCE Campus, Iguatu, CE, Brazil

^b Department of Food Technology, Institute of Technology, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, Brazil

^c National Institute of Agrarian and Veterinary Research (INIAV), Vairão, Vila do Conde, Portugal

^d Animal Science Studies Centre (CECA), University of Oporto, Oporto, Portugal

^e Federal Institute of Education, Science and Technology of Pernambuco, IFPE Campus, Vitória de Santo Antão, PE, Brazil

^f Department of Agribusiness Engineering, Federal Fluminense University, Avenida dos Trabalhadores, 420, 27225-250, Volta Redonda, RJ, Brazil

ABSTRACT

Fiber intake has been associated with a lower risk of developing several chronic diseases, such as metabolic diseases (eg, obesity, diabetes, dyslipidemia). *Psyllium* has a high content of soluble fiber associated with health benefits. The purpose of this review is to assess the scientific evidence for the health benefits of *psyllium*. The nutritional properties of *psyllium* are presented, as well as its various applications in food products. The main functional benefits of *psyllium* are presented in topics, as follows: the effect on cholesterol control, type 2 diabetes and obesity and satiety. Products containing *psyllium* can be an effective alternative to improve functionality and produce healthy foods. The addition of *psyllium* to a food product (for example, bakery, dairy, meat and gluten-free products) can provide the health claim, which is an important advantage in the market. In addition, it can allow consumers to ingest adequate amounts of fiber without increasing caloric intake, in addition to contributing to other health benefits such as cholesterol control, glycemic control, satiety, among others. *Psyllium* can be easily added to food formulations and does not alter the perception of the product's taste. Thus, the food industry can play an important role in preventing chronic non-communicable diseases when using *psyllium* in food products.

Keywords: arabinoxylan, satiety, soluble fiber, cholesterol, type 2 diabetes, gluten free, *psyllium*

1. Introduction

The interesting on natural components of plants is increasing due to their association with health benefits (Singh, 2007; Ribeiro-Santos et al., 2015; 2017).

Psyllium is a plant with high content in water-soluble fiber, which exerts a number of positive effects on health, possess pharmaceutical properties and desirable nutritional effects (Alabaster, Tang & Frost, 1993).

Psyllium is the common name found in the seed of an annual plant of the *Plantago* genus, which has around 200 different species. Scientifically known as *Plantago ovata* Forsk, the most important and known species with a wide variety of uses. It is also called Isabgol, meaning “horse ear” in Indian, which describes the shape of the seed (Dhar , Kaul , Sareen, Kou,2005; Masood & Miraftab, 2010).

Psyllium is popularly used in the traditional Indian medicine system (Ayurveda) for prevention of skin irritations, hemorrhoids, constipation as well as diarrhea. Its consumption in Europe has increased in recent years and now is also widespread in the USA (Fradinho, Nunes & Raymundo, 2015). The world commercial market is dominated by India, in the production and export of *psyllium*. The crop is mainly cultivated in Gujarat and Rajasthan that are the major producer states of *psyllium* in India. Regarding further processing and manufacturing of husk, Gujarat is the leading state contributing 35% of world production of *psyllium* (Verma & Mogra, 2013).

From the seed coat of *psyllium* (*P. ovata*), a mucilage is obtained, by mechanical milling, grinding of the outer layer of the seed. Mucilage describes a group of clear, colourless, gelling agents derived from plants (Verma & Mogra, 2013). *Psyllium* mucilage has a long history as a nutritional supplement due to be considered as a good source for soluble and insoluble fiber being reported as a medicinally active gel forming natural polysaccharide (Singh, 2007). It is a gel forming mucilage known for its laxative effect due to its high-water holding capacity, which is approximately 80 times of its weight (Yadav , Sharma , Kapila , Malik &Arora 2016).

Psyllium has been widely investigated for its potential health benefits and its applications in food and pharmaceutical industries (Singh, 2007; Yu, Lutterodt & Cheng, 2009). *Psyllium* is well recognized for the treatment of constipation, irritable bowel syndrome symptoms, abdominal pain, cancer prevention, diarrhea, inflammatory bowel disease-ulcerative colitis, obesity, diabetes and hypercholesterolemia. Besides it, contributes for satiety, hypocholesterolaemic and prebiotic effects (Alabaster et al., 1993; Bijkerk, Muris, Knottnerus,

Hoes & De Wi, 2004; Singh 2007; Yu, Lutterodt & Cheng, 2009; Galisteo, Morón, Rivera, Romero, Anguera & Zarzuelo 2010; Bernaud & Rodrigues, 2013; Yadav et al., 2016; (Brum, Gibb, Peters, & Mattes, 2016). In addition to its beneficial health effects, *psyllium* seed husk which is a well-known source for the production of *psyllium* hydrocolloid, has also functional function in food due to its strong hydrophilic and gelling properties, stabilizing suspending and emulsifying power. gums are of high molecular weight and can be expected to be good viscosity enhancers (Guo, Cui, Wang, & Christopher Young, 2008; Yu, Lutterodt & Cheng, 2009; Bahmani, Mirhosseini, Fasihzadeh, Karimian & Rafieian-Kopaei 2016). In supplements and development of food products, staple foods enriched with *psyllium* fiber such as biscuits and yogurt has been described and in producing low calorie and less fat food and as substitute for gluten (Zandonadi, Botelho & Araújo, 2009; Fradinho, Nunes & Raymundo, 2015; Ladjevardi, Gharibzahedi & Mousavi, 2015).

Psyllium is also widely applied in cosmetics (for providing hair and skin care products), textiles, paper-making, printing inks, waxes and army industries (water proofing explosives) (Bahmani et al 2016).

This review aims to evaluate the scientific evidence of the main functional health benefits of *psyllium* (*Plantago ovata*) and also discusses its biological proprieties and components. The use of this fiber by the food industry and as a medicinal agent is also addressed.

2. Brief history

The genus *Plantago* is one of the largest of the three genera of Plantaginaceae family, comprising more than 250 species worldwide (Gupta, 1991; Panda, 2002). *Plantago* species are mainly distributed in the temperate regions (between 26-36°N, latitude) and just few are found in the tropics (Board, 2003; Haddadian, Haddadian & Zahmatkash, 2014). According to van der Aart and Vulto (1992), the rosette-forming *Plantago* species belong to the subgenus *Plantago* and the recent stem-forming *Plantago* species belong to the subgenus *Psyllium*.

The seeds of *Plantago* have been used for centuries in the indigenous medicine and they are produced by several European countries, Paskistan and India. Only two species of the genus *Plantago* (*P. ovata* Forsk. and *P. psyllium*) are cultivated for their seed husk in demand for cosmetic and pharmaceutical industries (Gupta, 1991; Panda, 2002; Board, 2003). Seeds are emollient, and promote bowel movements and can alleviate the inflammation of the mucous membrane of the gastrointestinal tract (Gupta, 1991). Moreover, *Plantago* can be used to prepare ice cream (Dhar et al., 2005). *P. ovata* produces a higher yield than *P. psyllium* and it

presents a larger seed size. Besides it is better in terms of colorless and swelling properties, being known as French *psyllium* (Board, 2003). *Plantago* is cultivated in arid parts of Western India (Gupta, 1991) and India dominates the production and exportation of *psyllium*. The seed husk can absorb and retain water, therefore it is commonly used to treat constipation, chronic dysentery and related disorders. Both seeds and seed husks are imported annually by countries of Western Europe and USA (Gupta, 1991).

The scientific name of *psyllium* is *Plantago ovata* Forsk. (*Syn. P. Ispaghula* Roxb.) and it is known for commercial purposes as Indian *plantago*, isabgol or white or blonde *psyllium* (Gupta, 1991; Panda, 2002). The common names of *P. ovata* include Ashwagolam Babka, Isphghol or Spangur, in India; Barhanj in Poland, Ch-chientzu in China; Barhanj, Bidr qtn, Blond *psyllium* and Buzar qatona in Arabic countries, Obeko in Japan, Psillo indiano in Germany and Spogel in Iran.

The name *Plantago* derives from Latin and it means sole of the foot, which refers to the *psyllium* leaf. In Persian the common name is isapghul which corresponds to two Persian words “isap” + “ghol” which means horse car in reference to boat shaped seeds (Gupta, 1991; Panda, 2002; Board, 2003).

3. Distribution and cultivation and botanical description

Plantago is especially distributed in India, Iran, Pakistan, Bangladesh, as shown in detail in **Figure 1**. The geographical location of this region provides an ideal environment for growing this plant. It is believed that *psyllium* was introduced in undivided India during the Mughal rule (Board, 2003). As the demand for seed increased, cultivation started and was initially confined to Lahore and Multan (presently Pakistan), spreading to Bengal (Board, 2003) afterward. Currently, India is the largest producer and the main supplier of *Plantago* seeds and husks to the world market, about 90% of the production is exported. Economic analysis shows that the US is the main importer of *Plantago* seeds and husks, consuming 8,000 tons annually. *Plantago* ranks sixth in the economic trade of medicinal plants (Brasil, 2014; Khaliq, Tita, Antofie, & Sava, 2015; Shahriari, Heidari, & Dadkhodaie, 2018).

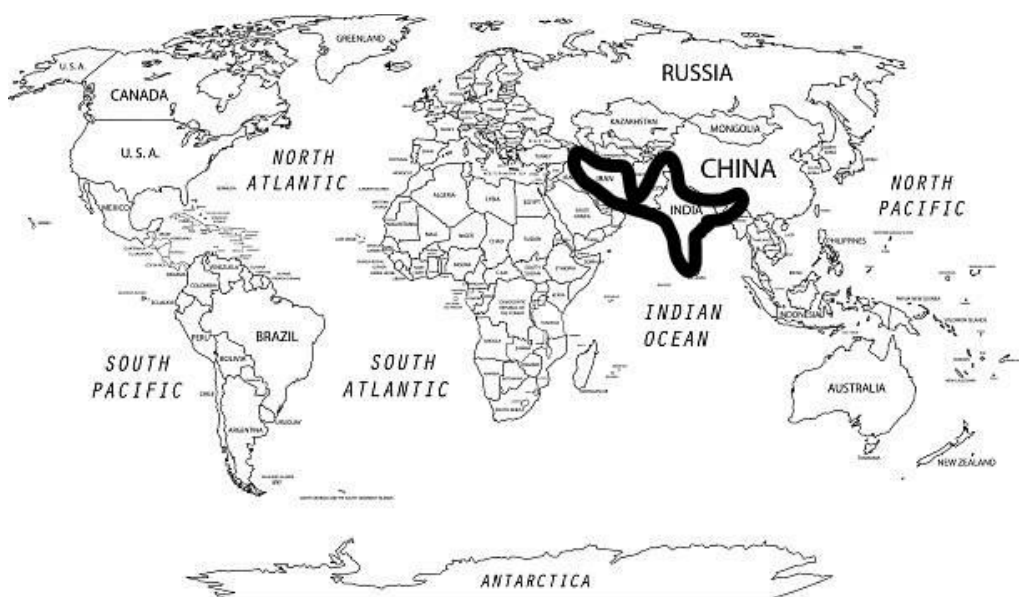


Figure 1. Map showing the main geographical area for the cultivation of the *P. ovata*

P. ovata generally grows in semi-arid or arid climates in the cold season in order to be possible to find some irrigation (Bannayan et al., 2008). The crop is not exigent in terms of soil fertility, so it can develop in a poor fertility sandy-loam to loamy soil (Gupta, 1991).

P. ovata is a short-stemmed or stemless annual herb that grows to 30-45 cm tall (Dhar et al., 2005; Gupta, 1991). Leaves can reach 7.5 to 25 cm long and they are narrow (5 to 12.5 mm), linear, linear lanceolate or filiform, three-nerved and coated with fine and soft hairs (Gupta, 1991).

Roots present a well-developed taproot with few fibrous secondary roots. Flowering shoots arise from the base of the plant and flowers appear approximately affect 60 days after planting and they are white, 12.5 to 37.5 mm in length and with bracts 4 mm long and broad. Moreover, when *psyllium* is ripened when flower spikes turn reddish brown. At this stage, upper leaves turn yellow and lower leaves dry up. Spikes have 45 to 69 flowers. Flowers are tetramerous, anemophilous and protogynous (Gupta, 1991).

The fruit is a small ellipsoidal capsule (about 8 mm long) that opens at maturity. About 1000 seeds weight 1.5 g (Panda, 2002). It contains hard, boat-shaped, rosy white or rosy brown seeds, up to 8m (long) x 1 mm (broad). The surface of the seeds is glossy and shining. There is an oval spot in the center of convex surface and in the concave surface there is a deep furrow with a hilum, which seems like a red spot in the center (Gupta, 1991).

Seed husk is separated from seed during milling and it is an odourless, tasteless, translucent, rosy-white mucilaginous membrane, corresponding to about 30% of seed weight (Gupta, 1991).

Different breeding methods have been used for the improvement of this important medicinal plant (*P. ovata*), including selection, induced mutations, hybridization, polyploidy and tissue culture, but the only one with good results was selection, which originated isolation of a few varieties (Dhar et al., 2005). The Gujarat Isabgol-1 and Gujarat Isabgol-2 are two varieties of *P. ovata* cultivated in India with high yield of seed husk (Gupta, 1991).

4. Nutritional Composition and bioactive components

Table 1 shows the proximate and monosaccharides content of *psyllium*. Minerals content is exhibited in **Table 2**.

Table 1. Nutritional values of *psyllium* seed husk (*Plantago ovata*)

Component	Units							
	mg/g	g/100 g	µg/g	g/100 g	g/100 g	g/100 g	g/100g	g/100g
Moisture	-	-	-	6.83	-	12.55	6.43	4.22
Ash	33.5	-	8.6	4.07	3.4	2.25	3.85	12.01
Total Protein	35.0	17.4	11.8	0.94	7.1	1.38	2.08*	7.12
Fat	-	6.7	43.2*	-	-	0.95	0.09*	23.47
Fiber	-	24.6	48.5*	-	-	-	76.63*	54.59
Insoluble fiber	-	19.6	-	-	-	4.21	-	-
Soluble fiber	-	5.0	-	-	-	67.20	-	-
Energy	-	4.75	-	-	-	-	-	-
Carbohydrate	-	-	8.4	84.98	-	82.87	-	30.33
Carbohydrates Composition								
Rhamnose	28.7	-	-	1.5	1.1	-	-	-
Arabinose	203.2	-	-	21.96	20.7	-	-	-
Galactose	41.2	-	-	3.76	4.8	-	-	-
Glucose	45.9	-	-	0.64	2.0	-	-	-
Xylose	503.1	-	-	56.72	50.3	-	-	-
Mannose	22.3	-	-	0.40	1.1	-	-	-
Ribose	1.2	-	-	-	-	-	-	-
Uronicacids	54.1	-	-	-	5.0	-	-	-
References	Marlett and Fischer, 2002	Romero-Baranzini et al, 2006	Bukhsh, Malik and Ahmad, 2007	Guo et al., 2008	Craeyveld, Delcour and Courtin, 2009	Raymund, Fradinho and Nunes, 2014	Qaisrani et al., 2014	Ghani et al., 2016

*Crude; -Not analysed

The largest part of *psyllium* husk seeds consisted of carbohydrates. It was identified a variety of monosaccharides, being, the most abundant xylose and arabinose. As reported in the European Medicines Agency (2013), *psyllium* husk consists of 85% water-soluble fibre. The polysaccharidic fraction comprises: 65% D-xylose, 20% L-arabinose, 6% rhamnase and 9% D-galacturonic acid. *Psyllium* husk contains a fraction of more than 60% arabinoxylan (AX), this fraction is a hemicellulose having a xylose linked with arabinose (Guo, Cui, Wang, & Christopher Young, 2008; Michlmayr et al., 2013). The main source of AX is *psyllium* (Guo et al., 2008; Saghir, Iqbal, Hussain, Koschella, & Heinze, 2008). Additionally, K, Na and P are the minerals present in higher quantities. Bukhsh, Malik and Ahmad (2007) reported that seeds of *P. ovate* contain significantly higher amount of fiber as compared to the leaves, while the concentration of proteins and total carbohydrates in leaves are significantly higher as compared to seeds.

Table 2. Minerals content of *psyllium* seed husk (*Plantago ovata*)

Units	Fe	Zn	Cu	Cr	S	Mn	Mg	K	Na	P	Ca	Ni	References
µg/ g	21. 7	99. 4	59	11. 754	-	6.0	63 .5	100 0	12 00	62 7	160 0	0.0 213	Bukhsh, Malik and Ahmad et al., 2007
µg/10 0 g	-	-	-	-	2 3	-	15 0	850 0	64 0	14 0	150 0	-	Guo et al., 2008
µg/g	0.1 75	0.0 63	0.0 21	0.3 23	-	0.2 31	-	0.1 05	-	-	-	0.3 26	Ghani et al., 2016

Phytochemicals are bioactive compounds produced by plants that can protect the human body from many diseases (Yi, Cao, Cao, & Xiao, 2019).

Kotwal, Kaul, & Dhar (2019) verified the total phenolic content of leaf and husk extracts of *P. ovata* seeds and the results showed an efficient elimination of free radicals. According to the authors, this property should be explored as a supplement to health care.

According to Talukder et al. (2016), *P. ovata* seeds and husks are rich in bioactive compounds while the most abundant are fatty acids, amino acids, polyphenols, and flavonoids. In the studies of Manish K. Patel et al. (2016), linoleic acid, oleic acid, and palmitic acid are among the fatty acids found in *P. ovata* husks. The seeds, leaves, and *psyllium* husks have

phenolic compounds and presented antioxidant activity. In the same study, the seeds and husk extracts contained terpene, including saponins.

For Manish Kumar Patel et al. (2019), the polysaccharides found in the seed and *psyllium* husk should be further explored for developing formulations in the nutraceutical industry due to their antioxidant capacity and anticancer agent.

5. Main functional and medicinal benefits of *Psyllium*

Psyllium can be classified as a functional fiber once it is a non-digestible carbohydrate comprised of the major monosaccharides arabinose and xylose forming the active fraction of arabinoxylans, which is related to the formation of the viscous gel. Viscous gel-forming fibers have physiological health benefits (Institute of Medicine, 2005; McRorie; Mckeown, 2017; Marlett & Fischer, 2001). When *psyllium* is mixed with water, there is the formation of a gel-like mucilage, and the resulting viscosity may interfere with the absorption of fat and cholesterol which can lead to a reduction of the blood cholesterol concentrations (Institute of Medicine, 2005).

Lu, Walker, Muir, Mascara, & O'Dea (2000) performed consistent studies about the effect of arabinoxylan on glycemic control and insulin action in patients with type 2 diabetes. According to the authors, although the mode of action of arabinoxylans in improving glucose tolerance is unknown, it is probably due to the high viscosity of the fiber within the small intestine that can interfere with the absorption of glucose. Recent studies have reported that *psyllium* contributes to glycemic control because the gel can protect the macronutrients and slow digestion (McRorie, 2015; Giacco, Costabile, & Riccardi, 2016). The increase in the viscosity of gastric fluid leads to a decrease in the interactions between the digestive enzymes and nutrients. The nutrient absorption occurs slowly and gradually throughout the passage through the small intestine, concentrating more in the region of the distal ileum (McRorie, 2015). With absorption into the distal ileum region, cells are stimulated to release Glucagon-like peptide-1 (GLP-1) into the bloodstream, which increases the growth of pancreatic beta cells that produce insulin, which is responsible for the control of glucose levels in the human body (Ellingsgaard et al., 2011).

Another benefit of delivery of nutrients to the distal ileum is the stimulation of the ileal brake mechanism, which causes a delay in gastric emptying and intestinal transit, reducing hunger and food intake (Alleleyn, Van Avesaat, Troost, & Masclee, 2016).

Pal, Khossousi, Binns, Dhaliwal, & Ellis (2011) carried out a 72-week study, in which one group consumed 12 grams of *psyllium* diluted in 250 mL water, 10 minutes before meals (breakfast, lunch, and dinner) and another group did not consume *psyllium*. The *psyllium*-treated group showed a reduction in glucose and cholesterol levels, demonstrating that *psyllium* is an excellent alternative for people with overweight or obese, who present risk factors for metabolic syndrome, being susceptible to heart disease and type 2 diabetes. Soluble fibers are good alternatives for those patients due to the formation of a viscous gel, which increases satiety and reduces hunger. The feeling of satiety leads to the cessation of food intake during the interval before the next meal (Marciani et al., 2000). According to Lambeau and McRorie (2017), soluble fibers are more effective alternatives when compared to the insoluble fibers for weight loss, once insoluble fibers release fatty acids during fermentation that are absorbed, leading to absorption of calories.

Unlike nutrients that can be absorbed throughout the entire transit in the small intestine, bile recycling occurs only in the region of the distal ileum. Bile acids are involved in the digestion of lipids occurring in the small intestine (Lambeau & McRorie, 2017). The viscosity of the gel formed by *psyllium* hinders the recovery of bile acids in the region of the distal ileum, which is lost by feces, leading to an increase in LDL (Low-Density Lipoproteins) cholesterol in the blood. According to El Khoury, Cuda, Luhovyy & Anderson (2012), the reduction of blood cholesterol levels caused by the consumption of soluble fibers may be due to excretion of bile acids by feces.

The inclusion of *psyllium* in the diet may be a simple and effective method to regulate blood lipids, insulin, and glucose rates in overweight or obese people, leading to a reduction in the risk of metabolic syndrome, cardiovascular disease, and type 2 diabetes. In addition, *psyllium* is poorly fermented when compared to other fibers, causes less flatulence, less abdominal bloating, and is easily tolerated by consumers and marketed worldwide (Pal, Ho, Gahler, & Wood, 2017; Pal, Khossousi, Binns, Dhaliwal, & Ellis, 2011).

The *psyllium* husk can be used to reduce the symptoms of gastrointestinal disorders in patients with Parkinson's disease. According to the study by Fernandez-Martinez et al. (2014), *P. ovata* may be a good alternative to help solve constipation problems in patients with Parkinson's disease. The volunteers took 3.5 g of *P. ovata* in 200 mL of water prior to administration of oral medication (levodopa/carbidopa). The study showed that fiber contributed to maintaining steady concentrations of the drug while the fiber did not retain part of the administered dose, which is a very important outcome for patients with Parkinson's.

Pawar & Varkhade (2014) investigated using the polysaccharide derived from *P. ovata* as a pill coat in the development of rapid dissolution tablets to treat hypertension. The formulations containing the polysaccharide disintegrated rapidly and completely due to their swelling property. The polysaccharide of the *P. ovata* used as a pill coat is inexpensive, non-toxic, and easy to manufacture compared to the synthetic materials. Prepared tablets offered benefits in terms of patient compliance, rapid onset of action, increased bioavailability, few side effects, and good stability.

In another study, the protective effect of the aqueous extract of *Plantago ovata* was verified against peptic ulcer induced by a gastric ulcer in rats. The aqueous seed extract of *Plantago ovata* has been shown to prevent gastrointestinal lesions and damage to the liver. This may be due to the solubility and viscosity of the fiber (Majid & Zare-mohazabieh, 2018).

Several studies have shown the *P. ovata* benefits on health. Many remedies are already marketed based on these benefits. In Brazil, Anvisa authorized an effervescent powder for oral use to treat intestinal constipation (Anvisa Registration N°: 1063902050031, BRASIL, 2019).

In addition to the effervescent powder, *psyllium* capsule and liquid can also be found. In the U.S. National Library of Medicine, revised in 2015, it is possible to check various drug-producing brands using *psyllium* alone or in combination.

5.1 Effect on cholesterol control

According to Food and Drug Administration (FDA) the consumption of 7g or more of *psyllium* per day, associated with a diet with low amounts of saturated fat and cholesterol, can reduce the risk of coronary heart disease (FDA,2012),. Total cholesterol and elevated LDL levels are associated with an increased risk of developing coronary heart disease. According to The Official Journal of Federative Republic of Brazil (Diário Oficial da República Federativa do Brasil) (Brasil, 1999), a food product containing 3g *psyllium* in a daily portion may present the claim of functional property on the label, informing that its consumption, when associated with a balanced diet and healthy life habits, helps in reducing the fat absorption. According to the European Commission, a product may put on its label "Source of fiber" when the product contains at least 3 g of fiber per 100 g of product and for the claim of "High in fiber" 6 g of fiber per 100 g of product (EC, 2006).

A study carried out with 28 men diagnosed with coronary heart disease showed that the consumption of 10.5 g *psyllium* per day reduced patients' waist circumference, with a reduction

of 6.7% in triglyceride levels, demonstrating that *psyllium* can be used as adjuvant treatment in patients with moderate hypertriglyceridemia (Solà et al., 2007).

Wei et al. (2008) analyzed 21 studies between 1988 and 2000 and found the relationship between the consumption of *psyllium* and the reduction of cholesterol and LDL levels. In all studies, there were significant reductions in cholesterol and LDL levels, despite the different daily dosages of *psyllium* and different duration of treatment. According to the authors, although the higher *psyllium* intake is not associated with the increase in the reduction of total cholesterol and LDL, its prolonged consumption can lead to the reduction of total cholesterol and LDL levels. **Table 3** presents some studies showing that the *psyllium* intake reduced the cholesterol and LDL levels.

Anderson et al. (2000) investigated 8 studies on the effects of *psyllium* consumption in people with mild to moderate hypercholesterolemia. In all studies, the dosage and duration of treatment were the same, and *psyllium* significantly reduced total cholesterol and LDL cholesterol levels, as shown in **Table 3**.

Table 3 *Psyllium* seed husk (*Plantago ovata*) consumption and reduction of total and LDL cholesterol levels.

Authors	Country	Daily dose (g)	Total cholesterol reduction	LDL cholesterol reduction	Duration of treatment in weeks
Anderson et al. (2000)	USA	10.2	4%	7%	8
Solá et al. (2010)	Spain, France and the Netherlands	14	6%	6.1%	8
De Bock et al. (2012)	New Zealand	6	–	6%	6
Ribas et al. (2015)	Brazil	7	–	11%	8
Pal et al. (2017)	Australia	15	7%	8.1%	52

USA = United States of America LDL = Low density lipoprotein

Ganji and Kuo (2008) incorporated *psyllium* into cookies and offered to a group of 8 pre and 11 postmenopausal women. Each cookie contained 5g *psyllium* and the orientation was to consume 3 cookies a day along with meals. The authors identified significant differences between pre and postmenopausal women, with a reduction in total cholesterol rates in postmenopausal women, probably due to differences in hormone rates between the patients. Although reductions in total cholesterol and LDL cholesterol levels were expected, it was not observed probably due to the amount of fat of the cookie formulation, which may have reduced the hypocholesterolemic effect of *psyllium*. The form of consumption of *psyllium* may interfere with the results, because a recent study on the consumption of 5g *psyllium* 3 times a day, at 5 to 10 minutes before meals (breakfast, lunch, and dinner), for 12 months, showed a significant reduction of total cholesterol and LDL cholesterol levels from the third month. The protocol consisted of the intake of the product with 250 mL water, followed by ingesting another 250 mL water (Pal et al., 2017).

In a study with patients diagnosed with moderate hypercholesterolemia, the consumption of *psyllium* led to a reduction in triglyceride levels of 21.6% when compared to placebo, besides contributing to significant reductions of total and LDL cholesterol. The authors recommended the daily intake of *psyllium* for people with risk factors for cardiovascular diseases, such as metabolic syndrome, especially in the event of any drug intolerance (Solá et al., 2010).

The consumption of *psyllium* led to a reduction of the LDL cholesterol levels in male adolescents (aged 15 and 16 years) and showed an improvement in the body fat distribution, with a decrease in adiposity (De Bock et al., 2012). Another study with t and children (aged 6 to 19 years) presented a reduction of LDL cholesterol levels, with no consumers' rejection for the aroma, flavor, appearance or texture, allowing the effective incorporation of *psyllium* into the diet. The inclusion of *psyllium* in the diet may be useful for children and adolescents who cannot use the medication in the treatment of hypercholesterolemia (Ribas, Cunha, Sichieri, & Carlos, 2017).

Lambeau and McRorie (2017) performed 24 well-controlled clinical studies with more than 1500 individuals, with doses ranging from 6 to 15 g *psyllium* per day, confirming the effectiveness of *psyllium* in reducing the total cholesterol levels by 2 to 20%, with a 6 to 24% reduction of LDL cholesterol.

5.2 Effect on type 2 diabetes

Diabetes is a chronic disease characterized by high blood glucose levels that result from the body's inability to produce insulin (Triplitt, Solis-Herrera, Cersosimo, Abdul-Ghani, & Defronzo, 2015). According to the International Diabetes Foundation (IDF), diabetes kills one person every 6 seconds, and the estimation is that more than 415 million people will be diagnosed with diabetes by 2040 (Pugazhenthil, Qin, & Reddy, 2017).

The consumption of dietary fiber may reduce the risk of coronary heart disease and diabetes, and a daily intake greater than 26 g may reduce the risk of developing type 2 diabetes mellitus by up to 18% (Kaczmarczyk, Miller, & Freund, 2012; The Interact Consortium, 2015).

Some studies have shown that the daily consumption of *psyllium* has reduced blood glucose levels (Abutair, Naser, & Hamed, 2016; Anderson et al., 2009; Gibb, Jr, Russell, Hasselblad, & Alessio, 2015).

Anderson, Allgood, Turner, Oeltgen and Daggy (1999) conducted an 8-weeks study with 56 male patients with type 2 diabetes mellitus. The patients were instructed to dilute 5 g *psyllium* in 240 mL water and consume it before coffee and dinner, totaling 10 g *psyllium* per day. The results showed a reduction in blood glucose and lipid levels. For those with diabetes, it is important to maintain normal blood lipid concentrations with reduced fasting and postprandial glycemic levels.

The findings of Cicero, Derosa, Bove, Imola, Borghi, and Gaddi et al. (2010) corroborate with the information on the efficacy of *psyllium* before meals. The authors studied the consumption of 3.5 g *psyllium* 20 minutes, before the two main meals, for 6 months, and found that *psyllium* is effective for individuals who need to reduce cardiovascular risk factors, such as hypercholesterolemia, hypertriglyceridemia, hyperglycemia, and hypertension.

Gibb et al. (2015) analyzed 35 studies from 1981 to 2011 on the effect of *psyllium* on glycemic control in patients with type 2 diabetes mellitus and reported an effective decrease in fasting and postprandial blood glucose concentrations when *psyllium* was administered before meals.

Similarly, Feinglos, Gibb, Ramsey, Surwit, & McRorie (2013) investigated the effects of *psyllium* intake on glycemic regulation in 90 patients diagnosed with type 2 diabetes mellitus, age from 36 to 80 years, for 12 weeks. The patients consumed *psyllium* twice daily, before breakfast and dinner. One group consumed 6.8 g and the other group consumed 13.6 g per day. The results showed that both dosages were effective in reducing glycemic levels when

compared to the placebo, for both fasting glycemic levels and HbA1c (glycated hemoglobin) levels.

A similar study was carried out by Abutair et al. (2016) with 40 type 2 diabetes mellitus patients, aged 35 years, for 8 weeks. The participants were instructed to consume 3.5g *psyllium* diluted in 100 mL water, 15 minutes before lunch and dinner, totaling 7 g *psyllium* per day. The result showed a reduction in glycemic rates in both fasting glycemia and HbA1c rates. The low HbA1c level indicated that glycemia was well controlled over the past few months. The soluble fiber of *psyllium* deserves attention as it is a potential supplement for use in the control of type 2 diabetes, with positive results in a short period of time.

Ricklefs-Johnson, Johnston, & Sweazea (2017) studied the effect of the *psyllium* consumption on weight reduction and improvement of glycemic and lipid regulation when compared to flaxseed consumption. For the study, 19 adult patients diagnosed with type 2 diabetes mellitus were divided into two groups: one group consumed 9 g *psyllium* per day and the other group 28 g flaxseed per day for 8 weeks (28 g flaxseed contains the same amount of soluble fiber than in 9 g *psyllium*). The participants were instructed to distribute the fiber dosage throughout the day. Both groups obtained a significant reduction in waist circumference without reducing body weight, however, with no significant reductions in glycemic and lipid levels, probably due to the sample size and the lower dosage administered.

When comparing the studies by Ricklefs-Johnson et al.(2017) and Anderson et al. (1999), the sample size was smaller than the other studies, with no differences for the duration and dosage (Abutair et al., 2016; Feinglos et al., 2013). Ricklefs-Johnson et al. (2017) did not report how the fibers were consumed by the participants, which may have affected the results. The authors instructed to distribute the amount of fiber throughout the day, while in other studies the fiber intake was divided into two doses before meals, while Anderson et al. (1999) and Abutair et al. (2016) recommended the dilution of *psyllium* in water.

5.3 Effect on obesity and satiety

Obesity and overweight are associated with increased adipose tissue mass and predispose to insulin resistance, which is associated with diabetes (Farag & Gaballa, 2011; Maury & Brichard, 2010). *Psyllium* has presented consistent results in the search for natural products that can contribute to weight loss and increased (Brum, Gibb, Peters, & Mattes, 2016; Galisteo et al., 2010; Nouredin, Mohsen, & Payman, 2018).

A study with 12 healthy volunteers weighing, at least ,10% more than the ideal body weight, demonstrated that the intake of 10.8 g *psyllium* along with 100 mL water for 8 days showed a delay in gastric emptying, increased the sensation of satiety, and decreased hunger when compared to placebo. The authors reported that the delayed gastric emptying increased the duration of gastric distension, which can explain the sensation of prolonged satiety (Bergmann, Chassany, Petit, Triki, Caulin, & Segrestaa, 1992).

Brum et al. (2016) investigated the effects of *psyllium* on satiety when compared to placebo, suggesting the ingestion of 3 different doses before breakfast, lunch, and dinner for 3 consecutive days, using a group of 19 healthy men and 11 healthy women. The *psyllium* dosages were 3.4 g, 6.8 g, and 10.2 g, respectively, consumed together with drinking water, before meals. All individuals were exposed to all treatments, and the treatment periods were separated by 4 days. Satiety assessments were performed before and after meals and every 30 minutes for 4 hours. The authors reported that the satiety efficacy followed a trend from the higher to the lower dosage (10.2 g > 6.8 g > 3.4 g), with no significant differences for the dosages 10.2 g and 6.8 g. The authors stated that pre-meal supplementation of *psyllium* was well tolerated and significantly affected satiety, reducing hunger, increasing fullness, and reducing the desire to snack between meals.

Another study investigated the satiety and body weight loss of 200 overweight and obese individuals, male and female, aged 18-70 years, for 16 weeks in a double-blind placebo-controlled trial. The effect of the ingestion of a blend of fibers (3 g *psyllium* and 1g glucomannan) and placebo, both diluted in 150 mL water and administered 10 minutes before meals, was evaluated. Weight loss was progressive and constant, without weight recovery at the end of the study. Postprandial satiety increased with the consumption of fiber blend when compared to placebo (Salas-Salvado et al., 2008).

The effectiveness of *psyllium* in weight loss was also verified in a study with obese rats. Rats that ingested the *psyllium*-supplemented diet for 10 weeks lost weight, decreased lipid production and accumulation in the liver when compared to placebo (Zarzuolo et al., 2010).

The loss of body weight was also verified in 51 patients with type 2 diabetes and chronic constipation, who were instructed to consume cookies with the addition of *psyllium* for 12 weeks. Each cookie contained 2.5 g *psyllium* and 55.5 kcal, and the cookie control had 56.4 kcal. The patients were randomized into two groups, each group consuming two cookies together with water or tea, twice a day (morning and afternoon) totaling 10 g *psyllium* per day. Participants consuming the cookie with *psyllium* were more likely to reduce body weight when

compared to the group that consumed the placebo cookie (Noureddin, Mohsen, J., & Payman, 2018).

6. Use of *psyllium* in food products

The consumer's concern with health has led to an increasing demand for functional products, which has induced the food industry to develop products with health benefits (El Khoury et al., 2012; Küster-Boluda & Vidal-Capilla, 2017). The permanence of a functional product in the market depends on the sensory acceptance by the consumer (Ares, Giménez, & Gámbaro, 2008; Kearney, 2010).

A survey with 333 participants revealed that consumers have an interest in consuming functional foods, and the companies seeking to produce functional foods should encourage the consumers' preferences by advertisements and marketing campaigns (Küster-Boluda & Vidal-Capilla, 2017).

Although fibers have stood out among the functional foods due to its health benefits, it is little consumed around the world, which should be encouraged as a way to prevent diseases (Slavin, 2013).

Studies have shown that the functional properties of *psyllium* coupled with its gel-forming ability make *psyllium* a promising ingredient to be incorporated into food products. The food made with the addition of *psyllium* presents fibers containing appeal, which can be an important advantage in the market (Fradinho, Nunes, & Raymundo, 2015). According to Bernstein, Titgemeier, Kirkpatrick, Golubic, & Roizen (2013), the addition of *psyllium* to food products may allow consumers to ingest adequate amounts of fiber without increasing the calorie intake, as well as contributing to other health benefits such as cholesterol control, glycemic control, satiety, among others (Brum et al., 2016; Gibb et al., 2015; Solá et al., 2010).

Studies on the addition of *psyllium* to food products have been carried out in recent years and have aroused considerable interest in baking goods such as biscuits, gluten-free bread, and cakes (Beikzadeh, Peighamardoust, Beikzadeh, Javar-Abadi, & Homayouni-Rad, 2016; Cappa, Lucisano, & Mariotti, 2013; Ladjevardi, Gharibzahedi, & Mousavi, 2015; Raymundo, Fradinho, & Nunes, 2014; Zandonadi, Botelho, & Araújo, 2009).

Raymundo et al. (2014) investigated the incorporation of *psyllium* in biscuits at concentrations of 3 to 15% as a substitute for flour and the following changes were observed: with the addition of *psyllium* the cookie darkened, fiber and ash contents increased and protein decreased. A reduction in water activity was noted which could lead to increase of shelf life.

The authors reported that concentrations higher than 10% of *psyllium* addition brought technological restrictions mainly due to the rheological characteristics of the dough, due to the high fiber content it was not possible to shape the cookies. Biscuits with up to 9% psyllium added have promising market potential and may be an alternative for the inclusion of fiber in the diet. At these concentrations the product could receive label information on health claims.

Fradinho et al. (2015) also produced cookies with the addition of psyllium in concentrations of 3 to 9%. The authors reported that the incorporation of psyllium showed an increase in ash content and a decrease in proteins, the cookie thickness was increased and this may be a result of psyllium's ability to retain water. Finally, another change was observed, the decrease in diameter after cooking which may have been due to psyllium's ability to form gel. As for texture parameters, it is observed that the firmness increases with the incorporation of psyllium. The best sensorial acceptance was obtained with 6% psyllium and 50% flour, with the possibility of including health claims on the product label as recommended by the FDA.

Cappa et al. (2013) studied the effect of psyllium and beet fiber on gluten-free bread. The fibers were used in combination as follows: (A) 2.5% psyllium + 0.5% beet fiber; (B) 1.5% psyllium + 1.5% beet fiber. The combined fibers comprised 3% of the total flour. The authors used different amounts of water and analyzed the results after baking. The formulation with psyllium presented a better dough development due to its affinity with water, and a better conservation after 3 days. The concentration of 2.5% psyllium exhibited a better bread quality. The use of fiber positively affected the texture, providing a soft and moist dough. According to the authors, the addition of psyllium may be an interesting alternative in the preparation of gluten-free bread, however, it is necessary to add an adequate amount of water to prevent hardening of the dough and to produce a gluten-free bread with a desirable quality.

Zandonadi et al. (2009) studied the sensory acceptance of gluten-free bread made with the addition of psyllium, using a group of 35 celiac individuals and 35 non-celiac individuals. The wheat flour substitutes were psyllium (3.08%), rice cream (18.56%), corn starch (33.22%), and potato starch (45.14%). Bread was 93% accepted by the celiac individuals and 97% by the non-celiac individuals. Concerning the physicochemical parameters, bread presented reduced energy values and fat, thus psyllium can be used to replace gluten in foods.

In their study, Fratelli, Muniz, Santos, & Capriles (2018) showed that psyllium can be used to improve the dietary fiber content and glycemic response of gluten-free bread without compromising its physical properties and sensory acceptability. The addition of psyllium has improved manual modeling, volume, appearance, and texture. The authors reported that it is

possible to add 17.14% *psyllium* and 117.86% water to obtain an acceptable gluten-free bread, with a fourfold increase in fiber content and a 33% decrease in glycemic response compared with the control formulation. Promising results have been reported by Pejcz, Wojciechowicz-budzisz, & Gil (2018) when incorporating *psyllium* in bread making, among them, the increase in protein content and greater potential in the antioxidant activity of bread.

Brennan, Derbyshire, Brennan, & Tiwari (2012) investigated the potential of *psyllium* added in extruded snack foods and the reduction of postprandial blood glucose. The *psyllium* bran was incorporated at a concentration of 15% in relation to flour and according to results presented this amount of *psyllium* showed benefits in glucose reduction for more than 120 minutes compared to the control. With this result the authors indicate the use of *psyllium* as a potential fiber for the reduction in postprandial glucose level in extruded products. The authors did not report whether the addition of *psyllium* had any impact on the physical properties, composition or acceptability of these products.

In studies by Zbikowska, Kowalska, & Pieniowska (2018), *psyllium* was used as a partial fat substitute in cookie making and the addition of 3 and 5% increased its hardness and reduced its sensory quality. The addition of *psyllium* may present changes in physical characteristics and acceptance of food products and in some cases adjusting the percentage of added *psyllium* may improve such characteristics and promote acceptance (Beikzadeh, Peighamardoust, Beikzadeh, Javar-Abadi, & Homayouni). Rad, 2016; Cappa, Lucisano, & Mariotti, 2013; Pandey, Koruri, Chowdhury, & Bhattacharya, 2016).

Beikzadeh et al. (2016) analyzed the effects of the addition of *psyllium* on cake making, using the following concentrations for 100 g wheat flour 2.5; 5.0; 7.5; 10.0; 12.5 and 15.0 g. The increase in *psyllium* concentration led to a reduction in cake volume, due to the water retention by the soluble fibers of *psyllium*. The increase in water absorption led to an increase in dough viscosity, affecting the air expansion, causing a decrease in cake volume, which was observed for the formulations containing $\geq 7.5\%$ *psyllium*. A better sensory acceptance was observed for the samples containing 5% *psyllium*.

Gupta, Milind, Jeyarani, & Rajiv (2015) prepared a more nutritious pizza base partially replacing wheat flour with isolated soy protein (10%) and *psyllium* (5%), but the overall quality of the dough was not satisfactory requiring the addition of additives that improved the dough and thus produced a product of acceptable quality. The addition of *psyllium* contributes to the increase in fiber content.

As reported in some studies the addition of psyllium may present some challenges regarding physical properties (texture and color) and sensory acceptance, but with the adjustment in psyllium addition ratios or the use of additives it is possible to produce higher quality food products. as their addition contributes to fiber increase (Bernstein, Titgemeier, Kirkpatrick, Golubic, & Roizen, 2013; Fradinho, Nunes, & Raymundo, 2015; Gupta et al., 2015). Another issue important to highlight is that in order a psyllium added food product includes a health claim on the label, it must have a minimum amount required by regulatory bodies (Brazil, 1999; FDA, 2012).

Figueroa & Genovese (2019) produced fruit jellies enriched with 3 g fiber per 100 g product. At this concentration the product may contain the declaration as a source of fiber. The fibers used were apple, bamboo, psyllium and wheat and had a significant effect on viscoelastic and mechanical properties, color and syneresis. Psyllium-enriched jelly was the only sample that showed no syneresis, but its acceptance was undesirable due to gum consistency. For the production of a jelly with acceptable characteristics, a combination of fibers (apple + psyllium, bamboo + psyllium and wheat + psyllium) was carried out and finally obtained a product with acceptable attributes such as strength, texture, stability, appearance and taste of the gel. In this study, psyllium had the benefit of preventing water loss in the product (syneresis) and contributed to the increase in fiber content.

Psyllium has also been used in products from animal sources, such as yogurt and sausages. Ladjevardi et al. (2015) used PHG (Psyllium Husk gum) in the formulation of low-fat yogurt, and found an excellent sensory acceptance, with maximum firmness, viscosity, and ideal pH for the yogurts formulated with 0.12% PHG and 0.63% fat. The authors reported that an increase in PHG concentration markedly improved the firmness and viscosity, and greatly reduced syneresis. The sensory evaluation revealed that the yogurts manufactured with 0.12% PHG presented higher scores for the attributes aroma, texture, and overall impression when compared to the control, with no significant difference among them.

Pandey, Koruri, Chowdhury, & Bhattacharya (2016) investigated the amount of psyllium to be incorporated into yogurt without affecting the quality and acceptance of the final product. The authors found a higher supply of fiber at the concentration of 0.7% psyllium, but the sensory acceptance test showed a greater overall acceptance of the yogurt containing 0.5% psyllium, with a decrease in pH and acidity throughout the refrigerated storage (0-3 °C).

Osheba, Hussien, & El-Dashlouty (2013) evaluated the effects of the addition of vegetable colloids extracts (*psyllium*, carob seed, and orange albedo) in meat sausage when

compared to the pectin extract, concerning the quality attributes of the product. To prepare the *psyllium* gel, 95 mL water and 5 g *psyllium* was heated at 80 °C for 2 hours and cooled to room temperature, and 15% of this gel was used in the sausage formulation. The sausage was stored for 6 months at -18 °C. The formulation with *psyllium* showed good results for phenolic compounds and flavonoids, with values of 234.01, 37.67, 12.01 mg/100 g for cholchecien, catechol, and pyrogallol, respectively. The total flavonoids were 536.46 mg/100 g, and hesperidin was the main flavonoid compound, with 442.40 mg/100 g. The authors reported that the production of sausage with the addition of colloids brings benefits to the quality attributes, and especially *psyllium* may have a therapeutic effect due to its pronounced levels of polyphenols and flavonoids.

The great advantage of incorporating *psyllium* into foods is that it does not change the flavor of the final product. Its palatable fiber can easily be added to food products, and play an important role in the prevention of cardiovascular diseases (De Bock et al., 2012). Ribas, Cunha, Sichieri, Carlos, & Santana da Silva (2015) reported that foods containing *psyllium* may be a valuable resource for maintaining low LDL concentrations in the body.

The physicochemical and biological properties of *psyllium* can be changed using some techniques of chemical modifications such as hydroxypropylation, sulfation and succinylation which result in new *psyllium* derivatives with improved properties for functional food use (Liu, Xie, et al. ., 2010; Liu, Zhang, et al., 2010; Niu et al., 2012).

Hydroxypropylation and sulfation of *psyllium* can improve its physicochemical and functional properties without reducing its beneficial effects. These modifications reduce the gelling properties of *psyllium*, increasing in vitro the capacity of binding to the bile acid which may have a stronger activity to reduce cholesterol. Reduction in gelling capacity occurs due to sulfation and hydroxypropylation of *psyllium* alter arabinoxylan structure (Liu, Xie, et al., 2010, Liu, Zhang, et al., 2010).

Niu et al. (2012) investigated the effects of succinylation on the physicochemical, functional and health potential properties of *psyllium*. The authors suggested that a certain degree of *psyllium* succinyl substitution could improve bile acid binding properties. The study showed that *psyllium* modified by succinylation technique can decrease plasma LDL cholesterol levels and that the amount to be used of chemically modified *psyllium* would be lower than unmodified *psyllium* and this would have less influence on sensory and physicochemical properties of food.

Another study reported the effects of sulphation, hydroxypropylation and succinylation on *psyllium* gelling, water uptake, swelling and bile acid binding capacities and all three derivatization methods reduced *psyllium* gelling and swelling capabilities and increased water uptake and bile acid binding compared to the original *psyllium*. When bile acid absorption is increased in the body, it promotes the conversion of cholesterol to bile acids, reducing total and LDL cholesterol levels, contributing to the reduction of the risk of cardiovascular disease (Niu et al., 2013).

It is worth mentioning that the industrial processing of food can interfere with the benefits of fiber. Many health benefits are only achieved with the high viscosity of *psyllium* fiber, i.e., the benefits depend on the gel formation, thus it is necessary to consider whether the food production process (extrusion, heat, pressure) can attenuate its efficiency (McRorie & McKeown, 2017).

7. Concluding remarks

Psyllium may play an important role in the food industry, once its incorporation into food products can bring health (cholesterol control, glycemic control and satiety) and technological benefits, including the sensory acceptability and high fiber content of the products. The ability of *psyllium* to bind with water is an advantage in the production of gluten-free products and low-fat meat products. It is worth mentioning that these products can receive health claim due to the benefits of decreasing fat absorption. However, more research is needed in order to evaluate the variables of industrial production processes that can affect the benefits of *psyllium* industrial food products.

Acknowledgments

This study was financed in part by the Coordination of Improvement of Higher Education Personnel - Brazil (CAPES) e National Council for Scientific and Technological Development (CNPQ) - FinanceCode 001.

References

- Abutair, A. S., Naser, I. A., & Hamed, A. T. (2016). Soluble fibers from *psyllium* improve glycemic response and body weight among diabetes type 2 patients (randomized control trial). *Nutrition Journal*, 1–7. <https://doi.org/10.1186/s12937-016-0207-4>
- Alabaster O, Tang ZC, Frost A, Shivapurkar N. (1993) Potential synergism between wheat bran and *psyllium*: enhanced inhibition of colon cancer. *Cancer Letters*, 75(1):53-8.
- Alleleyn, A. M. E., Van Avesaat, M., Troost, F. J., & Masclee, A. A. M. (2016). Gastrointestinal nutrient infusion site and eating behavior: Evidence for a proximal to distal gradient within the small intestine? *Nutrients*, 8(3). <https://doi.org/10.3390/nu8030117>
- Anderson, J. W., Allgood, L. D., Turner, J., Oeltgen, P. R., & Daggy, B. P. (1999). Effects of *psyllium* on glucose and serum lipid responses in men with type 2 diabetes and hypercholesterolemia 1 – 3, 466–473.
- Anderson, J. W., Allgood, L. D., Lawrence, A., Altringer, L. A., Jerdack, G. R., Hengehold, D. A., & Morel, J. G. (2000). Cholesterol-lowering effects of *psyllium* intake adjunctive to diet therapy in men and women with hypercholesterolemia: meta-analysis of 8 controlled trials. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 71(2), 472–9. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10648260>
- Anderson, J. W., Baird, P., Jr, R. H. D., Ferreri, S., Knudtson, M., Koraym, A., Williams, C. L. (2009). Health benefits of dietary fiber, 67(4), 188–205. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2009.00189.x>
- Ares, G., Giménez, A., & Gámbaro, A. (2008). Uruguayan consumers' perception of functional foods. *Journal of Sensory Studies*, 23(5), 614–630. <https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.2008.00176.x>
- Bahmani M, Mirhosseini M, Fasihzadeh S, Karimian P, Rafieian-Kopaei M. (2016). Plantago: A plant for internists. *Der Pharma Chemica*, 8(2):84-91
- Beikzadeh, S., Peighambardoust, S. H., Beikzadeh, M., Javar-Abadi, M. A., & Homayouni-Rad, A. (2016). Effect of *psyllium* husk on physical, nutritional, sensory, and staling properties of dietary prebiotic sponge cake. *Czech Journal of Food Sciences*, 34(6), 534–540. <https://doi.org/10.17221/551/2015-CJFS>
- Bergmann, J. F., Chassany, O., Petit, A., Triki, R., Caulin, C., & Segrestaa, J. M. (1992). Correlation between echographic gastric emptying and appetite: influence of *psyllium*. *Gut*, 33(8), 1042–1043. <https://doi.org/10.1136/gut.33.8.1042>
- Bernaude, FSR., Rodrigues, TC. (2013). Fibra alimentar-Ingestão adequada e efeitos sobre a saúde do metabolismo. *Arquivo brasileiro de endocrinologia & metabologia*, 57/6.
- Bernstein, A. M., Titgemeier, B., Kirkpatrick, K., Golubic, M., & Roizen, M. F. (2013). Major cereal grain fibers and *psyllium* in relation to cardiovascular health. *Nutrients*, 5(5), 1471–1487. <https://doi.org/10.3390/nu5051471>
- Bijkerk CJ, Muris JWM, Knottnerus JA, Hoes AW, De Wit, NJ. (2004) Systematic review: the role of different types of fibre in the treatment of irritable bowel syndrome. *Aliment Pharmacol Ther*, 19: 245–251. doi: 10.1111/j.0269-2813.2004.01862.x

- Board N (2003). *Plantago ovata* Forsk.: Cultivation (Chapter 23). In: Herbs cultivation and their utilization by N. Board. Asia Pacific Business Press Inc. *Delhi-India*, pg 218-228.
- Brasil. Resolução nº 18, de 30 de abril de 1999. Aprova o Regulamento Técnico que Estabelece as Diretrizes Básicas para Análise e Comprovação de Propriedades Funcionais e ou de Saúde Alegadas em Rotulagem de Alimentos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 03 nov. 1999.
- Brasil. Ministério da Saúde e Anvisa. (2014). MONOGRAFIA DA ESPÉCIE *Plantago ovata* FORSSK (*Psyllium*), 5, 54.
- Brasil (2019). Available in: <https://www.smerp.com.br/anvisa/?ac=prodDetail&anvisaId=1063902050031>
- Bukhsh E, Malik SA, D Ahmad, SS (2007). estimation of nutritional value and trace elements content of *Carthamusoxycantha*, *Eruca sativa* and *Plantago ovata*. *Pak. J. Bot.*, 39(4): 1181-1187, 2007.
- Brum, J. M., Gibb, R. D., Peters, J. C., & Mattes, R. D. (2016). Satiety effects of *psyllium* in healthy volunteers. *Appetite*, 105, 27–36. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2016.04.041>
- Brennan, M. A., Derbyshire, E. J., Brennan, C. S., & Tiwari, B. K. (2012). Impact of dietary fibre-enriched ready-to-eat extruded snacks on the postprandial glycaemic response of non-diabetic patients. *Molecular Nutrition and Food Research*, 56(5), 834–837. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201100760>
- Cappa, C., Lucisano, M., & Mariotti, M. (2013). Influence of *Psyllium*, sugar beet fibre and water on gluten-free dough properties and bread quality. *Carbohydrate Polymers*, 98(2), 1657–1666. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.08.007>
- Cicero, A. F. G., Derosa, G., Bove, M., Imola, F., Borghi, C., & Gaddi, A. V. (2010). *Psyllium* improves dyslipidaemia, hyperglycaemia and hypertension, while guar gum reduces body weight more rapidly in patients affected by metabolic syndrome following an AHA Step 2 diet. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 3(1), 47–54. <https://doi.org/10.1007/s12349-009-0056-1>
- Commission Regulation (EC) (2006). Commission Regulation (EC) 1924/2007 of 20 December 2006 on nutrition and health claims made on foods.
- De Bock, M., Derraik, J. G. B., Brennan, C. M., Biggs, J. B., Smith, G. C., Cameron-Smith, D., Wall CR & Cutfield, W. S. (2012). *Psyllium* supplementation in adolescents improves fat distribution & lipid profile: A randomized, participant-blinded, placebo-controlled, crossover trial. *PLoS ONE*, 7(7). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0041735>
- Dhar MK, Kaul S, Sareen S, Koul AK. (2005). *Plantago ovata*: Genetic diversity, cultivation, utilization and chemistry. *Plant Genetic Resources* 3(02):252 – 263. doi: 10.1079/PGR200582.
- Ellingsgaard, H., Hauselmann, I., Schuler, B., Habib, A. M., Baggio, L. L., Meier, D. T., Eppler E, Bouzakri K, Wueest S, Muller YD, Hansen AM, Reinecke M, Konrad D, Gassmann M, Reimann F, Halban PA, Gromada J, Drucker DJ, Gribble FM, Ehses JA & Donath MY (2011). Interleukin-6 enhances insulin secretion by increasing glucagon-like peptide-1 secretion from L cells and alpha cells. *Nature Medicine*, 17(11), 1481–1489.

<https://doi.org/10.1038/nm.2513>

- El Khoury, D., Cuda, C., Luhovyy, B. L., & Anderson, G. H. (2012). Beta glucan: Health benefits in obesity and metabolic syndrome. *Journal of Nutrition and Metabolism*, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/851362>
- European Medicines Agency (EMA). Committee on Herbal Medicinal Products (HMPC).(2013). Assessment report on *Plantago ovata* Forssk., seministegumentum. EMA/HMPC/199775/2012. http://www.ema.europa.eu/docs/en_GB/document_library/Herbal_-_HMPC_assessment_report/2013/07/WC500146506.pdf
- Farag, Y. M. K., & Gaballa, M. R. (2011). Diabesity: An overview of a rising epidemic. *Nephrology Dialysis Transplantation*, 26(1), 28–35. <https://doi.org/10.1093/ndt/gfq576>
- FDA (2012) CFR - Code of Federal Regulations, Title 21.<http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=101.81>. Accessed 21 de julho de 2017.
- Feinglos, M. N., Gibb, R. D., Ramsey, D. L., Surwit, R. S., & McRorie, J. W. (2013). *Psyllium* improves glycemic control in patients with type-2 diabetes mellitus. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 1(2), 156–161. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2013.02.003>
- Fernandez-martinez, M. N., Hernandez-echevarria, L., Sierra-vega, M., Diez-liebana, M. J., Calle-pardo, A., Carriedo-ule, D., Garcia-vieitez, J. J. (2014). A randomised clinical trial to evaluate the effects of *Plantago ovata* husk in Parkinson patients : changes in levodopa pharmacokinetics and biochemical parameters, 1–10.
- Figuroa, L. E., & Genovese, D. B. (2019). Fruit jellies enriched with dietary fibre: Development and characterization of a novel functional food product. *Lwt*, 111(May), 423–428. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.031>
- Fradinho, P., Nunes, M. C., & Raymundo, A. (2015). Developing consumer acceptable biscuits enriched with *Psyllium* fibre. *Journal of Food Science and Technology*, 52(8), 4830–4840. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1549-6>
- Fratelli, C., Muniz, D. G., Santos, F. G., & Capriles, V. D. (2018). Modelling the effects of *psyllium* and water in gluten-free bread : An approach to improve the bread quality and glycemic response. *Journal of Functional Foods*, 42(February), 339–345. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.01.015>
- Galisteo, M., Morón, R., Rivera, L., Romero, R., Anguera, A., & Zarzuelo, A. (2010). *Plantago ovata* husks-supplemented diet ameliorates metabolic alterations in obese Zucker rats through activation of AMP-activated protein kinase. Comparative study with other dietary fibers. *Clinical Nutrition*, 29(2), 261–267. <https://doi.org/10.1016/J.CLNU.2009.08.011>
- Ganji, V., & Kuo, J. (2008). Serum lipid responses to *psyllium* fiber : differences between pre- and post-menopausal , hypercholesterolemic women, 5, 1–5. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-7-22>

- Giacco, R., Costabile, G., & Riccardi, G. (2016). Metabolic effects of dietary carbohydrates: The importance of food digestion. *Food Research International*, 88, 336–341. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.10.026>
- Gibb, R. D., Jr, J. W. M., Russell, D. A., Hasselblad, V., & Alessio, D. A. D. (2015). *Psyllium* fiber improves glycemic control proportional to loss of glycemic control : a meta-analysis of data in euglycemic subjects , patients at risk of type 2 diabetes mellitus , and patients being treated, 1604–1614. <https://doi.org/10.3945/ajcn.115.106989.1>
- Guo, Q., Cui, S. W., Wang, Q., & Christopher Young, J. (2008). Fractionation and physicochemical characterization of *psyllium* gum. *Carbohydrate Polymers*, 73(1), 35–43. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.11.001>
- Gupta, C. Sen, Milind, Jeyarani, T., & Rajiv, J. (2015). Rheology, fatty acid profile and quality characteristics of nutrient enriched pizza base. *Journal of Food Science and Technology*, 52(5), 2926–2933. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1338-2>
- Gupta R(1991) Agrotechnology of Medicinal Plants. In: The medicinal plant industry. R.O.B. Wifsekera. CRS Press.
- Haddadian K, Haddadian K, Zahmatkash M (2014). A review of *Plantago* plant. *Indian Journal of traditional knowledge* 13: 681-685.
- Institute of Medicine. (2005). *Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids (Macronutrients)*. <https://doi.org/10.17226/10490>
- Kaczmarczyk, M. M., Miller, M. J., & Freund, G. G. (2012). The health benefits of dietary fiber: Beyond the usual suspects of type 2 diabetes mellitus, cardiovascular disease and colon cancer. *Metabolism: Clinical and Experimental*, 61(8), 1058–1066. <https://doi.org/10.1016/j.metabol.2012.01.017>
- Kearney, J. (2010). Food consumption trends and drivers. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1554), 2793–2807. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0149>
- Khaliq, R., Tita, O., Antofie, M. M., & Sava, C. (2015). Industrial Application Of *Psyllium*: An Overview. *ACTA Universitatis Cibiniensis*, 67(1), 210–214. <https://doi.org/10.1515/aucts-2015-0092>
- Kotwal, S., Kaul, S., & Dhar, M. K. (2019). Industrial Crops & Products Comparative expression analysis of flavonoid biosynthesis genes in vegetative and reproductive parts of medicinally important plant , *Plantago ovata* Forssk. *Industrial Crops & Products*, 128(October 2018), 248–255. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.11.016>
- Küster-Boluda, I., & Vidal-Capilla, I. (2017). Consumer attitudes in the election of functional foods. *Spanish Journal of Marketing - ESIC*.
- Ladjevardi, Z. S., Gharibzahedi, S. M. T., & Mousavi, M. (2015). Development of a stable low-fat yogurt gel using functionality of *psyllium* (*Plantago ovata* Forsk) husk gum. *Carbohydrate Polymers*, 125, 272–280. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.02.051>
- Lambeau, K. V., & McRorie, J. W. (2017). Fiber supplements and clinically proven health

benefits: How to recognize and recommend an effective fiber therapy. *Journal of the American Association of Nurse Practitioners*, 29(4), 216–223. <https://doi.org/10.1002/2327-6924.12447>

Liu, W., Xie, Z. H., Zhang, B. C., Wang, Q., Yao, W. B., Gao, X. D., et al. (2010). Effects of hydroxypropylation on the functional properties of *psyllium*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(3), 1615–1621.

Liu, W., Zhang, B., Wang, Q., Xie, Z. H., Yao, W. B., Gao, X. D., et al. (2010). Effects of sulfation on the physicochemical and functional properties of *psyllium*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(1), 172–179.

Lu, Z. X., Walker, K. Z., Muir, J. G., Mascara, T., & O’Dea, K. (2000). Arabinoxylan fiber, a byproduct of wheat flour processing, reduces the postprandial glucose response in normoglycemic subjects. *American Journal of Clinical Nutrition*, 71(5), 1123–1128.

Majid, S., & Zare-mohazabieh, F. (2018). ScienceDirect Antiulcer and hepatoprotective effects of aqueous extract of *Plantago ovata* seed on indomethacin- ulcerated rats. *Biomedical Journal*, 41(1), 41–45. <https://doi.org/10.1016/j.bj.2018.01.001>

Marciani, L., Gowland, P. A., Spiller, R. C., Manoj, P., Moore, R. J., Young, P., Al-Sahab S, Bush D, Wright J Fillery-Travis, A. J. (2000). Gastric response to increased meal viscosity assessed by echo-planar magnetic resonance imaging in humans. *J Nutr*, 130(1), 122–127. Retrieved from http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?cmd=Retrieve&db=PubMed&dopt=Citation&list_uids=10613778

Marlett, J., & Fischer, M. (2001). Unfermented gel fraction from *psyllium* seed husks. US Patent 6,287,609, 1(12). Retrieved from <http://www.google.com/patents/US6287609>

Marlett JA, Fischer MH(2002). A Poorly Fermented Gel from *Psyllium* Seed Husk Increases Excreta Moisture and Bile Acid Excretion in Rats. *The Journal of Nutrition* 132: 2638–2643, 2002.

Masood R, Miraftab M. (2010). *Psyllium*: current and future applications. *Medical and Healthcare Textiles*. 244-253.doi: 10.1533/9780857090348.244

McRorie, J. W. (2015). Evidence-Based Approach to Fiber Supplements and Clinically Meaningful Health Benefits, Part 1. *Nutrition Today*, 50(2), 82–89. <https://doi.org/10.1097/NT.0000000000000082>

McRorie, J. W., & McKeown, N. M. (2017). Understanding the Physics of Functional Fibers in the Gastrointestinal Tract: An Evidence-Based Approach to Resolving Enduring Misconceptions about Insoluble and Soluble Fiber. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 117(2), 251–264. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2016.09.021>

Maury, E., & Brichard, S. M. (2010). Adipokine dysregulation, adipose tissue inflammation and metabolic syndrome. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 314(1), 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.mce.2009.07.031>MEXT. (2015). *Standard Tables of Food Composition in Japan*.

Michlmayr, H., Hell, J., Lorenz, C., Böhmendorfer, S., Rosenau, T., & Kneifel, W. (2013).

- Arabinoxylan oligosaccharide hydrolysis by family 43 and 51 glycosidases from *Lactobacillus brevis* DSM 20054. *Applied and Environmental Microbiology*, 79(21), 6747–6754. <https://doi.org/10.1128/AEM.02130-13>
- Niu, Y., Xie, Z., Hao, J., Yao, W., Yue, J., & Yu, L. (2012). Preparation of succinylated derivatives of *psyllium* and their physicochemical and bile acid-binding properties. *Food Chemistry*, 132(2), 1025–1032. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.090>
- Niu Yuge, Xie, Zhuohong, Zhang, Hua, Yi Sheng, Yi and Liangli (Lucy) Yu. Effects of Structural Modifications on Physicochemical and Bile Acid-Binding Properties of *Psyllium*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 2013 61 (3), 596-601
- Noureddin, S., Mohsen, J., & Payman, A. (2018). Effects of *psyllium* vs. placebo on constipation, weight, glycemia, and lipids: A randomized trial in patients with type 2 diabetes and chronic constipation. *Complementary Therapies in Medicine*, 40, 1–7. <https://doi.org/10.1016/J.CTIM.2018.07.004>
- Osheba, A. S., Hussien, S. A., & El-Dashlouty, A. A. (2013). Evaluation of some vegetal colloids on the quality attributes of beef sausage. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 5(6), 743–751.
- Panda P(2002). Cultivation and utilization of isubgol: *Plantago ovata* (Chapter 11). In: Medicinal Plants- Cultivation and their uses by H. Panda. Asia Pacific Business Press Inc. Delhi, India, pg 97-107.
- Pal, S., Ho, S., Gahler, R. J., & Wood, S. (2017). Effect on insulin, glucose and lipids in overweight/obese australian adults of 12 months consumption of two different fibre supplements in a randomised trial. *Nutrients*, 9(2). <https://doi.org/10.3390/nu9020091>
- Pal, S., Khossousi, A., Binns, C., Dhaliwal, S., & Ellis, V. (2011). The effect of a fibre supplement compared to a healthy diet on body composition, lipids, glucose, insulin and other metabolic syndrome risk factors in overweight and obese individuals. *British Journal of Nutrition*, 105(01), 90–100. <https://doi.org/10.1017/S0007114510003132>
- Pandey, A., Koruri, S. S., Chowdhury, R., & Bhattacharya, P. (2016). Prebiotic influence of plantago ovata on free and microencapsulated l . casei – growth kinetics , antimicrobial activity and microcapsules stability, 8(8).
- Patel, M. K., Mishra, A., & Jha, B. (2016). Non-targeted Metabolite Profiling and Scavenging Activity Unveil the Nutraceutical Potential of *Psyllium* (*Plantago ovata* Forsk). *Frontiers in Plant Science*, 7(April), 1–17. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00431>
- Patel, M. K., Tanna, B., Gupta, H., Mishra, A., & Jh, B. (2019). International Journal of Biological Macromolecules Physicochemical , scavenging and anti-proliferative analyses of polysaccharides extracted from *psyllium* (*Plantago ovata* Forssk) husk and seeds. *International Journal of Biological Macromolecules*, 133, 190–201. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.04.062>
- Pawar, H., & Varkhade, C. (2014). International Journal of Biological Macromolecules Isolation , characterization and investigation of *Plantago ovata* husk polysaccharide as superdisintegrant. *International Journal of Biological Macromolecules*, 69, 52–58. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.05.019>

- Pejcz, E., Wojciechowicz-budzisz, A., & Gil, Z. (2018). LWT - Food Science and Technology The effect of Plantago seeds and husk on wheat dough and bread functional properties, 96(April), 371–377. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.05.060>
- Pugazhenthii, S., Qin, L., & Reddy, P. H. (2017). Common neurodegenerative pathways in obesity, diabetes, and Alzheimer's disease. *Biochimica et Biophysica Acta - Molecular Basis of Disease*, 1863(5), 1037–1045. <https://doi.org/10.1016/j.bbadis.2016.04.017>
- Raymundo, A., Fradinho, P. P., & Nunes, M. C. (2014). Effect of *Psyllium* fibre content on the textural and rheological characteristics of biscuit and biscuit dough. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 3(2), 96–105. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2014.03.001>
- Ribas, S. A., Cunha, D. B., Sichieri, R., & Carlos, L. (2017). Effects of *psyllium* on LDL-cholesterol concentrations in Brazilian children and adolescents : a randomised , placebo-controlled , parallel clinical trial, (2015), 134–141. <https://doi.org/10.1017/S0007114514003419>
- Ribas, S. A., Cunha, D. B., Sichieri, R., Carlos, L., & Santana da Silva, L. C. (2015). Effects of *psyllium* on LDL-cholesterol concentrations in Brazilian children and adolescents: a randomised, placebo-controlled, parallel clinical trial. *British Journal of Nutrition*, 113(01), 134–141. <https://doi.org/10.1017/S0007114514003419>
- Ribeiro-Santos, R., Andrade, M., Madella, D., Martinazzo, A.P., de Aquino Garcia Moura, L., de Melo, N.R., Sanches-Silva, A. (2017). Revisiting an ancient spice with medicinal purposes: Cinnamon, *Trends in Food Science & Technology*, doi: 10.1016/j.tifs.2017.02.011.
- Ribeiro-Santos, R., Costa, D.C., Cavaleiro, C., Costa, H.S., Albuquerque, T.G., Castilho, M.C., Ramos, F., Melo, N.R., Sanches-Silva, A.(2015). A novel insight on an ancient aromatic plant: the rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.), *Trends in Food Science & Technology* , doi: 10.1016/j.tifs.2015.07.015.
- Ricklefs-Johnson, K., Johnston, C. S., & Sweazea, K. L. (2017). Ground flaxseed increased nitric oxide levels in adults with type 2 diabetes: A randomized comparative effectiveness study of supplemental flaxseed and *psyllium* fiber. *Obesity Medicine*, 5, 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.obmed.2017.01.002>
- Saghir, S., Iqbal, M. S., Hussain, M. A., Koschella, A., & Heinze, T. (2008). Structure characterization and carboxymethylation of arabinoxylan isolated from Ispaghula (*Plantago ovata*) seed husk. *Carbohydrate Polymers*, 74(2), 309–317. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.02.019>
- Salas-salvado, JordiFarre, X., Luque, X., Narejos, S., Borrell, M., & Basora, J. (2008). Effect of two doses of a mixture of soluble fibres on body weight and metabolic variables in overweight or obese patients : a randomised trial *British Journal of Nutrition*, (2008), 1380–1387. <https://doi.org/10.1017/S0007114507868528>
- Shahriari, Z., Heidari, B., & Dadkhodaie, A. (2018). Dissection of genotype × environment interactions for mucilage and seed yield in *Plantago* species: Application of AMMI and GGE biplot analyses. *PLoS ONE* (Vol. 13). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196095>

- Singh, B.(2007) *Psyllium* as therapeutic and drug delivery agent. *International Journal of Pharmaceutics* 334, 1–14. doi: 10.1016/j.ijpharm.2007.01.028
- Slavin, J. (2013). Fiber and Prebiotics: Mechanisms and Health Benefits, 1417–1435. <https://doi.org/10.3390/nu5041417>
- Solà, R., Bruckert, E., Valls, R. M., Narejos, S., Luque, X., Castro-Cabezas, M., Doménech G, Torres F, Heras M, Farrés X, Vaquer JV, Martínez JM, Almaraz MC, Anguera, A. (2010). Soluble fibre (Plantago ovata husk) reduces plasma low-density lipoprotein (LDL) cholesterol, triglycerides, insulin, oxidised LDL and systolic blood pressure in hypercholesterolaemic patients: A randomised trial. *Atherosclerosis*, 211(2), 630–637. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2010.03.010>
- Solà, R., Godàs, G., Ribalta, J., Vallvé, J.-C., Girona, J., Anguera, A., Ostos M, Recalde D, Salazar J, Caslake M, Martín-Luján F, Salas-Salvadó J & Masana, L. (2007). Effects of soluble fiber (Plantago ovata husk) on plasma lipids, lipoproteins, and apolipoproteins in men with ischemic heart disease. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 85(4), 1157–1163. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17413119>
- Talukder, P., Talapatra, S., Ghoshal, N., & Sen Raychaudhuri, S. (2016). Antioxidant activity and high-performance liquid chromatographic analysis of phenolic compounds during in vitro callus culture of Plantago ovata Forsk. and effect of exogenous additives on accumulation of phenolic compounds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(1), 232–244. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7086>
- The InterAct Consortium. (2015). Dietary fibre and incidence of type 2 diabetes in eight European countries: the EPIC-InterAct Study and a meta-analysis of prospective studies. *Diabetologia*, 58(7), 1394–1408. <https://doi.org/10.1007/s00125-015-3585-9>
- Triplitt, C., Solis-Herrera, C., Cersosimo, E., Abdul-Ghani, M., & Defronzo, R. A. (2015). Empagliflozin and linagliptin combination therapy for treatment of patients with type 2 diabetes mellitus. *Expert Opinion on Pharmacotherapy*, 16(18), 2819–2833. <https://doi.org/10.1517/14656566.2015.1114098>
- U.S. National Library of Medicine, revised in 2015, available in: <https://medlineplus.gov/druginfo/meds/a601104.html>
- Van der Aart, PJM and Vulto, JC (2012). Evolutionary status (Chapter 2.1). In Plantago: a multidisciplinary study by PJC Kuiper and M. Bos (Eds.). *Springer-Science & Business*, Berlin, Germany, pg. 4.
- Verma, A., & Mogra, R. (2013). *Psyllium* (Plantago ovata) Husk: A Wonder Food for Good Health. *International Journal of Science and Research (IJSR) ISSN (Online Index Copernicus Value Impact Factor*, 14(9), 2319–7064. Retrieved from www.ijsr.net
- Wei, Z.-H., Wang, H., Chen, X.-Y., Wang, B.-S., Rong, Z.-X., Su, B.-H., & Chen, H.-Z. (2008). Time- and dose-dependent effect of *psyllium* on serum lipids in mild-to-moderate hypercholesterolemia: a meta-analysis of controlled clinical trials. *European Journal of Clinical Nutrition*, 63(10), 821–827. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2008.49>
- Yadav N, Sharma V, Kapila S, Malik RK, Arora A. (2016) . Hypocholesterolaemic and prebiotic effect of partially hydrolysed *psyllium* husk supplemented yoghurt. *Journal of Functional Foods* 24, 351–358. doi: 10.1016/j.jff.2016.04.028

- Yi, L., Cao, J., Cao, H., & Xiao, J. (2019). Report of the 3rd International Symposium on Phytochemicals in Medicine and Food (August. *Food Chemistry*, 289(March), 671–672. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.104>
- Yu L, Lutterodt H, Cheng Z. (2009). Beneficial Health Properties of *Psyllium* and Approaches to Improve Its Functionalities. *Advances in Food and Nutrition Research*, 55: 193-220. doi: 10.1016/S1043-4526(08)00404-X
- Zandonadi, R. P., Botelho, R. B. A., & Araújo, W. M. C. (2009). *Psyllium* as a Substitute for Gluten in Bread. *Journal of the American Dietetic Association*, 109(10), 1781–1784. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2009.07.032>
- Zarzuelo, A., Galisteo, M., Morón, R., Rivera, L., Romero, R., Anguera, A., & Zarzuelo, A. (2010). Plantago ovata husks-supplemented diet ameliorates metabolic alterations in obese Zucker rats through activation of AMP-activated protein kinase. Comparative study with other dietary fibers. *Clinical Nutrition*, 29(2), 261–267. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2009.08.011>
- Zbikowska, A., Kowalska, M., & Pieniowska, J. (2018). Assessment of shortcrust biscuits with reduced fat content of microcrystalline cellulose and *psyllium* as fat replacements. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(8), 1–10. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13675>

CAPÍTULO II

Effect on sensory, nutritional and rheological characteristics in the addition of *Psyllium* (*Plantago ovata* Forsk) in frozen banana pulp

Efeito nas características sensoriais, nutricionais e reológicas da adição de *Psyllium* (*Plantago ovata* Forsk) em polpa de banana congelada

Artigo submetido para publicação

RESUMO

As frutas são fontes de nutrientes importantes para a saúde entre elas a banana é consumida por pessoas do mundo todo, porém sua perecibilidade traz muito desperdício. A produção de polpas congeladas é uma alternativa para reduzir as perdas e esse mercado está em expansão, visto que muitos consumidores preferem praticidade no preparo. Outro mercado que está em crescimento é o de produtos funcionais e o *psyllium* é uma fibra solúvel que proporciona vários benefícios, entre eles a redução do colesterol LDL, redução da glicemia, alívio da constipação. A utilização desta fibra em produtos industrializados pode contribuir para o enriquecimento nutricional dos produtos. O objetivo desta pesquisa foi desenvolver e avaliar as características sensoriais percebidas de polpa congelada de banana adicionada de diferentes concentrações de *psyllium*. Para isso quatro amostras de polpas de banana congelada adicionadas de *psyllium* nas concentrações 0%, 3%, 5% e 7% foram trituradas com leite e açúcar. As amostras foram avaliadas por meio de composição nutricional, propriedades reológicas e teste sensorial Check-All-That-Apply (CATA). Os resultados indicaram que a adição de *psyllium* à polpa apresentaram benefícios nutricionais e sensoriais. A formulação com 3% de *psyllium* foi a preferida sensorialmente e nesta concentração, no Brasil, o produto poderá receber no rótulo a alegação de saúde.

Palavras-chave: produto funcional, produto sensorial, alegação de saúde, doença crônica, colesterol.

ABSTRACT

A frozen banana pulp with functional properties was developed and characterized in this work. For this, 0 g, 3 g, 5 g and 7 g of *psyllium* in 100 g of banana pulp were added. The use of this fiber in industrialized products can contribute to the nutritional enrichment of the products and provide functional benefits already known, such as lowering LDL cholesterol, lowering blood glucose, satiety and relieving constipation. According to the World Health Organization, vegetable consumption should be increased as it reduces the risk of chronic diseases. The aim of this study was to investigate the effects of adding *psyllium* to frozen banana pulp. The samples were evaluated through physical chemical analysis, rheological properties and sensory testing with Check-All-That-Apply questions (CATA). The addition of *psyllium* had a significant effect on the viscosity, sensory and nutritional properties of the frozen banana pulp. This study indicated that the production of frozen banana pulp with *psyllium* is viable, as it has desirable nutritional and sensory characteristics, which can contribute to the maintenance of health and is easy to prepare.

Keywords: functional product, sensory product, health claim, chronic disease, cholesterol.

1. Introduction

The demand for functional products is growing due to consumers' concern with health. According to Thakur, Paika, & Singh (2020) 72 % of deaths worldwide are caused by chronic non-communicable diseases.

Healthy eating reduces the risks of illness and deaths are avoided, so there is a strong trend in the increased trade in fruits and vegetables (Mathews et al., 2017). The commercialization of frozen fruit pulps is an alternative to the consumption of fresh fruits, as their preparation is practical, has similarity in nutritional value, sensory, contributes to minimize losses due to waste in the marketing of the product in natura and increase rural household income (Carvalho, Mattietto, & Beckman, 2017). The banana (*Musa* spp.) is a very well-known fruit and consumed by people all over the world due to its nutritional and sensory properties, in Brazil the most widespread cultivar is that of the Prata group and due to its perishability it presents great post-harvest losses. Processing can contribute to the reduction of this post-harvest waste and an alternative is the production of frozen pulp, as it has a low cost (Mvumi, Matsikira, & Mutambara, 2016).

Another fast-growing market is dietary fiber as an ingredient for food and beverages, because there is a gap between the current intake and the recommended intake of dietary fiber in several countries (Augustin, Sanguansri, Fox, Cobiac, & Cole, 2020).

Psyllium is a viscous polysaccharide (fiber), a product from the seed bark of *Plantago Ovata* Forsk, which has functional health benefits such as hyperlipidemic control, relief of constipation and aids in the control of type 2 diabetes (Feinglos, Gibb, Ramsey, Surwit, & McRorie, 2013).

By promoting a reduction in cholesterol (low-density lipoprotein - LDL) rates and reducing the risk of coronary heart disease, the National Health Surveillance Agency (ANVISA), the Food and Drug Administration (FDA) authorize the health declaration on product labels. Foods that present the addition of this fiber, as long as they meet the minimum amount required, being for the FDA the consumption of 7g or more of *psyllium* per day, associated with a diet with low amount of saturated fat and cholesterol and for Brazil ANVISA determines that at least 3g of *psyllium* should contain in the daily portion of the product (Brasil, 1999; FDA, 2012).

Information on food product labels can influence consumers' purchasing decisions and health claims can help them make healthier choices (Pichierri, Pino, Peluso, & Guido, 2020).

According to Franco, Sanches-silva, Ribeiro-santos & Melo (2020) *psyllium* is a promising product for the food industry, as its addition to food products can bring technological benefits and health benefits to the consumer (cholesterol control, glycemic control and satiety) due to its fiber content.

The incorporation of *psyllium* in fruit pulps, in addition to the health benefits, promotes an increase in viscosity caused by the high water absorption capacity (Pejcz, Wojciechowicz-budzisz, & Gil, 2018), making the drink creamier, this occurs for its capacity of gelling and thickening, being an interesting attribute for drinks prepared with frozen pulps and milk (vitamins, smoothies, shake). Recent studies have used *psyllium* in several food products such as fruit jelly, biscuits, bread and yogurt to improve nutritional quality and benefit consumers' health (Figuerola & Genovese, 2019; Patrícia Fradinho, Soares, Niccolai, Sousa, & Raymundo, 2020; Fratelli, Muniz, Santos, & Capriles, 2018; Santos, Aguiar, Centeno, Rosell, & Capriles, 2020).

To date, no literature has been found on the characterization of frozen fruit pulp added with *psyllium*. The aim of this study was to investigate the effects of adding *psyllium* to frozen

banana pulp. Different concentrations were used and their effects on nutritional, sensory and rheological characteristics were studied.

2. Materials and methods

2.1 Ingredients

The bananas of the Prata variety was acquired at the stage of maturation number 6 when the peel has a uniform yellow color, according to the maturity scale developed by Von Loesecke (1950). The bananas were washed in running water to remove surface dirt from the peel and immediately after immersed in a chlorinated solution (40 mL of 2.5 % sodium hypochlorite in 5 L of water) for 15 minutes, drained, rinsed and subjected to drying natural for later removal of the peels and cut.

The *psyllium* used has 95 % purity and 80 % dietary fiber, was purchased in a market in the municipality of Iguatu/CE.

Citric acid (INS 330) and ascorbic acid (INS 300) were purchased from Pantec Additives and Ingredients, Brazil. Whole milk with 3 % fat standardization (Itambé®, Brazil) and crystal sugar (União®, Brazil) were purchased in the local market.

2.2 Pulp processing and storage

The pulps were prepared according to the Pulp Preparation Flowchart (Figure 1). Citric acid (0.2 g) and ascorbic acid (0.2 g) were added at the time of crushing in order to prevent enzymatic browning and to help preserve the product (Brasil, 2013). The pulps were packed in linear low density polyethylene plastic bags, each package contained 100 g of pulps (banana, *psyllium* and acidulants).

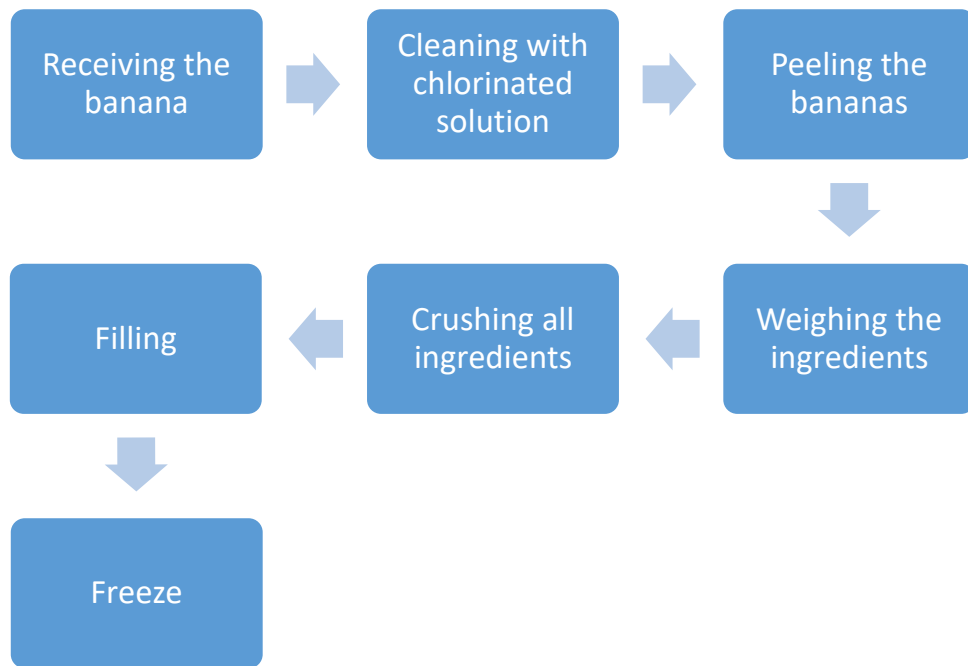


Figure 1. Flowchart for preparing the pulps.

Four pulp formulations were prepared, with concentrations of 0 g (without addition), 3 g, 5 g and 7 g of *psyllium* (Table 1) one day before the sensory evaluation and stored at -18 °C. The concentrations were chosen because 3 g is the minimum concentration per serving required by ANVISA to use the health declaration in Brazil, 7 g is the minimum concentration required by the FDA, 5 g is a median concentration between the two formulations and the concentration of 0 g was used as a control.

Table 1. Formulation of frozen banana pulps

Samples	<i>Psyllium</i>	Banana	Citric Acid	Ascorbic acid
Pulp 0	0 g	99,6 g	0,2 g	0,2 g
Pulp 3	3 g	96,6 g	0,2 g	0,2 g
Pulp 5	5 g	94,6 g	0,2 g	0,2 g
Pulp 7	7 g	92,6 g	0,2 g	0,2 g

2.3 Preparation of vitamins

For the sensory evaluation and rheological behavior, drinks were prepared with the pulp, following the ingredients and how they were prepared: frozen banana pulps with *psyllium* (100 g), fluid whole milk (200 mL) and crystal sugar (sucrose 12.5 g). All the ingredients were placed in a domestic blender (brand Arno New Faciclic with 550 W of power), crushed for 2 minutes and used immediately.

2.4 Participants

A total of 90 consumers participated in the study aged between 18 and 60 years, they were selected for their interest in consuming natural juices, fruit vitamins and products made with bananas as well as their availability to participate in the study and excluding those with allergies or intolerance to milk, fructose and people with restrictions on sucrose consumption. The consumers were students, employees and teachers at the IFCE campus Iguatu/CE. All of them signed a consent form stating that they had received the main information about the study.

Ethical approval was obtained from the ethics committee of the Federal Institute of Education, Science and Technology of Ceará (Plataforma Brasil CAAE: 96476318.7.0000.5589).

Before the sensory analysis, all pulps were analyzed microbiologically for the presence of thermotolerant coliforms and Salmonella sp., according to the criteria established by RDC No. 12 / 2001 (Brazil, 2001).

2.5 Rheological properties

The rheological behavior of the drinks prepared with the pulps was determined using a rotational rheometer of concentric cylinders type Searle by Brookfield, model R / S plus SST 2000. The drinks were prepared at the time of analysis. The measurements were made at a temperature of 25 °C. The equipment provided the data of shear stress and strain rate through the software RHEO V 2.8. The rheological analyzes were obtained by varying the strain rate from 0 to 200 s⁻¹ (upward curve) and from 200 to 0 s⁻¹ (downward curve), with a time of 1 minute and a reading of 25 points for each curve. The readings were done in triplicate and a new sample was used for each measurement. The data obtained in the rheological analysis were adjusted to the models of Newton, Ostwald-de-Waelle, Herschel Bulkley, Casson, modified Casson, Sisko, Cross and Carreau (Table 2).

Table 2. Models used to assess rheological behavior.

Model name	Code	Equation
Newton	Mod1	$\tau = \eta(\dot{\gamma})$
Ostwald-de-Waelle	Mod2	$\tau = k(\dot{\gamma})^n$
Herschel Bulkley	Mod3	$\tau = \tau_o + k_H(\dot{\gamma})^{n_H}$
Casson	Mod4	$(\tau)^{0.5} = k_{oc} + k_{cass}(\dot{\gamma})^{0.5}$
Casson modificado	Mod5	$(\tau)^{0.5} = (k_{oc})^{0.5} + k_{cass}(\dot{\gamma})^n$
Sisko	Mod6	$\tau = \mu_\infty \dot{\gamma} + K(\dot{\gamma})^n$
Cross	Mod7	$\mu = \mu_\infty + \frac{\mu_0 - \mu_\infty}{1 + (k_{cross}\dot{\gamma})^n}$
Carreau	Mod8	$\mu = \mu_\infty + (\mu_0 - \mu_\infty)[1 + k_{cass}(\dot{\gamma})^2]^{\frac{n-1}{2}}$

Where: τ = shear stress (Pa), η = is the behavior index (dimensionless), $\dot{\gamma}$ = strain rate (S⁻¹), K = consistency index (Pa.s), n = behavior index (dimensionless), σ_0 = yield strength, KH = Herschel Bulkley consistency index, = strain rate (s⁻¹), Koc = initial stress (Pa), Kcass = Casson's plastic viscosity (Pa.sn), μ = absolute viscosity, μ_0 – zero strain viscosity, μ_∞ - infinite strain viscosity.

2.6 Physical and chemical analysis

The pulps were analyzed for moisture content, ash (fixed mineral residue), proteins, total carbohydrates (total glucose in glucose) and crude fiber. To determine the nutritional composition, the analytical standards of the Adolfo Lutz Institute were used (IAL, 2008).

2.7 Sensory evaluation

The “check-all-that-apply” (CATA) methodology (Jaeger et al., 2015) was used to characterize the sensory properties of four vitamins prepared with frozen banana pulps added with different concentrations of *psyllium*.

A list of 17 terms was previously prepared by semi-trained evaluators who described the main characteristics of the samples in relation to appearance, texture, taste and smell (Ares et al., 2013). The terms selected to characterize the samples to be used in the CATA method were: light brown, white, yellowish, creamy, liquid, thick, it looks like oatmeal, slightly sweet, tasteless, tasty, banana flavor, sweet, sour, it seems fermented milk, yogurt smell, banana smell, no smell.

All were invited to taste the samples and to answer the “check-all-that-apply” (CATA) questions in which they should mark the terms that they considered appropriate to describe the samples.

The test was conducted in a separate environment and prepared with booths to allow participants to conduct the test comfortably and without distractions.

Consumers answered a questionnaire about demographics and two questions about *psyllium*, namely: whether they knew the benefits of *psyllium* and whether they had consumed *psyllium* before.

To avoid trends, the samples were presented monadically in a randomized order. The order of presentation of the terms of the CATA question was balanced within and among consumers so that each term occupied all positions on the cards the same number of times, as recommended by Ares et al. (2014).

Each consumer received approximately 30 mL of each product sample, in disposable plastic cups encoded with random three-digit numbers at a controlled room temperature (25 ± 2 °C) and answered the CATA question for each sample evaluated (Macfie et al., 1989).

At the end of the evaluation of all samples, consumers were asked to complete an equal CATA question form, marking the terms they considered to describe an ideal banana vitamin, as suggested by Bruzzone et al. (2015) and Galli, Baptista, Cavalheiro & Gigante (2019).

2.8 Data analysis

ANOVA was used to verify the difference between the samples, and where there was a difference, a Tukey test was performed using the 5% significance level. Correspondence analyzes were also carried out to assess the possible reactions of the attributes generated in the CATA question test with the samples. To describe the rheological behavior of the samples, mathematical models were tested to adjust the viscosity curves. As reported by Spies et al. (2010) R² and adjusted R² are not suitable for evaluating non-linear models. In this way, mathematical models were evaluated using the Akaike criterion (Akaike Information Criterion AIC), which assesses the model's residuals. Following the same criterion of the lower residues of the model, Root-mean-square deviation (RMSE) was also used. The models with the lowest AIC and RMSE values were considered the best. All statistical calculations were analyzed using software R (programming language for computational statistics).

3.0 Results

3.1 Rheology

After applying the mathematical models, it was observed that the Casson model was the one that had the best fit of the samples with lower values of AIC and RMSE and being considered the indicated one.

Through the rheological analysis it was possible to verify the pseudoplastic nature of the vitamins prepared with the banana pulps added with *psyllium*. Figure 2 shows the curves for the apparent viscosity of all samples, in Figure 3 are the curves of viscosity of the samples in relation to time.

As shown in Figure 2, it was verified that the slopes of the flow curves decreased with the increase in the shear rate, evidencing the decrease in apparent viscosity with the increase in the shear rate, confirming the non-Newtonian behavior with pseudoplastic flow curve ($n < 1$). According to Rao et al. (1974) banana pulp, guava, mango and papaya have non-Newtonian and pseudoplastic behavior.

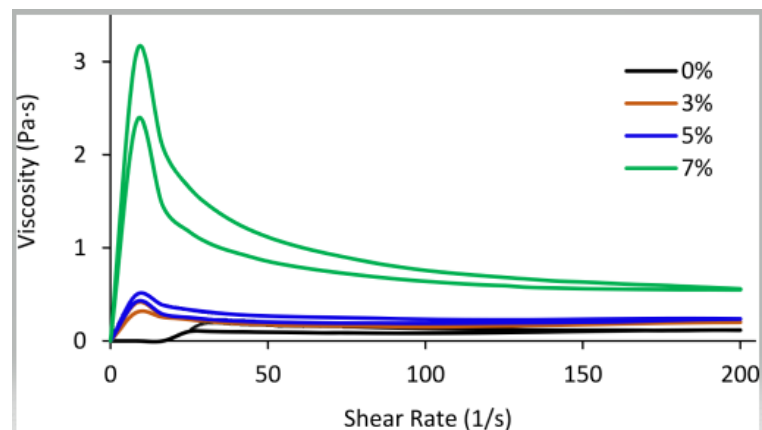


Figure 2. Curves of apparent viscosities and shear rate of vitamin samples prepared with frozen banana pulp added with *psyllium* in concentrations of 0 %, 3 %, 5 % and 7 %.

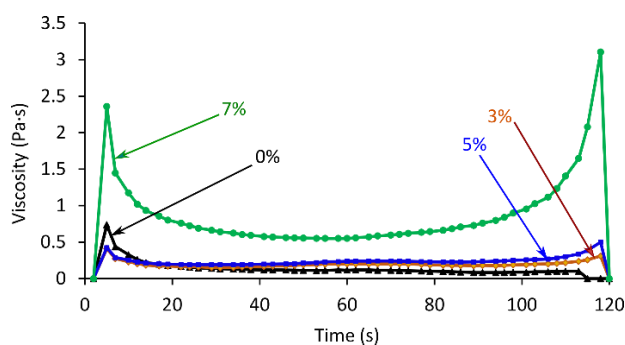


Figure 3. Viscosity curves in relation to the time of vitamin samples prepared with frozen banana pulps added with *psyllium* in concentrations 0%, 3%, 5% and 7%.

All treatments showed anti-thixotropy or rheopexy (time dependent behavior), the direction of the ascending and descending curves had an anti-clockwise direction which classify them as fluids with rheopetic behavior. The viscosity of the samples increased with the time of application of the tension, but returned to the initial viscosity when this force ceased.

The addition of *psyllium* influenced the apparent viscosities Figure 2. It was found that the 7 % sample had the highest shear stress compared to the other samples, which should be attributed to the higher concentration of *psyllium* in the formulation.

3.2 Physical and chemical analysis

The results of the analysis of moisture, protein, ash, carbohydrates and fiber are shown in Table 3. The moisture content was reduced with the addition of *psyllium*, this can be explained due to the fact that *psyllium* has a lower moisture content compared to bananas.

Table 3. Physical and chemical analysis of banana pulp added with *psyllium*

<i>Psyllium</i> Concentration	Moisture (%)	Protein (%)	Ash (%)	Total carbohydrates (%)	Crude fiber (%)
0g	72.55 ± 0,02 ^d	1.21 ± 0,07 ^a	0.79 ± 0,04 ^a	25.01 ± 0,44 ^a	1.02 ± 0,98 ^a
3g	70.68 ± 0,09 ^c	1.35 ± 0,04 ^b	0.86 ± 0,02 ^b	27.58 ± 0,96 ^{bc}	3.28 ± 0,05 ^b
5g	69.44 ± 0,04 ^b	1.43 ± 0,03 ^c	0.89 ± 0,03 ^{bc}	28.09 ± 0,52 ^c	4,80 ± 1,01 ^c
7g	68.21 ± 0,02 ^a	1.51 ± 0,02 ^d	0.91 ± 0,02 ^c	29.34 ± 1,26 ^c	6,31 ± 0,97 ^d

The results are expressed as average (n = 3). The values in the column with different superscripts are significantly different, as assessed by the Tukey test (p≤0.05).

Regarding the protein concentration, it was observed that *psyllium* contributed to a significant increase in the pulp, banana is poor in this nutrient, being a good option to improve protein content in plant products. For the ash and fiber content, the incorporation of *psyllium* increased this significantly.

3.3 General characteristics in the participants' sensory perception

Among the 90 consumers who participated, the majority were female (59 %) with prevalence between the ages of 18 and 28 years. When asked if they knew the benefits of *psyllium*, 75 % answered “no” and 86 % said they had never consumed it.

Table 4 summarizes the results of the question CATA (the frequencies of 17 attributes used by consumers to describe each banana vitamin sample). The results showed that significant differences were found between the attributes of the vitamins studied based on the Cochran Q test, suggesting that the CATA question method was able to identify differences in the participants' perceptions. Creamy, liquid, thick, banana flavor, banana smell and tasty were the attributes most used by the evaluators.

Table 4. Frequency (%) in which each term in the CATA question was assigned by consumers to describe the banana vitamin samples and their ideal product.

Terms	<i>Psyllium</i> Concentration				
	Ideal	0%	3%	5%	7%
It looks like oatmeal	13 ^a	7 ^a	19 ^a	41 ^b	42 ^b
Creamy	80 ^a	15 ^c	65 ^b	59 ^b	20 ^c
Liquid	5 ^a	72 ^c	25 ^b	4 ^a	3 ^a
Thick	16 ^b	1 ^a	19 ^b	55 ^c	65 ^c
Banana flavor	77 ^a	63 ^b	47 ^c	52 ^c	53 ^c
Tasty	70 ^a	61 ^a	68 ^a	69 ^a	52 ^b
Tasteless	0 ^a	2 ^a	3 ^a	5 ^a	11 ^b
Slightly sweet	37 ^b	23 ^a	31 ^a	46 ^c	48 ^c
Sweet	45 ^b	60 ^c	43 ^b	16 ^a	19 ^a

Sour	6 ^a	7 ^a	24 ^b	21 ^b	6 ^a
It looks like fermented milk					
White	4 ^a	16 ^b	18 ^b	8 ^a	1 ^a
Yellowish	34 ^b	49 ^c	29 ^b	26 ^b	8 ^a
Light brown	30 ^a	28 ^a	37 ^a	31 ^a	43 ^a
Yogurt smell	14 ^b	5 ^a	8 ^a	11 ^b	22 ^b
Banana smell	2 ^a	15 ^b	17 ^b	16 ^b	3 ^a
No smell	70 ^a	49 ^b	42 ^b	32 ^c	52 ^b
No smell	0 ^a	13 ^b	16 ^b	18 ^b	17 ^b

Different letter on the same line (attribute) indicates statistical difference by Cochran's Q Test ($p > 0.05$).

As shown in Figure 4, the first two components of the correspondence analysis explained 84.44 % of the total variability (Component 1: 62.3 %; Component 2: 22.1 %). The biplot obtained from the results of the question CATA showed that the ideal banana vitamin was characterized with banana flavor, banana smell, sweet and creamy.

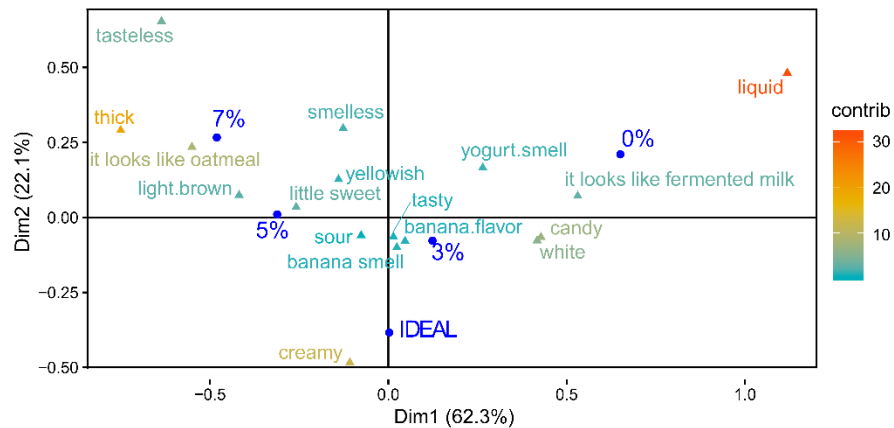


Figure 4. Representation of samples (including the ideal product) and terms in the first and second dimensions of the correspondence analysis of the CATA question frequency table.

The vitamins obtained a good separation of attributes distributed between the four quadrants and the sample with 3 g and 5 g of *psyllium* were close to the ideal sample (Figure 4), which correlated with attributes such as banana flavor, banana smell, tasty and creamy.

The vitamins prepared with the pulps with 0 g and 7 g of *psyllium* were the ones that most deviated from the ideal product. The 7 g sample was associated with attributes such as thick, it looks like oatmeal, tasteless, slightly sweet, light brown and the 0 g sample (without *psyllium* added) was associated with attributes such as liquid, it looks like fermented milk, flavor of yogurt. The distance between these samples in relation to the ideal product suggests that these samples have divergent sensory characteristics, mainly in relation to viscosity, color and flavor.

It was possible to observe that the addition of *psyllium* affected the perception regarding viscosity, product color and sweetness. As the *psyllium* concentration was increased, the participants noticed that the product became more viscous, with a darker color and reduced sweetness (Table 4 and Figure 4).

4. Discussion

The addition of *psyllium* influenced the rheological behavior of beverages in this study, this was expected, as Kenneth et al. (2019) reported that the addition of fiber to foods can result in changes in rheological properties. Similar results were found by Mathias, Andrade, Rosa & Silva (2013) when analyzing the rheological behavior of commercial yogurts with different thickeners in the formulations.

Psyllium due to its high content of soluble fibers, when mixed with water, forms a mucilage (gel consistency) that influences the viscosity of the material and this viscosity of the gel can interfere with the absorption of fat and cholesterol, which can result in concentrations reduced blood cholesterol (Institute of Medicine, 2005).

Interactions between the thickener and some constituents of the product, as well as the increase in the content of soluble solids can have an impact on the final viscosity results (Agyemang, Akonor, Tortoe, Johnsona, & Manu-Aduening, 2020). Milk contains nutrients that can interact with the thickener and result in a greater capacity for thickening (Garcia, Iv, Matta,

& Clark, 2005). Milk and thickener affect rheological behavior and sensory perception mechanisms. The influence between them must be considered in the development of good quality products (Arancibia, Castro, Jublot, Costell, & Bayarri, 2015).

Drinks prepared with food thickeners exhibit rheological properties that change depending on the thickener concentration, temperature and time between preparation and serving (Leary, Hanson, & Smith, 2010).

Another positive effect of adding *psyllium* was the change in the content of some nutrients. In a study with cookies, the addition of *psyllium* resulted in less moisture in the final product (Patricia Fradinho et al., 2015). The increase in ash content is due to the higher concentration of minerals in *psyllium* compared to banana (Raymundo, Fradinho, & Nunes., 2014; Krystyjan, Gumul, Korus, Korus, & Sikora, 2018).

A significant increase in carbohydrate concentration was observed, as reported by Fradinho et al. (2020) and by Raymundo et al. (2014) the increase in carbohydrate is attributable to the higher fiber content in *psyllium* (82.87 %), the main monosaccharides of this fiber being xylose and arabinose (Patel, Tanna, Gupta, Mishra, & Jha., 2019).

The increase in fiber content was significant and can be considered a positive differential for the product (Augustin et al., 2020). According to Raymundo et al. (2014) *psyllium* has a high proportion of soluble fiber (67 %) and about 4 % insoluble fiber.

The perception of changes in viscosity is explained by the interaction of soluble fibers, as it was possible to confirm in the results of the analysis of the rheological behavior of this study. The soluble fibers have the capacity to absorb water and, over time, the product thickens, causing an increase in its apparent viscosity (Mohammad et al., 2013).

Variations in the intensities of sensory attributes can affect taste and preference for food (Samant & Seo, 2019). The change in perceived color was due to the *psyllium* being darker in color than the banana. Raymundo et al. (2014) found similar results when adding 9% *psyllium*

to cookies, a significant decrease in L * luminosity was observed by the authors, this darkening may be the result of a non-enzymatic darkening due to the color of the *psyllium*.

The perception about the reduction in sweetness can be explained due to the increase in the concentration of *psyllium* and, consequently, the reduction in the amount of banana that resulted in the reduction of sugars naturally present in the banana. The perception of sweet taste plays an important role in sensory analysis that can improve product acceptance (Duffy et al., 2016; Samant & Seo, 2019). Other studies with sweetened foods also found that the attribute referring to sweetness is quite perceived and in some cases consumers reject products that do not meet their sensory expectations even if they are better for health (Civille & Oftedal, 2012; Oliveira, Galhardo, Ares, Cunha, & Deliza, 2018; Oliveira et al., 2016).

The perception of changes in viscosity is explained by the interaction of soluble fibers, as it was possible to confirm in the results of the analysis of the rheological behavior of this study. The soluble fibers have the capacity to absorb water and, over time, the product thickens, causing an increase in its apparent viscosity (Mohammad et al., 2013).

Variations in the intensities of sensory attributes can affect taste and preference for food (Samant & Seo, 2019). The change in perceived color was due to the *psyllium* being darker in color than the banana. Raymundo et al. (2014) found similar results when adding 9% *psyllium* to cookies, a significant decrease in L * luminosity was observed by the authors, this darkening may be the result of a non-enzymatic darkening due to the color of the *psyllium*.

The perception about the reduction in sweetness can be explained due to the increase in the concentration of *psyllium* and, consequently, the reduction in the amount of banana that resulted in the reduction of sugars naturally present in the banana. The perception of sweet taste plays an important role in sensory analysis that can improve product acceptance (Duffy et al., 2016; Samant & Seo, 2019). Other studies with sweetened foods also found that the attribute referring to sweetness is quite perceived and in some cases consumers reject products that do

not meet their sensory expectations even if they are better for health (Civille & Oftedal, 2012; Oliveira, Galhardo, Ares, Cunha, & Deliza, 2018; Oliveira et al., 2016).

5. Conclusions

The results of this study revealed that the addition of *psyllium* to the frozen banana pulp had nutritional (protein and ash) and functional (fiber) benefits. From the rheological parameters and sensory analysis, it can be seen that the addition of *psyllium* to the frozen banana pulp is a viable process, interfering in a controllable way in the processes involving the various unit operations. A positive sensory change was noticed, mainly in relation to the creaminess in the final product. In Brazil, with a concentration of 3 g of *psyllium* in 100 g of product, the pulp can be labeled with a health claim and the consumption of this functional pulp associated with healthy lifestyle habits can help to reduce LDL cholesterol and reduce the risk of diseases coronary arteries. The addition of *psyllium* is a potential option for producing low-cost, quality frozen banana pulp with enhanced nutritional and functional properties. Being a promising product in the healthy products market, it can contribute to add value to the agricultural chain.

Acknowledgements

We are grateful to Tropical Fruit Laboratory (LAFRUT) - UFC for carrying out part of the analyzes. This study was partly financed by the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel - Brazil (CAPES) and the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) - Financial Code 001.

References

Agyemang, P. T Akonor, C. Tortoe, P-N. T Johnsona, J. Manu-Aduening, Effect of the use of starches of three new Ghanaian cassava varieties as a thickener on the hysicochemical, rheological and sensory properties of yoghurt, Scientific African, Volume 9, 2020, e00521, ISSN 2468-2276

- Arancibia, C., Castro, C., Jublot, L., Costell, E., & Bayarri, S. (2015). LWT - Food Science and Technology Colour, rheology, flavour release and sensory perception of dairy desserts. Influence of thickener and fat content, *62*, 408–416.
- Ares, G., Jaeger, S. R., Bava, C. M., Chheang, S. L., Jin, D., Gimenez, A., Varela, P. (2013). CATA questions for sensory product characterization: Raising awareness of biases. *Food Quality and Preference*, *30*(2), 114–127. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2013.04.012>
- Ares, G., Tárrega, A., Izquierdo, L., & Jaeger, S. R. (2014). Investigation of the number of consumers necessary to obtain stable sample and descriptor configurations from check-all-that-apply (CATA) questions. *Food Quality and Preference*, *31*(1), 135–141. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2013.08.012>
- Augustin, M. A., Sanguansri, L., Fox, E. M., Cobiac, L., & Cole, M. B. (2020). Recovery of wasted fruit and vegetables for improving sustainable diets. *Trends in Food Science & Technology*, *95*, 75–85. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.11.010>
- Bahmani, M., Mirhosseini, M., Fasihzadeh, S., Karimian, P., & Rafieian-Kopaei, M. (2016). Plantago: A plant for internists. *Der Pharma Chemica*, *8*(2), 84–91.
- Brasil, Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. (2001, 10 de janeiro). Aprova o regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos (Resolução RDC nº 12, de 2 de janeiro de 2001). *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*.
- Brasil. Resolução nº 18, de 30 de abril de 1999. Aprova o Regulamento Técnico que Estabelece as Diretrizes Básicas para Análise e Comprovação de Propriedades Funcionais e ou de Saúde Alegadas em Rotulagem de Alimentos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 03 nov. 1999.
- Brasil. Resolução Da Diretoria Colegiada – RDC Nº 8, de 06 de março de 2013. Dispõe sobre a aprovação de uso de aditivos alimentares para produtos de frutas e de vegetais e geleia de mocotó. Publicada em DOU nº 46, de 8 de março de 2013. Brasília.
- Bruzzone, F., Vidal, L., Antúnez, L., Giménez, A., Deliza, R., & Ares, G. (2015). Comparison of intensity scales and CATA questions in new product development: Sensory characterisation and directions for product reformulation of milk desserts. *Food Quality and Preference*, *44*, 183–193. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2015.04.017>
- Carvalho, A. V., Mattietto, R. de A., & Beckman, J. C. (2017). Estudo da estabilidade de polpas de frutas tropicais mistas congeladas utilizadas na formulação de bebidas Study of the stability of frozen mixed tropical fruit pulps used in the formulation of, 1–9.

- Civille, G. V., & Oftedal, K. N. (2012). Physiology & Behavior Sensory evaluation techniques — Make “ good for you ” taste “ good .” *Physiology & Behavior*, *107*(4), 598–605. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2012.04.015>
- Duffy, V. B., Rawal, S., Park, J., Brand, M. H., Shara, M., & Bolling, B. W. (2016). Characterizing and improving the sensory and hedonic responses to polyphenol-rich aronia berry juice, *107*, 116–125. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2016.07.026>
- FDA (2012) CFR - Code of Federal Regulations, Title 21. <http://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?fr=101.81>.
- Feinglos, M. N., Gibb, R. D., Ramsey, D. L., Surwit, R. S., & McRorie, J. W. (2013). *Psyllium* improves glycemic control in patients with type-2 diabetes mellitus. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, *1*(2), 156–161. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2013.02.003>
- Figueroa, L. E., & Genovese, D. B. (2019). Fruit jellies enriched with dietary fibre: Development and characterization of a novel functional food product. *Lwt*, *111*(May), 423–428. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.031>
- Fradinho, P., Nunes, M. C., & Raymundo, A. (2015). Developing consumer acceptable biscuits enriched with *Psyllium* fibre. *Journal of Food Science and Technology*, *52*(8), 4830–4840. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1549-6>
- Fradinho, P., Soares, R., Niccolai, A., Sousa, I., & Raymundo, A. (2020). *Psyllium* husk gel to reinforce structure of gluten-free pasta? *LWT*, *131*, 109787. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109787>
- Franco, E., Aparecida, N., Sanches-silva, A., Ribeiro-santos, R., Ramos, N., & Melo, D. (2020). Trends in Food Science & Technology *Psyllium* (*Plantago ovata* Forsk): From evidence of health benefits to its food application. *Trends in Food Science & Technology*, *96*(November 2018), 166–175. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.006>
- Fratelli, C., Muniz, D. G., Santos, F. G., & Capriles, V. D. (2018). Modelling the effects of *psyllium* and water in gluten-free bread : An approach to improve the bread quality and glycemic response. *Journal of Functional Foods*, *42*(January), 339–345. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.01.015>
- Galli, B. D., Baptista, D. P., Cavalheiro, F. G., & Gigante, M. L. (2019). *Lactobacillus rhamnosus* GG improves the sensorial profile of Camembert-type cheese: An approach through flash-profile and CATA. *LWT*, *107*, 72–78. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.02.077>

- Garcia, J. M., Iv, E. C., Matta, Z., & Clark, M. (2005). Viscosity Measurements of Nectar- and Honey-thick Liquids : Product , Liquid , and Time Comparisons, 335, 325–335. <https://doi.org/10.1007/s00455-005-0034-9>
- Geon, Y. K., Jeong, Y., & Yoo, B. (2018). Comparative study of IDDSI flow test and line-spread test of thickened water prepared with different dysphagia thickeners, (August), 653–658. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12360>
- Institute of Medicine. (2005). *Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids (Macronutrients)*. <https://doi.org/10.17226/10490>
- Instituto Adolfo Lutz. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. Métodos físico-químicos para análises de alimentos. 4ª ed. (1ª Edição digital), 2008. 1020 p.
- Jaeger, S. R., Beresford, M. K., Paisley, A. G., Antúnez, L., Vidal, L., Cadena, R. S., Ares, G. (2015). Check-all-that-apply (CATA) questions for sensory product characterization by consumers: Investigations into the number of terms used in CATA questions. *Food Quality and Preference*, 42, 154–164. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2015.02.003>
- Jan, G., Pourcq, T. De, & Martí, R. (2014). Viscosity Differences Between Thickened Beverages Suitable for Elderly Patients with Dysphagia, 483–488. <https://doi.org/10.1007/s00455-014-9533-x>
- Kenneth Kieserling, Tuyet M. Vu, Stephan Drusch, Sebastian Schalow, Impact of 632 pectin-rich orange fibre on gel characteristics and sensory properties in lactic acid 633 fermented yoghurt, *Food Hydrocolloids*, Volume 94, 2019, Pages 152-163,
- Krystyan, M., Gumul, D., Korus, A., Korus, J., & Sikora, M. (2018). Physicochemical properties and sensory acceptance of biscuits fortified with *Plantago psyllium* flour, 30(9), 758–763. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2018.v30.i9.1799>
- Leary, M. O., Hanson, B., & Smith, C. (n.d.). Viscosity and Non-Newtonian Features of Thickened Fluids Used for Dysphagia Therapy. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01673.x>
- Macfie, H.J.H.; Thomson, D.M.H. Preference mapping and multidimensional scaling. In J.R. PIGGOT (Ed.), *Sensory Analysis of Foods*, 2nd. ed., London: Elsevier, 1988. 389p.
- Mathews, A. T., Famodu, O. A., Olfert, M. D., Murray, P. J., Cuff, C. F., Downes, M. T., Haughey, N. J., Colby, S. E., Chantler, P. D., Olfert, I. M., & McFadden, J. W. (2017). Efficacy of nutritional interventions to lower circulating ceramides in young adults: FRUVEDomic pilot study. *Physiological Reports*, 5(13), 1–17.

<https://doi.org/10.14814/phy2.13329>

- Mathias, Thiago Rocha dos Santos, Andrade, Kelita Carlos Silva, Rosa, Cíntia Letícia da Silva, & Silva, Bárbara Amorim. (2013). Avaliação do comportamento reológico de diferentes iogurtes comerciais. *Brazilian Journal of Food Technology*, 16(1), 12-20. Epub March 05, 2013
- Mohammad, S., Gharibzahedi, T., Razavi, S. H., & Mousavi, S. M. (2013). *Psyllium* husk gum : An attractive carbohydrate biopolymer for the production of stable canthaxanthin emulsions. *Carbohydrate Polymers*, 92(2), 2002–2011.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.11.083>
- Mvumi, B., Matsikira, L. T., & Mutambara, J. (2016). The banana postharvest value chain analysis in Zimbabwe. *British Food Journal*, 118(2), 272–285.
<https://doi.org/10.1108/BFJ-08-2014-0293>
- Oliveira, D., Galhardo, J., Ares, G., Cunha, L. M., & Deliza, R. (2018). Sugar reduction in fruit nectars : Impact on consumers ’ sensory and hedonic perception. *Food Research International*, 107(February), 371–377. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.02.025>
- Oliveira, D., Reis, F., Deliza, R., Rosenthal, A., Giménez, A., & Ares, G. (2016). Difference thresholds for added sugar in chocolate-flavoured milk: Recommendations for gradual sugar reduction. *Food Research International*, 89, 448–453.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.08.019>
- Patel, M. K., Tanna, B., Gupta, H., Mishra, A., & Jha, B. (2019). Physicochemical, scavenging and anti-proliferative analyses of polysaccharides extracted from *psyllium* (*Plantago ovata* Forssk) husk and seeds. *International Journal of Biological Macromolecules*, 133, 190–201. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.04.062>
- Pejcz, E., Wojciechowicz-budzisz, A., & Gil, Z. (2018). LWT - Food Science and Technology The effect of *Plantago* seeds and husk on wheat dough and bread functional properties, 96(April), 371–377. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.05.060>
- Pichierri, M., Pino, G., Peluso, A. M., & Guido, G. (2020). The interplay between health claim type and individual regulatory focus in determining consumers’ intentions toward extra-virgin olive oil. *Food Research International*, 136, 109467.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109467>
- Rao, M. A.; OTOYA PALOMINO, L. N. BERNHARDT, L. W. Flow properties of tropical fruit purees. *Journal of Food Science*, v.39, p.160-161, 1974.
- Raymundo, A., Fradinho, P. P., & Nunes, M. C. (2014). Effect of *Psyllium* fibre content on

- the textural and rheological characteristics of biscuit and biscuit dough. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 3(2), 96–105.
<https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2014.03.001>
- Samant, S. S., & Seo, H. (2019). Using both emotional responses and sensory attribute intensities to predict consumer liking and preference toward vegetable juice products. *Food Quality and Preference*, 73(December 2018), 75–85.
<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.12.006>
- Santos, F. G., Aguiar, E. V, Centeno, A. C. L. S., Rosell, C. M., & Capriles, V. D. (2020). Effect of added *psyllium* and food enzymes on quality attributes and shelf life of chickpea-based gluten-free bread. *LWT*, 110025.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110025>
- Spiess, A., Neumeyer, N. An evaluation of R2 as an inadequate measure for nonlinear 745 models in pharmacological and biochemical research: a Monte Carlo 746 approach. *BMC Pharmacol* 10, 6 (2010).
- Thakur, J. S., Paika, R., & Singh, S. (2020). Burden of noncommunicable diseases and implementation challenges of National NCD Programmes in India. *Medical Journal Armed Forces India*, 76(3), 261–267. <https://doi.org/10.1016/j.mjafi.2020.03.002>
- Von Loesecke, H.W. Bananas. 2.ed. New York: Interscience, 1950. 189p.

CAPÍTULO III

Effect of the addition of *psyllium* (*Plantago Ovata* Forsk) on the total and bioavailable concentration of the minerals sodium and potassium in frozen banana pulp

Efeito da adição de *psyllium* (*Plantago Ovata* Forsk) na concentração total e biodisponível dos minerais sódio e potássio em polpa de banana congelada

Artigo a ser submetido para publicação.

RESUMO

O aumento da pressão arterial é um dos principais fatores de risco para as doenças cardiovasculares. A Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda que o consumo de sódio deve ser moderado e o consumo de potássio pode ser aumentado, pois sua ingestão está associada a uma menor incidência de doença cardiovascular. A banana é uma fruta rica em potássio e apresenta grandes perdas pós colheita devido sua perecibilidade. A produção de polpas congeladas é uma alternativa para reduzir essas perdas. Para agregar benefícios nutricionais e funcionais à polpa de frutas é possível adicionar fibras solúveis, visto que sua alta ingestão é conhecida por ter um efeito protetor contra doença cardiovascular e sua ingestão pelos indivíduos não atende ao mínimo recomendado. Há evidências que a fibra dietética *psyllium* contribui para a redução da pressão arterial, redução do colesterol, redução da glicemia e sua incorporação nos alimentos pode oferecer benefícios para a saúde como a prevenção da hipertensão arterial. Sabendo que o consumo de sódio e potássio tem relação com a pressão arterial este estudo teve por objetivo investigar o conteúdo dos minerais sódio e potássio em polpa congelada de banana adicionada de *psyllium* e verificar as concentrações das biodisponibilidades na digestão *in vitro*. Nossos resultados mostraram que a adição do *psyllium* contribuiu para um aumento no teor dos minerais potássio e sódio e que após as digestões simuladas verificamos que as concentrações finais do mineral potássio está de acordo com outros resultados presente na literatura, vimos também que apesar de aumentar o teor de sódio a concentração final do dialisado (o que seria absorvido pelo organismo humano) ficou em 0,17 %, sendo muito baixo e ideal para prevenir a hipertensão arterial.

Palavras chaves: pressão arterial, doença cardiovascular, fibra solúvel, doença crônica, alimento funcional, fibra dietética, hipertensão.

ABSTRACT

Increased blood pressure is one of the main risk factors for cardiovascular disease. The World Health Organization (WHO) recommends that sodium consumption should be moderate and potassium consumption may be increased, as its intake is associated with a lower incidence of cardiovascular disease. The banana is a fruit rich in potassium and has great post-harvest losses due to its perishability. The production of frozen pulps is an alternative to reduce these losses. To add nutritional and functional benefits to the fruit pulp, it is possible to add soluble fiber, since its high intake is known to have a protective effect against cardiovascular disease and its intake by individuals does not meet the recommended minimum. There is evidence that *psyllium* dietary fiber contributes to lowering blood pressure, lowering cholesterol, lowering blood glucose and its incorporation into food can offer health benefits such as the prevention of high blood pressure. Knowing that the consumption of sodium and potassium is related to blood pressure, this study aimed to investigate the content of the minerals sodium and potassium in frozen banana pulp added with *psyllium* and to verify the concentrations of bioavailability in digestion in vitro. Our results showed that the addition of *psyllium* contributed to an increase in the content of the potassium and sodium minerals and that after the simulated digestions we verified that the final concentrations of the potassium mineral is in agreement with other results present in the literature, we also saw that despite increasing the sodium content the final concentration of the dialysate (which would be absorbed by the human body) was 0.17%, being very low and ideal for preventing high blood pressure.

Key words: blood pressure, cardiovascular disease, soluble fiber, chronic disease, functional food, dietary fiber, hypertension.

1. Introdução

As Doenças Crônicas Não Transmissíveis (DCNTs) são responsáveis por 72% das mortes em todo o mundo (Thakur, Paika, & Singh, 2020) e entre as principais estão as doenças cardiovasculares. Os fatores de risco mais comuns são o aumento da pressão arterial, aumento da glicemia sanguínea e aumento do colesterol (Bennett et al., 2018).

A alta ingestão de potássio está associada a uma menor incidência de doença cardiovascular visto que reduz a pressão arterial (Olde Engberink, van den Born, Peters-Sengers, & Vogt, 2020) e a Organização Mundial da Saúde (OMS) recomenda para a população adulta uma ingestão deste mineral de pelo menos 90 mmol / dia (3.510 mg / dia) (WHO, 2012).

De acordo com a OMS (2003) o interesse em torno do consumo de potássio cresce devido sua utilidade na saúde pública e há a necessidade de encontrar ações viáveis e econômicas que aumentem a ingestão deste mineral. Desta forma a OMS recomenda aumentar a ingestão de potássio por meio dos alimentos a fim de reduzir a pressão arterial e o risco de doenças cardiovasculares.

O consumo de certos vegetais com alto teor de potássio está associado à diminuição do risco de hipertensão arterial e Acidente Vascular Cerebral (AVC). Nas sociedades em que ocorreram a redução no consumo de frutas e vegetais e o aumento no consumo de alimentos industrializados foi observado que essa mudança no hábito alimentar ocasionou um aumento no consumo de sódio (Na) que mantém uma relação direta com o aumento da pressão arterial (Weaver, 2013).

Sódio e potássio são importantes para o equilíbrio da água no nosso organismo. O sódio retém líquidos e o potássio elimina deixando apenas a quantidade necessária, eles são fundamentais para a contração muscular e se relacionam com a pressão arterial (Sun & Sun, 2018).

A OMS orienta que o consumo de sódio para a população adulta deve ser moderado (2 g/ dia), pois seu consumo excessivo pode ocasionar hipertensão e doenças cardiovasculares. No Brasil seu consumo excede ao preconizado (Orlando, Rebellato, Silva, Andrade, & Pallone, 2020).

Segundo Ezzati et al. (2018) o consumo de frutas e vegetais pode estar entre os fatores potenciais para a redução da pressão arterial. Entre as frutas a banana (*Musa spp.*) é fonte de potássio e merece destaque por ser consumida no mundo todo devido sua aceitação sensorial (Sheng et al., 2010), entretanto é uma fruta que apresenta grandes perdas devido a sua alta

percebibilidade (Md Nor & Ding, 2020). Mais de 48 milhões de toneladas por ano são perdidas em todo o mundo (Molina-Ramírez, Cañas-Gutiérrez, Castro, Zuluaga, & Gañán, 2020).

Uma alternativa para prevenir o desperdício é a produção de polpas congeladas, além da praticidade no consumo. Seu mercado está em expansão e o processamento das frutas em polpas congeladas agrega valor rentável ao produto. O processo de congelamento preserva as propriedades físicas, nutricionais e sensoriais das polpas de frutas e seu consumo apresenta benefícios para a saúde (Orqueda et al., 2021).

Além das frutas, a alta ingestão de fibra dietética é conhecida por ter um efeito protetor contra doença cardiovascular, poucos indivíduos atingem a quantidade desejada de fibras em suas dietas (Anderson et al., 2009).

Para agregar valor nutricional e funcional à polpa de fruta congelada o *psyllium* pode ser adicionado, visto que aumentará o teor de fibras no produto sem aumentar a ingestão calórica (Bernstein, Titgemeier, Kirkpatrick, Golubic, & Roizen, 2013).

O *psyllium* possui benefícios que já são bem conhecidos na literatura devido seu alto conteúdo de fibra solúvel contribui para agregar valor nutricional, funcional e sensorial aos alimentos. Entre as propriedades funcionais estão a redução da glicemia, redução do colesterol, alívio da constipação, auxílio na perda de peso por proporcionar saciedade entre outros (Franco et al., 2020). No Brasil, a ANVISA autoriza informar no rótulo dos produtos que apresentarem pelo menos 3g de *psyllium* por porção a alegação de saúde que: “o consumo do produto aliado a hábitos saudáveis diminuem a absorção de gordura” (Brasil, 1999).

Há evidências que o *psyllium* contribui para a redução da pressão arterial (Bernstein et al., 2013) e a incorporação dele nas dietas pode oferecer benefícios para a prevenção da hipertensão arterial e como consequência a redução do risco de doença cardiovascular. Até o momento não se tem conhecimento sobre o mecanismo de ação entre as fibras e seu efeito na pressão arterial. Há alguns relatos que sugeriram que o benefício das fibras na redução da pressão arterial estaria relacionado com a viscosidade das mesmas, que proporciona uma absorção lenta de alguns nutrientes e isso afeta alguns índices metabólicos, como colesterol, peso corporal e resistência à insulina (Khan et al., 2018).

Até onde sabemos nenhum estudo sobre a relação no consumo das fibras solúveis e a regulação da pressão sugeriu que este benefício pudesse estar também relacionado com o teor de potássio e sódio nas mesmas. Há poucos estudos sobre a composição dos minerais em fibras solúveis e não foi encontrado na literatura até o momento relatos sobre a biodisponibilidade dos minerais K e Na em banana e nem no *psyllium*.

Apesar de haver muitos estudos sobre biodisponibilidade a literatura é escassa em relação à biodisponibilidade de minerais, estudos sobre a biodisponibilidade de compostos polifenólicos são mais comuns (Pereira et al., 2018).

É sabido que nosso organismo não absorve a concentração total de nutrientes dos alimentos que são ingeridos, devido a isto muitos estudos de biodisponibilidade estão em desenvolvimento para que se possa ter um melhor conhecimento sobre os níveis de elementos (nutrientes, compostos fenólicos, metais) que é absorvido pelo epitélio intestinal (Pereira et al., 2018).

Este estudo teve por objetivo investigar o efeito da adição do *psyllium* nas características físico-químicas e verificar a biodisponibilidade dos minerais sódio e potássio em polpa de banana congelada adicionada de *psyllium*.

2. Materiais e métodos

2.1 Produtos químicos e reagentes

Pepsina, α -amilase, pancreatina e sais biliares foram adquiridos da Sigma-Aldrich (São Paulo, Brasil). Ácido clorídrico (HCl) (37% m / m), ácido sulfúrico (H₂SO₄), etanol e metanol foram adquiridos da Neon (São Paulo, Brasil). Fenolftaleína e hidróxido de sódio foram adquiridos da Cequímica (Fortaleza, CE).

2.2 Materiais

A banana (*Musa spp.*) da cultivar “Prata” foi adquirida no mercado local do município de Iguatu/CE e estava no estágio de maturação número 6 (Von Loesecke, 1950) e sem tratamento com etileno.

O *psyllium* utilizado nesta pesquisa possuía 95% de pureza e continha cerca de 80% de fibra alimentar, foi adquirido em um mercado no município de Iguatu/CE. Ácido cítrico (INS 330) e ácido ascórbico (INS 300) foram adquiridos com a Pantec Aditivos e Ingredientes, Brasil.

2.3 Preparo das amostras

As bananas foram higienizadas em água corrente e deixadas em solução clorada a 200 ppm por 15 minutos, enxaguadas e submetidas a secagem natural para posterior retirada das cascas. As bananas foram colocadas em um despoldador (Marca Braesi Modelo DES-60/1) e em seguida foram adicionados os demais ingredientes conforme Tabela 1.

Foram preparadas polpas adicionadas de 3 % de *psyllium* e polpas sem adição de *psyllium*. Ácido ascórbico e ácido cítrico foram utilizados para prevenir o escurecimento enzimático e auxiliar na conservação do produto (Brasil, 2013).

As polpas ficaram armazenadas a - 8 °C e as análises em triplicata ocorreram no dia seguinte.

Tabela 1. Formulação das polpas de banana congelada

Amostras	<i>Psyllium</i>	Banana	Ácido cítrico	Ácido ascórbico
Polpa 0%	0	99,6%	0,2%	0,2%
Polpa 3%	3%	96,6%	0,2%	0,2%

2.4 Medição de pH

O pH foi determinado através de leitura direta, em potenciômetro, calibrado a cada utilização com soluções tampão de pH 4,0 e 7,0 conforme IAL (2008).

2.5 Acidez Total Titulável (ATT)

A ATT foi determinada pelo método da titulação volumétrica com indicador seguindo a metodologia IAL (2008).

2.6 Determinação de cor

A determinação da cor instrumental das amostras foi realizada utilizando colorímetro Chroma Meter CR-400 (Konica Minolta, Japão), empregando iluminante D65 e geometria 45/0, e os valores de cor foram expressos no sistema CIELAB. Os valores de L* (luminosidade), a* (componente vermelho-verde) e b* (componente amarelo-azul) foram obtidos diretamente do colorímetro. L* varia de 0 a 100, em que o valor 0 indica o preto (ou cor escura) e o 100, o branco (cor clara). Todas medições foram realizadas a temperatura de 20 °C nas mesmas condições de luz (área de medição de 50 mm²) e replicadas 6 vezes (Lawless; Heymann, 1998).

2.7 Determinação dos minerais Sódio (Na) e Potássio (K)

Antes da análise espectrométrica, as amostras foram submetidas à cinza úmida seguindo o procedimento de digestão por micro-ondas em que 500 mg de amostra foi pesada diretamente para o recipiente de digestão. Ácido nítrico (HNO₃) a 65 % (v / v) (5 mL) e 30 % de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) (v / v) (2 mL) foram adicionados às amostras, os vasos foram cobertos e colocados no corpo do rotador do forno micro-ondas (Milestone MLS 1200 Mega Forno - Milestone, Bergamo, Itália) e o programa de digestão foi realizado. As condições de digestão foram: 1 min a 250 W (suave oxidação da matéria orgânica); 1 min a 0 W (procedendo de reação sem adição de energia para evitar fugas de temperatura e sobrepressões); 5 min a 250W (terminação da oxidação suave dos compostos orgânicos); 5 min a 400 W e 5 min a 600 W (término final da oxidação processos aplicando maior poder). Após o resfriamento, as amostras digeridas foram transferidas para frascos volumétricos e diluídas para 50,0 mL usando água desionizada e então transferidas para frascos de polietileno de 50,0 mL.

Os macroelementos sódio (Na) e potássio (K) foram determinados por Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP-AES) em um traço Scan Thermo (Thermo Jarrell Ash Corporation, Franklin, EUA); 588,995nm para Na e 769,897 nm para K, usando uma técnica padrão (Jarrell Ash Corporation, 1995).

2.8 Digestão gastrointestinal simulada *in vitro* (Biodisponibilidade)

Um fluido gástrico simulado foi utilizado para as digestões de acordo com os procedimentos implementado por Moura e Canniatti-Brazaca (2006). A simulação da digestão gastrointestinal foi realizada com pepsina solubilizada com HCl 0,1 mol L⁻¹ durante a fase gástrica e sais de bile-pancreatina, solubilizada com NaHCO₃ 0,1 mol L⁻¹ na fase intestinal.

Vinte gramas de cada amostra das polpas foram pesadas e acrescentadas em 100 mL de HCl 0,01 mol L⁻¹, o pH foi ajustado para 2 com solução de HCl 2 mol L⁻¹ e adicionou 3,2 mL de pepsina no meio e a amostra foi colocada em banho termostatizado com agitação a 37 °C durante 2 horas para simular a digestão do alimento no estômago.

Após o pH ajustado (0,5 mol L⁻¹ de NaOH até pH 7,5) as membranas de diálise (33 21 mm, molecular peso: 12.000-16.000, porosidade: 25 Angstroms - INLAB, Brasil) contendo 0,1 mol L⁻¹ NaHCO₃ equivalente à acidez titulável foram adicionadas à solução gástrica em banho-maria termostatizado com agitação a 37 °C durante 30 minutos. Decorrido esse tempo foi adicionado 5,0 mL de solução de pancreatina e sais biliares e agitados em um banho a 37 °C / 2 h. Esta etapa simulou a digestão no intestino.

Ao final desta etapa os conteúdos do interior das membranas (dialisados) foram coletados e armazenados em tubos de vidro âmbar e as amostras foram armazenadas a -8 °C até o momento da análise.

Para a correta quantificação dos minerais foi realizado simultaneamente com as amostras os brancos analíticos contendo os mesmos reagentes e condições usadas nas digestões das mesmas.

As amostras dialisadas foram analisadas em triplicata por ICP OES para a determinação de potássio (K) e sódio (Na). A porcentagem biodisponível foi calculada pela concentração de cada mineral liberado no processo de digestão *in vitro* em relação à concentração total de cada elemento.

2.10 Análise dos dados

Os resultados dos conteúdos totais das amostras e das porcentagens das frações bioacessíveis foram apresentados como média e desvio padrão. Análises de variância (ANOVA) e teste de Tukey ($p < 0,05$) foram calculados para verificar diferenças significativas entre os resultados. Todas as análises estatísticas foram realizadas com o software Statistica v.8.0 (StatSoft, 2007).

3.0 Resultados e discussões

3.1 Propriedades físico-químicas das polpas

O efeito da adição de 3% de *psyllium* nas propriedades físico-químicas em polpa de banana congelada é mostrado na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados físico-químicos das polpas de banana congelada

Análises	Polpa de banana	Polpa de banana com <i>psyllium</i>
pH	4.21 ± 0.01 ^b	4.25 ± 0.02 ^a
ATT*	1,02 ± 0.01 ^a	1,02 ± 0.01 ^a
Cor		
L*	71.5 ± 0.57 ^a	64.26 ± 0.19 ^b
a*	2.14 ± 0.53 ^b	4.8 ± 0.06 ^a
b*	21.66 ± 0.48 ^a	21.92 ± 0.19 ^a

*ATT- acidez total titulável em ácido málico (%)

Letras diferentes na mesma linha indicam que houve diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

A adição de *psyllium* foi responsável pelo aumento significativo no pH, mas não apresentou alteração para os valores de acidez titulável. Na Tabela 2 foi apresentado o resultado da concentração em ácido málico, porém verificamos também a concentração de ácido cítrico nas polpas e nas duas foram encontrado o equivalente de 1,1 g / 100 g de ácido cítrico. O aumento no pH provavelmente deve ter sido pelo fato do *psyllium* possuir um pH de 4,46 (Rao, Warriar, Gaikwad, & Shevate, 2016).

De acordo com resultados encontrados na literatura a banana é uma fruta de baixa acidez, os valores para pH e para acidez total é variável e depende do grau de amadurecimento pós colheita e do cultivar. Verifica-se que alguns estudos apresentaram resultados semelhantes para bananas (*Musa* spp.), informando que o pH das bananas variou de 4,3 a 5,5 (Etienne, Génard, Bancel, Benoit, & Bugaud (2013) e Bugaud, Maraval, Daribo, Leclerc, & Salmon (2016)). A acidez em ácido málico foi investigada nos estudos de Yap, Fernando, Brennan, Jayasena, & Coorey (2017) em bananas da cultivar Cavendish e de Dotto, Matemu, & Ndakidemi (2019) da cultivar bananas da Terra e os resultados mostraram valores de 1,5 % a 2,3 % sendo semelhantes ao encontrado neste estudo (1,02%).

Vale ressaltar que neste estudo foi adicionado às polpas os ácidos cítrico e ascórbico com finalidade de evitar o escurecimento enzimático, sendo permitido pela Resolução nº 8, de 6 de março de 2013 (Brasil, 2013). Mesmo a concentração da adição dos ácidos sendo baixa (0,2% cada) pode ter afetado no teor de acidez total e do pH.

De acordo com a Instrução Normativa nº 37, de 1 de outubro de 2018, o padrão de identidade e qualidade para polpa de banana deve atender as características mínimas de pH 4,1 e acidez Total expressa em ácido cítrico 0,20 (g / 100 g) (Brasil, 2018), nossos resultados de pH e acidez atendem ao padrão exigido, sendo o pH 4,2 e acidez Total em ácido cítrico 1,1 (g / 100 g).

Conforme apresentado na Tabela 2, os resultados para a medição de cor mostraram que a adição de 3% de *psyllium* diminuiu significativamente o valor de L^* (amostras mais escuras), esse efeito no escurecimento pode ser devido a cor do *psyllium* ser mais escura que a polpa da banana. O escurecimento da polpa com a adição de *psyllium* está relacionado como o aumento significativo nos valores de a^* , visto que não teve efeito significativo em b^* .

Há poucos estudos com a adição de *psyllium* em produtos alimentícios, porém foi verificado que resultados semelhantes foram apresentados nos estudos de Figueroa & Genovese (2019) em que fibra de *psyllium* foi utilizada combinada com outras fibras em geleia de fruta e apresentou redução nos valores de L^* . Nos estudos de Raymundo, Fradinho, & Nunes (2014) a adição de *psyllium* em biscoitos também resultou em um escurecimento com redução nos valores de Luminosidade. Outro estudo que apresentou resultados semelhantes na diminuição dos valores de L^* foi com a utilização do *psyllium* na produção de um filme biodegradável (Sukhija, Singh, & Riar, 2016).

Nossos resultados na determinação de cor para a polpa de banana sem a adição de *psyllium* foram semelhantes com os resultados de Yap et al. (2017) em purê de banana da cultivar Cavendish no estágio de maturação 6, os autores realizaram o branqueamento seguido de ajuste de pH para 4 com ácido cítrico (0,5 mol /L), os valores foram de L^* 68,91, a^* -2,61 e b^* 24,6.

3.1 Determinação dos minerais Sódio (Na) e Potássio (K)

A adição de *psyllium* na polpa de banana resultou em um aumento significativo nos teores dos minerais Na e K, conforme pode ser verificado na Tabela 3.

Tabela 3. Concentração média para K e Na em polpa de banana

Amostras	K (mg / g)	Na (mg / g)
Polpa banana com <i>psyllium</i>	405.33 ± 12.85 ^a	4.33 ± 0.15 ^a
Polpa banana	368 ± 20 ^b	1.36 ± 0.41 ^b

Letras diferentes na mesma linha indicam que houve diferença significativa pelo teste de Tukey (p<0,05).

Neste estudo verificamos a concentração dos minerais potássio e sódio no *psyllium* e os resultados mostraram 861 mg / 100 g para potássio e 60 mg / 100 g para sódio. Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Chong, Ball, McRae, & Packer (2019) que ao analisarem os teores de minerais do *psyllium* encontraram 805 ± 2,3 (mg / 100 g) para o potássio e 62,3 ± 2,2 (mg / 100 g) para o sódio.

É possível observar conforme apresentado na Tabela 3, que houve diferença significativa para o valor das concentrações para K e Na na polpa de banana com *psyllium*. O aumento no teor destes minerais no produto confirmam que o *psyllium* é uma fibra com alto teor de potássio, como citado por Bukhsh, Malik, & Ahmad (2007); Guo, Cui, Wang, & Christopher Young (2008). Pode-se observar que a adição de 3 g da fibra proporcionou um aumento de 10,14 % no teor de potássio e de 218,38 % de aumento no teor de sódio na polpa com adição de *psyllium*.

O potássio é o mineral mais abundante nas bananas (Dotto et al., 2019; Etienne et al., 2013). Ao verificar alguns estudos com diversas cultivares de banana foi constatado que as concentrações de minerais são variáveis quanto ao tipo de cultivar e aumentam conforme o estágio de maturação (Yap et al., 2017).

Neste trabalho o resultado para potássio em 100 g de polpa de banana foi semelhante aos encontrados por Bugaud et al. (2013) para a cultivar “Yangambi” com teor de potássio em 338 mg. Nos estudos de Aquino, Carlos, Salomão, & Siqueira (2014) a banana da cultivar “Prata” apresentou 317 mg e nos estudos de Yap et al. (2017) com 343 mg na cultivar “Cavendish”.

A banana apresenta naturalmente baixo teor de Na e não foi encontrado na literatura até o momento estudos que mostrasse a concentração deste mineral na polpa. Apesar da adição de *psyllium* ter aumentado a concentração de Na, ainda é considerado uma concentração baixa, pois de acordo com as DRIs (Dietary Reference Intakes) o consumo de Na deve ser inferior a

2300 mg / dia, e a concentração deste mineral na polpa adicionada de *psyllium* foi de 0,18 % em relação ao preconizado pela DRI.

Alguns estudos relacionaram o consumo de fibras com funções cardioprotetoras e controle da pressão arterial como a chia (Melo, Machado, & Oliveira, 2019; Ullah et al., 2016), linhaça (Khalesi, Irwin, & Schubert, 2015; Ursoniu, Sahebkar, Andrica, Serban, & Banach, 2016), *psyllium* (Solà et al., 2010), porém os mecanismos biológicos envolvidos na redução da pressão arterial não estão completamente compreendidos na literatura.

Foi verificado que a chia, linhaça e *psyllium* possuem boas quantidades de potássio e baixo teor de sódio. Kowaleski et al. (2020) encontraram na chia o total de 450 ± 70 mg / 100 g de potássio e 72 ± 13 mg / 100 g de sódio, Deme, Haki, Retta, Woldegiorgis & Geleta (2017) encontraram na linhaça o total de 502 a 732 mg / 100 g, os teores diferiram conforme a cultivar. Verifica-se na Tabela Brasileira de Composição dos Alimentos- Taco que os teores de potássio e sódio para 100 g de linhaça (*Linum usitatissimum* L.) são de 869 mg e 9 mg respectivamente (TACO, 2011).

Após ser analisado os dados mostrados sobre os conteúdos de potássio e sódio para as fibras supracitadas foi observado que a polpa de banana adicionada de *psyllium* apresenta teores de potássio muito semelhante a esses estudos, porém os teores de sódio foram inferiores, sendo uma opção de fonte alimentar ideal para pessoas hipertensas.

Vários mecanismos fisiológicos foram propostos para o efeito de redução da pressão arterial relacionado com as fibras solúveis (Khan et al., 2018), no entanto até o momento não foi encontrado na literatura nenhuma relação entre os minerais nas fibras solúveis e a regulação da pressão arterial. Uma hipótese para o efeito benéfico destas fibras solúveis em relação ao controle da pressão arterial pode estar relacionado ao seu alto conteúdo de potássio e baixo teor de sódio.

3.2 Biodisponibilidade dos minerais por digestão *in vitro*

Os resultados das concentrações dos minerais K e Na são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4. Resultado da biodisponibilidade (expressa em % da concentração total) de potássio e sódio nas polpas de banana

Minerais	Polpa de banana	Polpa de banana com <i>psyllium</i>
K	40.66 ± 1.15 ^a	39,33 ± 1,52 ^a
Na	92.33 ± 0.57 ^a	92.33 ± 0.57 ^a

Os dados são apresentados como média ± DP (*n* = 3).

Letras diferentes na mesma linha indicam que houve diferença significativa pelo teste de Tukey (p<0,05).

Neste estudo foi utilizado o branco analítico para indicar as concentrações dos minerais K e Na que poderiam interferir nos resultados. Para a biodisponibilidade de Na foi revelado uma alta concentração de absorção. Há poucos estudos sobre a biodisponibilidade de sódio e potássio.

De acordo com a literatura dificilmente a absorção de nutrientes será em 100 %, a absorção dos minerais pode ser afetada por vários fatores inerentes, como a presença de antinutrientes minerais (ácido fítico, polifenóis e fibra alimentar) e barreiras físicas (macronutrientes circundantes e parede celular) (Rousseau, Kyomugasho, Celus, Hendrickx, & Grauwet, 2020).

Como pode ser observado na Tabela 4, não houve diferença significativa nas concentrações de minerais resultantes da simulação da digestão *in vitro* entre as polpas com ou sem adição de *psyllium*. A biodisponibilidade do K ficou em média de 40,66 % para a polpa com adição de *psyllium* e 39,33 % para a polpa sem adição de *psyllium* e do Na 92,33 % para ambas as polpas, isto significa que ao ingerir 100 g de polpa de banana congelada adicionada de *psyllium* ao final da digestão possivelmente o organismo irá absorver 189,13 mg de K e 3,99 mg de Na e ao ingerir a polpa sem a adição de *psyllium* o teor de absorção de K ficará em torno de 144,74 mg e para Na 1,25 mg, conforme pode ser verificado na Tabela 2.

Beasley et al. (2020) ao analisarem a ingestão de nutrientes de mulheres idosas verificaram que mais da metade das participantes não estavam atendendo as diretrizes de consumo para potássio. Os autores ressaltaram a necessidade de identificar abordagens eficazes para aumentar a ingestão de nutrientes previsto nas diretrizes. Conforme já relatado neste trabalho a ingestão adequada de K e Na estão relacionados com o controle da pressão arterial e uma ingestão insuficiente de K aumenta o risco de doença cardiovascular (Adrogué & Madias, 2014).

Embora o K faça parte da composição de quase todos os alimentos o estudo sobre sua biodisponibilidade é raro, há mais estudos publicados sobre as biodisponibilidades dos minerais ferro, zinco e cobre. Resultado semelhante a este estudo foi encontrado por Schulz et al. (2017) ao avaliarem os conteúdos de minerais do fruto juçara, os autores verificaram que o K foi o mineral com maiores quantidades e o Na apresentou quantidades muito baixas. Após simular a digestão *in vitro* verificaram uma biodisponibilidade do potássio de 40 % a 46 % dependendo do estágio de maturação do fruto. A biodisponibilidade do Na não foi determinada. De acordo com os autores a ingestão de 100 g da polpa do fruto juçara corresponde a 4 – 5 % das necessidades diárias para K, conforme orientado pela DRI.

Pereira et al. (2018), analisaram o conteúdo de minerais e a biodisponibilidades deles em amora, framboesa e mirtilo. O K foi o mineral mais abundante, porém não conseguiram determinar o teor da biodisponibilidade devido aos reagentes possuírem grandes quantidades de potássio na formulação e a fração liberada pela amostra (hidrolisado) foi muito pequena.

De acordo com as DRIs, a ingestão de potássio para pessoas com idade acima de 19 anos deve ser de 2600 mg / dia para mulheres e de 3400 mg / dia para homens. A orientação para o consumo de sódio para pessoas com idade superior a 19 anos deve de no máximo 2300 mg / dia para prevenir o risco de doenças crônicas (Institute of Medicine, 2019).

Ao analisar as orientações da DRI para pessoas maiores de 19 anos pode-se observar que a polpa de banana congelada adicionada de *psyllium* irá contribuir para a ingestão de K em 7,27 % para a mulheres e 5,56 % para homens, sendo a ingestão de Na em 0,17%.

4.0 Conclusões

Os resultados representam uma importante contribuição para a área da nutrição, pois fornece informações sobre as quantidades aproximadas de minerais que são absorvidos neste produto.

Foi possível verificar que a adição do *psyllium* na polpa apresentou um maior conteúdo de mineral K. Nosso estudo sugere que o consumo de 100 g da polpa de banana congelada adicionada de *psyllium* pode contribuir para o aumento na ingestão de K e apresenta benefícios para a saúde como um menor risco de desenvolver doenças cardiovasculares devido a diminuição no risco da hipertensão e AVC. Esta polpa atende às exigências para receber a alegação de saúde podendo contribuir para a redução do colesterol LDL.

Mais estudos sobre a biodisponibilidade de minerais, principalmente sobre o K, em frutas e fibras solúveis (*psyllium*, chia, linhaça, aveia) devem ser realizados, visto que há poucos ou nenhum estudo nesta área.

Agradecimentos

Agradecemos ao Laboratório de Frutos Tropicais (LAFRUT) – UFC por realizar parte das análises. Este estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - Código Financeiro 001.

Referências

- Adrogué, H. J., & Madias, N. E. (2014). The Impact of Sodium and Potassium on Hypertension Risk. *Seminars in Nephrology*, *34*(3), 257–272.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.semnephrol.2014.04.003>
- Anderson, J. W., Baird, P., Jr, R. H. D., Ferreri, S., Knudtson, M., Koraym, A., ... Williams, C. L. (2009). Health benefits of dietary fiber, *67*(4), 188–205.
<https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2009.00189.x>
- Aquino, César Fernandes, Salomão, Luiz Carlos Chamhum, Siqueira, Dalmo Lopes de, Cecon, Paulo Roberto, & Ribeiro, Sônia Machado Rocha. (2014). Teores de minerais em polpas e cascas de frutos de cultivares de bananeira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, *49*(7), 546-553.
- Beasley, J. M., Rillamas-Sun, E., Tinker, L. F., Wylie-Rosett, J., Mossavar-Rahmani, Y., Datta, M., ... LaCroix, A. Z. (2020). Dietary Intakes of Women’s Health Initiative Long Life Study Participants Falls Short of the Dietary Reference Intakes. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, *120*(9), 1530–1537.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jand.2020.05.001>
- Bennett, J. E., Stevens, G. A., Mathers, C. D., Bonita, R., Rehm, J., Kruk, M. E., ... Ezzati, M. (2018). NCD Countdown 2030: worldwide trends in non-communicable disease mortality and progress towards Sustainable Development Goal target 3.4. *The Lancet*, *392*(10152), 1072–1088. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31992-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31992-5)
- Bernstein, A. M., Titgemeier, B., Kirkpatrick, K., Golubic, M., & Roizen, M. F. (2013). Major cereal grain fibers and *psyllium* in relation to cardiovascular health. *Nutrients*, *5*(5), 1471–1487. <https://doi.org/10.3390/nu5051471>

- Brasil. Resolução nº 18, de 30 de abril de. (1999). Aprova o Regulamento Técnico que Estabelece as Diretrizes Básicas para Análise e Comprovação de Propriedades Funcionais e ou de Saúde Alegadas em Rotulagem de Alimentos. Brasília: Diário Oficial da República Federativa do Brasil 03 nov. 1999.
- Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 8, de 06 de março de 2013. Dispõe sobre a aprovação de uso de aditivos alimentares para produtos de frutas e de vegetais e geleia de mocotó. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, n.46, 08 mar. 2013.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 37, de 1º de outubro de 2018. Parâmetros Analíticos de Suco e de Polpa de Frutas. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 08 out. 2018
- Bugaud, C., Cazevieille, P., Daribo, M.-O., Telle, N., Julianus, P., Fils-Lycaon, B., & Mbéguié-A-Mbéguié, D. (2013). Rheological and chemical predictors of texture and taste in dessert banana (*Musa spp.*). *Postharvest Biology and Technology*, *84*, 1–8. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.03.020>
- Bugaud, C., Maraval, I., Daribo, M.-O., Leclerc, N., & Salmon, F. (2016). Optimal and acceptable levels of sweetness, sourness, firmness, mealiness and banana aroma in dessert banana (*Musa sp.*). *Scientia Horticulturae*, *211*, 399–409. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.09.016>
- Bukhsh, E., Malik, S., & Ahmad, S. (2007). Estimation of Nutritional Value and Trace elements Content of *Carthamus oxyacantha*, *Eruca stiva* and *Plantago ovata*. *Pakistan Journal of Botany*, *39*, 1181–1187.
- Chong, R. W. W., Ball, M., McRae, C., & Packer, N. H. (2019). Comparing the chemical composition of dietary fibres prepared from sugarcane, *psyllium* husk and wheat dextrin. *Food Chemistry*, *298*, 125032. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125032>
- Deme, T., Haki, G. D., Retta, N., Woldegiorgis, A., & Geleta, M. (2017). Mineral and Anti-Nutritional Contents of Niger Seed (*Guizotia abyssinica* (L.f.) Cass., Linseed (*Linum usitatissimum* L.) and Sesame (*Sesamum indicum* L.) Varieties Grown in Ethiopia. *Foods (Basel, Switzerland)*, *6*(4). <https://doi.org/10.3390/foods6040027>
- Dotto, J., Matem, A. O., & Ndakidemi, P. A. (2019). Nutrient composition and selected physicochemical properties of fifteen Mchare cooking bananas: A study conducted in northern Tanzania. *Scientific African*, *6*, e00150.

- <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00150>
- Etienne, A., Génard, M., Bancel, D., Benoit, S., & Bugaud, C. (2013). A model approach revealed the relationship between banana pulp acidity and composition during growth and post harvest ripening. *Scientia Horticulturae*, *162*, 125–134.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.08.011>
- Ezzati, M., Zhou, B., Bentham, J., Di Cesare, M., Bixby, H., Danaei, G., ... Cisneros, J. Z. (2018). Contributions of mean and shape of blood pressure distribution to worldwide trends and variations in raised blood pressure: A pooled analysis of 1018 population-based measurement studies with 88.6 million participants. *International Journal of Epidemiology*, *47*(3), 872-883i. <https://doi.org/10.1093/ije/dyy016>
- Figuerola, L. E., & Genovese, D. B. (2019). Fruit jellies enriched with dietary fibre: Development and characterization of a novel functional food product. *Lwt*, *111*(May), 423–428. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.031>
- Franco, E., Aparecida, N., Sanches-silva, A., Ribeiro-santos, R., Ramos, N., & Melo, D. (2020). Trends in Food Science & Technology *Psyllium* (*Plantago ovata* Forsk): From evidence of health bene fi ts to its food application. *Trends in Food Science & Technology*, *96*(November 2018), 166–175. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.006>
- Guo, Q., Cui, S. W., Wang, Q., & Christopher Young, J. (2008). Fractionation and physicochemical characterization of *psyllium* gum. *Carbohydrate Polymers*, *73*(1), 35–43. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.11.001>
- Khalesi, S., Irwin, C., & Schubert, M. (2015). Flaxseed Consumption May Reduce Blood Pressure: A Systematic Review and Meta-Analysis of Controlled Trials. *The Journal of Nutrition*, *145*(4), 758–765. <https://doi.org/10.3945/jn.114.205302>
- Khan, K., Jovanovski, E., Ho, H. V. T., Marques, A. C. R., Zurbau, A., Mejia, S. B., ... Vuksan, V. (2018). The effect of viscous soluble fiber on blood pressure: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, *28*(1), 3–13. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2017.09.007>
- Kowaleski, J., Quast, L. B., Steffens, J., Lovato, F., Rodrigues dos Santos, L., Zambiazzi da Silva, S., ... Felicetti, M. A. (2020). Functional yogurt with strawberries and chia seeds. *Food Bioscience*, *37*, 100726. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100726>
- Institute of Medicine. Dietary Reference Intakes for Water, Potassium, Sodium, Chloride, and Sulfate. Food and Nutrition Board: National Academy Press, Washington, DC, 2004.

- Institute of Medicine, Food and Nutrition Board. Dietary Reference Intakes for Sodium and Potassium. The National Academies Press, Washington, DC (2019) Md Nor, S., & Ding, P. (2020). Trends and advances in edible biopolymer coating for tropical fruit: A review. *Food Research International*, 134(March), 109208. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109208>
- Melo, D., Machado, T. B., & Oliveira, M. B. P. P. (2019). Chia seeds: an ancient grain trending in modern human diets. *Food & Function*, 10(6), 3068–3089. <https://doi.org/10.1039/c9fo00239a>
- Molina-Ramírez, C., Cañas-Gutiérrez, A., Castro, C., Zuluaga, R., & Gañán, P. (2020). Effect of production process scale-up on the characteristics and properties of bacterial nanocellulose obtained from overripe Banana culture medium. *Carbohydrate Polymers*, 240, 116341. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116341>
- Olde Engberink, R. H. G., van den Born, B. J. H., Peters-Sengers, H., & Vogt, L. (2020). Long-term potassium intake and associated renal and cardiovascular outcomes in the clinical setting. *Clinical Nutrition*, (xxxx). <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2020.03.026>
- OMS. Prevention of recurrent heart attacks and strokes in low and middle income populations: Evidence-based recommendations for policy makers and health professionals. Geneva, World Health Organization (WHO), 2003 (http://www.who.int/cardiovascular_diseases/resources/pub0402/en/).
- Orlando, E. A., Rebellato, A. P., Silva, J. G. S., Andrade, G. C., & Pallone, J. A. L. (2020). Sodium in different processed and packaged foods: Method validation and an estimative on the consumption. *Food Research International*, 129, 108836. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108836>
- Orqueda, M. E., Torres, S., Verón, H., Pérez, J., Rodríguez, F., Zampini, C., & Isla, M. I. (2021). Physicochemical, microbiological, functional and sensory properties of frozen pulp of orange and orange-red chilto (*Solanum betaceum* Cav.) fruits. *Scientia Horticulturae*, 276, 109736. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109736>
- Pereira, A. M., Bonemann, D. H., Scherdien, S. H., Ávila, B. P., Antunes, I. F., Ribeiro, A. S., & Gularte, M. A. (2020). Evaluation of total and bioaccessible concentration of minerals in creole beans. *Journal of Food Composition and Analysis*, 94, 103622. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103622>
- Pereira, C. C., do Nascimento da Silva, E., de Souza, A. O., Vieira, M. A., Ribeiro, A. S., & Cadore, S. (2018). Evaluation of the bioaccessibility of minerals from blackberries,

- raspberries, blueberries and strawberries. *Journal of Food Composition and Analysis*, 68, 73–78. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.12.001>
- Rao, M. R. P., Warriar, D. U., Gaikwad, S. R., & Shevate, P. M. (2016). Phosphorylation of *psyllium* seed polysaccharide and its characterization. *International Journal of Biological Macromolecules*, 85, 317–326. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.12.043>
- Raymundo, A., Fradinho, P. P., & Nunes, M. C. (2014). Effect of *Psyllium* fibre content on the textural and rheological characteristics of biscuit and biscuit dough. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 3(2), 96–105. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2014.03.001>
- Rousseau, S., Kyomugasho, C., Celus, M., Hendrickx, M. E. G., & Grauwet, T. (2020). Barriers impairing mineral bioaccessibility and bioavailability in plant-based foods and the perspectives for food processing. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(5), 826–843. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1552243>
- Schulz, M., Biluca, F. C., Gonzaga, L. V., Borges, G. da S. C., Vitali, L., Micke, G. A., ... Fett, R. (2017). Bioaccessibility of bioactive compounds and antioxidant potential of juçara fruits (*Euterpe edulis* Martius) subjected to in vitro gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, 228, 447–454. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.02.038>
- Sheng, Z. W., Ma, W. H., Jin, Z. Q., Bi, Y., Sun, Z. G., Dou, H. T., ... Han, L. N. (2010). Investigation of dietary fiber, protein, vitamin E and other nutritional compounds of banana flower of two cultivars grown in China. *African Journal of Biotechnology*, 9(25), 3888–3895. <https://doi.org/10.4314/ajb.v9i25>
- Solà, R., Bruckert, E., Valls, R. M., Narejos, S., Luque, X., Castro-Cabezas, M., ... Anguera, A. (2010). Soluble fibre (*Plantago ovata* husk) reduces plasma low-density lipoprotein (LDL) cholesterol, triglycerides, insulin, oxidised LDL and systolic blood pressure in hypercholesterolaemic patients: A randomised trial. *Atherosclerosis*, 211(2), 630–637. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2010.03.010>
- Sukhija, S., Singh, S., & Riar, C. S. (2016). Analyzing the effect of whey protein concentrate and *psyllium* husk on various characteristics of biodegradable film from lotus (*Nelumbo nucifera*) rhizome starch. *Food Hydrocolloids*, 60, 128–137. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.03.023>
- Sun, H., & Sun, M. (2018). Age- and gender-dependent associations of blood pressure and

- serum sodium and potassium—renal and extrarenal regulations. *Journal of the American Society of Hypertension*, 12(5), 392–401.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jash.2018.03.005>
- TACO - Tabela brasileira de Composição de Alimentos/ NEPA. UNICAMP. 4ª edição. rev. e ampl. NEPA- UNICAMP. 2011.
- Thakur, J. S., Paika, R., & Singh, S. (2020). Burden of noncommunicable diseases and implementation challenges of National NCD Programmes in India. *Medical Journal Armed Forces India*, 76(3), 261–267. <https://doi.org/10.1016/j.mjafi.2020.03.002>
- Ullah, R., Nadeem, M., Khaliq, A., Imran, M., Mehmood, S., & Javid, A. (2016). Nutritional and therapeutic perspectives of Chia (*Salvia hispanica* L .): a review. *Journal of Food Science and Technology*, 53(April), 1750–1758. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1967-0>
- Ursoniu, S., Sahebkar, A., Andrica, F., Serban, C., & Banach, M. (2016). Effects of flaxseed supplements on blood pressure: A systematic review and meta-analysis of controlled clinical trial. *Clinical Nutrition*, 35(3), 615–625.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.clnu.2015.05.012>
- Weaver, C. (2013). White Vegetables : A Forgotten Source of Nutrients Potassium and Health 1 – 3. *American Society for Nutrition*, 4, 3685–3775.
<https://doi.org/10.3945/an.112.003533.smoking>
- WHO Guideline: potassium intake for adults and children. World Health Organization (WHO), Geneva (2012)
- Yap, M., Fernando, W. M. A. D. B., Brennan, C. S., Jayasena, V., & Coorey, R. (2017). LWT - Food Science and Technology The effects of banana ripeness on quality indices for puree production. *LWT - Food Science and Technology*, 80, 10–18.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.01.073>

CAPÍTULO IV

Effect of the addition of *psyllium* (*Plantago ovata* Forsk) on the physicochemical characteristics of frozen banana pulp during storage

Efeito da adição do *psyllium* (*Plantago ovata* Forsk) nas características físico-químicas de polpa de banana congelada durante estocagem

Artigo a ser submetido para publicação.

RESUMO

O *psyllium* é uma fibra solúvel que tem despertado o interesse de vários pesquisadores por apresentar benefícios funcionais comprovados como a redução do colesterol LDL, o controle da glicemia, retardo do tempo de esvaziamento gástrico entre outros. Este estudo objetivou elaborar uma polpa de banana adicionada de *psyllium* e verificar o efeito nos parâmetros físico-químicos (pH, acidez titulável total, cor e reologia) durante 90 dias de estocagem sob diferentes temperaturas (- 8 °C e - 18 °C). Os resultados mostraram que a adição de 3% de *psyllium* alterou alguns parâmetros: o pH não apresentou diferença significativa no tempo 0, porém nos tempos 30 e 60 apresentou diferença e ao final do armazenamento não apresentou diferença, a ATT não apresentou alteração no tempo 0, mas a partir do tempo 30 apresentou um decréscimo significativo até o final do período do armazenamento, o *psyllium* por possuir uma coloração mais escura que a banana reduziu a luminosidade (L*), verificou-se que a adição de *psyllium* aumentou a viscosidade aparente da polpa. O *psyllium* tem potencial para ser utilizado em polpa de banana, visto que as alterações no pH e ATT não afetaram a qualidade do produto e atendem ao preconizado pelo padrão de qualidade e identidade vigente para polpa de banana, sendo um produto viável com propriedades funcionais que pode receber alegação de saúde.

Palavras chaves: alimento funcional, saúde, fruta, alegação de saúde, hidrocoloide

ABSTRACT

Psyllium is a soluble fiber that has aroused the interest of several researchers for presenting proven functional benefits such as the reduction of LDL cholesterol, the control of glycemia, delays the time of gastric emptying, among others. This study aimed to prepare a banana pulp added with *psyllium* and verify the effect on the physical-chemical parameters (pH, total titratable acidity, color and rheology) during 90 days of storage under different temperatures (-8 ° C and -18 ° C) . The results showed that the addition of 3% *psyllium* changed some parameters: the pH did not show any significant difference at time 0, but at times 30 and 60 it showed a difference and at the end of storage it did not show any difference, the ATT did not show any change at time 0 , but from time 30 it showed a significant decrease until the end of the storage period, the *psyllium* for having a darker color than the banana reduced the luminosity (L *), it was verified that the addition of *psyllium* increased the apparent viscosity of the pulp. *Psyllium* has the potential to be used in banana pulp, since changes in pH and ATT did not affect the quality of the product and meet the requirements of the current quality and identity standard for banana pulp, being a viable product with functional properties that can receive health claim.

Key words: functional food, health, fruit, health claim, hydrocolloid

1. Introdução

Devido a preocupação com a saúde, os consumidores estão fazendo melhores escolhas alimentares (Ali & Ali, 2020). Os alimentos funcionais estão sendo incluídos nas dietas com mais frequência, esses produtos podem receber declaração de alegação de saúde no rótulo e isso é um diferencial competitivo no mercado (Domínguez Díaz, Fernández-Ruiz, & Cámara, 2020).

Muitos países têm como objetivo em sua política pública melhorar a dieta alimentar da população. A conscientização a respeito dos benefícios para a saúde no consumo dos alimentos vegetais provocou o aumento na demanda por esses produtos e com isso impulsionou a indústria alimentar a buscar alternativas alimentares mais saudáveis e a desenvolver mais produtos de origem vegetal (Huang, Bai, & Gong, 2020; J. Liu et al., 2020).

O *psyllium* é uma planta com alto teor de fibra solúvel (encontrada na casca das sementes de *Plantago ovata*) que apresenta vários benefícios funcionais comprovados como redução do colesterol LDL, controle da glicemia, laxante, retarda o tempo de esvaziamento gástrico e têm sido estudado por muitos pesquisadores. Tem sido adicionado com sucesso em produtos alimentícios, principalmente como fonte de hidrocoloide em formulações sem glúten, porém a adição de *psyllium* em produtos vegetais é escassa (Belorio, Marcondes, & Gómez, 2020; Franco et al., 2020; Fratelli, Muniz, Santos, & Capriles, 2018; Peressini, Cavarape, Brennan, Gao, & Brennan, 2020; Santos, Aguiar, Centeno, Rosell, & Capriles, 2020). De acordo com Fradinho, Soares, Niccolai, Sousa, & Raymundo (2020) o *psyllium* quando adicionado em alimentos aumenta o teor de fibras e reduz o índice glicêmico.

De acordo com Farahnaky, Askari, Majzoobi, & Mesbahi (2010) devido os efeitos benéficos do *psyllium*, os alimentos fortificados podem ter uma aceitação superior pelo consumidor.

No Brasil, o produto alimentar que apresentar no mínimo 3 g de *psyllium* por porção pode colocar no rótulo a alegação de saúde (Brasil, 1999), até o momento não há a oferta aos consumidores de muitos produtos nesta condição. Adicionar fibras em produtos alimentícios não é uma tarefa simples, pois pode alterar as propriedades reológicas, cor, textura, sabor. Alguns pesquisadores estudaram a adição de fibras em produtos com frutas como geleias (Figueroa & Genovese, 2019) e néctar (Huang et al., 2020).

Outro mercado que apresenta crescimento junto ao mercado de produtos funcionais é o de polpas de frutas congeladas, visto a facilidade no preparo, benefícios nutricionais e aceitação

sensorial, além de reduzir as perdas das frutas devido sua perecibilidade (Orqueda et al., 2021). O Brasil é o terceiro maior produtor de frutas, tendo o processamento de polpa congelada como um dos principais produtos industriais de frutas (Alamar, Caramês, Poppi, & Pallone, 2016). Muitos países apresentaram aumento na produção de polpa de frutas, como o Estados Unidos com um aumento na taxa de 1,3 % em 2015 (IBISWord, 2015).

De acordo com Storey & Anderson (2018) o consumo diário de frutas no Estados Unidos está abaixo do recomendado pelo Diretrizes Dietéticas para Americanos 2015 – 2020 e frutas congeladas podem auxiliar para um maior consumo deste alimento. O estudo mostrou que os consumidores de frutas e vegetais congelados ingeriram uma concentração maior de nutrientes como a vitamina k, D, cálcio e fibras. Os autores declararam que a oferta de frutas e vegetais congelados apresentam vantagens como a conveniência e a redução nos desperdícios, sendo um critério importante principalmente para os grupos de baixa renda.

Mason-D’Croz et al. (2019) realizaram um levantamento sobre a oferta futura de frutas e hortaliças e os níveis de consumo recomendados em mais de 150 países até 2050 e verificaram que a produção de frutas será insuficiente para atender às recomendações nutricionais da população devido às grandes perdas por desperdício.

Visto que o consumo de frutas está abaixo do recomendado, que há perdas significativas de frutas no processamento pós colheita e a demanda por polpas de frutas está em alta, é necessário priorizar estudos e investimentos em tecnologias para reduzir este desperdício sem aumentar o custo para o consumidor e ofertar produtos com qualidade nutricional (Mason-D’Croz et al., 2019; Storey & Anderson, 2018).

O processamento de frutas em polpas congeladas auxilia na prevenção ao desperdício por perdas pós colheita. A perda de banana, por exemplo, pode chegar até 40% (Ssennoga, Mugurusi, & Oluka, 2019).

O conhecimento sobre as propriedades físicas e químicas de polpas de frutas congeladas é importante para melhorar as condições de processamento e armazenamento (Orqueda et al., 2021). Apesar do mercado de polpas de frutas congeladas apresentar crescimento, poucas informações sobre as propriedades físicas e químicas estão disponíveis na literatura.

As características físico-químicas estão relacionadas com a qualidade da polpa de fruta e devem atender a um padrão da legislação vigente. O congelamento visa conservar os alimentos por longos períodos, porém mesmo em temperaturas abaixo de 0 °C podem ocorrer alterações. A velocidade de congelamento e a estabilidade da temperatura durante o

armazenamento estão relacionadas com as alterações físico-químicas nos alimentos (Damiani, Lage, et al., 2013).

Para melhor conservação das polpas é recomendável o armazenamento em temperatura entre -18 °C a -22 °C (Mata et al., 2005). Porém muitas vezes esta temperatura não é mantida nos pontos de venda, como pode ser verificado no estudo de Feitosa et al. (2017) em que polpa de acerola e tamarindo encontrava-se armazenadas em temperatura entre -2,4 °C a -11,4 °C, armazenamento em temperaturas inadequadas pode estimular a atividade química e enzimática em polpas.

Após realizar uma investigação na literatura não foi encontrado até o presente momento estudos sobre a propriedades reológicas e físico-química de polpa de banana congelada. Mediante ao exposto, este estudo teve como objetivo verificar o efeito da adição do *psyllium* nos parâmetros de cor, reologia, pH e ATT em polpas de banana congeladas durante 90 dias de estocagem sob diferentes temperaturas (- 8 ° C e - 18 °C).

2. Materiais e métodos

2.1 Materiais

A banana (*Musa* spp.) da cultivar “Prata” com amadurecimento ao natural no estágio de maturação número 6 (Von Loesecke, 1950) e o *psyllium* (95% de pureza com 80% de fibra alimentar), foram adquiridos no mercado local no município de Iguatu/CE. Ácido cítrico (INS 330) e ácido ascórbico (INS 300) foram adquiridos com a Pantec -Aditivos e Ingredientes Brasil Ltda.

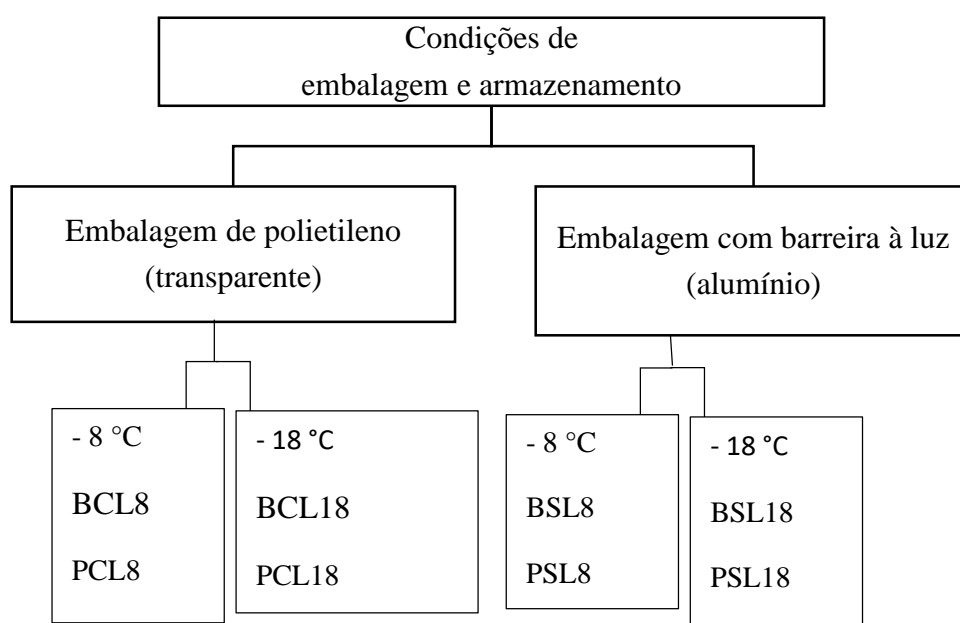
2.2 Preparo das amostras

As bananas foram higienizadas em água corrente e deixadas em solução clorada a 200 ppm por 15 minutos, enxaguadas e após secagem ao natural foi retirada as cascas. As bananas foram colocadas em um despoldador (Marca Braesi Modelo DES-60/1) e em seguida foram adicionados os demais ingredientes conforme Tabela 1. O ácido ascórbico e ácido cítrico foram utilizados para prevenir o escurecimento enzimático e auxiliar na conservação do produto (Brasil, 2013).

Tabela 1. Formulação das polpas de banana congelada

Amostras	<i>Psyllium</i>	Banana	Ácido cítrico	Ácido ascórbico
Polpa 0%	0	99,6%	0,2%	0,2%
Polpa 3%	3%	96,6%	0,2%	0,2%

As polpas foram embaladas e armazenadas em duas condições de temperaturas (- 8 °C e - 18 °C) e de embalagens (com barreira e sem barreira a luminosidade), conforme Figura 1. Todas as polpas foram empacotadas em embalagem plástica transparente (polietileno de média densidade, espessura média de 0,117±0,001mm) e para verificarmos se a luz teria algum efeito na cor das polpas foi utilizado papel alumínio (espessura 0,2 mm) para envolver e bloquear a ação da luz. As polpas permaneceram armazenadas em temperaturas de - 8 °C (para simular um freezer doméstico ou freezer em lojas comerciais) e - 18 °C (para simular um armazenamento na indústria). As análises em triplicata ocorreram nos tempos 0 (24 h); 30; 60; 90 dias de estocagem.



Legenda das polpas:

BCL8: Banana com luz (embalagem transparente) - 8 °C; BCL18: Banana com luz (embalagem transparente) - 18 °C; BSL8: Banana sem luz (embalagem de alumínio) - 8 °C; BSL18: Banana sem luz (embalagem de alumínio) - 18 °C; PCL8: *Psyllium* com luz (embalagem transparente) - 8 °C; PCL18: *Psyllium* com luz (embalagem transparente) - 18 °C; PSL8: *Psyllium* sem luz (embalagem de alumínio) - 8 °C; PSL18: *Psyllium* sem luz (embalagem de alumínio) - 18 °C.

Figura 1. Fluxograma das condições de embalagem e armazenamento das polpas de banana adicionadas de *psyllium*

As polpas foram descongeladas em temperatura ambiente por 1 hora antes de realizar as análises.

2.3 Medição de pH

O pH foi determinado através de leitura direta, em potenciômetro, conforme IAL (2008).

2.4 Acidez Total Titulável (ATT)

A ATT foi determinada pelo método da titulação volumétrica com indicador seguindo a metodologia IAL (2008).

2.5 Determinação de cor

A determinação da cor instrumental das amostras foi realizada utilizando colorímetro Chroma Meter CR-400 (Konica Minolta, Japão), empregando iluminante D65 e geometria 45/0, e os valores de cor foram expressos no sistema CIELAB. Os valores de L^* (luminosidade), a^* (componente vermelho-verde) e b^* (componente amarelo-azul) foram obtidos diretamente do colorímetro. L^* varia de 0 a 100, em que o valor 0 indica o preto (ou cor escura) e o 100, o branco (cor clara). Todas medições foram realizadas a temperatura de 20 °C nas mesmas condições de luz (área de medição de 50 mm² por medição) e replicadas 6 vezes (Lawless; Heymann, 1998).

2.6 Propriedades reológicas

O comportamento reológico das polpas foi determinado através de um reômetro rotacional de cilindros concêntricos tipo Searle da Brookfield, modelo R/S plus SST 2000. As medidas foram feitas na temperatura de 25 °C (Amaral et al., 2018). O equipamento forneceu os dados de tensão de cisalhamento e taxa de deformação através do software RHEO V 2.8. As análises reológicas foram obtidas com variação da taxa de deformação de 0 a 200 s⁻¹ (curva ascendente) e de 200 a 0 s⁻¹ (curva descendente), com um tempo de 1 minuto e leitura de 25

pontos para cada curva. As leituras foram feitas em triplicata e em cada medida foi utilizada uma nova amostra. Os dados obtidos na análise reológica foram ajustados aos modelos de Newton, Ostwald-de-Waelle, Herschel Bulkley, Casson, Casson modificado, Sisko, Cross e Carreau (Tabela 2).

Tabela 2. Modelos utilizados para avaliação do comportamento reológico.

Nome do Modelo	Codigo	Equação
Newton	Mod1	$\tau = \eta(\dot{\gamma})$
Ostwald-de-Waelle	Mod2	$\tau = k(\dot{\gamma})^n$
Herschel Bulkley	Mod3	$\tau = \tau_o + k_H(\dot{\gamma})^{n_H}$
Casson	Mod4	$(\tau)^{0.5} = k_{oc} + k_{cass}(\dot{\gamma})^{0.5}$
Casson modificado	Mod5	$(\tau)^{0.5} = (k_{oc})^{0.5} + k_{cass}(\dot{\gamma})^n$
Sisko	Mod6	$\tau = \mu_{\infty}\dot{\gamma} + K(\dot{\gamma})^n$

Em que: τ = tensão de cisalhamento (Pa), η = índice de comportamento (adimensional), $\dot{\gamma}$ = taxa de deformação (S^{-1}), K = índice de consistência (Pa.s), n = índice de comportamento (adimensional), τ_o = tensão de escoamento, K_H = índice de consistência Herschel Bulkley, γ = taxa de deformação (s^{-1}), K_{oc} = tensão inicial (Pa), K_{cass} = viscosidade plástica de Casson (Pa.sn), μ = viscosidade absoluta, μ_o = viscosidade de deformação zero, μ_{∞} = viscosidade de deformação infinita.

2.7 Análise dos dados

Foi utilizado ANOVA para verificar diferença entre as amostras, e onde houve diferença foi realizado o test t utilizando ao nível de significância de 5%. Para a descrição do comportamento reológico das amostras foram testados modelos matemáticos para o ajuste das curvas de viscosidade. Como foi reportado por Spies et al. (2010) R^2 nem o R^2 ajustado são adequados para avaliar modelos não lineares. Desta forma, os modelos matemáticos foram avaliados mediante o critério de Akaike (Akaike Information Criterion AIC), o qual avalia os resíduos do modelo. Seguindo o mesmo critério dos menores resíduos do modelo também foi utilizado Root-mean-square deviation (RMSE). Os modelos que apresentaram menores valores de AIC e RMSE foram considerados os melhores. Todos os cálculos estatísticos foram analisados utilizando o software R (linguagem de programação para estatística computacional).

3.0 Resultados e discussões

Houve alterações físico-químicas durante o armazenamento das polpas de banana congeladas adicionadas de *psyllium*.

Conhecer as alterações físico-químicas durante a estocagem dos produtos é importante para estabelecer a validade comercial dos mesmos. Pequenas alterações podem ser consideradas aceitáveis, desde que atendam aos requisitos da legislação vigente.

Para a estocagem na ausência de luz foi verificado que não houve alterações significativas quanto as temperaturas testadas para os parâmetros de cor, reologia, pH e acidez quando comparadas às polpas embaladas em material transparente, por essa razão os resultados a seguir não irão contemplar essas informações, visto que para viabilizar a comercialização a embalagem transparente (não laminada) é mais interessante de ser utilizada, pois apresenta menor custo.

Os resultados do estudo de Caroline, Monteiro, Roberta, & Pires (2017) ao analisarem a estabilidade de geleia de murici em diferentes condições de estocagem corroboram com os achados desta pesquisa. Os autores verificaram que a geleia armazenada na presença de luminosidade não apresentou diferença significativa para as análises de pH, ATT e cor (L^* , a^* e b^*) em relação à geleia armazenada na ausência de luminosidade.

3.1 Acidez total Titulável e pH

Os resultados para pH encontram-se na Tabela 3. Observa-se que o pH apresentou alterações significativas para todas as amostras durante o período de estocagem, porém não apresentou diferença significativa entre as diferentes temperaturas dentro da mesma formulação.

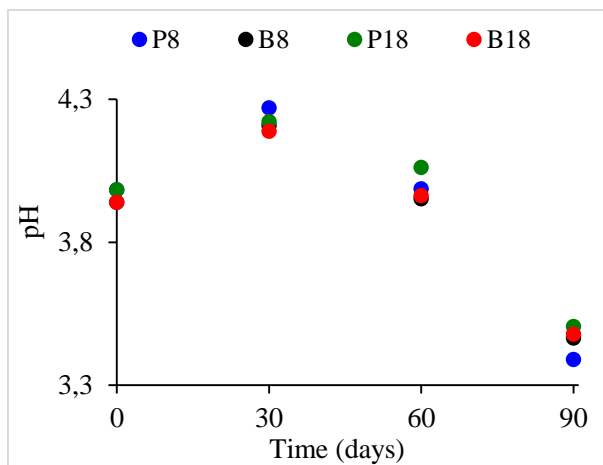
Tabela 3. pH das Polpas de banana congelada no período de 90 dias de armazenamento em embalagens transparentes

Amostras (*)	Tempo / pH			
	24 horas	30 dias	60 dias	90 dias
B8	3.94 ± 0.05 ^{B;a}	4.21 ± 0.02 ^{A;b}	3.95 ± 0.04 ^{B;b}	3.46 ± 0.05 ^{C;a}
B18	3.94 ± 0.05 ^{B;a}	4.19 ± 0.02 ^{A;b}	3.96 ± 0.01 ^{B;b}	3.48 ± 0.07 ^{C;a}
P8	3.98 ± 0.01 ^{B;a}	4.27 ± 0.02 ^{A;a}	3.99 ± 0.03 ^{B;a}	3.39 ± 0.08 ^{C;a}
P18	3.98 ± 0.01 ^{C;a}	4.22 ± 0.03 ^{A;a}	4.06 ± 0.04 ^{B;a}	3.50 ± 0.02 ^{D;a}

Letras maiúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa pelo teste de t para amostras não pareadas. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicando diferença significativa pelo teste de t para amostras não pareadas. Todas as análises foram realizadas a um nível de significância $p < 0,05$.

(*): B8 = polpa de banana armazenada a -8 °C; B18= polpa de banana armazenada a - 18 °C; P8= polpa de banana com *psyllium* armazenada a -8 °C; P18 = polpa de banana com *psyllium* armazenada a -18 °C.

O pH das polpas não permaneceu estável durante o armazenamento. Pode-se verificar na Figura 2 a cinética do pH em relação ao tempo. Observa-se que tanto a polpa de banana quanto a polpa adicionada de *psyllium* apresentaram um padrão semelhante durante o armazenamento nas duas temperaturas.



B8 = polpa de banana armazenada a -8 °C; B18= polpa de banana armazenada a -18 °C; P8= polpa de banana com *psyllium* armazenada a -8 °C; P18 = polpa de banana com *psyllium* armazenada a -18 °C.

Figura 2: Cinética entre pH e tempo de armazenamento das Polpas de banana congelada

Verifica-se na Figura 2 que todos os tratamentos apresentaram redução do pH ao final do período de estocagem e manteve-se dentro da faixa desejável (< 4,5) durante todo o período de armazenamento, prevenindo assim a proliferação de micro-organismos. De acordo com Tan, Misran, Daim, Ding, & Pak Dek, (2020), o pH é um atributo importante que pode ser utilizado para determinar a qualidade, o frescor e o sabor dos frutos e o baixo pH tende a reduzir o crescimento microbiano.

Resultados semelhantes em relação a redução do pH durante período de estocagem de polpas de frutas foram encontrados por Orqueda et al. (2021) ao analisarem polpas de chilito armazenadas a - 18 °C durante o período de estocagem de 180 dias. O mesmo resultado foi obtido por Damiani et al. (2013) ao analisarem polpa de marolo armazenada sob congelamento - 18 °C por 12 meses.

Porém ao analisar os estudos de Tan et al. (2020) foi verificado que após o armazenamento da polpa de durian (fruta do sudeste da Ásia) por 12 meses o pH e a acidez Total titulável não apresentaram alterações.

Uma explicação para esses resultados pode estar no método escolhido para o congelamento, pois no estudo de Tan et al. (2020) com as polpas de durian foi utilizado o congelamento rápido (- 40 °C por 4 horas e armazenamento sob - 20 °C) e nos estudos de Orqueda et al. (2021) com as polpas de chilito e Damiani et al. (2013) com polpas de marolo foi verificado que o congelamento foi realizado pelo método lento. Sugere-se que o método de congelamento escolhido possa ter relação com a estabilidade do pH e acidez Total titulável.

De acordo com os estudos de Jha & Jury (2019) o método escolhido para congelar frutas e hortaliças pode ter relação com o rompimento das membranas celulares, pois o crescimento de cristais de gelo no método de congelamento lento (- 18 °C) perfura a membrana, levando à quebra do tecido e liberação de enzimas degradativas. Essas enzimas podem degradar polissacarídeos (pectinas e hemiceluloses) durante o descongelamento liberando ácidos orgânicos. Algumas frutas são mais susceptíveis ao dano por congelamento e a banana é uma delas (Wang, 1990).

Conforme Ahmad, Khan, & Ayub (2000) a redução do pH em frutas e vegetais congelados pode estar relacionada com a hidrólise de pectina ou degradação de polissacarídeos (Ahmad et al., 2000).

Apesar das alterações no pH a acidez permaneceu estável em quase todo o período de estocagem como pode ser verificado na Tabela 4.

Pode-se observar que a temperatura de estocagem não interferiu nos resultados da acidez.

Resultados semelhantes foram observados nos estudos de Tan et al. (2020) com polpa de durian, não pasteurizada e sem adição de acidulantes, sob congelamento a – 20 °C durante 12 meses foi observado que a acidez se manteve constante durante o período de estocagem.

Tabela 4. Acidez Total titulável (% ácido málico) nas polpas de banana congelada armazenadas por 90 dias

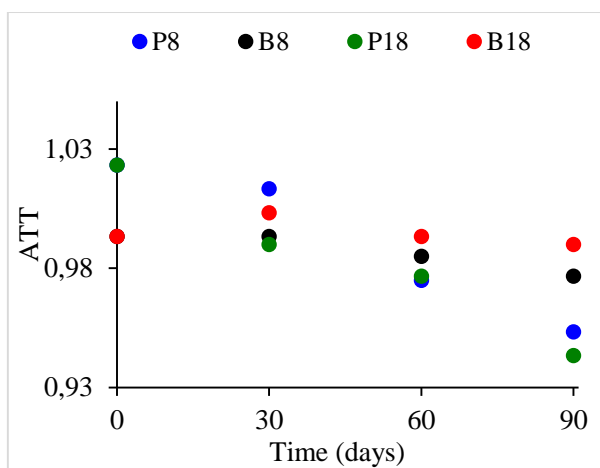
Amostras (*)	Tempo / ATT			
	24 horas	30 dias	60 dias	90 dias
B8	0.99 ± 0.01 ^{A;a}	0.99 ± 0.01 ^{A;a}	0.98 ± 0.01 ^{A;a}	0.98 ± 0.01 ^{A;a}
B18	0.99 ± 0.01 ^{A;a}	1.00 ± 0.01 ^{A;a}	0.99 ± 0.01 ^{A;a}	0.99 ± 0.01 ^{A;a}
P8	1.02 ± 0.01 ^{A;a}	1.01 ± 0.01 ^{A;a}	0.98 ± 0.01 ^{B;a}	0.95 ± 0.01 ^{C;b}
P18	1.02 ± 0.01 ^{A;a}	0.99 ± 0.01 ^{B;a}	0.98 ± 0.01 ^{B;a}	0.94 ± 0.01 ^{C;b}

Letras maiúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa pelo teste de t para amostras não pareadas. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicando diferença significativa pelo teste de t para amostras não pareadas. Todas as análises foram realizadas a um nível de significância $p < 0,05$.

(*) B8 = polpa de banana armazenada a -8 °C; B18 = polpa de banana armazenada a -18 °C; P8 = polpa de banana com *psyllium* armazenada a -8 °C; P18 = polpa de banana com *psyllium* armazenada a -18 °C.

Já as polpas de banana adicionadas de *psyllium* apresentaram redução de acidez no decorrer do período de estocagem.

É possível observar na Figura 3 a cinética da acidez em relação ao tempo. Apesar das reduções na acidez nas polpas de banana adicionadas de *psyllium* pode-se verificar que atende ao preconizado pela legislação vigente. De acordo com a Instrução Normativa nº 37 de 10/2018 os padrões de identidade e qualidade para polpa de banana deve ser de acidez Total mínima de 0,20 (g / 100 g) (Brasil, 2018), e as polpas deste estudo apresentaram valores superiores a 0,94.



P8 = polpa de banana com *psyllium* armazenada a -8 °C; P18 = polpa de banana com *psyllium* armazenada a -18 °C; B8 = polpa de banana armazenada a -8 °C; B18 = polpa de banana armazenada a -18 °C.

Figura 3: Cinética entre acidez e tempo de armazenamento das polpas de banana congelada

A redução da acidez Total titulável nas polpas adicionadas de *psyllium* pode ser explicada pela hidrólise ácida dos polissacarídeos (fibra dietética) presente na estrutura do *psyllium*. Zhang, Wen, Zhang, & Duan (2019) afirmaram que as ligações glicosídicas nos polissacarídeos do *psyllium* podem ser quebradas por hidrólise ácida. De acordo com os autores há poucas discussões na literatura sobre a relação entre a estrutura do polissacarídeo de *psyllium* e sua atividade biológica.

Em um estudo com iogurte foi observado que a adição do *psyllium* causou uma redução na acidez Total titulável durante armazenamento refrigerado (Bhat, Deva, & Amin, 2018) corroborando com os resultados deste estudo.

3.2 Determinação da cor

A cor é um indicador importante de qualidade podendo interferir na aceitação do produto pelo consumidor (Orqueda et al., 2021). Os parâmetros de luminosidade (L^*) das polpas foram verificados e são mostrados na Tabela 5.

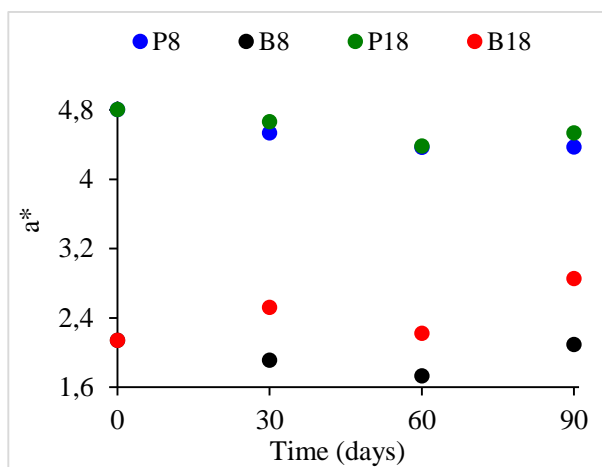
A adição do *psyllium* causou alteração significativa na cor das polpas reduzindo a luminosidade (L^*), ou seja, o produto escureceu e causou alteração também nos valores de a^* , tendendo para uma coloração mais vermelha (Tabela 5 e Figura 4).

Tabela 5. Resultados para determinação de L^* das polpas de banana congelada durante 90 dias armazenamento

Amostras (*)	Tempo / (L^*)			
	24 h0oras	30 dias	60 dias	90 dias
B8	71.5 ± 0.57 ^{A;a}	71.24 ± 0.22 ^{A;a}	71.82 ± 0.2 ^{A;b}	67.89 ± 0.16 ^{B;b}
B18	71.5 ± 0.57 ^{A;a}	71.8 ± 0.13 ^{A;a}	73.14 ± 0.08 ^{A;a}	72.47 ± 0.21 ^{A;a}
P8	64.27 ± 0.19 ^{A;b}	62.67 ± 1.48 ^{AB;b}	62.41 ± 0.38 ^{A;d}	61.29 ± 0.12 ^{B;d}
P18	64.27 ± 0.19 ^{A;b}	64.61 ± 0.48 ^{A;b}	65.04 ± 0.33 ^{A;c}	63.23 ± 0.62 ^{B;c}

Letras maiúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença significativa pelo teste de t para amostras não pareadas. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicando diferença significativa pelo teste de t para amostras não pareadas. Todas as análises foram realizadas a um nível de significância $p < 0,05$.

(*) B8 = polpa de banana armazenada a -8 °C; B18 = polpa de banana armazenada a -18 °C; P8 = polpa de banana com *psyllium* armazenada a -8 °C; P18 = polpa de banana com *psyllium* armazenada a -18 °C.



B8 = polpa de banana armazenada a -8 °C; B18 = polpa de banana armazenada a -18 °C; P8 = polpa de banana com *psyllium* armazenada a -8 °C; P18 = polpa de banana com *psyllium* armazenada a -18 °C.

Figura 4. Cinética do parâmetro a^* em relação ao tempo de estocagem das polpas de banana congelada

Em relação ao tempo, percebe-se que até 60 dias de armazenamento todas as polpas mantiveram a luminosidade estável. Isso sugere que o uso dos acidulantes foram eficientes para inativar as enzimas oxidativas. Para a temperatura, observa-se que não interferiu na luminosidade durante 30 dias, porém a partir deste tempo houve diferenças significativas.

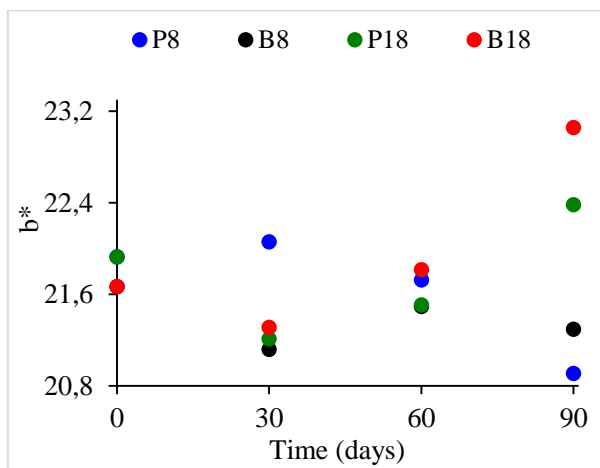
Similar resultado em relação às polpas de banana sem a adição do *psyllium* foi verificado no estudo de Yap, Fernando, Brennan, Jayasena, & Coorey (2017) com elaboração de purê de banana em estágio de maturação 6. Eles realizaram o branqueamento e ajustaram o pH para 4,0 com ácido cítrico (0,5 mol / L) obtendo uma luminosidade (L^*) do purê de 68,91.

É possível verificar pela Figura 4 que a adição de *psyllium* afetou o parâmetro a^* , as polpas com *psyllium* apresentaram valores mais alto neste parâmetro podendo ser justificado devido ao *psyllium* ter a coloração mais avermelhada que a banana.

Nos estudos de Krystyjan, Gumul, Korus, Korus, & Sikora (2018) com biscoitos fortificados com *psyllium* foi observado alteração significativa nas características de cor semelhante a este estudo, os autores informaram que houve uma diminuição na luminosidade (L^*). Em outro estudo com biscoitos adicionados de *psyllium* também foi observado um escurecimento com uma redução nos valores de L^* (Raymundo, Fradinho, & Nunes, 2014).

A explicação para a redução de luminosidade (L^*) aos 90 dias de armazenamento para as polpas na temperatura - 8 °C pode estar relacionada com a degradação de carotenoides.

Conforme mostrado na Figura 5 observa-se que o tempo e a temperatura tiveram efeito no parâmetro b^* das polpas de banana. O parâmetro b^* está relacionado com os pigmentos amarelos (carotenoides). Os carotenoides (α - e β -caroteno) são os maiores responsáveis pela coloração na banana, uma maior coloração amarela da polpa indica um nível crescente de carotenoides (Englberger et al., 2010).



B8 = polpa de banana armazenada a $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$; B18 = polpa de banana armazenada a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$; P8 = polpa de banana com *psyllium* armazenada a $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$; P18 = polpa de banana com *psyllium* armazenada a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Figura 5. Cinética do parâmetro b^* em relação ao tempo de estocagem das polpas de banana congelada

Verifica-se pela Figura 5 que houve alteração no parâmetro b^* após 60 dias de armazenamento para as duas temperaturas, é possível observar que as polpas armazenadas em temperatura de $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ tiveram os valores de b^* reduzidos ao final da estocagem e as polpas armazenadas a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ apresentaram os valores de b^* aumentados.

Em estudo com cerejas congeladas foi verificado que o método de congelamento pode propiciar as reações enzimáticas, os autores informaram que o congelamento lento ocasionou o rompimento das membranas celulares, o que permitiu as interações enzimáticas com o substrato durante o descongelamento causando o escurecimento nas cerejas (Bilbao-Sainz et al., 2019).

Neste estudo as polpas foram congeladas nas temperaturas de $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, ou seja, as polpas do congelamento a $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ demoraram mais tempo para congelar completamente em relação às polpas que foram congeladas à $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ e isso pode ter propiciado uma lesão nas membranas e ter permitido reações enzimáticas. De acordo com Énicaud, Chir, Ayer, Ornier,

& Ohuon (2011) o congelamento lento perfura as membranas celulares, libera as enzimas oxidantes presentes nos tecidos e permite as interações das enzimas com o ar durante o descongelamento.

Tan et al. (2020) ao investigar os efeitos do congelamento em polpas de durian verificaram que após 12 meses as polpas apresentaram uma redução em L^* possivelmente devido às alterações nas concentrações de pigmentos carotenoides que foram gradualmente perdidas durante o armazenamento em baixa temperatura.

O escurecimento por degradação de carotenoides ocorre por várias vias e a oxidação enzimática é uma delas. As enzimas não são completamente inativadas durante armazenamento congelado e as reações enzimáticas podem ocorrer lentamente devido a presença de água não congelada disponível. De acordo com os autores outra condição que influencia na degradação dos carotenoides são os ácidos orgânicos liberados durante o processamento que são suficientes para promover rearranjos nos carotenoides (Énicaud et al., 2011).

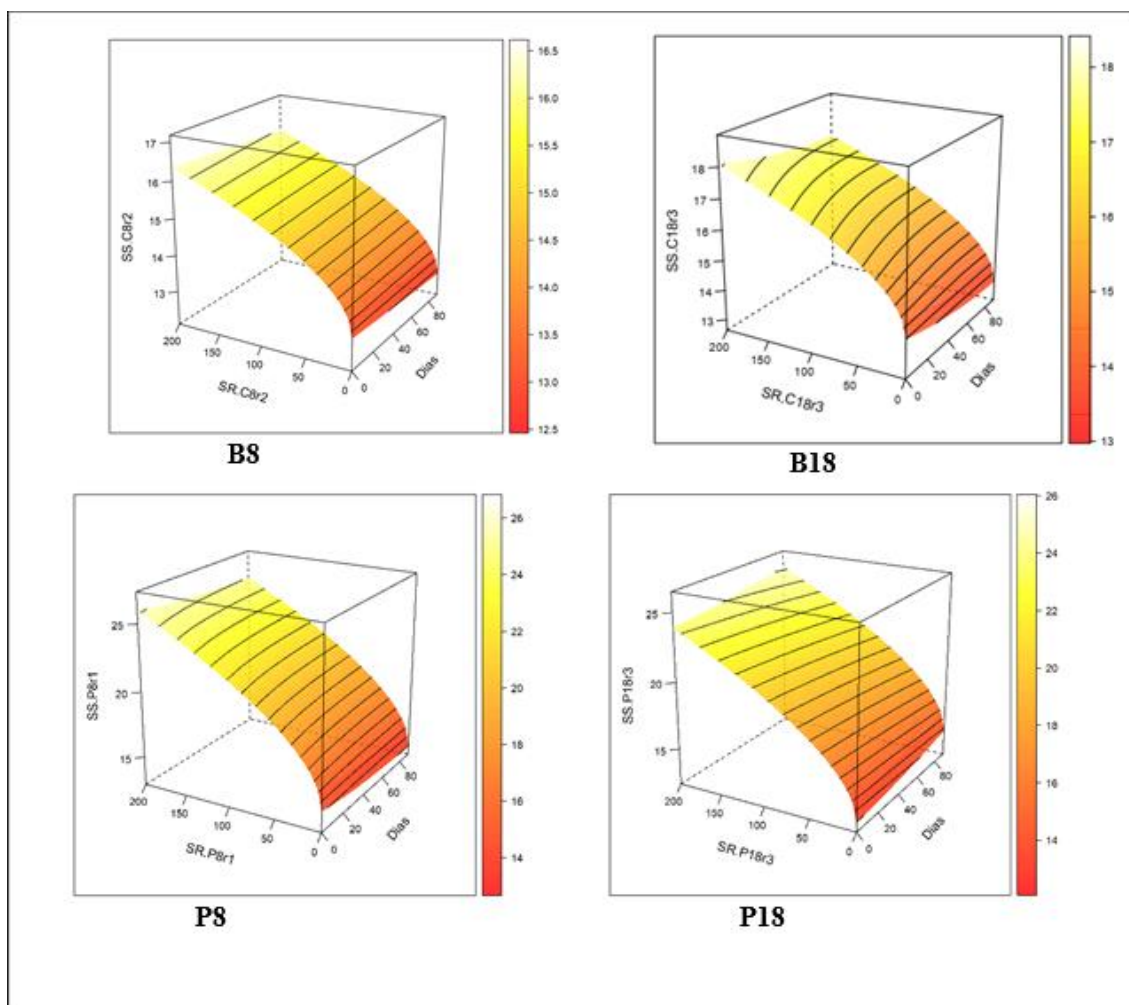
3.3 Características reológicas

Entre os modelos testados para descrever o comportamento reológico das polpas, o modelo de Casson teve um melhor ajuste com menores valores de AIC e RMSE e sendo considerado o indicado. De acordo com Silva et al. (2012) o modelo de Casson é adequado para descrever fluidos não newtonianos com partículas em suspensão.

O modelo de Casson descreveu bem o comportamento das polpas de banana em relação aos outros modelos e por esta razão esse modelo foi usado para determinar os parâmetros reológicos neste estudo.

Melo et al. (2020) ao analisarem o comportamento reológico de polpa de cupuaçu informaram que o modelo de Casson pode ser utilizado na avaliação dos parâmetros reológicos para essa polpa. Guerrero & Alzamora (1997) também utilizaram esse modelo para analisar o comportamento reológico de purês de frutas.

A Figura 6 mostra o comportamento das polpas sob armazenamento por 90 dias. Como pode ser observado, as polpas apresentaram comportamento semelhante em todos os tratamentos. Verifica-se que o comportamento das polpas de banana se assemelha com o comportamento das polpas adicionadas de *psyllium*.



B8 = polpa de banana armazenada a -8 °C; B18 = polpa de banana armazenada a -18 °C; P8 = polpa de banana com *psyllium* armazenada a -8 °C; P18 = polpa de banana com *psyllium* armazenada a -18 °C.

Figura 6. Curvas de fluxo tensão de cisalhamento versus taxa de cisalhamento das polpas de banana sob armazenamento congelado (- 8 °C e - 18 °C) por 90 dias.

Pode-se confirmar pela Figura 6 o comportamento não newtoniano com curva de fluxo pseudoplástico de todas as polpas, independentemente do tempo, temperatura e adição de *psyllium*, como verificado as inclinações das curvas de escoamento reduziram com o aumento da tensão de cisalhamento revelando o decréscimo da viscosidade aparente. Observa-se nos gráficos que o tempo de estocagem teve pouco efeito no comportamento reológico das polpas.

No estudo de Melo et al. (2020) a polpa de cupuaçu também apresentou comportamento pseudoplástico. De acordo com os autores conforme é aplicado a força de tensão de cisalhamento sobre o fluido, as partículas sólidas vão se ordenando na direção do fluxo de escoamento, e isto causa a redução na viscosidade aparente e redução da resistência do fluxo.

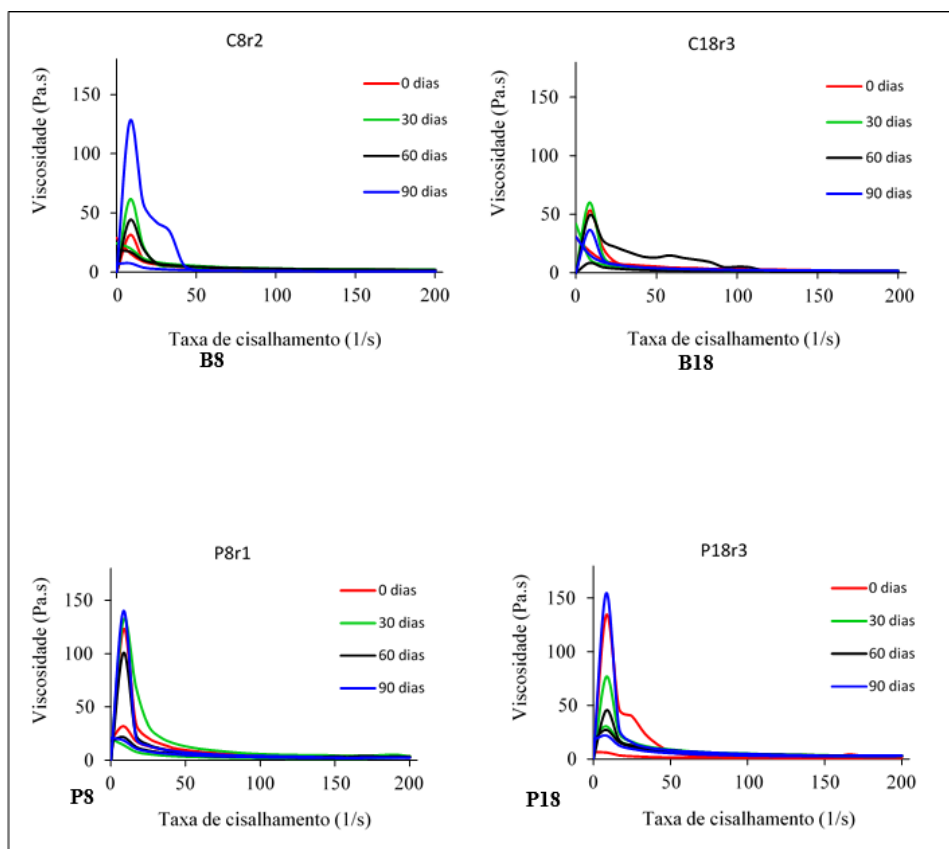
Polpa de banana verde foi adicionada em uma emulsão óleo - água (maionese) e os resultados corroboraram com o resultado deste estudo. Izidoro, Scheer, Sierakowski, & Haminiuk (2008) ao estudarem a influência da polpa de banana verde no comportamento reológico de emulsões (maionese) verificaram que as emulsões revelaram um comportamento pseudoplástico, pois os valores do índice de comportamento de fluxo (n) foram menores que 1 ($n < 1$).

A característica de pseudoplasticidade nas polpas estudadas é explicado pela presença de sólidos em suspensão presente em todas as polpas. Conforme relatado por Guerrero & Alzamora (1997) purês de frutas que possuem comportamento pseudoplásticos são devidos a resultados de interações complexas entre os açúcares solúveis, substâncias pécticas e sólidos suspensos.

Os gráficos de viscosidades aparentes versus taxas de cisalhamentos são mostrados na Figura 7. As curvas de ida apresentaram maior viscosidade aparente que as de volta, resultado da força que foi gerada e aplicada na polpa com quebra da estrutura das moléculas e redução da viscosidade.

A viscosidade aparente de todas as amostras diminuiu com o aumento da taxa de cisalhamento. Foi verificado que polpas de frutas tendem a apresentar esse comportamento, conforme verificado no estudo de Chen et al. (2020) com polpa de morangos e Y. Liu et al. (2019) com polpas de mangas.

Esse comportamento pode ser explicado pelas forças hidrodinâmicas que são geradas ocasionando a quebra estrutural das moléculas e proporcionando o alinhamento das moléculas constituintes resultando em baixa viscosidade (Alpaslan & Hayta, 2002).



B8 = polpa de banana armazenada a -8°C ; B18 = polpa de banana armazenada a -18°C ; P8 = polpa de banana com *psyllium* armazenada a -8°C ; P18 = polpa de banana com *psyllium* armazenada a -18°C .

A curva mais alta de mesma cor indica “curva de ida” e a mais baixa indica “curva de volta”.

Figura 7. Viscosidade aparente das polpas de banana congelada sob armazenamento -8°C e -18°C , por 90 dias.

Observa-se pela Figura 7 que a adição de *psyllium* aumentou a viscosidade das polpas (P8 e P18) independente da temperatura de armazenamento. O *psyllium* tem maior conteúdo de fibras e por isso apresenta maior viscosidade aparente. Semelhante resultado foi observado com a adição de *psyllium* em iogurte, os autores informaram um aumento na viscosidade aparente nos iogurtes com maiores concentrações de *psyllium* (Ladjevardi, Gharibzahedi, & Mousavi, 2015)

De acordo com os estudos de Pelegri, Vidal, & Gasparetto (2000) polpas integrais (manga e abacaxi) têm maior teor de fibras e apresentam maior viscosidade.

Chen et al. (2020) ao verificarem as propriedades reológicas da polpa de morango, informaram que as interações de hemicelulose, amido, celulose e lignina podem causar alterações na viscosidade.

A viscosidade aparente da polpa de banana à $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ diferiu da polpa à $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ao final do período de estocagem. Esse resultado pode estar relacionado com o rompimento da parede celular (durante congelamento) e liberação de pectina (durante descongelamento). De acordo com os resultados de Van Buggenhout et al. (2015) com polpa de laranja, o rompimento da parede celular pode aumentar a exposição de pectina e aumentar a viscosidade aparente. Zhou et al. (2017) ao estudarem comportamento reológico de polpa de manga, informaram que as moléculas de pectina liberadas pelo rompimento das membranas celulares levam ao aumento da consistência das polpas.

A viscosidade é um importante parâmetro de controle de qualidade que permite avaliar as variações nas condições de processamento e armazenamento e pode estimar a consistência do produto final. Segundo Crispín-Isidro et al. (2015) as fibras solúveis podem melhorar a cremosidade e a aceitação em alguns produtos.

4.0 Conclusões

O *psyllium* alterou o pH e ATT da polpa de banana congelada, porém atende ao preconizado pelo padrão de qualidade e identidade previsto em legislação.

Ele alterou a cor (L^* e a^*) e aumentou a viscosidade aparente, podendo ser um diferencial para a polpa, proporcionando mais cremosidade ao produto final.

Polpa de banana congelada pode ser produzida com adição de *psyllium* e entre as temperaturas testadas verificou-se que a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ mantêm os parâmetros físico-químicos (pH, acidez Total, cor e características reológicas) adequados por até 60 dias e para armazenamento em temperatura à $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ a validade comercial é reduzida, porém viável por até 30 dias.

Esta polpa contendo 3 % de adição de *psyllium* (equivalente a 3 g) em uma porção pode receber em seu rótulo a alegação de saúde sendo um diferencial competitivo no mercado. A adição de *psyllium* à polpa de banana é uma maneira inovadora para gerar um produto com propriedades desejáveis para atender às necessidades dos consumidores.

Agradecimentos

Agradecemos ao Laboratório de Frutos Tropicais (LAFRUT) – UFC por realizar parte das análises. Este estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - Código Financeiro 001.

Referências

- Ahmad, I., Khan, R., & Ayub, M. (2000). Effect of added sugar at various concentration on the storage stability of guava pulp. *Sarhad Journal of Agriculture*, 16(1), 89–93. Retrieved from <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20000310797>
- Alamar, P. D., Caramês, E. T. S., Poppi, R. J., & Pallone, J. A. L. (2016). Quality evaluation of frozen guava and yellow passion fruit pulps by NIR spectroscopy and chemometrics. *Food Research International*, 85, 209–214. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.04.027>
- Ali, T., & Ali, J. (2020). Factors affecting the consumers' willingness to pay for health and wellness food products. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2, 100076. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100076>
- Alpaslan, M., & Hayta, M. (2002). Rheological and sensory properties of pekmez (grape molasses)/tahin (sesame paste) blends. *Journal of Food Engineering*, 54(1), 89–93. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00197-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00197-2)
- Belorio, M., Marcondes, G., & Gómez, M. (2020). Influence of psyllium versus xanthan gum in starch properties. *Food Hydrocolloids*, 105, 105843. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105843>
- Bhat, S. V., Deva, A. M., & Amin, T. (2018). Physicochemical and textural properties of yogurt fortified with psyllium (*Plantago ovate*) husk. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(2), 1–9. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13425>
- Bilbao-Sainz, C., Sinrod, A., Powell-Palm, M. J., Dao, L., Takeoka, G., Williams, T., ... McHugh, T. (2019). Preservation of sweet cherry by isochoric (constant volume) freezing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 52, 108–115. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.10.016>
- BRASIL. Resolução nº 18, de 30 de abril de 1999. Aprova o Regulamento Técnico que Estabelece as Diretrizes Básicas para Análise e Comprovação de Propriedades Funcionais e ou de Saúde Alegadas em Rotulagem de Alimentos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 03 nov. 1999.
- BRASIL. Instrução Normativa nº 37, de 01 de outubro de 2018. Regulamento Técnico Geral para fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para Polpa de Fruta. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 01 de outubro de 2018.
- Caroline, D., Monteiro, B., Roberta, C., & Pires, F. (2017). Diferentes condições de temperatura e, 2016.
- Chen, L., Chen, L., Zhu, K., Bi, X., Xing, Y., & Che, Z. (2020a). The effect of high-power ultrasound on the rheological properties of strawberry pulp. *Ultrasonics Sonochemistry*, 67, 105144. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105144>
- Chen, L., Chen, L., Zhu, K., Bi, X., Xing, Y., & Che, Z. (2020b). Ultrasonics - Sonochemistry The effect of high-power ultrasound on the rheological properties of strawberry pulp. *Ultrasonics - Sonochemistry*, 67(March), 105144. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105144>
- Crispín-Isidro, C., Lobato-Calleros, H., Espinosa-Andrews, J., Alvarez-Ramirez, E.J., Vernon-Carter Effect of inulin and agave fructans addition on the rheological, microstructural and sensory properties of reduced-fat stirred yogurt, *Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie Food Science and Technology*, 62 (1) (2015), pp. 438-444
- Damiani, C., Lage, M. E., Silva, F. A. da, Pereira, D. E. P., Becker, F. S., & boas, E. V. de B.

- V. (2013). Changes in the physicochemical and microbiological properties of frozen ara^ã\Sa pulp during storage. *Food Science and Technology*, 33, 19–27. Retrieved from http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612013000500004&nrm=iso
- Damiani, C., Silva, F. A. da, Lage, M. E., Pereira, D. E. P., Becker, F. S., & Vilas Boas, E. V. de B. (2013). Stability of frozen marolo pulp during storage. *Food Science and Technology*, 33, 713–721. Retrieved from http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612013000400017&nrm=iso
- Domínguez Díaz, L., Fernández-Ruiz, V., & Cámara, M. (2020). An international regulatory review of food health-related claims in functional food products labeling. *Journal of Functional Foods*, 68, 103896. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103896>
- Englberger, L., Lyons, G., Foley, W., Daniells, J., Aalbersberg, B., Dolodotawake, U., ... Taylor, M. (2010). Carotenoid and riboflavin content of banana cultivars from Makira, Solomon Islands. *Journal of Food Composition and Analysis*, 23(6), 624–632. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfca.2010.03.002>
- Énicaud, C. P., Chir, N. A., Ayer, C. D. H., Ornier, M. D., & Ohuon, P. B. (2011). Degradation of β -carotene during fruit and vegetable processing or storage : reaction mechanisms and kinetic aspects : a review, 66(6), 417–440. <https://doi.org/10.1051/fruits/2011058>
- Farahnaky, A., Askari, H., Majzoobi, M., & Mesbahi, G. (2010). The impact of concentration , temperature and pH on dynamic rheology of psyllium gels. *Journal of Food Engineering*, 100(2), 294–301. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.04.012>
- Feitosa, et al. (2017). Avaliação da rotulagem e da qualidade microbiológica e físico-química de polpas de frutas comercializadas em Evaluation of labeling and microbiological quality and physicochemical fruit pulp sold in Picos-PI . *Revinter*, 10(02), 62–72.
- Figueroa, L. E., & Genovese, D. B. (2019). Fruit jellies enriched with dietary fibre: Development and characterization of a novel functional food product. *LWT*, 111, 423–428. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.031>
- Fradinho, P., Soares, R., Niccolai, A., Sousa, I., & Raymundo, A. (2020). Psyllium husk gel to reinforce structure of gluten-free pasta? *LWT*, 131, 109787. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109787>
- Franco, E., Aparecida, N., Sanches-silva, A., Ribeiro-santos, R., Ramos, N., & Melo, D. (2020). Trends in Food Science & Technology Psyllium (Plantago ovata Forsk): From evidence of health bene fi ts to its food application. *Trends in Food Science & Technology*, 96(November 2018), 166–175. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.006>
- Fratelli, C., Muniz, D. G., Santos, F. G., & Capriles, V. D. (2018). Modelling the effects of psyllium and water in gluten-free bread: An approach to improve the bread quality and glycemic response. *Journal of Functional Foods*, 42(February), 339–345. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.01.015>
- Guerrero, S. N., & Alzamora, S. M. (1997). Effect of pH, temperature and glucose addition on flow behaviour of fruit purées I. Banana purée. *Journal of Food Engineering*, 33(3), 239–256. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(97\)00032-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0260-8774(97)00032-0)
- Huang, L., Bai, L., & Gong, S. (2020). The effects of carrier, benefit, and perceived trust in information channel on functional food purchase intention among Chinese consumers. *Food Quality and Preference*, 81, 103854. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.103854>
- IBISWorld Global fruit & vegetables processing IBISWorld industry report (2015)(Available in: <https://www.ibisworld.com/gosample.aspx?cid=0&rtid=1>>.
- Izidoroe, D. R., Scheer, A., Sierakowski, M., & Haminiuk, C. W. I. (2008). Influence of green

- banana pulp on the rheological behaviour and chemical characteristics of emulsions (mayonnaises), 41, 1018–1028. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.07.009>
- Jha, P. K., & Jury, V. (2019). Assessment of freeze damage in fruits and vegetables. *Food Research International*, 121(September 2018), 479–496. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.12.002>
- Krystijan, M., Gumul, D., Korus, A., Korus, J., & Sikora, M. (2018). Physicochemical properties and sensory acceptance of biscuits fortified with *Plantago psyllium* flour, 30(9), 758–763. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2018.v30.i9.1799>
- Ladjevardi, Z. S., Gharibzahedi, S. M. T., & Mousavi, M. (2015). Development of a stable low-fat yogurt gel using functionality of psyllium (*Plantago ovata* Forsk) husk gum. *Carbohydrate Polymers*, 125, 272–280. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.02.051>
- Liu, J., Bi, J., McClements, D. J., Liu, X., Yi, J., Lyu, J., ... Liu, D. (2020). Impacts of thermal and non-thermal processing on structure and functionality of pectin in fruit- and vegetable- based products: A review. *Carbohydrate Polymers*, 250, 116890. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116890>
- Liu, Y., Chen, S., Pu, Y., Muhammad, A. I., Hang, M., Liu, D., & Ye, T. (2019). Ultrasound-assisted thawing of mango pulp: Effect on thawing rate, sensory, and nutritional properties. *Food Chemistry*, 286, 576–583. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.059>
- Matta, v,m; Freire,m,jr; Cabral,l,m,c; Furtado, a,a l. Polpa de Fruta Congelada. Brasília: EMBRAPA, 2005.
- Mason-D’Croz, D., Bogard, J. R., Sulser, T. B., Cenacchi, N., Dunston, S., Herrero, M., & Wiebe, K. (2019). Gaps between fruit and vegetable production, demand, and recommended consumption at global and national levels: an integrated modelling study. *The Lancet Planetary Health*, 3(7), e318–e329. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(19\)30095-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S2542-5196(19)30095-6)
- Melo, S. B. M. O. D. N. P. C., & Santos, W. G. dos. (2020). Brazilian Journal of Development Brazilian Journal of Development, 45182–45192.
- Orqueda, M. E., Torres, S., Verón, H., Pérez, J., Rodriguez, F., Zampini, C., & Isla, M. I. (2021). Physicochemical, microbiological, functional and sensory properties of frozen pulp of orange and orange-red chilito (*Solanum betaceum* Cav.) fruits. *Scientia Horticulturae*, 276, 109736. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109736>
- Pelegrine, d. h., Vidal, j. r. m. b., & gasparetto, c. a. (2000). Estudo da viscosidade aparente das polpas de manga (Keitt) e abacaxi (PÃ\copyrightrola). *Food Science and Technology*, 20, 128–131. Retrieved from http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612000000100024&nrm=iso
- Peressini, D., Cavarape, A., Brennan, M. A., Gao, J., & Brennan, C. S. (2020). Viscoelastic properties of durum wheat doughs enriched with soluble dietary fibres in relation to pasta-making performance and glycaemic response of spaghetti. *Food Hydrocolloids*, 102, 105613. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105613>
- Raymundo, A., Fradinho, P. P., & Nunes, M. C. (2014). Effect of Psyllium fibre content on the textural and rheological characteristics of biscuit and biscuit dough. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 3(2), 96–105. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2014.03.001>
- Santos, F. G., Aguiar, E. V, Centeno, A. C. L. S., Rosell, C. M., & Capriles, V. D. (2020). Effect of added psyllium and food enzymes on quality attributes and shelf life of chickpea-based gluten-free bread. *LWT*, 110025. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110025>
- Silva, Larissa Morais Ribeiro da et al. Comportamento reológico de néctares mistos de caju,

- manga e acerola descritos pelo Modelo de Casson. *Braz. J. Food Technol.* [online]. 2012, vol.15, n.3, pp.237-243. Epub Sep 04, 2012. ISSN 1981-6723.
- Ssenoga, F., Mugurusi, G., & Oluka, P. N. (2019). Food insecurity as a supply chain problem. Evidence and lessons from the production and supply of bananas in Uganda. *Scientific African*, 3, e00076. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00076>
- Storey, M., & Anderson, P. (2018). Total fruit and vegetable consumption increases among consumers of frozen fruit and vegetables. *Nutrition*, 46, 115–121. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.nut.2017.08.013>
- Tan, X. Y., Misran, A., Daim, L. D. J., Ding, P., & Pak Dek, M. S. (2020). Effect of freezing on minimally processed durian for long term storage. *Scientia Horticulturae*, 264, 109170. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109170>
- Van Buggenhout, S., Wallecan, J., Christiaens, S., Debon, S. J. J., Desmet, C., Van Loey, A., ... Mazoyer, J. (2015). Influence of high-pressure homogenization on functional properties of orange pulp. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 30, 51–60. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.05.004>
- Wang, C. Y. (1990). Chilling and Freezing Injury.
- Yap, M., Fernando, W. M. A. D. B., Brennan, C. S., Jayasena, V., & Coorey, R. (2017). LWT - Food Science and Technology The effects of banana ripeness on quality indices for puree production. *LWT - Food Science and Technology*, 80, 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.01.073>
- Zhang, J., Wen, C., Zhang, H., & Duan, Y. (2019). International Journal of Biological Macromolecules Review of isolation , structural properties , chain conformation , and bioactivities of psyllium polysaccharides. *International Journal of Biological Macromolecules*, 139, 409–420. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.014>
- Zhou, L., Guan, Y., Bi, J., Liu, X., Yi, J., Chen, Q., ... Zhou, M. (2017). Change of the rheological properties of mango juice by high pressure homogenization. *LWT - Food Science and Technology*, 82, 121–130. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.038>

CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados deste estudo revelaram que a adição de *psyllium* à polpa de banana congelada apresentou um aumento no teor de proteínas e cinzas e fibras.

A partir dos parâmetros reológicos, físico-químicos, análise de cor e da análise sensorial, concluiu-se que a adição de *psyllium* à polpa de banana congelada é um processo viável, interferindo de forma controlável nos processos que envolvem as diversas operações da unidade.

A polpa de banana congelada pode ser produzida com adição de *psyllium* e entre as temperaturas testadas verificou-se que a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ conserva melhor os parâmetros físico-químicos (pH, acidez Total, cor e características reológicas) por até 60 dias e para armazenamento em temperatura à $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ a validade comercial é reduzida para 30 dias.

Outro benefício nutricional de destaque que o *psyllium* proporcionou foi o aumento no conteúdo do mineral K e sua biodisponibilidade de 40%. O consumo da polpa de banana congelada adicionada de *psyllium*, junto a um estilo de vida saudável, pode contribuir para o aumento na ingestão de K e proporcionar um menor risco de desenvolver doenças cardiovasculares. Esta polpa atende às exigências para receber a alegação de saúde contribuindo para a redução do colesterol LDL.

A adição de *psyllium* é uma opção potencial para a produção de polpa de banana congelada, pois apresenta benefícios nutricionais e funcionais. Por ser um produto promissor no mercado de produtos saudáveis, pode contribuir para agregar valor à cadeia agrícola.

ANEXOS

ANEXO -A

Termo de consentimento livre e esclarecido

Desenvolvimento, caracterização e estabilidade durante o armazenamento de polpa congelada de banana prata adicionada de *psyllium* (*Plantago ovata forsk*)

Elisângela Aparecida Nazário Franco, Nathália Ramos de Melo, Antonia Barbosa de Lima, Maria do Socorro Rocha Bastos.

Você está sendo convidado a participar como voluntário de uma pesquisa. Este documento, chamado Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, visa assegurar seus direitos como participante e é elaborado em duas vias, uma que deverá ficar com você e outra com o pesquisador.

Por favor, leia com atenção e calma, aproveitando para esclarecer suas dúvidas. Se houver perguntas antes ou mesmo depois de assiná-lo, você poderá esclarecê-las com o pesquisador. Se preferir, pode levar este Termo para casa e consultar seus familiares ou outras pessoas antes de decidir participar. Não haverá nenhum tipo de penalização ou prejuízo se você não aceitar participar ou retirar sua autorização em qualquer momento.

Justificativa e objetivos:

O *psyllium* é uma fibra solúvel com reconhecidos benefícios à saúde, seu consumo frequente pode auxiliar no controle do colesterol e redução dos níveis glicêmicos. Este estudo propõe elaborar uma polpa congelada de banana prata adicionada de *psyllium* que será utilizada no preparo de uma vitamina com leite.

Procedimentos:

Participando do estudo você está sendo convidado a: realizar um teste sensorial com uma bebida (vitamina) preparada com polpa congelada de banana prata adicionada de *psyllium*, durante o teste sensorial será solicitado o preenchimento de uma ficha sobre os atributos sensoriais da vitamina de banana. Tempo máximo estimado do teste é de 15 minutos.

Desconfortos e riscos:

Você não deve participar deste estudo se for intolerante à lactose, possuir alergia ao leite, tiver restrições na ingestão de açúcar (sacarose).

O consumo deste produto não representa riscos ou desconfortos físico, psíquico, moral, social, cultural ou espiritual ao ser humano.

O risco é mínimo, em alguns casos raros pode ocorrer um leve desconforto abdominal. Em caso de desconforto abdominal não fazer uso do *psyllium*.

Benefícios:

Esta pesquisa propõe desenvolver uma polpa congelada de banana prata adicionada de *psyllium*, este produto poderá oferecer benefícios à saúde como fonte de fibras solúveis, redução na absorção da gordura, redução nos níveis glicêmicos, saciedade.

Acompanhamento e assistência:

A pesquisadora ficará à disposição para esclarecer dúvidas antes, durante e após a realização do teste sensorial. Caso seja necessário um contato após o teste o mesmo será realizado via telefone.

Sigilo e privacidade:

Você tem a garantia de que sua identidade será mantida em sigilo e nenhuma informação será dada a outras pessoas que não façam parte da equipe de pesquisadores. Na divulgação dos resultados desse estudo, seu nome não será citado.

Ressarcimento e Indenização:

Você terá direito ao ressarcimento das despesas diretamente decorrentes de sua participação na pesquisa e à indenização pelos danos resultantes desta, nos termos da Lei.

Contato:

Em caso de dúvidas sobre a pesquisa, você poderá entrar em contato com os pesquisadores Elisângela, IFCE Campus Iguatu/CE Curso Técnico Nutrição e Saúde, elinazario@hotmail.com, (88) 99689- 0718, Antonia Barbosa (88) 99928-6895 IFCE Campus Iguatu/CE Curso Técnico Agroindústria.

Em caso de denúncias ou reclamações sobre sua participação e sobre questões éticas do estudo, você poderá entrar em contato com a secretaria do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) do IFCE das 08:00hs às 12:00hs e das 13:00hs as 17:00hs no IFCE Reitoria - R. Jorge Dumar, 1703 - Jardim América, Fortaleza - CE, 60410-426; fone (85) 34012332 e-mail: cep@ifce.edu.br

Consentimento livre e esclarecido:

Após ter recebido esclarecimentos sobre a natureza da pesquisa, seus objetivos, métodos, benefícios previstos, potenciais riscos e o incômodo que esta possa acarretar, aceito participar e declaro estar recebendo uma via original deste documento assinada pelo pesquisador e por mim, tendo todas as folhas por nós rubricadas:

Nome do(a) participante:

Contato telefônico (opcional):

e-mail (opcional):

(Assinatura do participante ou nome e assinatura do seu RESPONSÁVEL LEGAL)

Data: ____/____/____.

Responsabilidade do Pesquisador:

Asseguo ter cumprido as exigências da resolução 466/2012 CNS/MS e complementares na elaboração do protocolo e na obtenção deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Asseguo, também, ter explicado e fornecido uma via deste documento ao participante. Informo que o estudo foi aprovado pelo CEP perante o qual o projeto foi apresentado. Comprometo-me a utilizar o material e os dados obtidos nesta pesquisa exclusivamente para as finalidades previstas neste documento ou conforme o consentimento dado pelo participante.

Nome do(a) pesquisador(a):

[Assinatura do(a) pesquisador(a)]

Data: ____/____/____.

ANEXO-B

Ficha de avaliação sensorial

Número da amostra: _____

A) Você está recebendo uma amostra de vitamina preparada com popa congelada de banana adicionada de *psyllium*. Por favor, prove e marque todas as palavras que se aplicam a este produto.

- Branca
- Amarelada
- Marrom claro
- Doce
- Azedinho
- Sem sabor
- Pouco doce
- Cremosa
- Líquida
- Grossa
- Gosto de banana
- Cheiro de banana
- Sem cheiro
- Cheiro de iogurte
- Parece mingau de aveia
- Parece leite fermentado



FUNDAÇÃO NÚCLEO DE
TECNOLOGIA INDUSTRIAL
DO CEARÁ



GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
Secretaria de Ciência, Tecnologia
e Educação Superior

GETAQ: NUTEA	ÁREA: Alimentos	RE N.º: 2116/18	2 de 2
--------------	-----------------	-----------------	--------

2. RESULTADO DOS ENSAIOS

Parâmetros	Valor encontrado/ [Li, Ls]	Legislação
Coliformes a 35°C (NMP/g)	0,15 [0,37; 0,42]	-
Coliformes a 45°C (NMP/g)	<0,3 [-;0,95]	≤1
Salmonella sp/25g	Ausência	Ausência
Bolores e Leveduras (UFC/g)	2,0x10 ² [150;252]	≤5x10 ²
NMP: Número Mais Provável	Li: Limite inferior	
UFC: Unidades Formadoras de Colônias	Ls: Limite superior	

3. CONDIÇÕES GERAIS

-Coliformes a 35°C /Coliformes a 45°C

Determinação quantitativa pela técnica de tubos múltiplos (NMP): POT02MBA/LEA – rev.07- American Public Health Association (APHA), Compendium of methods for the microbiological examination of foods. 5.ed. 2015. pág. 75-85, 103-111.

-Salmonella sp

Determinação qualitativa pela técnica de presença/ausência: POT03MBA/LEA – rev.06 American Public Health Association (APHA), Compendium of methods for the microbiological examination of foods. 5.ed. 2015. pág 446-462.

-Bolores e leveduras

Determinação quantitativa pela técnica de contagem em superfície: POT01MBA/LEA – rev.07 American Public Health Association (APHA), Compendium of methods for the microbiological examination of foods. 5.ed. 2015. pág. 277-282.

- No resultado da amostra em NMP/g ou mL, expresso como "x" [Li, Ls] "


x = número mais provável na amostra e [Li, Ls] = intervalo de confiança a nível de 95% de probabilidade para a combinação de tubos positivos em série conforme tabelas de NMP: Bacteriological Analytical Manual/Food, Drug Administration/Appendix2, 2015 e Standard methods for the examination of water and wastewater, 2012.

4. NOTAS

A amostra encontra-se dentro dos padrões microbiológicos de acordo com a IN nº1 de 7 de janeiro de 2000 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Fortaleza, 19 de julho de 2018


Marcia Helena Portela Lima
Engenheira de Alimentos - CREA 8510 - D
Nutea


Jackson de Quiróz Malheira
Tecnólogo em Produção Industrial
CRQ- X: LP-04/17 - 10ª Região
Gerente da GETAQ

OS RESULTADOS APRESENTADOS NESTE DOCUMENTO TÊM SIGNIFICAÇÃO RESTRITA E APLICAR-SE ãO SOMENTE AO OBJETO DE SERVIÇO. SUA REPRODUÇÃO PARA OUTROS FINS NÃO PODERÁ SER FEITA DE FORMA INTEGRAL, SEM MENCIONAR ALTERAÇÃO

Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará | Nutea
CNPJ 08.418.758/0001-64 | Ins. Estadual 0802205-1 | www.nutea.ce.gov.br | ce@nutea.ce.gov.br
Rua Professor Rômulo Freire, 99 - Campus do Pici - Fortaleza/CE - CEP 60448-852
Núcleo Central de Atendimento ao Cliente | Telex: +55 85 3101.2048/2047 | Fax: +55 85 3161.2436
Ouvintes: Fone: +55 85 3501.2104 | ouvidoria@nutea.ce.gov.br